

La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción de la fatiga física durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento.

Doctorando:

José Conde González

Directores:

David Cárdenas Vélez
José Cesar Perales López
Daniel Linares Girela



**Departamento de Antropología Física
Facultad de Medicina
Universidad de Granada
Marzo 2011**

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: José Conde González
D.L.: GR 671-2012
ISBN: 978-84-694-6367-3

Departamento de Antropología Física
Facultad de Medicina
Universidad de Granada
Marzo 2011

**La interacción de la carga de trabajo física y mental en la
percepción de la fatiga física durante y después de un ejercicio
físico hasta el agotamiento.**

José Conde González





**Doctor David Cárdenas Vélez
Profesor Titular de Universidad**

**Departamento de Educación Física y
Deporte
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE
Universidad de Granada**

D. David Cárdenas Vélez

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Granada.

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral titulada: “La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción de la fatiga física durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento.” que presenta D. JOSÉ CONDE GONZÁLEZ al superior juicio del Tribunal que designe la Universidad de Granada, ha sido realizada bajo mi dirección durante los años 2007 a 2011, siendo expresión de la capacidad técnica e interpretativa de su autor en condiciones tan aventajadas que le hacen merecedor del Título de Doctor, siempre y cuando así lo considere el citado Tribunal

D. David Cárdenas Vélez



**Doctor José Cesar Perales López
Profesor Titular de Universidad**

**Departamento de Psicología Experimental
FACULTAD DE PSICOLOGÍA
Universidad de Granada**

D. José Cesar Perales López

Doctor en Psicología. Facultad de Psicología. Universidad de Granada.

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral titulada: “La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción de la fatiga física durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento.” que presenta D. JOSÉ CONDE GONZÁLEZ al superior juicio del Tribunal que designe la Universidad de Granada, ha sido realizada bajo mi dirección durante los años 2007 a 2011, siendo expresión de la capacidad técnica e interpretativa de su autor en condiciones tan aventajadas que le hacen merecedor del Título de Doctor, siempre y cuando así lo considere el citado Tribunal

D. José Cesar Perales López



**Doctor Daniel Linares Girela
Profesor Titular de Universidad**

**Departamento de Didáctica de la Expresión
Musical, Plástica y Corporal.
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
EDUCACIÓN
Universidad de Granada**

D. Daniel Linares Girela

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Granada.

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral titulada: “La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción de la fatiga física durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento.” que presenta D. JOSÉ CONDE GONZÁLEZ al superior juicio del Tribunal que designe la Universidad de Granada, ha sido realizada bajo mi dirección durante los años 2007 a 2011, siendo expresión de la capacidad técnica e interpretativa de su autor en condiciones tan aventajadas que le hacen merecedor del Título de Doctor, siempre y cuando así lo considere el citado Tribunal

D. Daniel Linares Girela

A mis padres y hermanos,
sois lo primero en mi vida.

A mi director de tesis,
más que un amigo



AGRADECIMIENTOS:

Sin duda alguna, el mayor de mis agradecimientos a mis padres Mateo y Conchita, PAPÁ Y MAMÁ para mí. Todo lo que tengo os lo debo a vosotros. Sois un ejemplo de entrega, sacrificio y superación. Gracias por la educación que me habéis dado y gracias por haber creado la maravillosa familia que tengo. Lo primero y lo más importante para mí.

A mis hermanos y mejores amigos Antonio y Mateo, gracias por hacer que siempre me sienta querido y respaldado por vosotros. Antonio, mi hermano mayor y mi ejemplo a seguir. Mateo, el pequeño de la familia , una persona grande de corazón y mente.

A mis dos hermanas Conchita y Mari, gracias por mostrarme lo que es el amor de una hermana. Conchita, la primogénita, está tesis te la dedico muy especialmente a ti, para mí fuiste la primera doctora en la casa, me enseñaste que es la fidelidad a unas ideas y a unos principios incorruptibles. Marí, la niña chica de la casa, la princesita.

A Gloria, gracias por ser mi fuente de optimismo e ilusión, y por estar junto a mi en los momentos difíciles. Esta tesis en gran parte es tuya.

A alguien que es mucho más que uno de mis directores de tesis, David Cárdenas. Apareció en mi vida como mi profesor y se ha quedado en ella como algo más que un gran amigo. Gracias David por mostrarme la entrega desinteresada, la amistad verdadera.



A mis otros dos directores de tesis, Daniel Linares y José Cesar Perales, gracias por dedicarme vuestro tiempo y por guiarme en el duro pero gratificante camino de la investigación.

Y a todos los que no aparecen aquí pero que han confiado en mi y siguen haciéndolo. Muchas gracias.



INDICE

RESUMEN.....	20
JUSTIFICACIÓN	22
CAPITULO I. MARCO CONCEPTUAL	27
1. Concepto de Fatiga	28
1.1. Enfoque Biomecánico.....	30
1.2. Enfoque Fisiológico	31
1.3. Enfoque Psicológico	43
2. Modelo Explicativo de la Fatiga	46
2.1. Modelo Cardiovascular/Anaeróbico	46
2.2. Modelo de Suministro/Agotamiento de Energía	51
2.3. Modelo Neuromuscular	52
2.3.1. La teoría del fallo de la activación central	53
2.3.2. La teoría del fallo de la propagación neuromuscular	54
2.3.3. Modelos de potencia muscular /teoría del fallo periférico	54
2.4. Modelo del Trauma Muscular de la Fatiga	56
2.5. Modelo Biomecánico de la Fatiga	57
2.6. Modelos de Termorregulación de la Fatiga	58



2.7. Modelo Motivacional/Psicológico de la Fatiga	61
2.8. Modelos del Gobernador Central	62
2.9. Modelo de Sistema Complejo de la Fatiga	64
3. La Fatiga como Estado Motivacional Subjetivo	71
4. Concepto de Carga Mental	84
5. Tareas de Carga	94
5.1. Carga Física	94
5.2. Carga Mental	95
5.2.1. N-Back	95
5.2.2. Go / No-Go	97
.....	
6. Medidas	99
6.1. Medidas Fisiológicas. VO_2	99
6.2. Medidas Psicométricas. Escala de Borg y SAM	100
CAPITULO II. EXPERIMENTOS	104
1. Objetivos	105
2. Hipótesis	106
3. Variables	107



3.1. Variable Independiente	107
3.1.1. Carga Mental	107
3.2. Variables Dependientes	107
3.2.1. Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE)	107
3.2.2. Volumen de Oxígeno (VO ₂)	108
3.2.3. Tiempo hasta el Agotamiento	108
3.2.4. Valencia y Activación (SAM)	108
3.3. Control de Variables Extrañas	109
3.3.1. Frecuencia Cardíaca Máxima al Finalizar la Prueba	109
3.3.2. Implicación en la Tarea de Carga Cognitiva	109
4. Experimento 1	111
4.1. Método	112
4.1.1. Participantes	112
4.1.2. Aparatos y Estímulos	113
4.1.3. Procedimiento y Diseño	114
4.2. Resultados	123
4.2.1. Comprobación del Agotamiento	123
4.2.2. Comprobación de la Implicación en la Tarea de Carga	



Cognitiva	125
4.2.3. RPE (Borg Scale)	129
4.2.4. Tiempo hasta el Agotamiento	135
4.2.5. Oxígeno Consumido Durante Esfuerzo y Recuperación	136
.	
5. Experimento 2	138
5.1. Método y Procedimiento	140
.....	
5.1.1. Participantes	140
5.2. Resultados	144
5.2.1. Comprobación del Agotamiento y del Grado de Implicación del Participante en la Tarea de Carga Mental	144
5.2.2. Escala de Borg (RPE)	145
5.2.3. Valencia y Activación Emocional	150
5.2.4. Tiempo hasta el Agotamiento	155
5.2.5. Consumo de Oxígeno Durante el Esfuerzo Incremental y la Recuperación	155
CAPITULO III. RESUMEN DE LOS RESULTADOS	159



CAPITULO IV. DISCUSIÓN FINAL	163
CAPITULO V. CONCLUSIONES	176
CAPITULO VI. APLICACIONES PRÁCTICAS	179
CAPITULO VII. PERSPECTIVAS FUTURAS	186
CAPITULO VIII. LIMITACIONES DEL ESTUDIO	189
CAPITULO IX. BIBLIOGRAFÍA	192
CAPITULO X. ANEXOS	217

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Principales disciplinas científicas que han estudiado la naturaleza de la fatiga	30
Figura 2. Estructuras afectadas y causas que pueden contribuir a la aparición de la fatiga. (Adaptada de Ament & Verkerke, 2009a)	34
Figura 3: Cadena de procesos fisiológicos que suceden entre el SNC y el músculo durante la contracción muscular. (Adaptada de López-Chicharro & Fernández, 2006)	35
Figura 4. Acciones del Gobernador Central en la fatiga	37
Figura 5: Posibles mecanismos fisiológicos de las fatiga periférica	38
Figura 6: Posibles mecanismos fisiológicos de la fatiga central	40
Figura 7: Factores implicados en la sensación de fatiga. (Adaptada de López-Chicharro & Fernández, 2006)	42
Figura 8: Modelo Cardiovascular/Anaeróbico. (Adaptada de Noakes,	



2000)	48
Figura 9: Influencia del Gobernador sobre el Modelo Cardiovascular / Anaeróbico. (Adaptada de Noakes, 2000)	50
Figura 10: Modelo de Suministro/Agotamiento de Energía. (Adaptada de Abbiss & Laursen, 2005)	52
Figura 11: Modelo Neuromuscular de la Fatiga. (Adaptada de Abbiss & Laursen, 2005)	55
Figura 12: Modelo del Trauma Muscular de la Fatiga. (Adaptada de Abbiss & Laursen, 2005)	57
Figura 13: Modelo Biomecánico de la Fatiga. (Adaptada de Abbiss & Laursen, 2005)	58
Figura 14: Modelo de Termorregulación de la Fatiga. (Adaptada de Abbiss & Laursen, 2005)	60
Figura 15: Modelo Motivacional/Psicológico de la Fatiga. (Adaptada de Abbiss & Laursen, 2005)	62
Figura 16: Modelo del Gobernador Central. (Adaptada de Abbiss & Laursen, 2005)	63
Figura 17: Representación esquemática de los modelos lineales de fatiga y su integración por parte de un <i>gobernador central</i> . (Adaptada de Abbiss & Laursen, 2005)	65
Figura 18: Influencias en las estructuras del cerebro asociadas con el desarrollo del conocimiento de la sensación de esfuerzo	73
Figura 19: Escala de 21 números. Tomada de Borg (1961).....	75
Figura 20: Escala de RPE 15 ó escala 6-20 RPE. Tomada de Borg	



(1971)	76
Figura 21: Category-Ratio Scale (CRS). Borg (1973).....	77
Figura 22: Escala de RPE 15 ó escala 6-20 RPE. Borg (1998, 2001)	77
Figura 23: Escala CR 10. Borg (1982)	78
Figura 24: Modificación Escala CR 10. Tomada de Borg (1998, 2001)	78
Figura 25: Definición de los recursos a través de las tres dimensiones ...	91
Figura 26: Escala de RPE en castellano	101
Figura 27 : Maniquí de autoevaluación de SAM. Valencia y activación.....	103
Figura 28: Aparatos para el registro y exposición de la tarea cognitiva	113
Figura 29: Representación visual de la prueba hasta el agotamiento	115
Figura 30: Representación visual de la recuperación de la prueba	116
Figura 31: Ejemplo de 1-Back (condición de carga baja)	117
Figura 32: Ejemplo de 3-Back (condición de carga alta)	117
Figura 33: Ejemplo de 1 Go/ 1 No-Go (condición de carga baja)	118
Figura 34: Ejemplo de 2 Go/ 2 No-Go (condición de carga alta)	118
Figura 35: Representación visual de la prueba sin esfuerzo mental	121
Figura 36: Representación visual de la prueba con esfuerzo mental bajo	121
Figura 37: Representación visual de la prueba con esfuerzo mental alto .	122
Figura 38: Niveles de Promedio Discriminativo para las dos condiciones de Carga Mental durante el Esfuerzo	127
Figura 39: Los Niveles de Promedio Discriminativo para las dos condiciones de Carga Mental durante la Recuperación	128



Figura 40: Representación visual de los palieres registrados	130
Figura 41: RPE para la tres condiciones de carga y las tres subescalas durante el esfuerzo	132
Figura 42: RPE para la tres condiciones de carga y las tres subescalas durante la recuperación	134
Figura 43: Valores promedio de la RPE para las tres subescalas durante la recuperación	135
Figura 44: Consumo de Oxígeno durante el esfuerzo	137
Figura 45: Consumo de Oxígeno durante la recuperación	137
Figura 46 : Representación visual de la prueba sin esfuerzo mental	142
Figura 47: Representación visual de la prueba con esfuerzo mental bajo	143
Figura 48: Representación visual de la prueba con esfuerzo mental alto	143
Figura 49: Representación visual de los niveles de esfuerzo analizados	146
Figura 50: Las medias de los valores de RPE para las tres subescalas durante el esfuerzo incremental	147
Figura 51: Las medias de los valores de RPE para las tres subescalas durante la recuperación	149
Figura 52: Cambios en el estado emocional de Valencia y activación, según lo medido por la escala de SAM	151
Figura 53: Cambios en el estado emocional de Valencia y activación, según lo medido por la escala de SAM	153
Figura 54: Los valores del consumo de oxígeno durante el esfuerzo hasta el agotamiento	157
Figura 55: Los valores del consumo de oxígeno durante la recuperación	158



Figura 56: Modelo de doble vía del efecto de la carga cognitiva central sobre el esfuerzo percibido 168

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Señales provenientes de los estímulos aferentes en la percepción del esfuerzo. Tomada de Hampson et al. (2001)	80
Tabla 2. Registro Participantes Experimento 1	218
Tabla 3. Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE) en Carga Mental Alta. Experimento 1 ..	220
Tabla 4. Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE) en Carga Mental Baja. Experimento 1	221
Tabla 5. Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE) sin Carga Mental. Experimento 1	222
Tabla 6. Volumen de Oxígeno (VO ₂) Esfuerzo con Carga Mental Alta. Experimento 1	223
Tabla 7. Volumen de Oxígeno (VO ₂) Esfuerzo con Carga Mental Baja. Experimento 1	224
Tabla 8. Volumen de Oxígeno (VO ₂) Esfuerzo sin Carga Mental Baja. Experimento 1	225
Tabla 9. Volumen de Oxígeno (VO ₂) Recuperación con Carga Mental Alta. Experimento 1	226



Tabla 10. Volumen de Oxígeno (VO_2) Recuperación con Carga Mental Baja. Experimento 1	227
Tabla 11. Volumen de Oxígeno (VO_2) Recuperación sin Carga Mental. Experimento 1	228
Tabla 12. Registro Participantes Experimento 2	229
Tabla 13. Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE) en Carga Mental Alta. Experimento 2	231
Tabla 14. Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE) con Carga Mental Baja. Experimento 2	232
Tabla 15. Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE) sin Carga Mental. Experimento 2	233
Tabla 16. Activación y Valencia (SAM) con Carga Mental Alta. Experimento 2	234
Tabla 17. Activación y Valencia (SAM) con Carga Mental Baja. Experimento 2	235
Tabla 18. Activación y Valencia (SAM) sin Carga Mental. Experimento 2	236
Tabla 19. Volumen Oxígeno (VO_2) Esfuerzo con Carga Mental Alta. Experimento 2	237
Tabla 20. Volumen de Oxígeno (VO_2) Esfuerzo con Carga Mental Baja. Experimento 2	238
Tabla 21. Volumen de Oxígeno (VO_2) Esfuerzo sin Carga Mental. Experimento 2	239
Tabla 22. Volumen de Oxígeno (VO_2) Recuperación con Carga Mental	



Alta. Experimento 2	240
Tabla 23. Volumen de Oxígeno (VO_2) Recuperación con Carga Mental	
Baja. Experimento 2	241
Tabla 24. Volumen Oxígeno (VO_2) Recuperación sin Carga Mental.	
Experimento 2	242



RESUMEN:

En esta tesis se ha buscado poder cuantificar el grado en que la carga de trabajo mental contribuye a la percepción del esfuerzo durante un ejercicio extenuante hasta el agotamiento y su posterior recuperación. También se ha analizado la dinámica emocional que resulta de los efectos combinados de la carga física y mental.

Para ello, se llevaron a cabo dos experimento, uno primero donde la carga de trabajo mental fue manipulada mediante la presentación a los participantes, de tarea de carga cognitiva durante el desarrollo de una prueba de esfuerzo máximo incremental hasta el agotamiento y durante su recuperación. La tarea de carga mental fue manipulada en tres niveles diferentes (no carga mental, carga mental baja, carga mental alta) a través de sesiones diferentes para un mismo participante. Mientras que en el segundo experimento se emplearon dos condiciones de carga mental (una tarea de descubrimiento de una secuencia falsa, con diferentes porporciones de *feedback* postivo y negativo), y una condición sin carga mental. Al igual que en el experimento 1, las tres condiciones fueron comparadas. El experimento 2 se realizó para dissociar el potencial efecto directo de la carga mental de los efectos causados por el *feedback* sobre el rendimiento en esa tarea.

Los resultados mostraron un claro efecto de la carga mental sobre la percepción del esfuerzo durante la recuperación, pero no durante el esfuerzo hasta el agotamiento. De la misma manera, en el experimento 2 se demostró la contribución del *feedback* producido por la ejecución en la tarea de carga cognitiva en este mismo sentido. Por otra parte, el esfuerzo expresado correlacionó más



fuertemente con las estimaciones de la valencia emocional que con la activación; y la valencia, pero no la activación, se desarrollo de manera paralela al RPE en relación al efecto de la carga *feedback*/cognitiva.



JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.

En la actualidad la planificación del entrenamiento deportivo se construye a partir del concepto de “carga” con un carácter marcadamente fisiológico. Son numerosos los autores e investigadores en esta materia que consideran, como ya se ha explicado anteriormente, que la carga de entrenamiento, entendida como el estímulo que genera una ruptura de la homeostasis del organismo y las adaptaciones consecuentes para la vuelta al equilibrio, es de naturaleza múltiple y que los factores que contribuyen a la misma no se derivan sólo del esfuerzo físico, sino también de la carga mental que se deriva de éste y de los resultados, reforzantes o no, de la tarea que se está realizando. (Abbiss y Laursen, 2005; St. Clair Gibson et al., 2003; Parvizi y Damasio, 2001).

Esa lectura se basa tanto en factores fisiológicos periféricos tales como el rendimiento cardiovascular, la oclusión vascular muscular, la eficiencia en la utilización de oxígeno y nutrientes, la fatiga neuromuscular, y la presencia de metabolitos en el medio interno, como también en factores directamente implementados en el Sistema Nervioso Central que sirven para regular el esfuerzo y proteger al organismo de los daños que pudieran producirse por un sobreesfuerzo.

Conjuntamente, estos factores periféricos y centrales derivados del esfuerzo contribuyen a la sensación subjetiva del esfuerzo. Pero, junto con ellos, existen factores psicológicos que también contribuyen a ella. Por ejemplo, se ha observado que a igualdad de esfuerzo físico realizado, la sensación de esfuerzo es mayor cuanto mayor es el tiempo estimado por el participante hasta el fin de la tarea (ver



Rejeski y Ribisil, 1980), o que el estado de fatiga y su tolerancia pueden modificarse mediante hipnosis (Williamson et al., 2001).

Para muchos deportistas y entrenadores resulta evidente que uno de los factores psicológicos que contribuye a la fatiga es la carga mental derivada de la práctica de ciertas modalidades deportivas. Por ejemplo, observaciones informales propias nos muestran que los jugadores de balonmano, baloncesto y fútbol cuya posición en la cancha requiere una mayor implicación en el juego estratégico y la toma de decisiones, acusan más la fatiga. Al respecto, mostrar también las declaraciones del entrenador de fútbol Mourinho, J. tomado de Olivera, Amieiro, Resende y Barreto (2007) donde expone que una de las cosas que hacen que el entrenamiento sea más intenso es la concentración decisional exigida, generando esta una fatiga más importante en el futbolista que la propiamente física. A pesar de dicha evidencia, no existen estudios controlados previos que intenten cuantificar el efecto de la carga mental en la fatiga percibida.

Nuestro objetivo es contribuir a la formulación de un modelo de fatiga que incluya la carga mental, albergando ésta las dimensiones cognitiva y emocional. La primera posibilidad es que la carga mental incremente las demandas metabólicas del cerebro (Fairclough y Houston, 2004) y que, por tanto, compita con el sistema músculo-esquelético por los recursos disponibles. La segunda posibilidad es que la carga mental interactúe con los mecanismos de lectura de la homeostasis antes comentados a nivel central (Ulmer, 1996), esto es, que la interacción carga mental-carga física sea propiamente neurocognitiva. Obviamente ambas posibilidades no son excluyentes, y el peso relativo de cada factor puede evaluarse midiendo



simultáneamente el efecto del esfuerzo físico y mental en el esfuerzo percibido subjetivamente, y en los índices fisiológicos de esfuerzo.

Para obtener la consecución de este objetivo lo primero que debemos plantearnos es una revisión del concepto de carga así como de la influencia de los factores mentales que incrementan su valor y favorecen la aparición de la fatiga. En la actualidad, la experimentación sobre los factores que influyen en la aparición de la fatiga y, como consecuencia, de la reducción de la capacidad para prolongar una actividad física, ha permitido establecer modelos explicativos diversos (serán comentado durante el desarrollo del texto), siendo, curiosamente, el modelo de la contribución psicológica/motivacional el menos desarrollado en la literatura.

Para St. Clair Gibson et al. (2003) la fatiga es una sensación consciente más que el resultado directo de uno o varios mecanismos fisiológicos. Estos autores entienden la fatiga como un estado emocional complejo cuyo origen tiene lugar en numerosos procesos fisiológicos y biomecánicos que reportan información aferente a las estructuras cerebrales que integran la información y generan la sensación de fatiga. No está claro si la sensación de fatiga tiene lugar en un área cerebral concreta, es el resultado de un proceso integrador que involucra a diferentes áreas cerebrales o es el resultado de la sincronización electrofisiológica de la actividad cerebral en áreas diversas.

Lo que se necesita para poder elaborar un modelo comprensivo de la fatiga que incluya también los factores psicológicos es un instrumento que permita evaluar el esfuerzo percibido que sirva de medida dependiente, para observar sobre ella los efectos combinados de distintos niveles de carga mental y distintos niveles de



esfuerzo físico. Los trabajos de Borg (Borg, 1982; Borg, 1982a; Borg, 1990) permitieron establecer las bases de la medición de la percepción subjetiva del esfuerzo. La escala diseñada por este autor ha sido, y sigue siendo utilizada en la investigación reciente, como medio para medir el impacto emocional generado por una carga de trabajo físico, y ha demostrado una buena validez ecológica.

Por tanto, podemos concluir que dada la importancia del concepto de carga de entrenamiento para poder planificar el proceso de construcción de las capacidades que condicionan el rendimiento deportivo, y debido a un predominio absoluto de las tendencias en planificación que se sustentan sobre la utilización de la carga exclusivamente fisiológica, se pretende investigar la influencia de la carga mental sobre el rendimiento físico (tiempo hasta el agotamiento), sobre los parámetros fisiológicos (VO_2), sobre el esfuerzo percibido (Escala de Borg) y la dinámica emocional (SAM: valencia y activación) del deportista durante una prueba de esfuerzo máximo en cicloergómetro.

Este estudio se ha dividido en una primera parte teórica y una segunda parte experimental en donde se exponen los dos experimentos llevados a cabo.

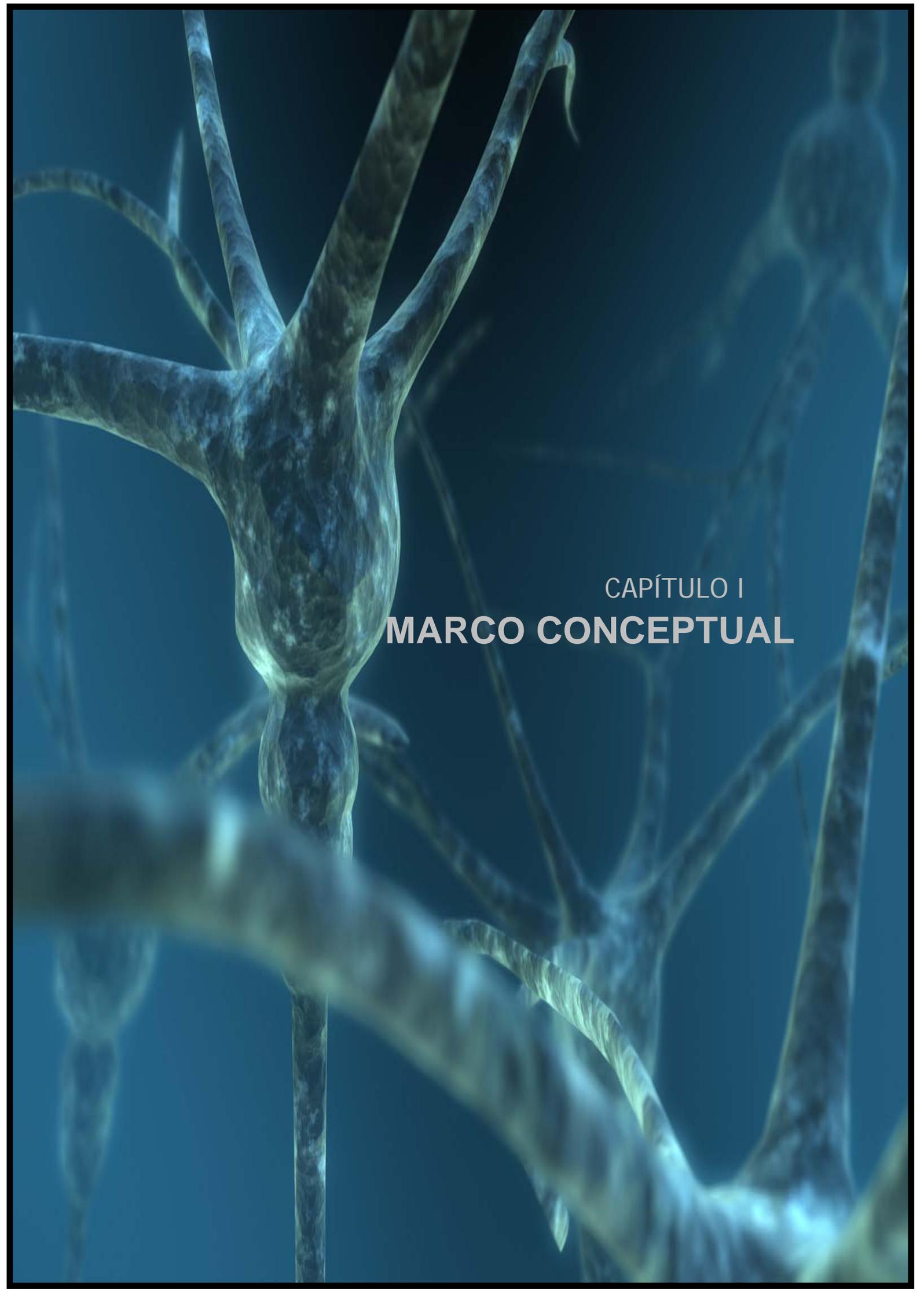
La parte teórica se ha dividido a su vez en seis apartados. En el primero se realiza una revisión del concepto de fatiga, exponiéndose las diferentes perspectivas en función de la disciplina científica que la estudia. En el segundo, se muestra y se explica brevemente los distintos modelos explicativos de la fatiga. En el tercero se aborda a la fatiga como un estado motivacional subjetivo, uno de los pilares de nuestro estudio. En el cuarto, se explica el significado de la carga mental y de sus dos dimensiones cognitiva y emocional. En el quinto, se muestran las



tareas de carga que se han empleado en el presente estudio. Y en el último, se exponen las medidas que se han empleado para el desarrollo de las dos investigaciones.

En la parte experimental se muestran las dos investigaciones que se han llevado a cabo, donde se ha buscado cuantificar el grado en que la carga de trabajo mental contribuye a la percepción del esfuerzo durante un ejercicio extenuante y su posterior recuperación, y el análisis de la dinámica emocional que resulta de los efectos combinados de la carga física y mental.

Finalmente se ha aportado un sumario de los resultados y una discusión de los mismos junto a unas conclusiones de los resultados obtenidos. El documento finaliza con las aplicaciones prácticas de los resultados, las futuras líneas de investigación que se han suscitado para el futuro y las limitaciones encontradas durante el desarrollo del trabajo



CAPÍTULO I
MARCO CONCEPTUAL



1. CONCEPTO DE FATIGA

Resulta difícil definir con exactitud qué es la fatiga, debido a la complejidad de los mecanismos que la producen y a las múltiples causas que provocan su aparición (Shen, Barbera y Shapiro, 2006), tal y como ilustran las numerosas investigaciones que sobre el tema existen en la literatura especializada. (Vøllestad, 1997; Evans y Lambert, 2007; Miller, 2002; Komi, 2000; Fitts, 2008; Nicol, Avela, y Komi, 2006; Walsh, 2000; Kahol et al., 2008; Marcora, Staiano, y Manning, 2009; Meeusen, Watson, Hasegawa, Roelands, y Piacentini, 2006); Boksem, Meijman, y Lorist, 2006; Lorist et al., 2009; Gandevia, 2001).

Abbiss y Laursen, (2005, p. 867) comentan al respecto que:

“Históricamente las numerosas disciplinas que conforman las ciencias del deporte han definido la fatiga según se adapte mejor a las necesidades de cada disciplina individual. Por ejemplo un biomecánico puede ver la fatiga como un decremento en la fuerza de salida de un músculo, un psicólogo puede ver la fatiga como la “sensación” de cansancio, mientras que un fisiólogo puede definirla como el fallo de un sistema fisiológico específico.”

Es por este motivo que la definición de la fatiga ha respondido a los múltiples enfoques desde los que se ha abordado su análisis: médico, fisiológico, biomecánico y psicológico. (Abbiss y Laursen, 2005).

Independientemente del enfoque preferido para su explicación, la fatiga se puede entender como una sensación abrumadora de cansancio, de falta de energía



y de agotamiento físico asociado con trastornos del funcionamiento cognitivo, lo que se debe distinguir de los síntomas de la depresión, que incluyen la falta de autoestima, la tristeza y la desesperación o desesperanza (Shen et al., 2006). Desde un punto de vista más reduccionista se puede definir como la incapacidad de sostener la producción de un esfuerzo físico más allá de un determinado límite de intensidad y tiempo. En términos generales, la fatiga es entendida por algunos autores como un mecanismo de defensa orientado a prevenir la lesión o la muerte durante la práctica de la actividad física (Noakes, 2000a; Kay y Marino, 2000; Pinniger et al., 2000; Gabriel et al., 2001). De manera que la sensación de cansancio o agotamiento desempeña un rol fundamental para el mantenimiento de la integridad física del participante. (Ament y Verkerke, 2009a).

Por tanto, podemos entender a la fatiga como un fenómeno complejo, multicausal y psicobiológico, cuya función es impedir el mantenimiento, durante la práctica de un ejercicio, de un determinado nivel de esfuerzo que pueda causar daño en el organismo (Gabriel, Basford, y An, 2001; Kay y Marino, 2000; Noakes, 2000b; Pinniger, Steele, y Groeller, 2000). Ahora bien, para todos los interesados en el rendimiento físico, la complejidad radica en poder explicar las causas que generan dicha incapacidad o limitación.

Como hemos comentado previamente, la naturaleza multicausal de la fatiga despierta interés en diferentes disciplinas científicas, entre las que destacamos la biomecánica, la fisiología y la psicología (**Figura 1**). De estas tres, las que mayor interés presentan son la psicología y la fisiología. La segunda abarca su naturaleza



objetiva, mientras que la primera estudia su naturaleza subjetiva y mental. (Ament y Verkerke, 2009a)

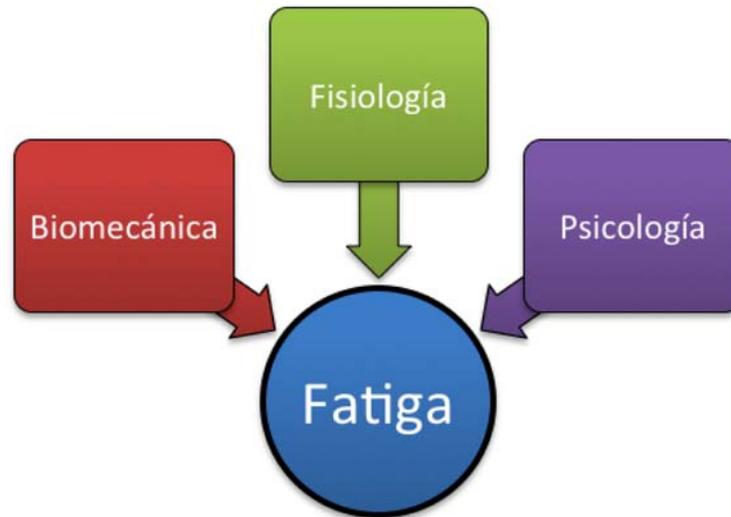


Figura 1: Principales disciplinas científicas que han estudiado la naturaleza de la fatiga

1.1. Enfoque Biomecánico

Autores como Rahnama, Reilly, Lees, y Graham-Smith, (2003) la definen como una reducción de la fuerza o potencia máxima que se asocia a un ejercicio sostenido en el tiempo y que se refleja como una disminución en el rendimiento. A menudo, el grado de fatiga de un músculo se caracteriza tanto por el tiempo en que la fuerza es requerida como por el mantenimiento de la potencia de salida, o por el grado en que la fuerza o potencia se reducen en un periodo de tiempo determinado (Allman y Rice, 2002).

Podemos, por tanto concretar, que para un biomecánico la fatiga se considera como una reducción de la fuerza ejercida por un músculo (Millet, Millet, Lattier,



Maffioletti, y Candau, 2003) que afecta a los movimientos segmentarios frecuentemente usados en los deportes (Nicol, Komi, y Marconnet, 1991a; Nicol, Komi, y Marconnet, 1991b; Forestier y Nougier, 1998; Rodacki, Fowler, y Bennett, 2001; Madigan y Pidcoe, 2003) existiendo efectos significativos sobre la calidad de ejecución de elementos técnicos (Forestier y Nougier, 1998; Rodacki et al., 2001; Nicol, Komi, y Marconnet, 1991a; Nicol, Komi, y Marconnet, 1991b).

1.2. Enfoque Fisiológico

De todas las disciplinas científicas que conforman las ciencias de la actividad física y el deporte, la que más ha abordado este concepto ha sido la fisiología, siendo muy fácil encontrar estudios ilustrativos dentro de este ámbito. En este sentido, Berger, McCutcheon, Soust, Walker, y Wilkinson (1991) definen la fatiga como un fallo funcional del organismo, que se refleja en una disminución del rendimiento (Edwards, 1981). Tal fallo, desde la fisiología, es generalmente atribuido al excesivo consumo de energía, al igual que a la depleción de hormonas, neurotransmisores o substratos esenciales para la función fisiológica (Aaronson et al., 1999).

Pero a pesar de esto, la mayoría de investigaciones se centra en aspectos musculares, es decir, entienden la fatiga como una pérdida de la capacidad máxima de generar fuerza (Bigland-Ritchie, Furbush, y Woods, 1986; Bigland-Ritchie, Cafarelli, y Vollestad, 1986; Vollestad, Sejersted, Bahr, Woods, y Bigland-Ritchie, 1988; Gandevia, Enoka, McComas, Stuart, y Thomas, 1995; Gandevia et al., 1995; Gandevia, 2001). Algunos autores como Vøllestad (1997) añaden que, para las



contracciones dinámicas, se pueden incluir como parte de la definición de la fatiga una pérdida de la potencia de salida. No difiriendo, esta definición, mucho del enfoque que se hace desde la biomecánica.

Partiendo de la misma línea, López-Chicharro y Fernández (2006) la definen como la disminución de la capacidad para generar fuerza máxima y/o potencia máxima, independientemente de que la intensidad del esfuerzo pueda, o no, ser mantenida. Mientras que Astrand y Rhodahl (1985) la conciben como “la reducción en la capacidad de producción de fuerza, medida, por ejemplo en una máxima contracción voluntaria (MCV) o en un tétanos provocado eléctricamente” (p.344), o también como “un mecanismo de advertencia, que previene un exceso del organismo o parte de éste, pudiendo ser general y sistémica o bien local y, por regla general, de naturaleza muscular” (p. 344).

Pero sabemos que la fatiga, no es un concepto específico sino que es de naturaleza general denotando un deterioro agudo del rendimiento, que incluye tanto un aumento en la percepción del esfuerzo necesario para ejercer una fuerza deseada como una eventual incapacidad para producir esta fuerza (Enoka y Stuart, 1992).

Por ello, a pesar de que estas definiciones tienen un marcado enfoque fisiológico, ya hemos hecho mención en este texto que la fatiga tenemos que entenderla como un mecanismo de seguridad encaminado a la prevención de lesiones o la muerte que puedan ocurrir durante el ejercicio. Y es por este motivo que sea importante remarcar la consideración de la fatiga como *“un estado funcional de significación protectora, transitoria y reversible, expresión de una*



respuesta de índole homeostática, a través de la cual se impone de manera ineludible la necesidad de cesar o, cuando menos, reducir la magnitud del esfuerzo o la potencia del trabajo que se está efectuando” (Barbany, 2002; p.173).

Con lo expuesto, se entiende que la explicación fisiológica de la fatiga debe ir mucho más allá del análisis de los aspectos musculares, siendo por tanto necesario tener presente el efecto que el ejercicio produce sobre otras estructuras.

Concretamente, estas estructuras se dividen en tres grandes grupos: las unidades motoras, el medio ambiente interno del organismo y el sistema nervioso central. El efecto sobre estas estructuras se debe a unas causas que contribuyen a la aparición de la fatiga (**Figura 2**).

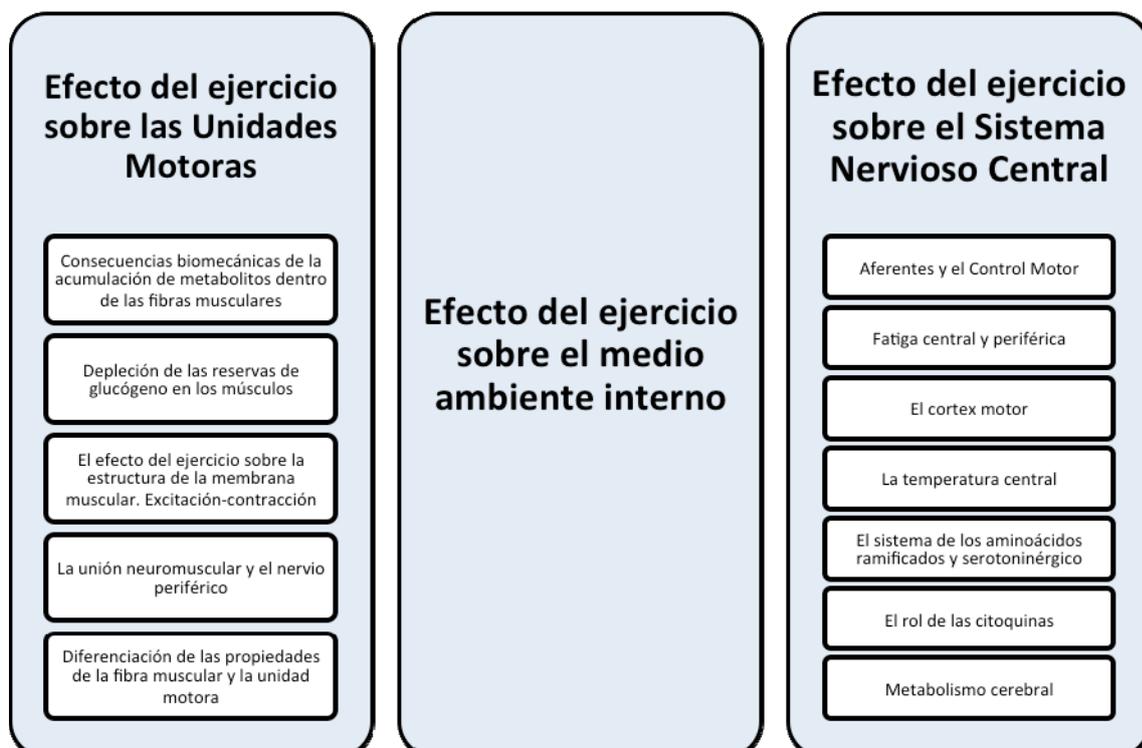


Figura 2. Estructuras afectadas y causas que pueden contribuir a la aparición de la fatiga. (Adaptada de Ament & Verkerke, 2009a)



Sin perder este enfoque, autores como López-Chicharro y Fernández (2006) entienden que la fatiga puede resultar de la alteración de cualquiera de los procesos de los que depende la contracción muscular. Constituyendo estos procesos una cadena que se origina en el sistema nervioso central (SNC) y finaliza en los músculos esqueléticos, pudiendo la fatiga aparecer como consecuencia de la alteración simultánea de dos o más de estos procesos (**Figura 3**)

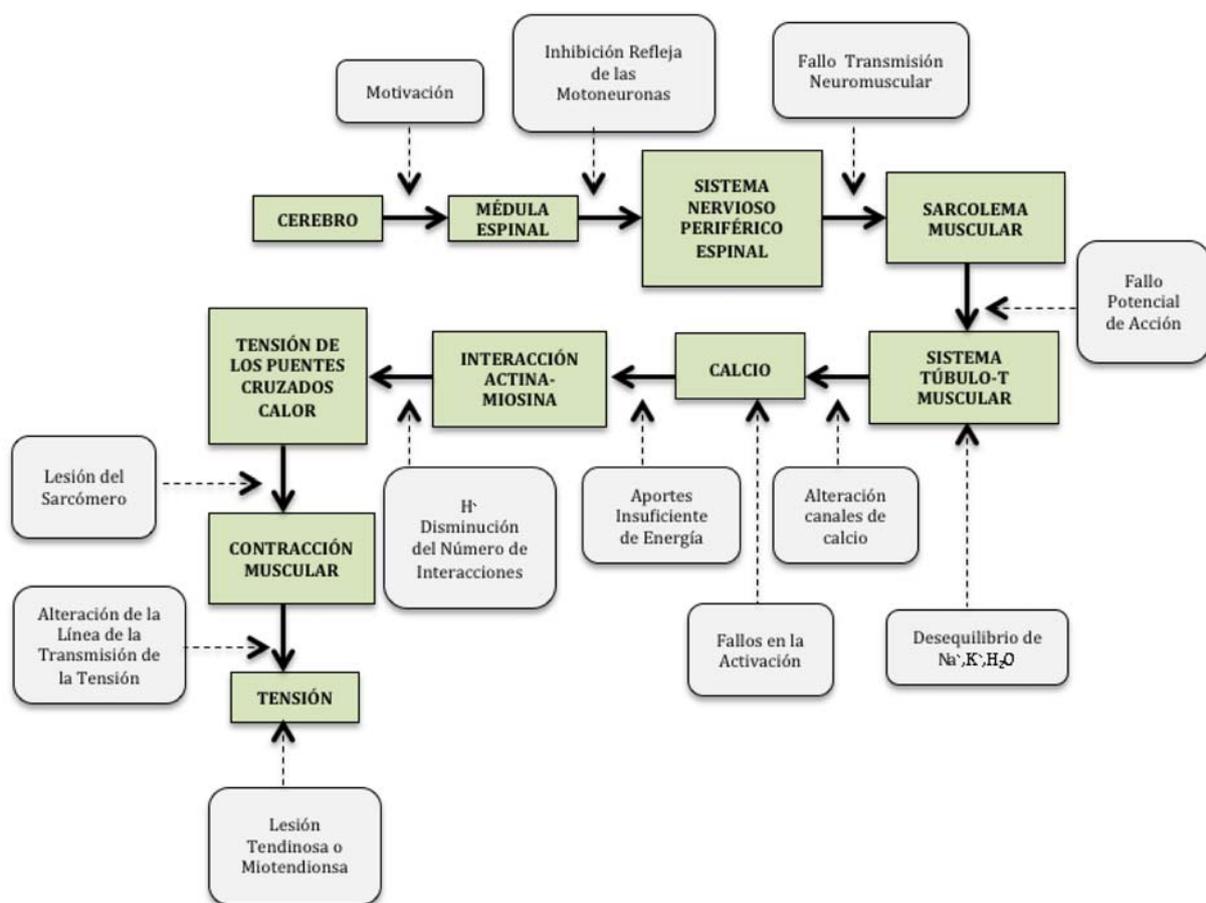


Figura 3: Cadena de procesos fisiológicos que suceden entre el SNC y el músculo durante la contracción muscular. (Adaptada de López-Chicharro & Fernández, 2006)



Como se puede ver claramente en la anterior figura, esta definición incluye mecanismos más allá de los procesos periféricos citados. De hecho, este enfoque también lo comparte autores como Barbany (2002), que distingue entre la fatiga fruto de un fallo en la activación *central*, y la fatiga *periférica*.

Por un lado, la **fatiga periférica** es debida a la afectación de las estructuras que intervienen en la contracción muscular, que están por debajo de la placa motora y que limitan la contracción muscular (por ejemplo, el agotamiento de los recursos necesarios para la contracción de las fibras musculares). Es decir, siempre y cuando las alteraciones de los procesos de los que depende la contracción muscular se produzcan por alteraciones en el funcionamiento del sarcolema o de cualquiera de los procesos que acontecen en el interior de las fibras musculares. Mientras que la **fatiga central**, aparece cuando se altera alguno o varios de los procesos que intervienen desde que se elabora la orden motora a nivel cortical hasta que el estímulo llega al sarcolema (López-Chicharro y Fernández, 2006).

Así, la fatiga central se basa en el rendimiento del sistema nervioso para recibir información sobre la intensidad y duración del esfuerzo ejercido por cualquier medio directo o indirecto, y para programar los comandos necesarios para regular, reducir o interrumpir el ejercicio. En ese sentido, la fatiga central está estrechamente vinculada al concepto de “**gobernador central**” (Noakes et al., 2001; Noakes y Gibson, 2004a; Noakes y Gibson, 2004b; Noakes, St. Clair Gibson, y Lambert, 2004; Noakes, 2007a; Noakes, 2007b; Ulmer, 1996), descrito como el conjunto, funcionalmente diferenciable, de las estructuras del cerebro responsable de las siguientes acciones (**Figura 4**):



1. La lectura e integración (no lineal) de diferentes fuentes de información, incluyendo los índices fisiológicos de esfuerzo físico.
2. Proporcionar la información necesaria para la regulación del esfuerzo.
3. La regulación realmente responsable de tal esfuerzo.

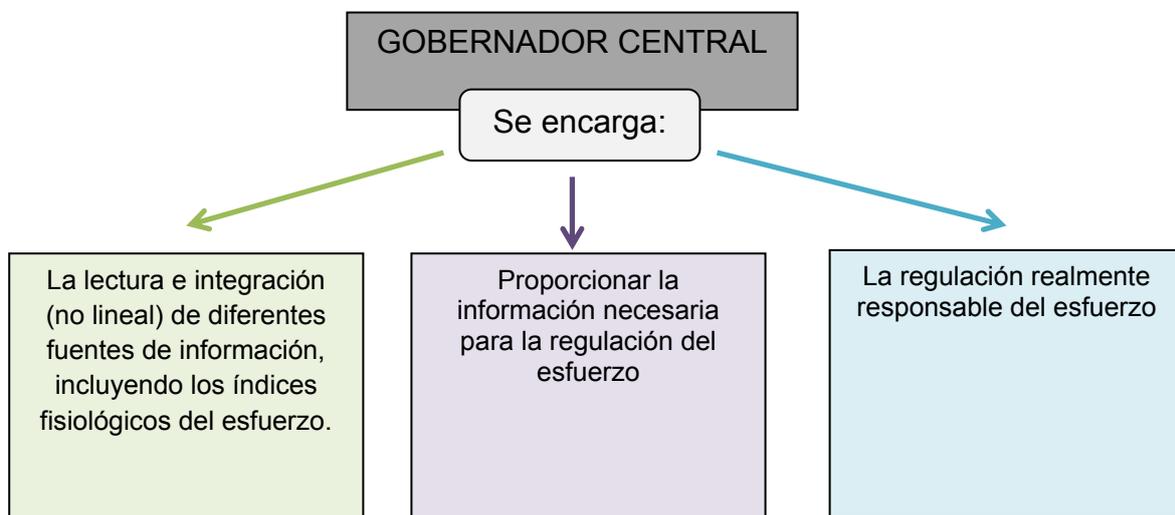


Figura 4. Acciones del Gobernador Central en la fatiga

Estas fuentes son numerosas, y uno de los méritos de este enfoque es precisamente proporcionar un meta-modelo de la enumeración de los mecanismos que desempeñan en el organismo un papel importante en la aparición de la fatiga.

Este planteamiento nos lleva a la necesidad de que se haga mención a la aparición de la fatiga, desde el punto de vista fisiológico, como fruto de factores centrales y periféricos (Gibson y Edwards, 1985).



Los posibles mecanismos fisiológicos que surgen en estos dos niveles de aparición de la fatiga lo resumen autores como Ament y Verkerke (2009a). Para la **fatiga periférica** tenemos mecanismos como (**Figura 5**):

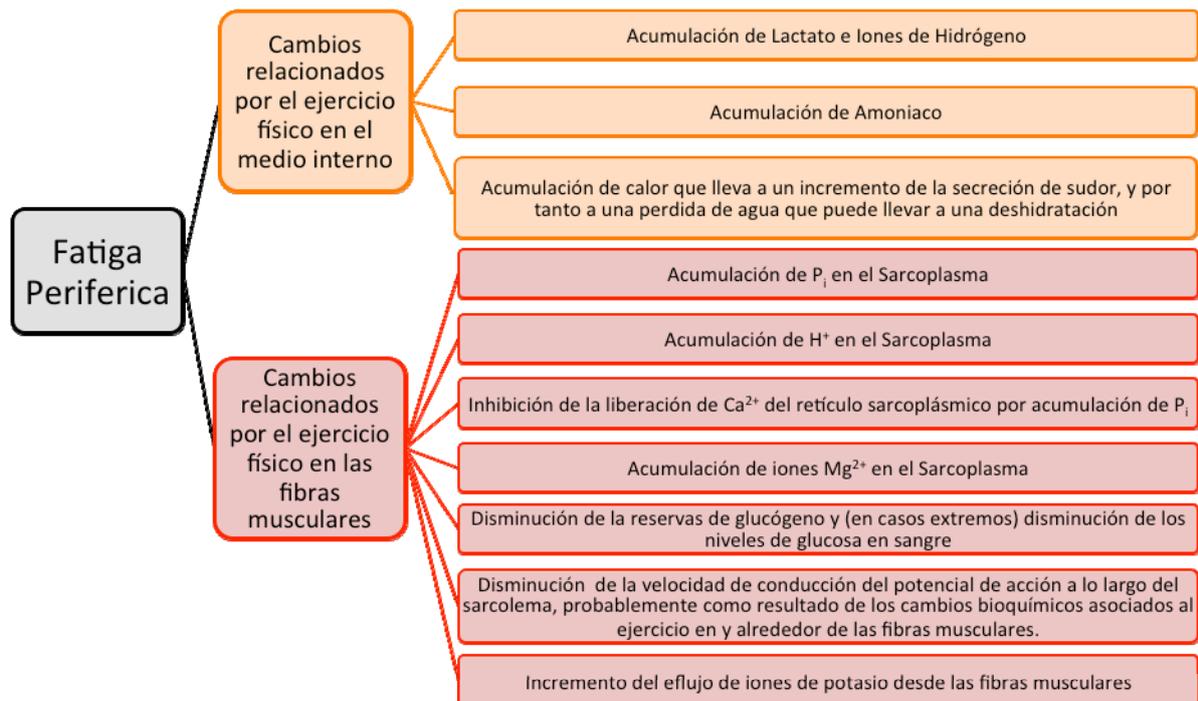


Figura 5: Posibles mecanismos fisiológicos de las fatiga periférica

Con el objeto de desarrollar con un poco más de detalle algunos de estos factores fisiológicos periféricos que van sucediéndose durante la aparición de la fatiga, seguiremos las aportaciones que hacen al respecto los fisiólogos Willmore y Costill (2005).

Según estos autores la fatiga aparece fruto de los siguientes factores periféricos:



-
- i. Depleción de los sistemas energéticos (ATP-PC, glucólisis y oxidación):
- a. *Agotamiento de fosfocreatina*: estudios de biopsias musculares de músculos humanos han demostrado que durante la ejecución de contracciones máximas repetidas, la fatiga coincide con el agotamiento de la creatina de fosfato (PC).
 - b. *Agotamiento de glucógeno muscular, sanguíneo y hepático*, llegando a ser el glucógeno muscular un factor limitante incluso durante la realización de un esfuerzo suave.
- ii. La acumulación de desechos metabólicos. La acumulación de H^+ generados por el ácido láctico produce una reducción del PH muscular, lo cual dificulta los procesos celulares que producen energía y la contracción muscular.
- i. Fallos en la transmisión neuromuscular. Algunos investigadores hablan de que la fatiga puede tener su origen en la placa motora como resultado de la no transmisión del impulso nervioso a las fibras musculares. Sin embargo, otros defienden que la fatiga puede deberse a la retención de calcio dentro de los túbulos T, lo que reduciría la cantidad de calcio disponible para la contracción muscular.
- ii. La insuficiencia del mecanismo contráctil de las fibras. En esta misma línea reduccionista, Fernández (2001) defiende que la aparición de la fatiga durante el ejercicio físico debe ser interpretada como la



incapacidad del músculo o del organismo, en conjunto, para mantener la misma intensidad de esfuerzo. La fatiga se entiende pues como un mecanismo de carácter defensivo, expresión del fracaso de los dispositivos orgánicos para adaptarse a las condiciones requeridas, cuyo objetivo es evitar las posibles consecuencias adversas derivadas de una práctica físico-deportiva desmesurada o excesiva.

En cuanto a la **fatiga central**, como ya se ha expuesto anteriormente, esta aparece cuando se altera alguno o varios de los procesos que intervienen desde que se elabora la orden motora a nivel cortical hasta que el estímulo llega al sarcolema (López y Fernández, 2006). Ament y Verkerke (2009b) resumen los posibles mecanismos fisiológicos de la fatiga central en (**Figura 6**):

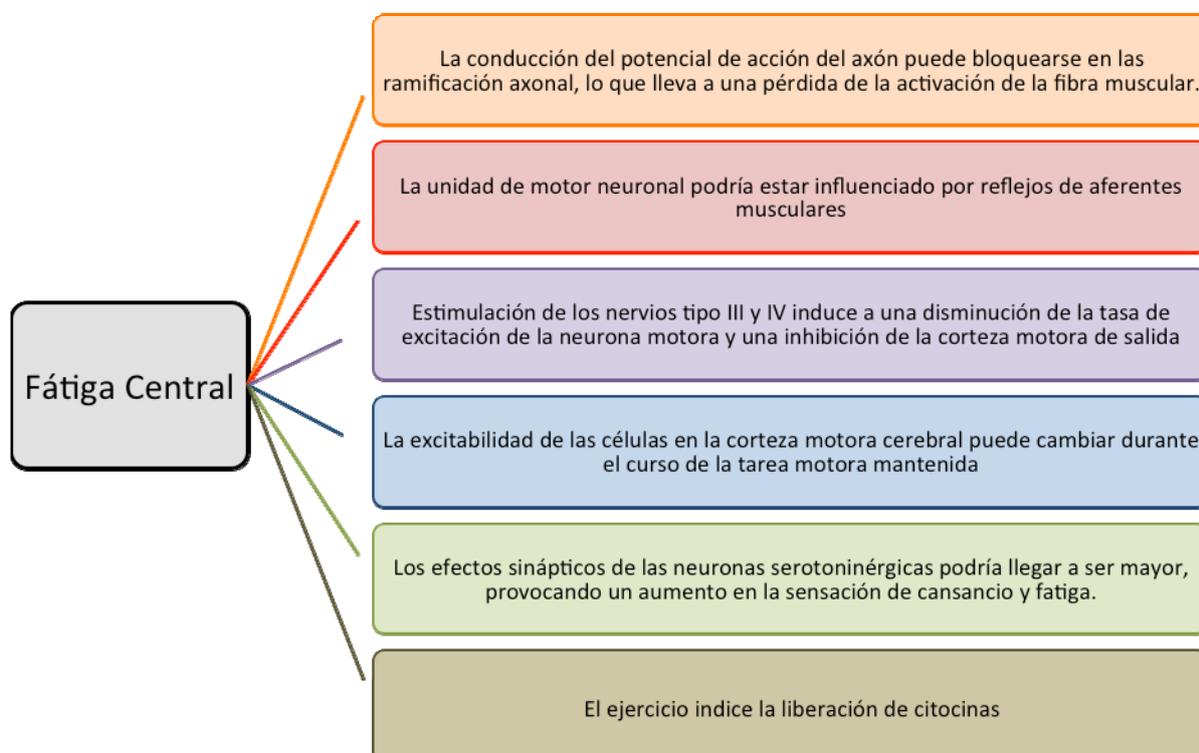


Figura 6: Posibles mecanismos fisiológicos de la fatiga central



De esta manera se conceptualiza la fatiga fisiológica atendiendo a los cambios que ocurren en cualquier lugar de la cadena entre el cerebro y la fibra muscular, asociándose la fatiga periférica a los efectos producidos en las unidades motoras, mientras que la fatiga central a los eventos que ocurren en el cerebro y médula espinal.

Al respecto, Waller, citado en Edwards (1981, p. 483), planteó la siguiente cuestión:

"La pregunta es: ¿la fatiga normal voluntaria depende de los gastos centrales de energía, o de los gastos de energía periférica, o de ambos factores conjuntamente; y si depende de los dos, en qué proporción de cada uno? La forma de esta cuestión se justifica de la siguiente manera; un esfuerzo máximo voluntario puede disminuirse por: 1) el declive de la motilidad cerebral, 2) por el sub-bloque central o espinal; Central, 3) por el bloque de la placa motora terminal, y 4) por la reducción de la energía muscular periférica. "

Actualmente, algunos fisiólogos como López-Chicharro y Fernández (2006) ya hablan de la existencia de una fatiga de carácter subjetiva que es percibida por el participante gracias a la información sensitiva que recibe el sistema nervioso y la memoria sensitiva. El ser humano es capaz de elaborar un constructo mental consciente que resulta de la combinación de múltiples factores neurofisiológicos y neuropsicológicos, que definen como sensación de fatiga (**Figura 9**).

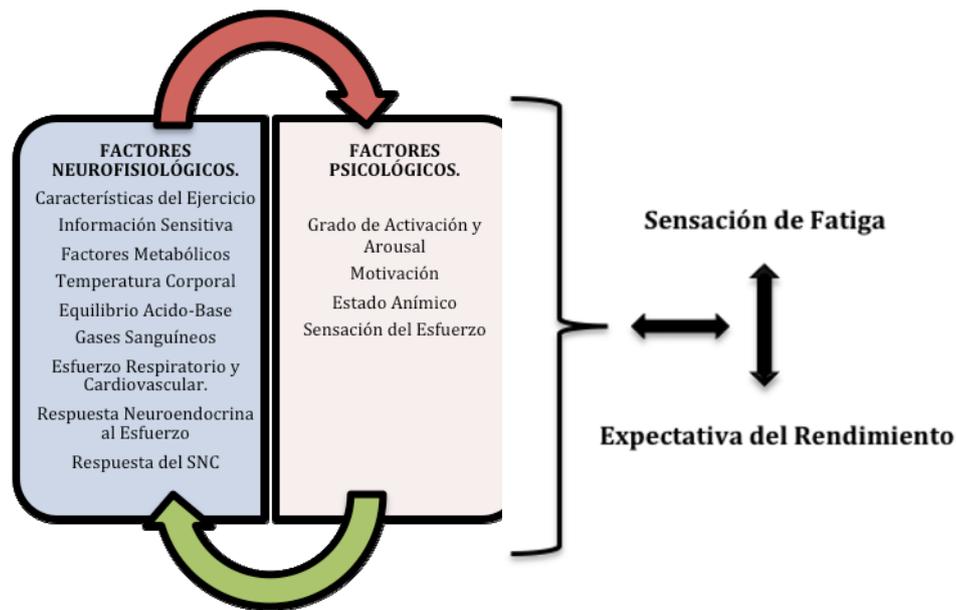


Figura 7: Factores implicados en la sensación de fatiga. (Adaptada de López-Chicharro & Fernández, 2006)

Esta sensación de fatiga depende de la expectativa del rendimiento (predicción basada en la memoria acerca de la fuerza o potencia muscular que se debería ser capaz de desarrollar); de la información sensitiva proporcionada por los propioceptores, por los termorreceptores, nociceptores y receptores de presión; y de factores psicológicos como el grado de activación, motivación, estado anímico, miedo, recompensa,... (López-Chicharro y Fernández, 2006). De manera que se asume que un mismo nivel de fatiga objetiva, es decir, un mismo nivel de pérdida de fuerza o potencia muscular, puede originar sensaciones de fatiga diferentes.

Podemos decir que es un mecanismo que influye directamente en el sistema nervioso central y en el reclutamiento de las unidades motoras, estructuras que conforman el sistema neuromuscular. Y que este sistema precisa, para su correcto funcionamiento, estar relacionado con el resto de sistemas del organismo lo que, a



su vez, requiere un adecuado equilibrio físico y químico. Este equilibrio depende de la interacción de muchos de los órganos que conforman el cuerpo, lo que supone que si el ejercicio afecta al sistema neuromuscular también afectará al resto del medio interno. Entre éstos se encuentran los que se encargan de procesar las emociones, que desempeñan un rol esencial en la regulación del ejercicio y en la aparición, más tarde o más temprano, de la sensación de extenuación o fatiga

Podríamos concluir, por tanto, con que el término de fatiga desde esta perspectiva, se puede definir como el momento en que un participante es incapaz de mantener la contracción muscular requerida o de hacer frente a la carga de trabajo (Ament y Verkerke, 2009a), encontrándose este momento directamente influenciado por la sensación de esfuerzo que acompaña al desarrollo de la actividad.

1.3. Enfoque Psicológico

Para algunos autores como Kayser (2003) hay situaciones experimentales en las que no es posible explicar los límites de la resistencia con el paradigma clásico (explicados con argumentos de naturaleza metabólica), siendo necesario, por tanto, buscar una alternativa (Epstein, Jones, y Killian, 2000; Noakes, 2000b; Noakes, Peltonen, y Rusko, 2001; Walsh, 2000). Sirvan como ejemplo los participantes sedentarios que cesan de manera voluntaria la realización de una prueba de esfuerzo incremental, fruto de la percepción de agotamiento pese a no haber alcanzado el límite de su capacidad metabólica máxima y no existir evidencia de fatiga muscular.



Desde esta vertiente puramente psicológica, cualquier ejercicio voluntario comienza y termina en el cerebro. El ejercicio se entiende como un reclutamiento y desreclutamiento de las fibras musculares en el espacio y el tiempo, siendo ambas acciones el resultado de una modulación de la orden motora. El esfuerzo voluntario (el reclutamiento) comienza con una decisión consciente por parte del participante pero, por el contrario, no siempre es consciente la que obliga al desreclutamiento de las unidades motoras. Esto ocurre cuando se percibe una sensación de esfuerzo 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 percepción del esfuerzo como factor limitante del ejercicio. (Kayser, 2003)

Se puede pues concretar que un psicólogo definiría 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). 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).

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 (como el que se empleó en la presente tesis doctoral), coincide con el de la verdadera capacidad máxima metabólica y cardiovascular del participante.

Podríamos concluir este enfoque afirmando que un psicólogo verá la fatiga como una sensación de cansancio (Abbiss y Laursen, 2005) y explicará 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 sub-corticales (Kayser, 2003). Es en este punto en que el modelo del gobernador central de Noakes (2000b), que será explicado más adelante, cobra sentido.



2. MODELOS EXPLICATIVOS DE LA FATIGA

El estudio de la fatiga ha sido abordado fundamentalmente con la intención de averiguar las causas que la producen. Estos estudios, según nuestro punto de vista, se han sustentado en modelos lineales que han producido sesgos en la interpretación de los datos y en las conclusiones obtenidas.

Recientemente, Abbiss y Laursen (2005) han realizado una completa revisión de los distintos modelos lineales de fatiga, entre los que se incluyen: el modelo *cardiovascular/anaeróbico*, el de *suministro/agotamiento de energía*, el *neuromuscular*, el de *trauma muscular*, el *biomecánico*, el de *termorregulación* y, finalmente, el modelo *motivacional/psicológico*, que se centra en la influencia de factores de carácter intrapsicológico, como las expectativas de rendimiento o de esfuerzo requerido (**Figura 17**).

En este apartado llevaremos a cabo un breve resumen de cada uno de estos modelos, teniendo como guía para su elaboración el estudio de los citados autores.

2.1. Modelo Cardiovascular/Anaeróbico

Según este modelo la fatiga aparece cuando durante el ejercicio queda limitada la capacidad del corazón para suministrar suficiente sangre oxigenada a los músculos implicados en la tarea, o la capacidad del sistema cardiovascular para eliminar los metabolitos acumulados (**Figura 8**). Según Noakes (2000b) este modelo sostiene que la capacidad de rendimiento está determinada por la capacidad del corazón del atleta para bombear volúmenes inusualmente grandes



de sangre y oxígeno a los músculos, permitiéndoles lograr mayores tasas de trabajo, antes de que aparezca la anaerobiosis muscular. Esto supone que una mayor resistencia a la fatiga vendría definida como una mayor capacidad de consumo de oxígeno por parte del organismo ($VO_2\text{max}$), fruto de un mayor incremento de la capacidad máxima del corazón para bombear sangre, junto a una mayor capacidad de los músculos para consumir el oxígeno transportado (aumento de la capilarización,...). Al aumentar el $VO_2\text{max}$ se produce un retraso en la aparición de la anaerobiosis muscular y una reducción de la concentración de lactato que va a suponer un ascenso del umbral aeróbico, aspecto que se traduce en una mejora de la capacidad para resistir un ejercicio intenso y como consecuencia un retraso en la aparición de la fatiga (Noakes, 2000b).

En nuestra opinión este modelo presenta algunas deficiencias, ya que no puede explicar todos los tipos de fatiga existentes. Una de ellas es que si la capacidad del bombeo del corazón está verdaderamente limitando a la ejercitación del músculo esquelético, será el propio corazón (músculo cardíaco) el primer órgano afectado por este postulado de deficiencia de oxígeno (Bassett Jr. y Howley, 1997). Es decir, el propio corazón es el primer órgano en verse afectado por un aumento del gasto cardíaco máximo. Hill, en Noakes (2000a) escribe: *“Es cierto que la capacidad del cuerpo para el ejercicio muscular depende en gran medida, si no principalmente, de la capacidad y gasto del corazón. Obviamente sería muy peligroso para el órgano poder, tal y como el músculo esquelético es capaz, agotarse completa y rápidamente, al llevar a cabo ejercicios excediendo su capacidad de recuperación... Cuando el oxígeno aportado resulta inadecuado es probable que el corazón*



comience rápidamente a disminuir su gasto cardíaco, y por lo tanto evitar el agotamiento...”

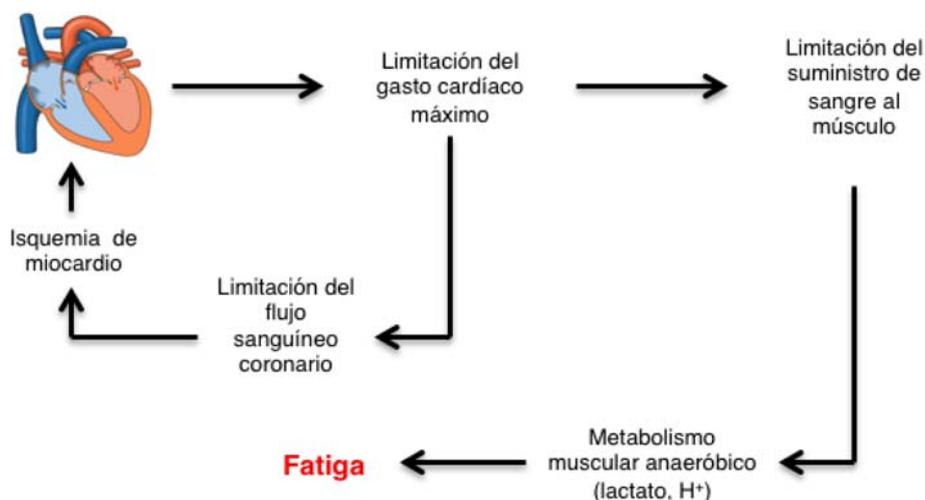


Figura 8: Modelo Cardiovascular/Anaeróbico. (Adaptada de Noakes, 2000)

Cualquier intervención que reduzca la capacidad de bombeo del corazón o le demande de alguna manera sostener un esfuerzo cardíaco incrementado por el ejercicio muscular, sin ningún incremento del gasto cardíaco ni del flujo sanguíneo (como teóricamente ocurre cuando se desarrolla el “Fenómeno de Meseta”), pone en peligro el propio aporte de sangre al corazón. Cualquier reducción del flujo sanguíneo reducirá en consecuencia la capacidad de bombeo del corazón, induciendo, por lo tanto, un ciclo vicioso de isquemia miocárdica progresiva e irreversible (Noakes, 2000a). Ante todo esto, parece lógico pensar que el diseño humano debe incluir controles para proteger el corazón de este posible fenómeno (Figura 9).



Como podemos ver, este modelo presenta fallos o deficiencias, ya que predice que una “meseta” en el gasto cardíaco debe desarrollarse antes de que la anaerobiosis del músculo esquelético pueda comenzar a ocurrir. Pero cualquier “meseta” en el gasto cardíaco requiere que la isquemia cardíaca esté presente también a causa de la meseta (de acuerdo a la teoría de la limitación anaeróbica de la función muscular) o como resultado de ella, ya que el gasto cardíaco determina tanto el flujo sanguíneo coronario como muscular (músculo esquelético). Como la isquemia miocárdica no ha sido nunca demostrada que se desarrolle durante un ejercicio máximo incremental en persona sanas, parecería poco probable que la anaerobiosis del músculo esquelético pudiera desarrollarse durante un esfuerzo progresivo hasta el agotamiento (Noakes, 1998, en Noakes, 2000a). Más bien, podría ser que la fatiga durante un esfuerzo máximo de corta duración formase parte de un proceso de regulación neuronal que previniese el desarrollo de una isquemia miocárdica durante el esfuerzo máximo.



Figura 9: Influencia del Gobernador sobre el Modelo Cardiovascular/Anaeróbico. (Adaptada de Noakes, 2000)



Este modelo del gobernador, postulado por Hill et al. (1924), podría ser activado por la limitación de oxígeno al músculo cardíaco, que enviaría información al cerebro para reducir la activación de la ejercitación del músculo esquelético por parte del córtex motor del cerebro (Noakes, 2000a).

Disponemos de un mecanismo que está diseñado para proteger al corazón de una isquemia miocárdica, que está solo indirectamente determinado por la tasa actual máxima de trabajo (pico) obtenida durante un ejercicio máximo. Este pico de trabajo alcanzado dependerá de la “calidad” de los músculos esqueléticos y cardíacos. Esta hipótesis podría ser llamada, según Noakes (2000a), el Modelo Cardiovascular/Neuronal Reclutamiento de Ejercicio Fisiológico y Rendimiento Atlético.

2.2. Modelo de Suministro/Agotamiento de Energía

El modelo de **suministro/agotamiento de energía**, relacionado con el anterior, pretende explicar la fatiga como fruto de un inadecuado suministro de ATP por los sistemas de energía a los músculos implicados en la tarea, y por el agotamiento de los sustratos endógenos (**Figura 10**). En otras palabras, este modelo propone que la fatiga durante ejercicios de alta intensidad puede, alternativamente, ser el resultado de la incapacidad de suministrar otro sustrato (ATP) “a buen precio”, es decir, lo suficientemente rápido como para mantener el ejercicio (Noakes, 2000a), o también fruto del resultado directo de la depleción de los sustratos de combustibles,



es decir, glucógeno muscular y hepático, glucosa en sangre y fosfocreatina (Abbiss y Laursen, 2005; Coyle y Montain, 1992b; Coyle y Montain, 1992a; St. Clair Gibson et al., 2003)

Cuando el ejercicio es prolongado en el tiempo, las demandas de calorías son extremas, requiriendo de manera significativa la contribución del metabolismo de los carbohidratos, lípidos y proteínas. Esto significa que una de las adaptaciones más importantes que tienen lugar como fruto de las mejoras producidas por un entrenamiento bien diseñado, es la capacidad para oxidar lípidos. Este incremento en la oxidación de grasas (lípidos) supone un elevado beneficio para el deportista al evitar el consumo de los carbohidratos como medio para obtener energía, retrasando la depleción de los mismos y, de manera consecuente, la aparición de la fatiga.

?

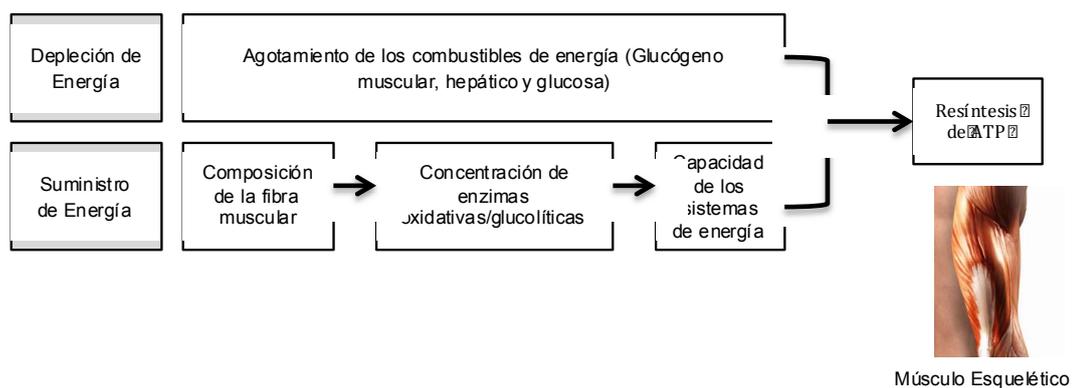


Figura 10: Modelo de Suministro/Agotamiento de Energía. (Adaptada de Abbiss & Laursen, 2005)



2.3. Modelo Neuromuscular

El modelo *neuromuscular* defiende que las funciones implicadas en la excitación, reclutamiento y contracción muscular, son las que limitan el rendimiento durante el ejercicio. Este modelo define la fatiga neuromuscular como una reducción en la producción de fuerza o potencia de un músculo a pesar del incremento en la percepción del esfuerzo (Hampson, Clair Gibson, Lambert, y Noakes, 2001; St. Clair Gibson et al., 2003). Según este modelo, la aparición de la fatiga neuromuscular ocurre como un resultado de alteraciones tanto a niveles centrales como periféricos, de manera que se produce un fallo o deterioro en la cadena de mando, desde los centros motores del cerebro hasta los puentes cruzados de actina-miosina (**Figura 11**).

Para justificar este suceso se emplean tres teorías:

- a. *La teoría del fallo de la activación central*, que implica una reducción en la unidad neuronal.
- b. *La teoría del fallo de propagación neuromuscular*, que entiende la fatiga como el resultado de la reducida respuesta del músculo ante un estímulo eléctrico.
- c. *La del modelo de potencia muscular / teoría del fallo periférico*, que establece que la fatiga ocurre dentro del músculo en los mecanismos emparejados de excitación-contracción.



2.3.1. La teoría del fallo de la activación central:

La causa de la fatiga central como resultado de una progresiva reducción de la activación muscular por el SNC no es todavía concluyente. Algunas investigaciones (Millet et al., 2003) postulan que en la fatiga durante ejercicios de prolongada duración hay un incremento en la inhibición intracortical, en las concentraciones de serotonina, y posiblemente también de dopamina y acetilcolina en el cerebro, que pueden reducir el ratio de impulso neuronal central, con las consecuentes influencias negativas sobre la excitación y reclutamiento del músculo esquelético. Sin embargo, otros autores como Bailey, Davis, y Ahlborn (1993) creen que la aparición de la fatiga fruto de un detrimento del arousal, de la motivación y de la coordinación neuromuscular, se debe a un alto ratio serotonina/dopamina.

Podemos concluir que la posibilidad de separar la fatiga central de otras posibles causas, como por ejemplo del fallo en la propagación neuromuscular, es muy complicado.

2.3.2. La teoría del fallo de la propagación neuromuscular

Esta teoría sostiene que la capacidad de los músculos de producir fuerza está limitada por la respuesta de los músculos a un estímulo eléctrico, de manera que las alteraciones en el potencial de acción muscular pueden reflejar una disminución en la excitabilidad de la membrana. Sirva como ejemplo las estimulaciones musculares continuas que pueden provocar una respuesta contráctil reducida, generando fatiga.



Se piensa que la inhibición ocurre en el sarcolema o en la α -motoneurona, por el cual una respuesta refleja periférica, que se origina en los músculos que están funcionando, causa una reducción en la activación neuronal.

2.3.3. Modelos de potencia muscular /teoría del fallo periférico

También se piensa que la fatiga ocurre directamente a nivel muscular, como resultado de la sucesión de alteraciones en el mecanismo de enganche entre el potencial de acción y la proteína contráctil o la liberación de calcio, la regulación de calcio a nivel contráctil de actina-miosina, en los puentes cruzados, o de la depleción de las reservas de energía.

Este modelo sugiere que probablemente haya múltiples sitios donde aparece la fatiga, dependiendo de los sistemas fisiológicos periféricos involucrados en la tarea. Se plantea la hipótesis de que la relación entre la fatiga neuronal y periférica sea un mecanismo de seguridad, por el cual el SNC reduzca la ratio de descarga con el fin de proteger la concentración de Na^+ y ATP, y de esta forma evitar excesivos daños en las fibras musculares. De esta manera esta teoría también defiende que la fatiga central podría ser la respuesta a los impulsos aferentes que provienen de los órganos periféricos con el fin de evitar lesiones o la muerte mediante la reducción o finalización de la actividad.

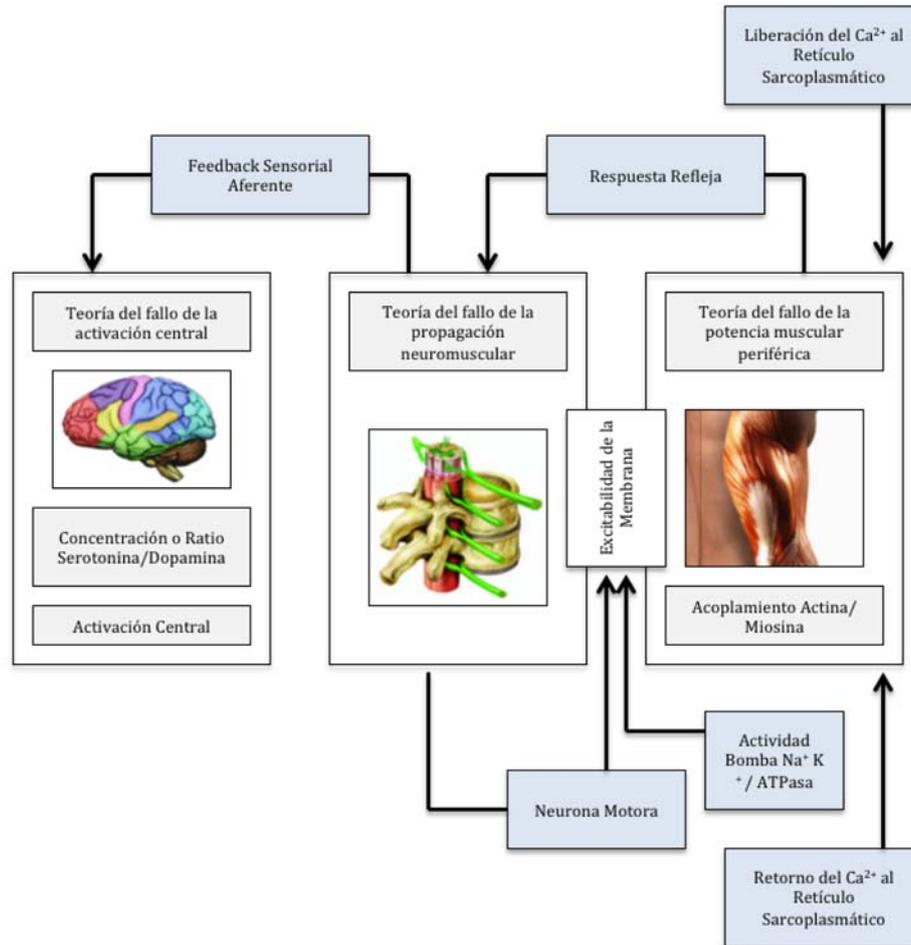


Figura 11: Modelo Neuromuscular de la Fatiga. (Adaptada de Abbiss & Laursen, 2005)

2.4. MODELO DEL TRAUMA MUSCULAR DE LA FATIGA

El modelo de **trauma muscular** postula que la fatiga se produce como consecuencia del estrés producido por el daño muscular fruto del ejercicio, que genera numerosos efectos perjudiciales en la función muscular, como puede ser: una disrupción del sarcolema o sarcómero, un desgarramiento completo de las miofibrillas e incluso alteraciones en la homeostasis corporal (**Figura 12**).

Concretamente se piensa que la reducción de la producción de fuerza puede ser el resultado de la alteración del sistema de acoplamiento excitación-contracción y/o alteraciones en la homeostasis del calcio intracelular.



Este modelo también sostiene que el aumento del uso de oxígeno que ocurre durante un esfuerzo prolongado provoca un aumento de las especies reactivas del oxígeno (ROS, del inglés *Reactive Oxygen Species*), generando un posible daño sobre la mitocondria. Este daño mitocondrial va a generar una capacidad reducida para utilizar el oxígeno, lo que limitaría el rendimiento durante la tarea. De la misma manera, esta teoría también sostiene que el aumento del ROS podría también reducir la actividad del Na^+ , K^+ y ATPasa.

Los daños musculares (disrupción del sarcolema o sarcómero, desgarramiento completo de las miofibrillas) pueden influir en la reducción de la capacidad de producción de fuerza de los músculos activos, como resultado de una alteración de la homeostasis química intramuscular y la activación de los receptores del dolor, que a su vez pueden causar una reducción en la activación neuromuscular y/o una reducción en la producción de fuerza del músculo (Abbiss y Laursen, 2005).

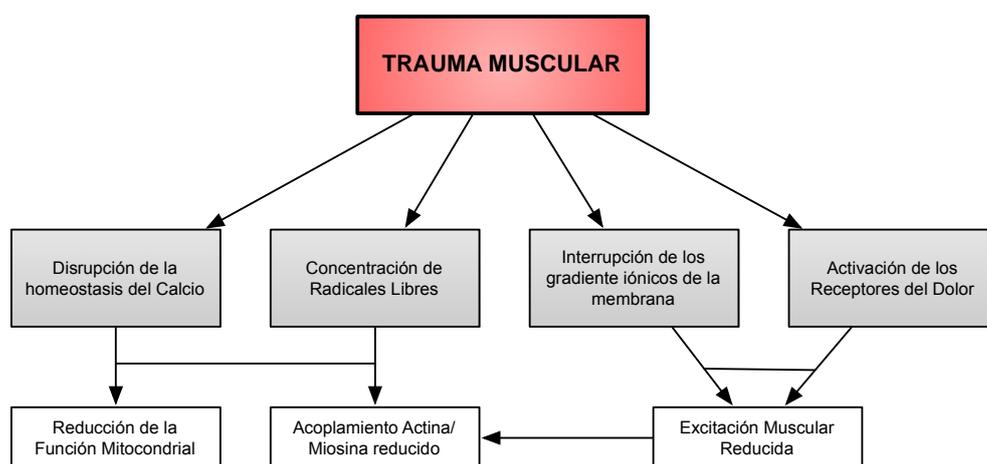


Figura 12: Modelo del Trauma Muscular de la Fatiga. (Adaptada de Abbiss & Laursen, 2005)



2.5. Modelo Biomecánico de la Fatiga

El modelo **biomecánico** de la fatiga se fundamenta en la idea de que una mayor eficiencia de las habilidades técnicas se traduce en una mejor economía, generando que otros mecanismos fisiológicos que son responsables de la fatiga sean menos demandados, como son: una reducción en el consumo de oxígeno, una reducción en el agotamiento de las fuentes de energía, una acumulación retrasada de metabolitos y un incremento atenuado en la temperatura corporal (Figura 13).

Sirva como ejemplo que cuando un participante presenta una mala eficiencia biomecánica de las habilidades, en actividades prolongadas en el tiempo, se va a producir un aumento significativo del VO_2 , el cual, a su vez, generará una reducción en la producción de la fuerza máxima voluntaria y en la capacidad de los músculos para producir potencia.

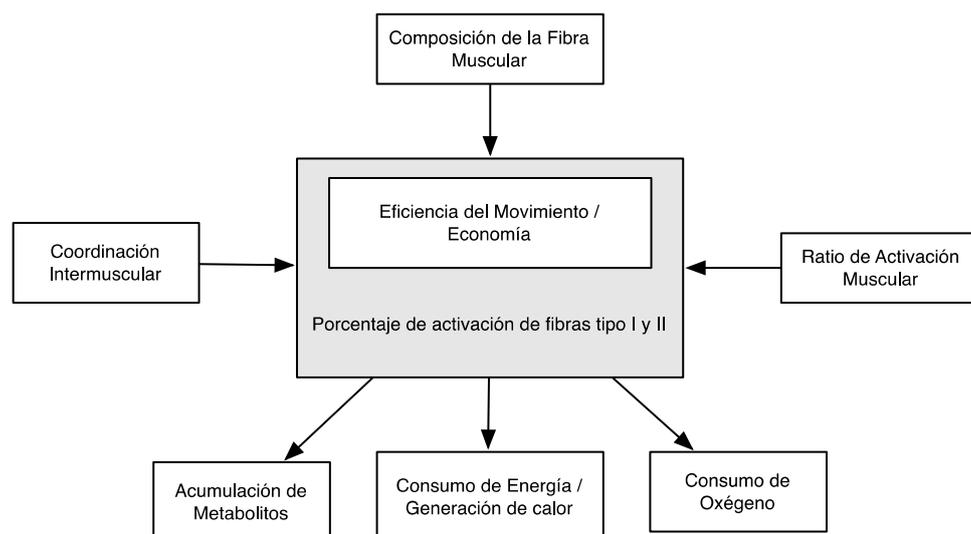


Figura 13: Modelo Biomecánico de la Fatiga. (Adaptada de Abbiss & Laursen, 2005)



2.6. Modelos de Termorregulación de la Fatiga

El modelo de **termorregulación** de la fatiga sugiere que el incremento de la temperatura corporal central, muscular y superficial (piel), al igual que en el anterior modelo, puede causar una mayor demanda de los sistemas fisiológicos que pueden ser responsables de la fatiga. Esto es debido a que el aumento del calor en el medio interno y la hipertermia resultante, por encima de un entorno neutro, va a generar una mayor demanda fisiológica en el cuerpo, quedando de esta manera comprometido el rendimiento del ejercicio (**Figura 14**).

Este modelo de la fatiga está compuesto de dos teorías, la teoría de la fatiga de termorregulación central y la teoría de la fatiga de termorregulación periférica.

La primera teoría se basa en que es el hipotálamo el receptor de las señales aferentes de los receptores térmicos periféricos, que a su vez regula el impulso neural central y los procesos de estimulación simpática, responsables de la extracción del calor durante la realización del ejercicio. El hipotálamo manda la información necesaria para que se produzca un aumento de la tasa de sudoración y el flujo de la sangre periférica durante el ejercicio. Si este mecanismo se colapsa fruto de una hipertermia, autores como Nybo y Nielsen (2001) sugieren que la fatiga inducida puede causar alteraciones que afectan a la capacidad del sistema nervioso central para suministrar impulsos neuronales constantes, que llevaría al organismo a presentar una reducción en la tasa de activación central, y por lo tanto a una aparición de la fatiga. Ante esto, el organismo genera una reducción del EMG (electromiografía) y potencia como respuesta cerebral anticipatoria con el objeto de



mantener la homeostasis de la temperatura corporal (Nielsen et al., 1993). Pero esta hipertermia también produce una reducción en la circulación cerebral y un incremento de la ventilación. Ambos aspectos causarán una disminución en la presión arterial de dióxido de carbono (CO_2), el cual a su vez tendrá un efecto significativo sobre el flujo de sangre al cerebro, con los efectos adversos que esto genera. Podemos concluir diciendo que el modelo central de termorregulación de la fatiga afirma que el rendimiento en ejercicios prolongados está limitado por las alteraciones inducidas por la hipertermia en la actividad cerebral a diferencia de los factores periféricos asociados con la activación muscular.

La segunda teoría (teoría de termorregulación periférica de la fatiga) sugiere que el incremento de la temperatura de la piel y el inicio de la hipertermia son los responsables de la reducción del rendimiento. Entre otros motivos porque el aumento de la temperatura de la piel y la elevación de la tasa de sudoración aumentarán la demanda del sistema cardiovascular, ya que éste no debe sólo proporcionar sangre a los músculos activos, sino también derivar flujo sanguíneo a la piel para disipar el calor.

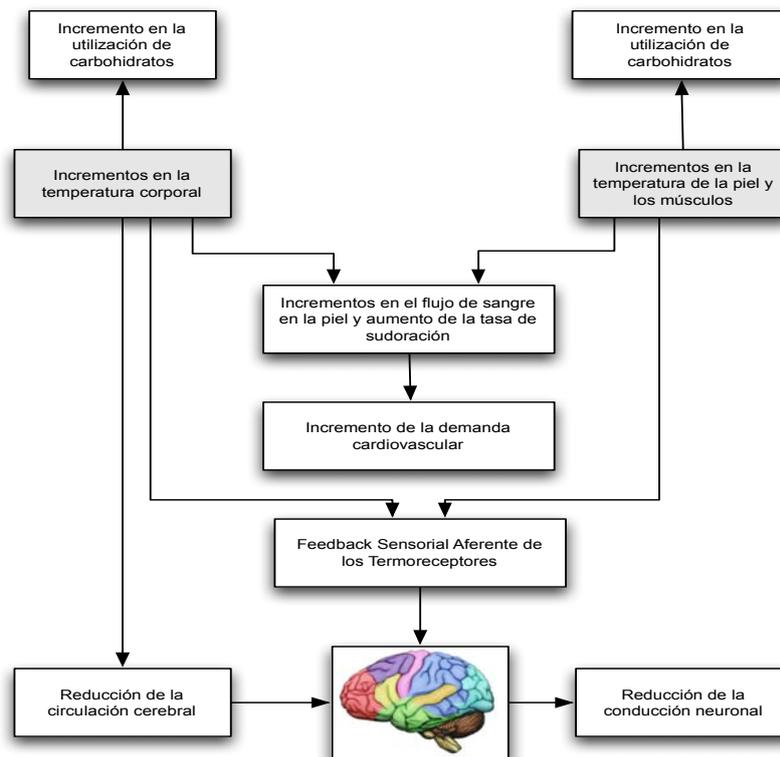


Figura 14: Modelo de Termorregulación de la Fatiga. (Adaptada de Abbiss & Laursen, 2005)

2.7. Modelo Motivacional/Psicológico de la Fatiga

El último de los modelos lineales, el modelo *motivacional/psicológico*, se centra en la influencia de factores de carácter intrapsicológico, como las expectativas de rendimiento o de esfuerzo requerido como determinantes directos de la fatiga (Figura 15).

Este modelo justifica la fatiga como el resultado de la falta de entusiasmo o interés en el rendimiento durante el ejercicio físico (Abbiss y Laursen, 2005) y sostiene que la función neuromuscular es intencionadamente alterada para, de esta manera, causar una disminución en la activación motora (Kayser, 2003; Borg, 1982a).



Los defensores de este modelo (Abbiss y Laursen, 2005) tras una extensa revisión de la literatura concluyen que no hay una variable psicológica sencilla responsable de alteraciones de las respuestas de salida (output) motoras a partir de las señales aferentes. De aquí que asuman que son numerosos los mecanismos responsables de las alteraciones psicológicas en la activación central y percepción del esfuerzo, que determinan a su vez la percepción inconsciente de la y como resultado la reducción del rendimiento.

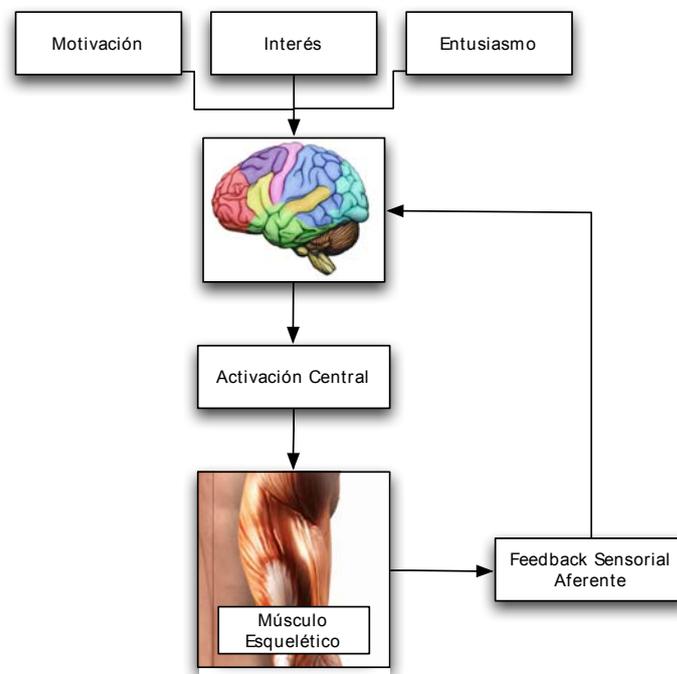


Figura 15: Modelo Motivacional/Psicológico de la Fatiga. Tomada de Abbiss & Laursen (2005)

2.8. Modelos del Gobernador Central

La aportación más valiosa de Abbiss y Laursen (2005) es la postulación de un último mecanismo integrador de los anteriores, a este modelo le denominan el



modelo del gobernador central, entendido como un sistema que integra inconscientemente todos aquellos factores centrales y periféricos que contribuyen a la fatiga (**Figura 16**). Fue Hill et al. (1924) el primero en proponer la existencia de un gobernador central que limita el rendimiento del ejercicio, pero hasta hace poco su idea original no fue desarrollada, siendo Ulmer (1996) el primero en retomarlo. Este autor sugería que el rendimiento en el ejercicio puede ser controlado por un gobernador situado en algún lugar del sistema nervioso central, donde las alteraciones en la intensidad del ejercicio se pensaban que eran controladas por un sistema de retroalimentación continuo, donde las señales eferentes que contienen información sobre la fuerza, el desplazamiento, tiempo y metabolismo muscular son retroalimentados a un controlador central a través de vías aferentes somatosensoriales.

Los trabajos de Noakes y colaboradores (Noakes et al., 2001; Noakes y Gibson, 2004b; Noakes et al., 2004; Noakes, 2007a; Noakes, 2007b; Noakes y Marino, 2009; Noakes, 2000a) han permitido un mayor desarrollo de este modelo. Este autor sugiera que la activación central del músculo esquelético está controlada por un regulador localizado en el corazón, el cerebro, o a lo largo de la ruta (vía) neuromuscular, con el objeto de proteger a los órganos vitales de cualquier lesión o daño.

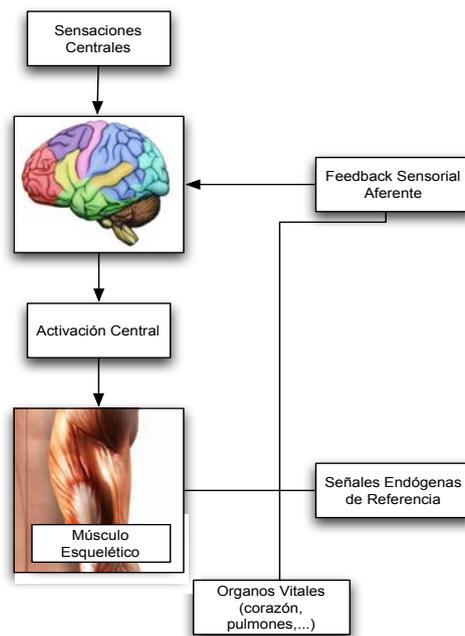


Figura 16: Modelo del Gobernador Central. Tomada de Abbiss & Lausen (2005)

2.9. Modelo de Sistema Complejo de la Fatiga

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 (Figura 17).

Este gobernador central no tendría necesariamente que estar ubicado 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.

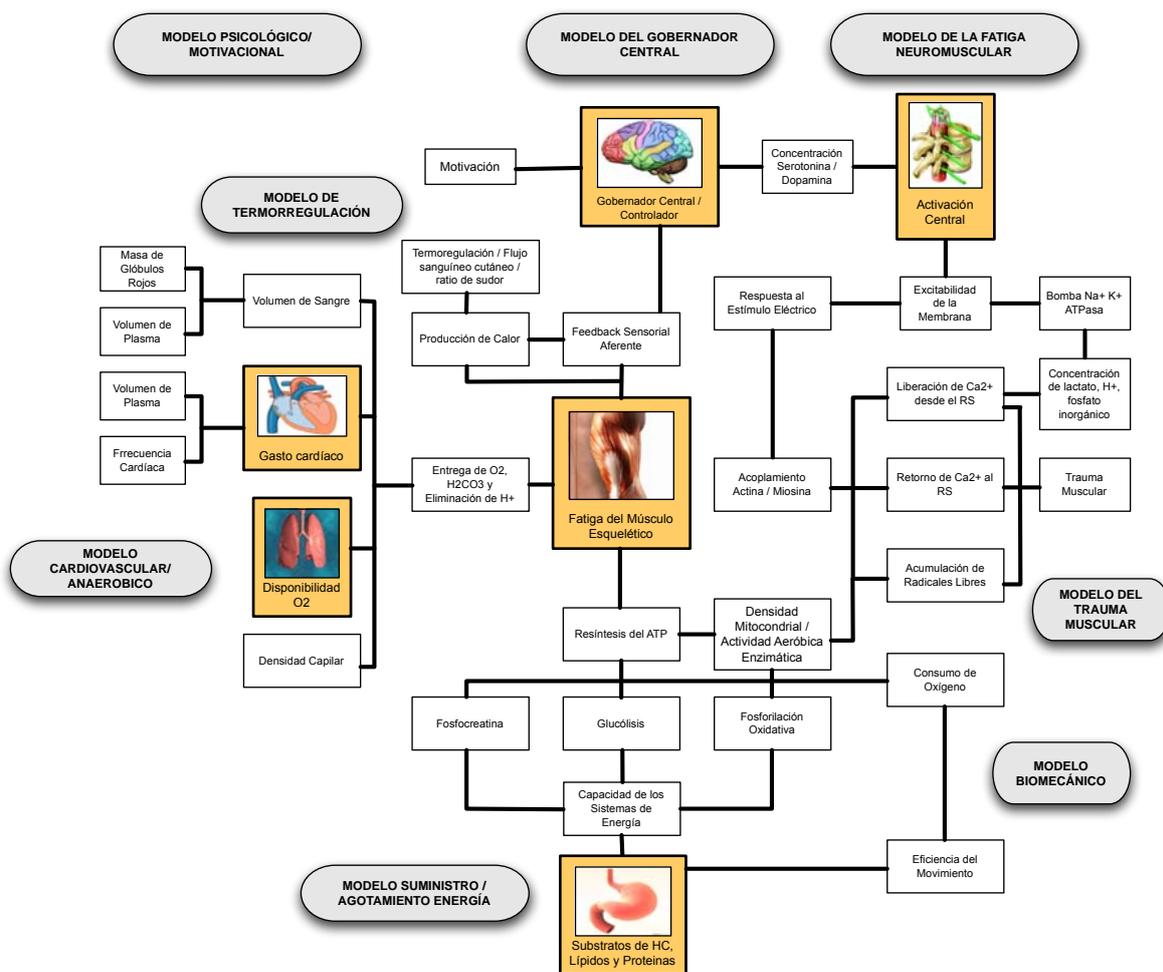


Figura 17: Representación esquemática de los modelos lineales de fatiga y su integración por parte de un *gobernador central*. Tomada de Abbiss & Lausen (2005)

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 (en forma similar a cómo opera el sistema regulador de la temperatura del organismo). Este gobernador impide el reclutamiento de las 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) en donde la fatiga no es causada únicamente por un conjunto común de factores, sino más bien depende del tipo de ejercicio que se está realizando. 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. (Weir et al., 2006). 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.



Nosotros optamos por un uso más liberal de término que permite la inclusión de la fatiga como un estado psicológico. En este trabajo, nuestro punto de partida es concebir la fatiga como un estado motivacional subjetivo, hedónicamente negativo, y acumulativo, que surge de la integración no lineal de una variedad de índices humorales, cardiovasculares, respiratorios, y propioceptivos relacionado con el esfuerzo físico excesivo y, sobre todo, sensible con otras variables psicológicas. En este sentido, la fatiga es sin duda central, pero no única, y sólo en parte inconsciente. La integración debe ser automática (los individuos no parecen ser capaces de separar la percepción de los diferentes factores que contribuyen a la fatiga), pero su aparición debe estar también disponible para el control consciente individual del participante, y poder, de esta forma, tomar decisiones como la de poder realizar un esfuerzo excesivo.

Compartimos el cuestionamiento de Kayser (2003) al respecto del motivo por el cual unos participantes sedentarios cesaban de manera voluntaria la realización de una prueba de esfuerzo incremental, fruto de la percepción de extenuación, si su capacidad metabólica máxima no fue alcanzada y no existe 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 estos participantes a realizar esfuerzos intensos haya llevado 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 VO₂ máx.) o placebo, llegando a la conclusión que en situaciones de laboratorio la máxima capacidad de trabajo de un individuo estaba limitada por el esfuerzo percibido 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 (o su equivalente, reported perceived effort, RPE) y su relación con los índices fisiológicos (nivel de lactato en sangre, el consumo de oxígeno y la frecuencia cardíaca, principalmente; (Borg y Dahlstrom, 1962a; Borg y Dahlstrom, 1962b; Borg y Dahlstrom, 1962c; Borg, 1970; Borg, 1982; Borg, 1974; Borg, 1973; Borg, 1982a; 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-RPE 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 (Schomer, 1986; Joseph et al., 2008, véase también Jaenes, 2009; Masters y Lambert, 1989; Silva III 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 físico-cognitiva.

Como se detallará más adelante, ésta es exactamente la idea que se pretende poner a prueba en este estudio: demostrar qué factores relacionados con la actividad mental del SNC (y, más exactamente, la carga mental definida desde el



punto de vista de la Neurociencia Cognitiva actual), no sólo influyen en el estado general de fatiga, sino también en la respuesta abierta de agotamiento a la que conduce la acumulación de fatiga en situaciones de gran esfuerzo físico. Secundariamente, intentaremos modelar a través de qué vías se produce exactamente esa influencia.

La carga de trabajo viene determinada por la interacción de las demandas de la tarea, las circunstancias bajo las cuales se desarrolla, y las habilidades, comportamientos y percepciones del participante (DiDomenico y Nussbaum, 2008). Se define como el costo para un individuo, dadas sus capacidades, mientras consigue un nivel de rendimiento determinado en una tarea con demandas específicas (Hart y Staveland, 1988).



3. LA FATIGA COMO ESTADO MOTIVACIONAL SUBJETIVO

La definición de la fatiga central de Barbany (2002) es la definición que vamos a adoptar en este trabajo. Desde el punto de vista del individuo, **la fatiga puede entenderse como un estado motivacional subjetivo**. Este estado, al igual que la mayoría de los estados motivacionales primarios, es fruto de la amenaza del equilibrio homeostático y, por tanto, se deriva de la lectura, por parte de las estructuras nerviosas implicadas, de diversos indicadores fisiológicos que se generan como consecuencia del trabajo físico. La fatiga subjetiva sería un componente de la fatiga central de Barbany (2002), en tanto que permite al participante decidir la interrupción del ejercicio antes de que el organismo sufra daños significativos que pudieran comprometer su integridad, y regular el nivel de esfuerzo de cara al cumplimiento de un objetivo a medio o largo plazo, como por ejemplo terminar una maratón.

Esta respuesta que toma el participante está influida por diferentes factores como pueden ser el trauma muscular, aumento de la temperatura, lactato en sangre, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, modo de ejercicio, VO_2 (Hampson et al., 2001), aunque de ninguno de ellos se sabe qué grado de influencia tiene sobre la aparición de la fatiga subjetiva. Según Hutchinson y Tenenbaum (2007), ya en 1973 (Morgan, 1973; Noble, Metz, Pandolf, y Cafarelli, 1973) las respuestas fisiológicas constituyen aproximadamente dos tercios de la varianza en el esfuerzo percibido y que diversos factores psicológicos serían responsables del tercio restante.



Nosotros entendemos que la naturaleza central y psicológica de este estado motivacional deja abierta la opción de que otras variables de carácter central (carga cognitiva, estado emocional, y otros estados motivacionales) puedan modularla de forma directa; y es éste uno de los motivos que nos ha llevado a realizar el presente estudio.

Autores como St. Clair Gibson et al. (2003) sugieren que la sensación de fatiga es el conocimiento consciente de los cambios producidos en los sistemas subconscientes de control homeostático, siendo una sensaciónn compleja afectada por factores como pueden ser la motivación, la ira, el miedo y las memorias de actividades anteriores. Para estos autores la sensación consciente de la fatiga (sensación es como estos autores entienden a la fatiga) podría ocurrir cuando alteraciones en el estado físico inducido por la actividad física (falta de aliento o incremento de la ventilación, sensación de aumento de la temperatura,...) conduce a cambios en la actividad de las redes neuronales de trabajo del cerebro que, a su vez, provocan un conocimiento de estas alteraciones del estado físico. De esta forma, el origen de la percepción consciente de la fatiga puede ser determinada mediante el examen de los cambios producidos en diferentes estructuras del cerebro asociadas con el desarrollo del conocimiento de la sensación de fatiga. A estas estructuras le llegan diferentes entradas aferentes (acumulación de metabolismo muscular, depleción de sustrato, limitaciones cardíacas y respiratorias) que van a iniciar la sensación de fatiga. Pero este inicio no le corresponde a un único factor o input, sino a un conjunto de ellos. Lo interesante es que también a estas estructuras tienen acceso otras entradas no sensoriales,



como pueden ser factores psicológicos y motivacionales, que son integrados junto con las primeras para generar el desarrollo de la sensación de fatiga (**Figura 18**).

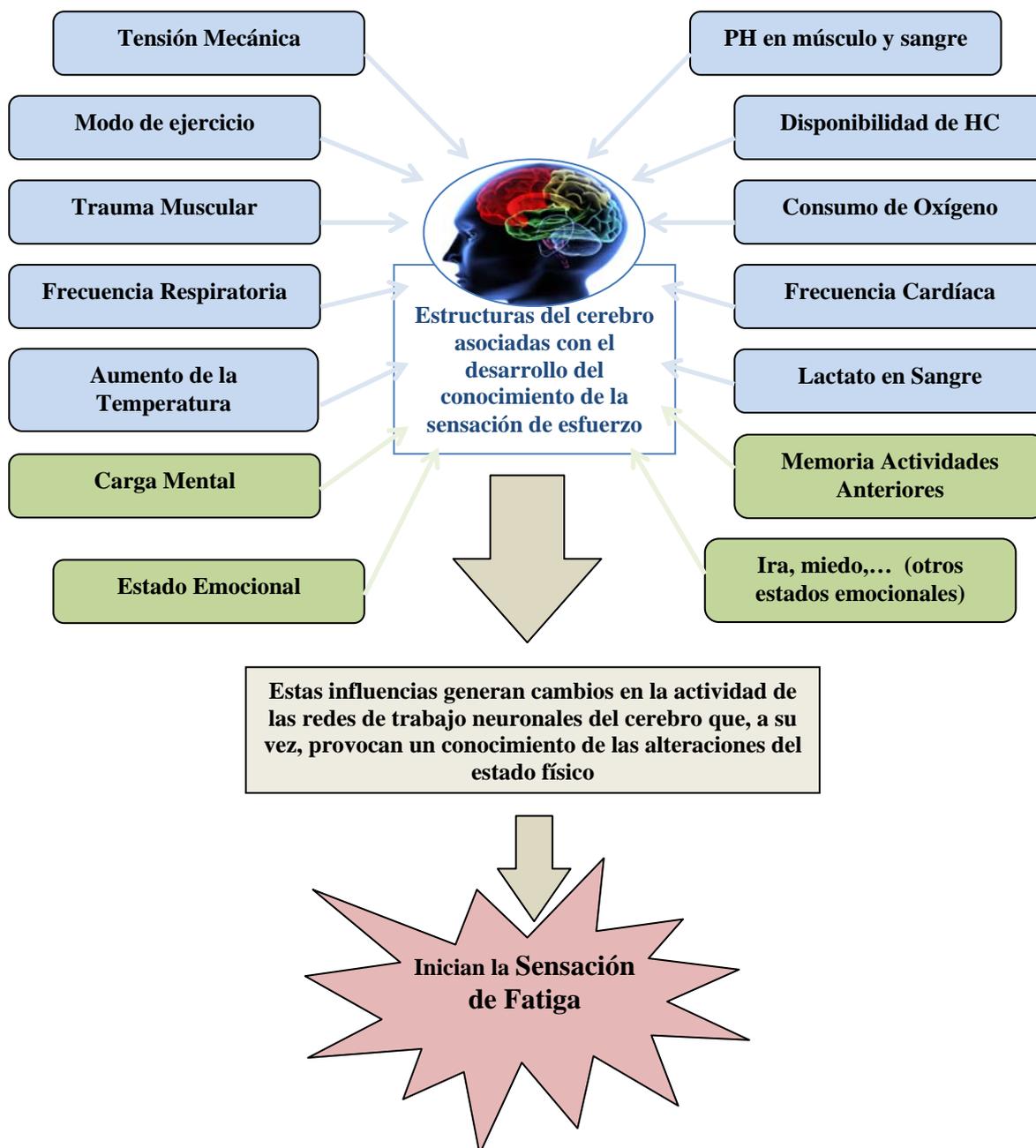


Figura 18: Influencias en las estructuras del cerebro asociadas con el desarrollo del conocimiento de la sensación de esfuerzo



Los citados autores para defender esta teoría aportan tres observaciones diferentes, la primera es que la sensación de fatiga puede ser alterada mediante hipnosis (Morgan, Raven, Drinkwater et al, 1973; Williamson et al., 2001), en segundo lugar que la sensación de fatiga está afectada por las expectativas de las demandas de la tarea (Rejeski y Ribisl, 1980) y en tercer lugar, en condiciones clínicas se sabe que en relación con el síndrome de fatiga crónica, una excesiva y debilitante sensación de fatiga está presente durante el descanso, lo que significa que no está vinculada con alteraciones en los niveles de actividad física.

Abordar la fatiga desde este enfoque es compatible con los estudios derivados de los trabajos de Borg, a partir de los años 70 (Borg, 1970; Borg, 1982; Borg, 1974; Borg, 1973; Borg, 1982b), que conceptualizan la percepción del esfuerzo como un proceso psicofísico y en los que variables como la carga cognitiva, estado emocional u otros estados motivacionales tendrían el papel de modularlo o alterarlo. Autores como Noble y Robertson (1996), definen **esfuerzo percibido** como “*el acto de detectar e interpretar sensaciones emergentes de nuestro cuerpo durante el ejercicio físico*”. Es decir, es la valoración subjetiva de una persona sobre el grado de esfuerzo que ha realizado durante la realización de una actividad física.

Desde la ciencia psicométrica comenzaron a sentarse las bases para la confección de herramientas que midieran estas sensaciones emergentes. Fue Borg (1962) el primer autor en desarrollar una escala específica y científica que midiera la percepción subjetiva del esfuerzo, la escala RPE. Esta escala tomó protagonismo a partir del año 1984 donde se empleó con más peso en diferentes estudios científicos relevantes. Desde este momento, la RPE se ha empleado en multitud de



estudios con diferentes colectivos, como son: conductores, nadadores, militares, mujeres embarazadas, atletas, ciclistas, esquiadores, tenistas, escaladores, músicos (Arimoto et al., 2002, Morgan, 2001, Cook et al., 2003, O'Neill et al., 1992, Norlander y Archer, 2002, Novas et al., 2003, Chan et al., 2000). Convirtiéndose, al día de hoy, en un preciso y exacto instrumento para medir la percepción del esfuerzo en numerosas investigaciones (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).

Desde su desarrollo esta escala ha soportado diversas variantes que han tenido un mismo fin, determinar con la mayor precisión posible la percepción subjetiva del esfuerzo. De esta manera, la primera escala de Borg se confeccionó en 1961 y estaba conformada por 21 números (**Figura 19**)

0	
1	
2	Extremadamente ligero
3	
4	
5	Muy ligero
6	
7	Ligero
8	
9	Bastante ligero
10	
11	Ni ligero ni pesado
12	
13	Bastante pesado
14	
15	Pesado
16	
17	Muy pesado
18	
19	Extremadamente pesado
20	

Figura 19: Escala de 21 números. Tomada de Borg (1961)

Esta escala presentó problemas a la hora de su validación lo que llevó a su autor a diseñar una nueva cuya relación con la frecuencia cardíaca pudiera ser



validada (Borg, 1971). Esta nueva escala era la RPE 15 ó Escala 6-20 RPE (**Figura 20**). En ésta, el autor pretendía solucionar la calibración de la estimación de la FC, respecto a la ecuación $FC=RPE \times 10$, encontrando correlaciones muy altas ($r = .85 - .95$) en diferentes ejercicios (p.e. cicloergómetro y tapiz rodante). El problema dicha equivalencia no se mantiene con ejercicios de otra índole, por lo que es importante considerarla dependiente del tipo de ejercicio realizado (Moyna et al., 2001; Robertson, 2001; Green et al., 1999; Kravitz et al., 1997; Noble y Robertson, 1996).

6	
7	Muy, muy ligero
8	
9	Muy ligero
10	
11	Bastante ligero
12	
13	Algo duro
14	
15	Duro
16	
17	Muy duro
18	
19	Muy, muy duro
20	

Figura 20: Escala de RPE 15 ó escala 6-20 RPE. Tomada de Borg (1971)

Pero esta escala siguió recibiendo críticas desde la comunidad científica, debido a su escasa correlación con otras variables fisiológicas (Chen et al., 2002). Esto llevó a Borg (1973) a desarrollar una escala del 0 al 20 que denominó Category-Ratio Scale, con el objetivo de que esta escala correlacionara con el comportamiento de otras variables fisiológicas como el ácido láctico y la ventilación pulmonar (**Figura 21**)



0	Ninguna percepción de esfuerzo
1	
2	Muy ligero
3	
4	
5	
6	Algo duro
7	
8	
9	
10	Duro
11	
12	
13	
14	Muy duro
15	
16	
17	
18	Muy, muy duro
19	
20	Máximo esfuerzo

Figura 22: Category-Ratio Scale (CRS). Borg (1973)

Más adelante, la escala de 15 valores fue modificada de nuevo por Borg (1998, 2001) a través de la reforma de los términos asignados a cada valor de la escala (**Figura 22**), con el objetivo de mejorar los errores de la anterior.

6	Ningún esfuerzo
7	
8	Extremadamente Ligero
9	Muy ligero
10	
11	Ligero
12	
13	Algo duro
14	
15	Duro (pesado)
16	
17	Muy duro
18	
19	Extremadamente duro
20	Máximo esfuerzo

Figura 22: Escala de RPE 15 ó Escala 6-20 RPE. Borg (1998, 2001)

De la misma manera, la escala CRS también sufrió modificaciones, dando lugar a la más extendida, que es la Escala CR 10 (Borg, 1982). Esta escala (**Figura 23**) presenta una correlación más positiva que la escala 6-20 con el lactato sanguíneo, pero más débil con la FC (Zabala, 2003)



0	Absolutamente nada
0.5	Extremadamente débil (justamente perceptible)
1	Muy débil
2	Débil (ligero)
3	Moderado
4	Algo fuerte
5	Fuerte (pesado)
6	
7	Muy fuerte
8	
9	
10	Extremadamente fuerte (casi máximo)
•	Máximo

Figura 23: Escala CR 10. Borg (1982)

Una vez más, Borg (1998, 2001) volvió a modificar esta escala buscando una mayor depuración de los rangos y variando las expresiones empleadas dando lugar a la escala CR-10 modificada. (**Figura 24**)

0	Absolutamente nada	Sin intensidad
0.3		
0.5	Extremadamente débil	Justamente perceptible
0.7		
1	Muy débil	
1.5		
2	Débil	Ligero
2.5		
3	Moderado	
4		
5	Fuerte	Pesado
6		
7	Muy fuerte	
8		
9		
10	Extremadamente fuerte	Máxima intensidad
11		
•	Absolutamente máximo	Lo más posible

Figura 24: Modificación Escala CR 10.
Tomada de Borg (1998, 2001)

Pero no fue sólo Borg el único autor preocupado con este tema. Paralelamente otros autores también desarrollaron diferentes escalas con el objetivo de medir la percepción subjetiva del esfuerzo. Algunas de estas escalas son la de 7 grados de Hogan y Fleishman (1979), la de 9 categorías de Pittsburgh (citada en Noble y Robertson, 1996) tomada de Zabala (2003), la escala CERT (Children Effort Rating Table), diseñada por Williams et al (1994) para el uso en niños de 6 a 9 años. Esta escala es la



alternativa a la escala 6-20 RPE en niños, ya que las correlaciones con diferentes variables fisiológicas son mucho más altas. ($r = .70$ y $.86$ respecto a la FC y $r = .71$ y $.88$ respecto a VO_2/Kg). Otras escalas son la CALER (Cart and Load Effort Rating) de Eston et al (2000), donde aparecían pictogramas para facilitar la comprensión, o la desarrollada por Robertson (2000), la denominada Escala OMNI, con gran validez en niños y adolescente. Esta escala estaba conformada por 10 puntos (del 0 al 10) acompañados de descriptores verbales y gráficos, presentando una alta correlación con el VO_2 y FC en actividades en cicloergómetro ($r = .85$ y $.94$ respectivamente).

De todas éstas, para autores como Noble y Robertson (1996) la escala RPE 6-20 es la más apropiada para relacionar la RPE 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 RPE también presenta una alta correlación con otras variables (Cuadrado-Reyes, 2010) como el



TRIMP (resultado de la multiplicación de la frecuencia cardíaca 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 RPE presenta una correlación significativa total con la frecuencia cardíaca ($p < .01$ a $p < .001$), basada en la carga de entrenamiento (siendo ésta el producto del volumen y la intensidad).

En esta línea cabe destacar el trabajo realizado por Hampson et al. (2001) que trata sobre la influencia de los estímulos sensoriales en la percepción del esfuerzo durante el ejercicio y la regulación central del rendimiento. Los resultados permiten resaltar la utilidad de la escala de Borg para cuantificar las sensaciones de esfuerzo relacionadas con aquellas variables que se elevan potencialmente con el incremento de la intensidad del ejercicio (cardiovasculares y periféricas). Por tanto, esta percepción del esfuerzo involucra la integración de múltiples señales aferentes de una variedad de estímulos que son regulados por un sistema integrador, que también recoge información sobre el estado motivacional del participante. ¿De qué otra forma podría si no explicarse que el esfuerzo percibido y la frecuencia cardíaca puedan ser alterados mediante hipnosis y entrenamiento de *biofeedback*? (Williamson et al., 2001).

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 (**Tabla 1**) para poder determinar la percepción del esfuerzo.

Tabla 1: Señales provenientes de los estímulos aferentes en la percepción del esfuerzo. Tomada de Hampson et al. (2001)



INFORMACIÓN AFERENTE QUE PUEDE ALTERAR EL INDICE DE ESFUERZO PERCIBIDO

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
	Disponibilidad de los carbohidratos
	Temperatura de la piel

No obstante, no parece estar tan claro cuáles son los recursos del esfuerzo percibido. Obviamente, el ejercicio prolongado o intenso produce un número mayor de efectos sobre el organismo: acumulación de metabolitos, reducción del rendimiento cardíaco, microrupturas del tejido muscular, etc. 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 esfuerzo percibido 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 percepción del esfuerzo 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.

En cualquier caso, son muchos los deportistas que emplean estrategias cognitivas para influir en su rendimiento durante la competición, estrategias que buscan ayudarles a manejar el malestar propio del esfuerzo y a retrasar por tanto la aparición de la fatiga (Morgan, Horstman, Cymerman, y Stokes, 1983). Como ejemplo son numerosas las investigaciones que han empleado la sugestión hipnótica para modificar selectivamente el nivel de esfuerzo percibido por parte de los participantes, con el fin de poder identificar las contribuciones potenciales de los centros superiores del cerebro hacia la regulación cardiorrespiratoria (Williamson et al., 2001) y hacia la regulación de otros mecanismos fisiológicos periféricos. Algunos de estos estudios han puesto de manifiesto que los procesos cognitivos pueden ejercer cierta influencia en las variaciones provocadas a nivel perceptual e incluso metabólico a través de dichas sugestiones hipnóticas (Morgan, Raven, Drinkwater y Horvath, 1973; Morgan, Hirta, Weitz, y Balke, 1976).

Fruto de esto, aparecen distintos trabajos que buscan aclarar la relación existente entre el esfuerzo percibido, 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).





4. CONCEPTO DE CARGA MENTAL

La mayoría de los científicos del deporte, 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 mental” 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).

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; 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 largo. 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 (Martin y Benton, 1999; Benton, 1990; Sünram-Lea, Foster, Durlach, y Perez, 2001). Debemos de tener presente que el cerebro requiere de una cantidad substancial de energía -en reposo precisa del 20% al 30%, (Owen, 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 mental 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. O 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.



De manera que carga mental sería la carga que se origina como fruto de la interacción entre la tarea y las características del participante, siendo por tanto el esfuerzo mental el aspecto de la carga cognitiva que se refiere a la capacidad cognitiva que es asignada para dar cabida a las demandas impuestas por la tarea. Según estas premisas, 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), o, en términos más recientes, requieren la participación del ejecutivo central, de la memoria de trabajo.

Anatómicamente, se ha observado que las tareas que implican al ejecutivo central o, lo que viene a ser lo mismo, movilizan las funciones ejecutivas, activan la corteza prefrontal muy fuertemente (la parte más anterior del cerebro) y, más específicamente, el lóbulo prefrontal dorsolateral y la parte cingulada-medial (Miyake et al., 2000). Además, la carga de trabajo mental tiene componentes emocionales, y es que la carga mental, como se ha comentado anteriormente, 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).



Nuestro principal objetivo es analizar y cuantificar cómo la carga de trabajo mental, definido en términos de carga del ejecutivo, contribuye a la fatiga física y, adicionalmente, describir la interacción de la dinámica emocional como resultado de la combinación del esfuerzo físico y mental.

La mayoría de los deportistas tienen la intuición de que la carga de trabajo mental contribuye a la fatiga y que dificulta la recuperación después del esfuerzo, siendo por esto que una serie de técnicas psicológicas se han desarrollado para aumentar el rendimiento y facilitar un "estado de flujo " que reduzca la carga de trabajo mental (Jackson, 1995). Sin embargo, las investigaciones que abordan directamente esta interacción son escasas y contradictorias (véase, por ejemplo, DiDomenico y Nussbaum, 2008; Marcora et al., 2009).

En este trabajo, el grado de carga mental será directamente manipulado (por medio de la utilización de las tareas ejecutivas) durante el ejercicio en una prueba de esfuerzo máximo incremental en cicloergómetro. Siendo los objetivos planteados: (1) comprobar si la carga de trabajo mental contribuye a la percepción subjetiva de fatiga, (2) comprobar si los efectos sobre la percepción de la fatiga corren en paralelo a los efectos sobre el rendimiento físico o el consumo de oxígeno (principalmente en el agotamiento y, posteriormente, durante la recuperación) y (3) analizar la dinámica emocional que resulta de la interacción entre carga física y mental.

La carga de trabajo mental la vamos a determinar, por tanto, 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 definen 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) añaden que la carga mental es un atributo del procesamiento de información y del control de sistemas que media entre los estímulos, reglas y respuestas. Es un atributo del bucle persona-tarea, y sus efectos pueden examinarse solamente en relación con un modelo de procesamiento de información humana. Años más tarde Xie y Salvendy (2000) escriben que la carga mental es conceptualmente definida como el conjunto de esfuerzo mental que una persona o un grupo tienen que hacer para realizar una/s tarea/s. Finalmente, para Wilson y Eggemeier (1991) la carga mental es 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.

En este trabajo 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.



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 fruto de la implicación de las estructuras cerebrales encargadas de procesar las emociones. Posteriores 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; en 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 seminal 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. Para Kahneman et al. (1973) un recurso es, en un sentido aplicado, un conjunto único indiferenciado de fuerzas de energía necesarias para la realización de una tarea. (Pons, 2008).

Modelos más actuales, 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 ha aportado 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.

De manera que Wickens (1984) asume 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 afectará a su rendimiento (Pons, 2008).

Por lo tanto, según este modelo de recursos múltiples, dos tareas se interferirán 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.

La propuesta de Wickens (1984) es que los recursos pueden ser definidos a partir de tres dimensiones dicotómicas (**Figura 25**):

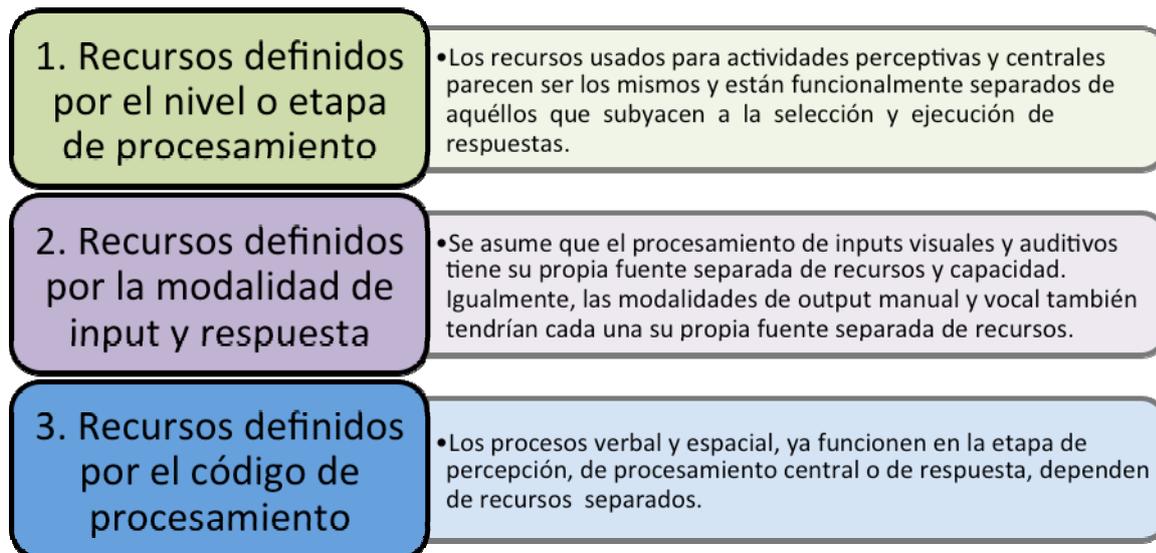


Figura 25: Definición de los recursos a través de las tres dimensiones.

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 (ver, por ejemplo, Baddeley, 2000; Miyake y Shah, 1999). Como ya hemos comentado en el presente



documento, desde el punto de vista neurocientífico, todas estas tareas se caracterizan por la implicación de la corteza prefrontal y, más concretamente, de los lóbulos dorsolateral (DLPFC) y medial-cingulado (Miyake et al., 2000).

En este trabajo serán consideradas tareas de carga mental aquéllas que producen una implicación significativa de los mecanismos ejecutivos. 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 explicará 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 músculo-esquelético.

Como se ha comentado anteriormente, en el presente texto son diversos los estudios que demuestran que aproximadamente el 20-30% del consumo de glucosa se invierte en satisfacer las necesidades del cerebro (Benton, Parker, y Donohue, 1997). De hecho, el cerebro no tiene la capacidad de almacenamiento de sustratos de energía y el proceso de degradación aeróbica de la glucosa es completamente dependiente de un suministro constante del oxígeno y la glucosa a través del torrente sanguíneo (Scholey, 2001). 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 tasa cardiaca durante el desempeño de tareas exigentes. Este hallazgo dio lugar a una hipótesis provisional: que la aceleración del ritmo cardiaco bajo alta demanda cognitiva representa 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. No existen, sin embargo, estudios que aborden directamente la existencia de la vía directa o que hayan dado con una metodología que permita la disociación de ambas vías, por lo que el presente estudio puede considerarse pionero en la búsqueda de esta alternativa de contribución a la aparición de la fatiga.



5. TAREAS DE CARGA

5.1. Carga Física

La carga física consiste en la realización de una prueba de esfuerzo máximo en cicloergómetro, con intensidad progresiva creciente, con escalones incrementales de la carga fisiológica de 2 minutos hasta el agotamiento.

En primer lugar el participante realiza un calentamiento de 5 minutos sobre el cicloergómetro, con una resistencia medida en vatios igual a la mitad de su peso corporal, tras lo cual empieza la prueba incremental, que se desarrolla mediante palieres de 2 minutos de duración. La intensidad del primer palier sigue siendo la misma que la del calentamiento, es decir, la mitad de su peso corporal, mientras que la intensidad de los siguientes palieres será fruto de sumarle a la intensidad (en vatios) ya existente la mitad del peso corporal del participante. De esta forma, un participante de 70 kg, realizará un calentamiento a una intensidad de 35 vatios, un primer palier de nuevo de 35 vatios, y los posteriores de: 70, 105, 140, 175,... y así progresivamente. Una vez el participante da por concluida la prueba iniciamos la recuperación, que consta de 4 palieres, también de dos minutos. La intensidad a la que se desarrollan éstos es a la mínima que permite el cicloergómetro, es decir, 25 vatios.

Durante todos los palieres, incluidos el calentamiento y la vuelta a la calma, el participante tiene que pedalear con una frecuencia de 70 rpm, tal como está estipulado para el desarrollo de este tipo de prueba (López-Chicharro y Fernández, 2006).



5.2. Carga Mental

5.2.1. N-Back

La tarea N-back fue introducida en la investigación psicológica por Kirchner (1958), y está pensada para poner en marcha la memoria de trabajo (también llamada memoria operativa, entendida como el conjunto de estructuras y procesos cognitivos encargados de almacenar y, sobre todo, manipular y organizar la información para su uso inmediato). Aunque su definición exacta varía en función de los autores (Owen et al, 2005), son pocos los que estarían en desacuerdo la idea de que la memoria de trabajo es un conjunto fundamental de procesos y un componente integral de muchas de las operaciones cognitivas, para la toma de decisiones complejas de atención selectiva.

Owen, McMillan, Laird, y Bullmore (2005) encontraron en su estudio de metanálisis que las regiones corticales que se relacionan más directamente con la realización de esta tarea son la corteza premotora lateral, la corteza cingulada anterior, el área premotora medial, la corteza prefrontal dorsolateral y ventrolateral, los polos frontales, y la corteza parietal posterior medial y lateral. De éstas, la más importantes en relación a los aspectos centrales de la memoria de trabajo son el cíngulo anterior y el córtex prefrontal lateral (ventrolateral y dorsolateral). Más concretamente, la *corteza frontal dorsolateral* estaría implicada en la monitorización y manipulación dentro de la memoria de trabajo, la selección de respuestas, la implementación de estrategias de acción, la organización del material durante la codificación, y la verificación y evaluación de las representaciones que han sido recuperadas de la memoria a largo plazo; la *corteza prefrontal ventrolateral*, por su



parte, participaría en funciones mnésicas similares a la corteza prefrontal dorsolateral, pero cuando la información no posee una estructura espacial, así como la selección de claves de recuperación, y la elaboración y codificación de la información en la memoria episódica;; y *la corteza anterior cingulada* se relaciona con un incremento del esfuerzo, complejidad y atención, y en la detección de errores y respuestas de corrección.

En la versión utilizada de la *N-Back* se presentaba al participante una secuencia de números de dos minutos de duración (números del 1 al 4, seleccionados aleatoriamente en cada ensayo), con una presentación de un número cada 4 segundos. La tarea del participante consistía en indicar si el estímulo actual (número) coincidía con el estímulo (número) aparecido *N* posiciones antes, donde *N* es igual a un número entre 1 y 3. Para este estudio se ha utilizado una tarea *3-Back* para provocar una carga cognitiva alta y una *1-Back* para la carga cognitiva baja.

La forma del participante de indicar la coincidencia entre el número actual y el número presentado *N* posiciones antes (1 o 3) era pulsar una tecla. Si el participante pulsaba cuando no existía coincidencia, o no pulsaba cuando sí existía, escuchaba un sonido de *feedback* negativo; por el contrario, si pulsaba en casos de coincidencia o no pulsaba en casos de no coincidencia, recibía *feedback* auditivo positivo.

5.2.3. Go / No-Go

Esta tarea que ha sido empleada para evaluar el rendimiento en las tareas que miden el tiempo de respuesta en un procedimiento de dos opciones (Gómez,



Ratcliff, y Perea, 2007), siendo una tarea de gran uso en el área de la neuropsicología (Goldberg et al., 2001).

En nuestro caso, la tarea se desarrollaba como sigue: en la versión de la tarea de carga baja, se presenta visualmente en pantalla una de las dos letras posibles en cada ensayo (seleccionadas al azar de entre las letras del alfabeto), ante las cuales debía reaccionar pulsando una tecla cuando aparecía una de ellas (estímulo *Go*) y evitando la respuesta cuando aparece la otra (estímulo *No-go*). Las respuestas adecuadas se reforzaban con un sonido distintivo positivo y las inadecuadas con uno negativo. Pasados 450 ms desde la presentación del estímulo, la ausencia de respuesta también recibía el *feedback* correspondiente: positivo si se trataba de un ensayo *No-go*, y negativo si se trataba de un ensayo *Go*.

En la versión de carga alta, la letra se podía presentar enmarcada en un recuadro negro o sin enmarcar. El participante debía pulsar una tecla ante una de las letras cuando aparecía enmarcada, pero ante la otra cuando aparecía sin enmarcar. Por tanto, el estímulo *Go* y el *No-go* se definían sobre un doble criterio (identidad de la letra y presencia o no de recuadro), lo que incrementa el nivel de conflicto en la decisión y, por tanto, el nivel de carga cognitiva. Al igual que en el caso anterior, se presentaba un ensayo cada 4 segundos y la duración de la tarea coincidía con los dos minutos de duración del palier de carga física en el cicloergómetro.

En ambas versiones de la tarea *Go/No-go* el porcentaje de ensayos *Go*, esto es, de ensayos en los que el participante debía emitir respuesta era del 75%. Ello



incrementa la tendencia a responder del individuo, lo que dificulta inhibir la respuesta en los ensayos *No go*. Además, en cada ensayo se disponía de una ventana de oportunidad para responder de únicamente 450 ms. La presión temporal dificultaba notablemente la tarea, especialmente en su versión más compleja (carga alta).



6. MEDIDAS

6.1. Medidas Fisiológicas. VO_2

El consumo de oxígeno (VO_2) fue la única variable fisiológica de medida para la realización de este estudio. Esta medida es probablemente la que mejor permite estimar en tiempo real el impacto físico que el ejercicio ejerce sobre el organismo en términos de recursos utilizados para el funcionamiento de los sistemas biológicos implicados. Dicha demanda se origina, en su mayor parte, en los músculos.

Esta medida es un gran indicador de la intensidad del esfuerzo estable, mientras que por el contrario no es un buen estimador de la intensidad en esfuerzos cortos como los que suelen llevarse a cabo durante las sesiones de entrenamiento interválico. Esto es debido a que el tiempo de respuesta del sistema aeróbico es demasiado lento y este tipo de trabajo es habitualmente supramáximo (Hopkins, 1991).

Más específicamente, para este estudio se ha tomado el VO_2 relativo al peso, que indica la cantidad de oxígeno consumido con relación al peso total del individuo (en $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$)

La prueba se va a desarrollar hasta alcanzar el $VO_{2m\acute{a}x.}$, que se define como el ritmo más alto de consumo de oxígeno alcanzable durante la realización de ejercicios máximos o agotadores (Willmore y Costill, 2004). Alcanzar este punto en el consumo de oxígeno significa que el final del ejercicio está cerca porque ya no se puede suministrar oxígeno con la rapidez necesaria para satisfacer las necesidades



de los músculos. Por lo tanto, este límite, el $VO_2max.$, dicta la intensidad del esfuerzo o el ritmo que se puede mantener, de manera que sólo es posible continuar haciendo ejercicio durante un corto tiempo después de alcanzar el consumo máximo de oxígeno movilizand las reservas anaeróbicas, aunque éstas tienen también una capacidad finita.

6.2. Medidas Psicométricas. Escala de Borg y SAM

Como ya se ha comentado en el presente texto, el fisiólogo Gunnar Borg (ver Borg, 1979) desarrolló en los años 70 una escala subjetiva que permitía estimar el esfuerzo físico percibido por el participante y, como consecuencia, tener una idea aproximada de la intensidad a la que se está trabajando. Esta escala, llamada La Escala de Borg, REP (rango de esfuerzo percibido) o RPE (rating of perceived effort) es una descripción que el participante hace del conjunto de sensaciones que se producen en su organismo. Se trata, por tanto, de una dimensión de carácter psicofisiológico pero subjetiva, que complementa y enriquece la información del proceso de entrenamiento.

La actual escala de Borg de 15 grados (6-20) (**Figura 26**) empezó a utilizarse en la Unidad de Investigación de la Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte en 1991, inspirada en la metodología del Laboratorio de Fisiología del Ejercicio del profesor Arthur Weltmann (laboratorio adscrito a la Universidad de Virginia).

6	
7	Muy, muy ligero
8	
9	Muy ligero
10	
11	Ligero
12	
13	Algo duro
14	
15	Duro
16	
17	Muy duro



Figura 26: Escala de RPE en castellano.

Esta escala mantiene una elevada correlación con la frecuencia cardíaca del participante durante el desarrollo de la tarea, como bien comentan autores como Borg (1979), Arruza (1996) y Pollock (1998), considerándose un excelente complemento para la información que nos brinda la frecuencia cardíaca. La relación más precisa entre el esfuerzo percibido y la tasa cardíaca, puede establecerse, en cada caso concreto, de forma individualizada (Pollock, 1998).

Para este estudio hemos empleado la RPE diferenciada donde la percepción del esfuerzo se compone de tres dimensiones, a diferencia de cómo se empezó a utilizar en los inicios de esta prueba, cuando solo se tenía en cuenta una única sensación total. Esta variación de la escala inicial de Borg es la que se utiliza en la mayoría de los trabajos actuales. La RPE diferenciada se divide en tres dimensiones: local, haciendo referencia al esfuerzo percibido en los grupos musculares implicados directamente en el esfuerzo de la tarea; central, que hace referencia al esfuerzo percibido a nivel cardiorrespiratorio; y total, que sería la percepción global que se tiene del esfuerzo.



Dicho test requiere por parte del participante que evalúe mediante señalización la fatiga percibida en las tres dimensiones, en una escala de 6 a 20, que se le presenta cada dos minutos durante la prueba de esfuerzo y durante la recuperación. Es de especial interés la fatiga percibida justo al terminar la prueba de esfuerzo y durante la recuperación, y se pretende observar el efecto que la manipulación experimental antes descrita tiene sobre ella, en las tres dimensiones.

Aparte de las Subescalas RPE de Borg también se han recogido datos (puntuaciones) del estado emocional provocado por la tarea. Para ello se empleó el maniquí de autoevaluación o *Self-assessment manikin* (SAM-versión española, Moltó et al., 1999; Bradley y Lang, 1994), que consiste en una escala de autoinforme en la cual a los participantes se les pide que evalúen su propio estado emocional, provocado por algún acontecimiento del medio ambiente (contexto), en tres dimensiones: Valencia (positiva, negativa), Activación (alta, baja), y Dominancia (alta, baja). Para este experimento sólo se usaron las escalas de valencia y activación (**Figura 27**).

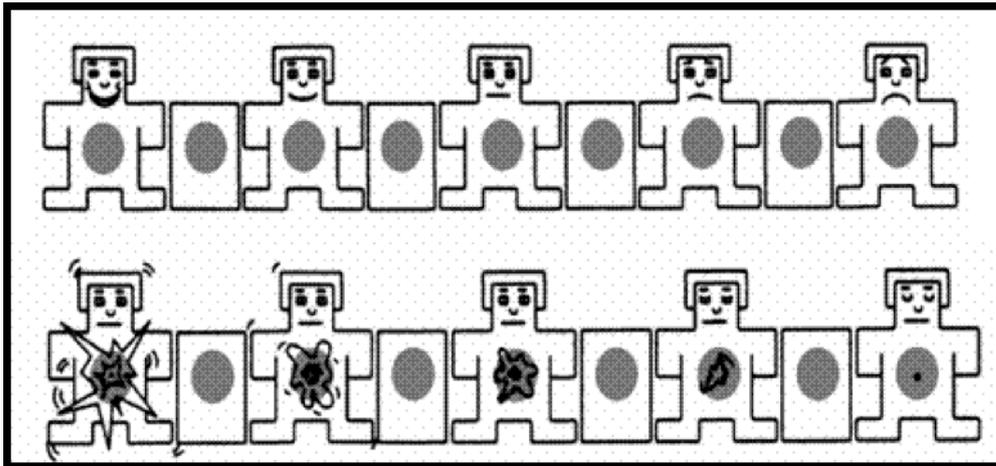
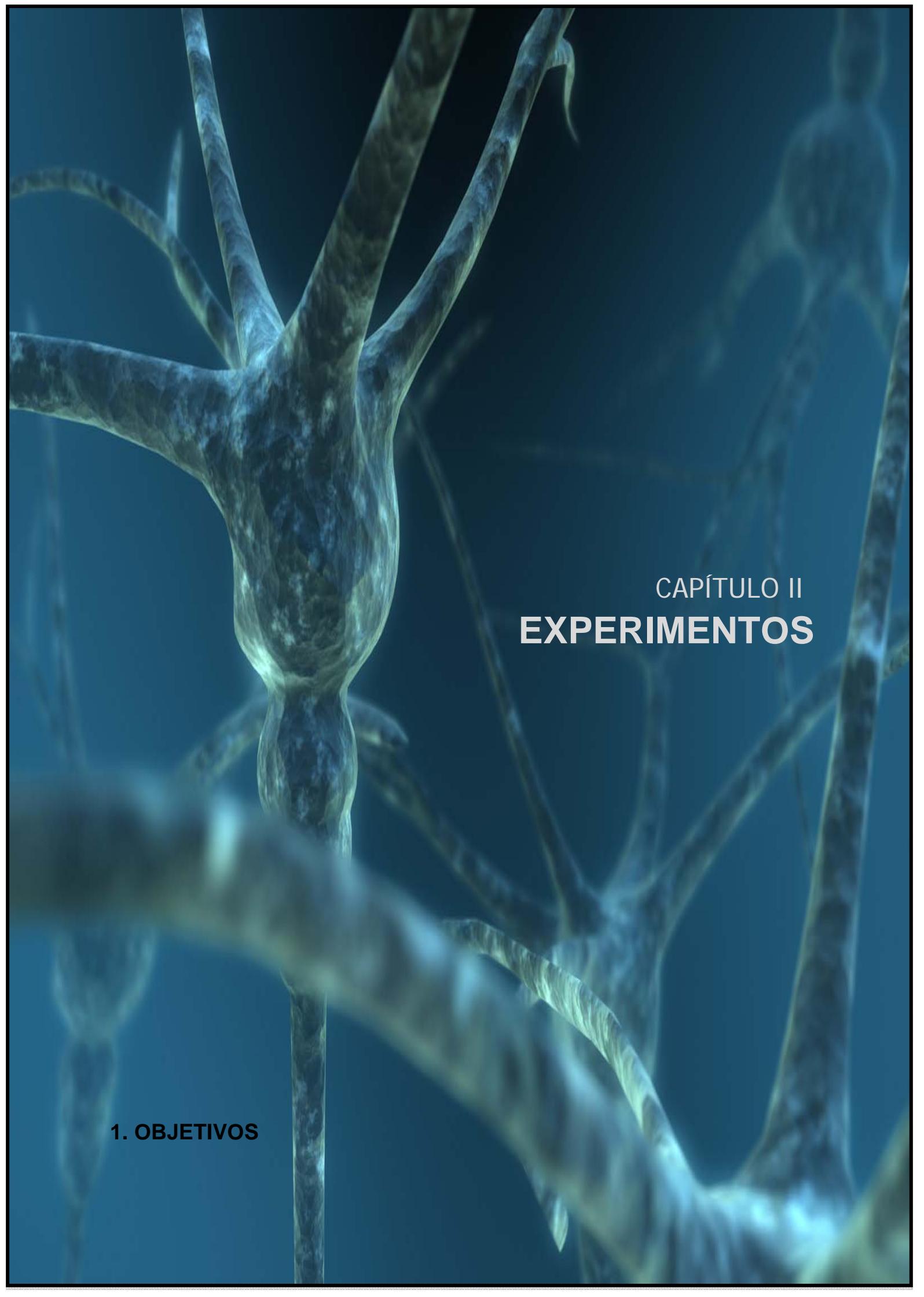


Figura 27 : Maniquí de autoevaluación de SAM. Valencia y activación



CAPÍTULO II
EXPERIMENTOS

1. OBJETIVOS



La mayoría de los entrenadores, deportistas profesionales y aficionados comparten la intuición de que el esfuerzo mental interfiere con el rendimiento físico y la recuperación del ejercicio. Sin embargo, son prácticamente inexistentes las investigaciones que abordan directamente esta hipótesis. Con el objeto de abordar este vacío, en la presente serie de experimentos el grado de carga mental será directamente manipulada mediante tareas de carga del ejecutivo central durante la realización de una prueba de esfuerzo máximo incremental en un cicloergómetro.

Nuestros objetivos son:

O₁: Comprobar la influencia de la carga de trabajo mental sobre la percepción subjetiva del esfuerzo durante el ejercicio y la recuperación en una prueba incremental máxima en cicloergómetro.

O₂: Comprobar la influencia de la carga de trabajo mental sobre el VO_2 durante el ejercicio y la recuperación en una prueba incremental máxima en cicloergómetro.

O₃: Comprobar la influencia de la carga de trabajo mental sobre el rendimiento físico, medido mediante el tiempo de esfuerzo hasta el agotamiento en una prueba incremental máxima en cicloergómetro.

O₄: Analizar la dinámica emocional resultante de la combinación de los efectos de la carga física y mental.

O₅: Construir un primer prototipo de modelo causal del esfuerzo, en el que se determine la contribución de la carga física y mental al esfuerzo percibido.



2. HIPÓTESIS

H₁: En participantes expuestos a un esfuerzo máximo incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro, la manipulación de la carga mental durante la realización de dicho esfuerzo y su recuperación, influye en la percepción subjetiva del esfuerzo por parte participante (RPE).

H₂: En participantes expuestos a un esfuerzo máximo incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro, la manipulación de la carga mental durante la realización de dicho esfuerzo influye en el tiempo hasta la aparición del agotamiento.

H₃: En participantes expuestos a un esfuerzo máximo incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro, la manipulación de la carga mental durante la realización de dicho esfuerzo y su recuperación, influye en el consumo de oxígeno (VO₂)

H₄: En participantes expuestos a un esfuerzo máximo incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro, la manipulación de la carga mental durante la realización de dicho esfuerzo y su recuperación, influye en la dinámica emocional (SAM: valencia y activación)



3. VARIABLES:

3.1. Variable Independiente.

3.1.1. Carga Mental

En este trabajo, la carga mental se entiende como el resultado de la suma la *carga cognitiva*, correspondiente al esfuerzo cognitivo desarrollado por parte del ejecutivo central, y la *carga emocional*, entendida como el efecto emocional derivado de dicho esfuerzo, así como de la retroalimentación resultante de la realización de la tarea cognitiva . Durante los dos experimentos que componen esta tesis doctoral, la carga mental será manipulada durante el desarrollo de la prueba incremental máxima. En el experimento 1 se realizará en tres niveles: carga mental baja, carga mental alta y no carga mental; y en el experimento 2 se realizará también en tres niveles que son pero de naturaleza diferente: feedback negativo, feedback positivo y no carga mental.

3.2. Variables Dependientes.

3.2.1. Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE)

La variable dependiente principal fue la percepción subjetiva del esfuerzo medida a través de la escala de Borg 6-20, en las tres subescalas (local, central, global). Como ya se ha comentado, dicho test requiere, por parte del participante, que evalúe mediante señalación el esfuerzo percibido en las tres dimensiones de una escala que comprende valores entre el 6 y el 20 y que se le presenta cada dos minutos tanto durante la prueba de esfuerzo como la recuperación. Se pretende



observar el efecto que la manipulación experimental antes descrita tiene sobre la valoración del participante, en las tres dimensiones perceptivas.

3.2.2. Volumen de Oxígeno (VO₂)

Esta variable es probablemente la que mejor permite estimar en tiempo real el impacto físico que el ejercicio ejerce sobre el organismo, en términos de recursos utilizados para el funcionamiento de los sistemas biológicos implicados en dicho ejercicio. Al igual que con la anterior variable, se pretende observar el efecto que la manipulación de la carga mental tiene sobre este parámetro.

3.2.3. Tiempo hasta el Agotamiento

Pensamos que es de gran interés conocer el tiempo empleado por cada participante para la realización de la prueba para poder hacer una comparativa intra-sujeto, diferenciando el tiempo empleado hasta el agotamiento por el mismo individuo en cada una de las tres condiciones de carga mental. Buscamos comprobar si existen diferencias en la duración de las pruebas en función de la carga mental que se le aplique.

3.2.4. Valencia y Activación (SAM)

Para la recogida de datos del estado emocional provocado durante la tarea, se empleó el maniquí de autoevaluación (Self-assessment manikin; SAM; ver Moltó et al., 1999; Bradley y Lang, 1994). Se trata de una escala de autoinforme en la cual a los participantes se les pide que evalúen su propio estado emocional, provocado por algún acontecimiento del medio ambiente (contexto), en tres dimensiones: Valencia



(positiva, negativa), Activación (alta, baja), y Dominancia (alta, baja). Para este experimento solo se usaron las escalas de valencia y activación.

Para cada una de las dimensiones del SAM, el participante debe elegir uno de los 5 iconos utilizados para representar estados emocionales progresivos (de menos a más activación, y de valencia negativa a positiva), o los puntos intermedios entre ellos. La respuesta del participante se codifica como un número del 1 al 9, en función del icono o punto intermedio señalado.

3.3. Control de Variables Extrañas.

3.3.1. Frecuencia Cardíaca Máxima al Finalizar la Prueba

Se empleó la medida de la frecuencia cardíaca alcanzada al finalizar la prueba tanto para garantizarnos que los participantes estuvieran realmente cerca del agotamiento cuando nos informaran que estaban agotados, como para asegurarnos que las tres condiciones estaban equiparadas en ese momento. De forma, que cualquier diferencia encontrada más allá de este punto sólo puede ser atribuible a la manipulación de la carga mental.

3.3.2. Implicación en la Tarea de Carga Cognitiva

Con esta variable se pretende comprobar la implicación del participante en la tarea de carga cognitiva, asegurándonos de esta manera que la tarea de carga mental estaba generando el efecto perseguido.

Tanto en la tarea N-Back como en la Go/No-go, los estímulos objetivos son aquellos para los cuales una respuesta es correcta, y distractores son aquellos que



no cumplen el criterio de respuesta. Si el participantes tiene un cierto grado de éxito en la tarea cognitiva, la ratio de respuesta debe ser mayor para los estímulos objetivos que para los distractores. La *tasa de aciertos (h)* se define como la proporción de respuestas a estímulos objetivo. La de *tasa de falsas alarmas (f)* es la proporción de respuestas a los distractores. Para asegurar que el participante no está realizando la tarea al azar, la tasa de aciertos (*h*) debe ser significativamente mayor que la tasa de falsas alarmas (*f*). Más concretamente, la discriminabilidad del estímulo objetivo, esto es, la capacidad del participantes para distinguir entre distractores y objetivos, puede medirse de diversas maneras. En este trabajo utilizaremos como medida de discriminabilidad la *diferencia de arcosenos*, una medida no paramétrica comúnmente aceptada en tareas de detección y discriminación como la que nos ocupa (vease Perales, Catena, Shanks, y González, 2005): Dicha medida se calcula como $DA = \arccos(f) - \arccos(h)$.

Junto a estas variables todas las pruebas y test empleados siguieron los protocolos establecidos para su realización. Estos serán expuestos con detalle en cada uno de los diseños experimentales.



4. EXPERIMENTO 1

Los principales objetivos del estudio fueron:

O₁: Comprobar la influencia de la carga de trabajo mental sobre la percepción subjetiva del esfuerzo durante el ejercicio y la recuperación en una prueba incremental máxima en cicloergómetro.

O₂: Comprobar la influencia de la carga de trabajo mental sobre el VO₂ durante el ejercicio y la recuperación en una prueba incremental máxima en cicloergómetro.

O₃: Comprobar la influencia de la carga de trabajo mental sobre el rendimiento físico, medido mediante el tiempo de esfuerzo hasta el agotamiento en una prueba incremental máxima en cicloergómetro.

Las principales hipótesis de trabajo fueron:

H₁: En participantes expuestos a un esfuerzo máximo incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro, la manipulación de la carga mental durante la realización de dicho esfuerzo y su recuperación, influye en la percepción subjetiva del esfuerzo por parte participante (RPE).

H₂: En participantes expuestos a un esfuerzo máximo incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro, la manipulación de la carga mental durante la realización de dicho esfuerzo, influye en el tiempo hasta la aparición del agotamiento.

H₃: En participantes expuestos a un esfuerzo máximo incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro, la manipulación de la carga mental durante la realización de dicho esfuerzo y su recuperación, influye en el volumen de oxígeno (VO₂)



4.1. Método

4.1.1. Participantes:

En este primer experimento se contó con 18 participantes, alumnos de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad de Granada, formado por 4 mujeres y 14 hombres, con una edad media de 21.17 años, y con un rango de edad 19-26 años (**Tabla 2**). Dos de los participantes (participante 1 y 6) no nos informaron que llegaran al agotamiento en el último palier que ejecutaron y, por lo tanto, no fueron considerados para el análisis posterior (véanse los detalles en la sección Resultados).

Los criterios de inclusión en la prueba fueron: 1) que la persona estuviera suficientemente descansada y hubiera seguido el día la prueba su rutina diaria; 2) que no hubiera ingerido alimentos en las dos horas anteriores a la prueba y 3) que no se encontrara bajo los efectos agudos o crónicos de sustancias que generen alteraciones físicas o psicológicas que pudieran impedir una correcta percepción del esfuerzo.

De conformidad con las normas éticas de la Universidad de Granada, todos ellos fueron informados de las condiciones en que se llevaría a cabo el experimento, teniendo que firmar un formulario de consentimiento informado. Además, un médico (experto en medicina deportiva) estaba disponible en el edificio durante toda la duración de cada sesión experimental, siendo siempre informado de cuando dicha sesión experimental se estaba llevando a cabo.



4.1.2. Aparatos y Estímulos:

Para la realización de la prueba de esfuerzo físico se utilizó un cicloergómetro CARDIOLINE ® xr100, y para la proyección de los estímulos de las tareas cognitivas se utilizó un proyector digital que proyectaba sobre una pantalla, de aproximadamente dos metros de diagonal, situada frente al participante experimental a una distancia de tres metros. La presentación de los estímulos fue controlada desde un ordenador portátil situado en una mesa de oficina a la izquierda del participante. Las respuestas a la tarea cognitiva se registraron mediante el uso de un teclado numérico inalámbrico fijado al manillar del cicloergómetro, y conectado al ordenador portátil que controlaba la tarea (**Figura 29**).



Figura 28: Aparatos para el registro y exposición de la tarea cognitiva.

El participante podía responder pulsando cualquiera de las teclas, de las 10 que existían en el teclado (los dígitos del 1 al 9, y el “intro”), sin necesidad de dejar de estar participante a la empuñadura del cicloergómetro. Como se detallará más adelante, cada estímulo consistía en una letra o número perfectamente perceptible



(dependiendo de la tarea), pidiéndosele al participante que respondiera pulsando o no pulsando la tecla (que él prefiriese) del teclado inalámbrico. Un sonido distintivo fue usado como *feedback* para cada respuesta correcta o incorrecta.

4.1.3. Procedimiento y Diseño:

Los participantes pedalearon en el cicloergómetro hasta el agotamiento, soportando el incremento, tras cada bloque de 2 minutos, de la intensidad en vatios a movilizar (**Figura 29**). Durante toda la tarea se le pidió que pedaleara a una cadencia (ciclo de pedaleo) de 70 revoluciones por minuto. Cuando la cadencia era diferente a la marcada como referencia, uno de los investigadores advertía al participante que incrementara o redujera, según correspondiera, su cadencia.

La prueba se iniciaba con 5 minutos de pedaleo libre, que era empleado como calentamiento. Los vatios movilizados durante el calentamiento eran los mismos que se empleaban en el primer *palier* de la prueba. En cuanto al ritmo de pedaleo, éste era el mismo que el empleado para toda la prueba (70 rpm).

El nivel de esfuerzo (vatios a movilizar) se calculó ajustando los vatios en función del peso del participante y que correspondían a la mitad de su peso corporal (medido en kilogramos). En otras palabras, una persona que pesara 70 kg. empezaría la tarea movilizando 35 vatios ($70 * .5$). En cada *palier* sucesivo, se incrementarían los vatios correspondientes a la mitad de su peso (peso/2). Siguiendo el mismo ejemplo, una persona que pesara 70 kg. movilizaría 35 vatios en el primer bloque, 70 en el segundo bloque, 105 en el tercer bloque, y así sucesivamente hasta que el participante llegara al agotamiento.

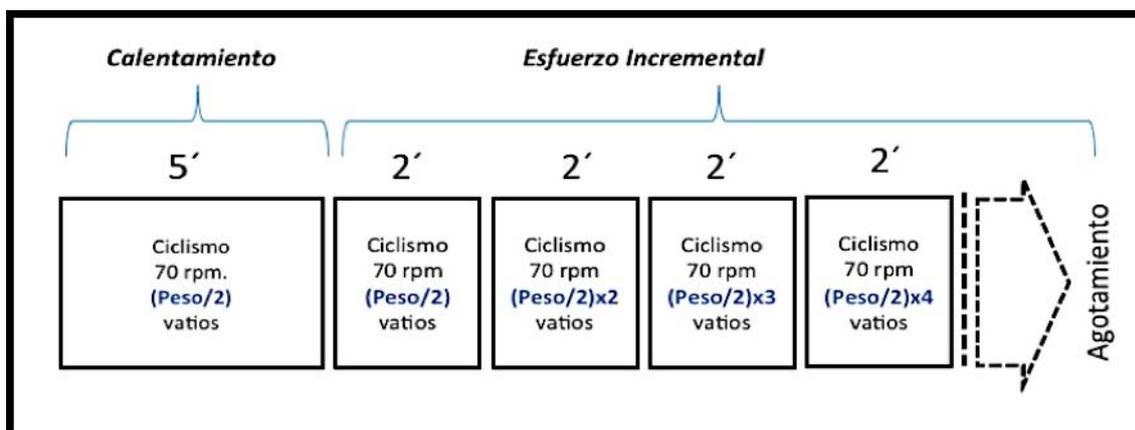


Figura 29: Representación visual de la prueba hasta el agotamiento

Justo después de llegar al punto de agotamiento, se eliminaba la resistencia al pedaleo, aunque la cadencia debía mantenerse (70 rpm), durante los siguientes 4 palieres de dos minutos (8 minutos), que era lo que duraba la recuperación (**Figura 30**).

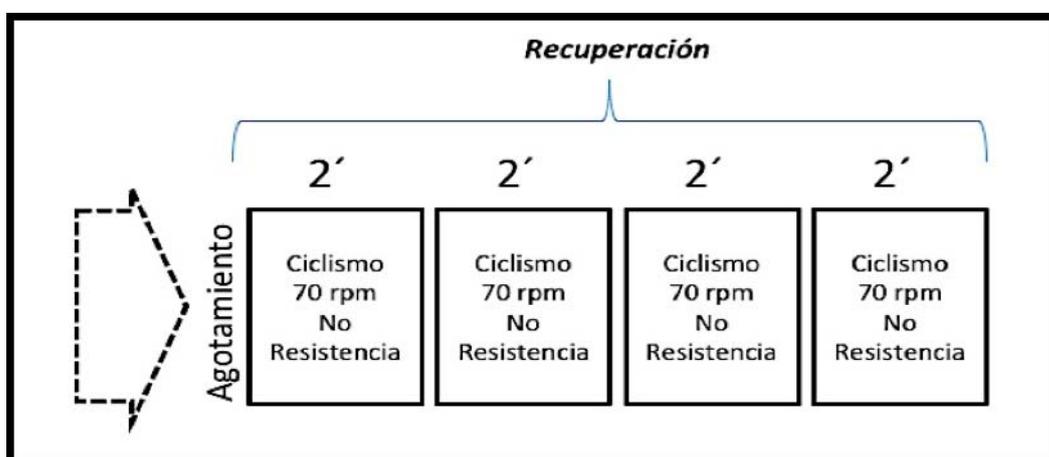


Figura 30: Representación visual de la recuperación de la prueba

Durante el ejercicio de esfuerzo incremental y su recuperación, los participantes realizaron dos tareas cognitivas alternativamente. La primera es conocida como **N-**



Back Task (Cohen, Perlstein, Braver, et al., 1997). En nuestra versión de la tarea una serie de dígitos aparecían sucesivamente en la pantalla, a un ritmo de un dígito cada 2500 milisegundos (con una duración de estímulo de 2000 milisegundos) y al participante se le pedía que informara (pulsando alguna tecla) cuando el número que aparece en la pantalla es el mismo que el presentado N posiciones antes.

Para realizar esta tarea, el participante debe mantener permanentemente en memoria de trabajo el dígito actual, y los N anteriores. Una vez que se emite la respuesta (pulsar en caso afirmativo, no pulsar en el caso de que la respuesta sea no) debe descartarse el último dígito y debe incluirse el de nueva aparición. En otras palabras, el contenido de la memoria de trabajo tiene que actualizarse después de cada ensayos durante todo el desarrollo de la prueba.

En la presente versión de la tarea, sólo se emplearon dígitos del 1 al 4. El dígito que aparecía en cada ensayo era seleccionado al azar, lo que significa que, en promedio, cada dígito era el mismo que el de N posiciones anteriores, y por lo tanto pulsar era correcto, en el 25% de los ensayos (**Figuras 31-32**).

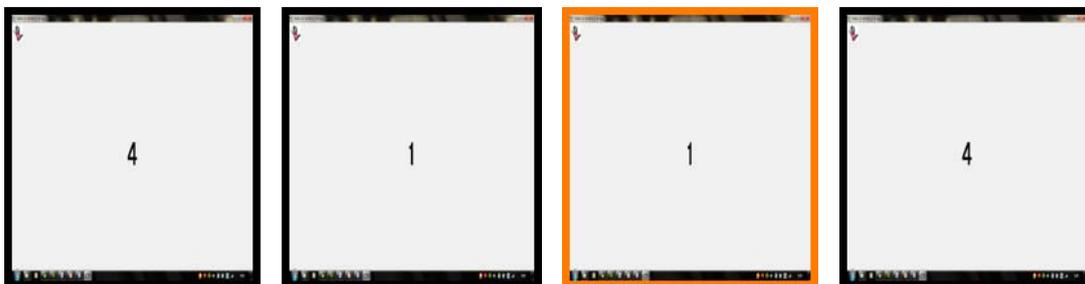


Figura 31: Ejemplo de 1-Back (condición de carga baja)

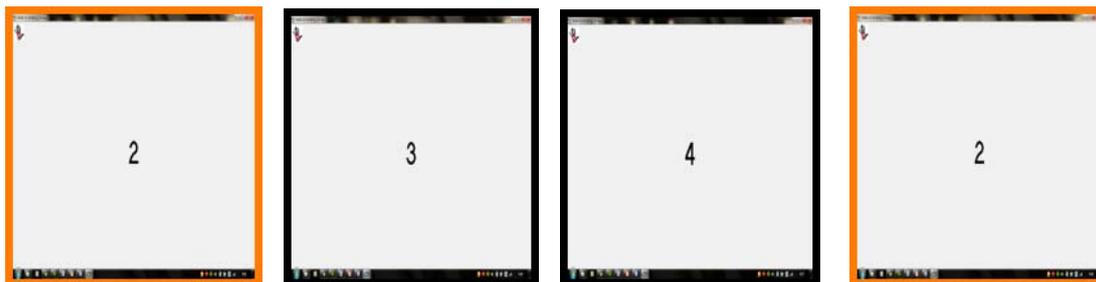


Figura 32: Ejemplo de 3-Back (condición de carga alta)

La segunda tarea recibe el nombre de **Go/No-Go Task** (ver Gordon y Caramazza, 1982; Gómez, Ratcliff, y Perea, 2007). En esta tarea, al participante se le presenta en cada ensayo uno de los dos estímulos (por ejemplo una de las dos letras) y se le pide que responda cuando uno de ellos aparezca en la pantalla (una de las letras fijadas previamente) y que no responda (evite pulsar la tecla) cuando aparezca el otro estímulo. Al primer estímulo se le llama *estímulo go*, y aparece con un promedio de 3 de cada 4 ensayos, el otro es el *estímulo no-go* y aparece en 1 de cada 4 ensayos. La tasa de aparición de estímulos y la duración de cada ensayo fue el mismo en las dos tareas (**Figuras 33-34**)

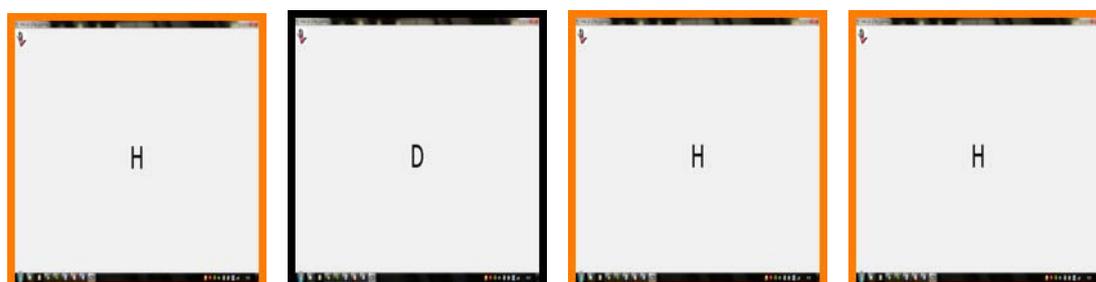


Figura 33: Ejemplo de 1 Go/ 1 No-Go (condición de carga baja). Pulsar cuando aparezca la H y no pulsar cuando aparezca la D



Figura 34: Ejemplo de 2 Go/ 2 No-Go (condición de carga alta). Pulsar cuando aparezca la H sin recuadro y la J con recuadro

Tanto la tarea *N-Back* como la *Go/No-Go* requieren la participación del ejecutivo central, y por tanto, generan una significativa carga mental. El grado de la carga de trabajo puede ser fácilmente ajustado para que la tarea sea más o menos exigente, dependiendo de los intereses de los investigadores. En el caso de la tarea *N-Back*, cuanto más grande sea *N*, más exigente es la tarea. Téngase en cuenta que *N* determina cuantos dígitos necesita recordar y estar usando el participante. De esta manera, una tarea 1-back se percibe subjetivamente como muy fácil, una tarea 2-back está considerada como moderadamente exigente, y una tarea 3-back es muy difícil. La mayoría de personas son incapaces de realizar una tarea 4-back más allá del nivel de azar. Para el presente estudio se emplearon dos niveles de carga de trabajo/dificultad: 1-back (condición de baja carga), y 3-back (condición de carga alta).

Del mismo modo, la dificultad/carga de trabajo de la tarea *Go/No-Go* se puede variar cambiando la complejidad del criterio de respuesta en cada ensayo. En la versión de criterio simple (carga baja), los participantes son simplemente informados de que deben responder a una de las letras y no a la otra (2 estímulos). En la versión de doble criterio (carga alta), cada una de las dos letras puede aparecer con



un recuadro o sin él (4 estímulos). La instrucción consiste en responder a una de las letras cuando aparece sola, pero no responder si ésta aparece dentro de un recuadro; y del mismo modo, el participante recibe la información de no responder a la otra letra sola, pero sí responder cuando esta letra aparece con un recuadro. En otras palabras, hay dos estímulos *Go* (una letra sola y la otra letra dentro de un recuadro), y dos estímulos *No-Go*. Por lo tanto, la discriminación entre el estímulo *Go* y *No-Go* no puede hacerse sobre la base de una única característica (la letra o el recuadro), sino sólo atendiendo a la combinación de ambas, lo que representa un aumento de la dificultad de la tarea.

En el presente experimento, cada participante realizó la prueba de esfuerzo físico en tres ocasiones, con una separación de, al menos, 72 horas entre cada una, (para permitir la recuperación completa tras el esfuerzo máximo incremental realizado). En una de las sesiones, la prueba de esfuerzo se llevó a cabo sin la tarea concomitante de carga mental (condición de no carga); en otra sesión se realizó con tareas de carga mental baja (condición de carga baja); y en otra, con tareas de carga mental alta (condición de carga alta). El orden de las tres condiciones fue seleccionado al azar para cada participante. Como se ha comentado con anterioridad *la condición de carga fue la principal variable independiente* de este experimento.

En las dos condiciones de carga mental (carga baja y carga alta), el tipo de tarea (N-back, Go/No-Go) fue alternándose entre palieres. Como se comentó anteriormente, cada palier era de 2 minutos de duración, y, cuando terminaba, se incrementaba el número de vatios a movilizar para la realización del siguiente (esta



subida correspondía a una cantidad fija fruto de dividir entre 2 el peso del participante en kilogramos). Así, la duración de cada bloque de la tarea (N-back, Go/No-go) coincidía con la duración de cada palier de esfuerzo incremental. Durante los palieres correspondientes a la recuperación, la carga en vatios era constante, y fueron separados tan sólo por las mediciones del esfuerzo percibido (RPE). En esta parte de la prueba, la tarea cognitiva seguía alternándose cada dos minutos (hasta completar los 8 minutos de recuperación).

La representación gráfica de las diferentes pruebas sería:

No carga Mental:

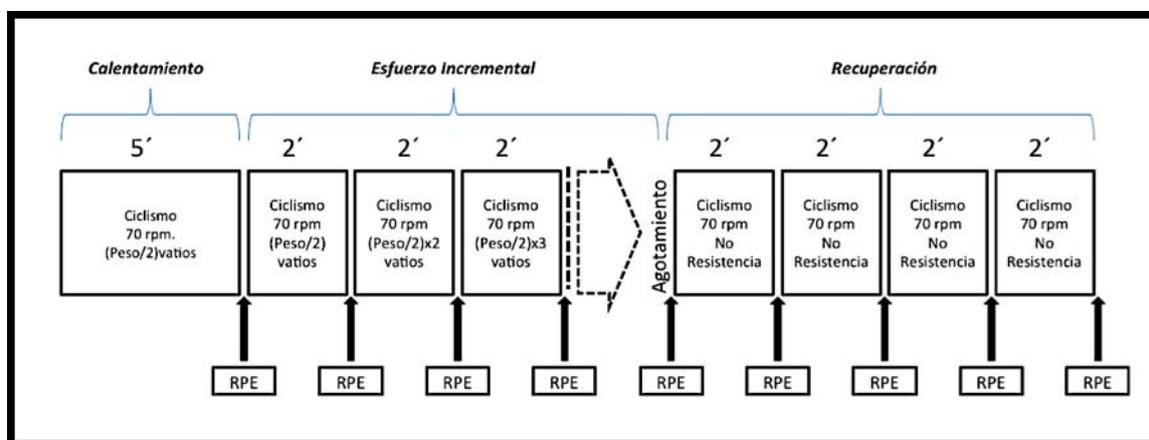


Figura 35: Representación visual de la prueba sin esfuerzo mental.

Carga Mental Baja (1-Back y 1 Go/1 No Go)

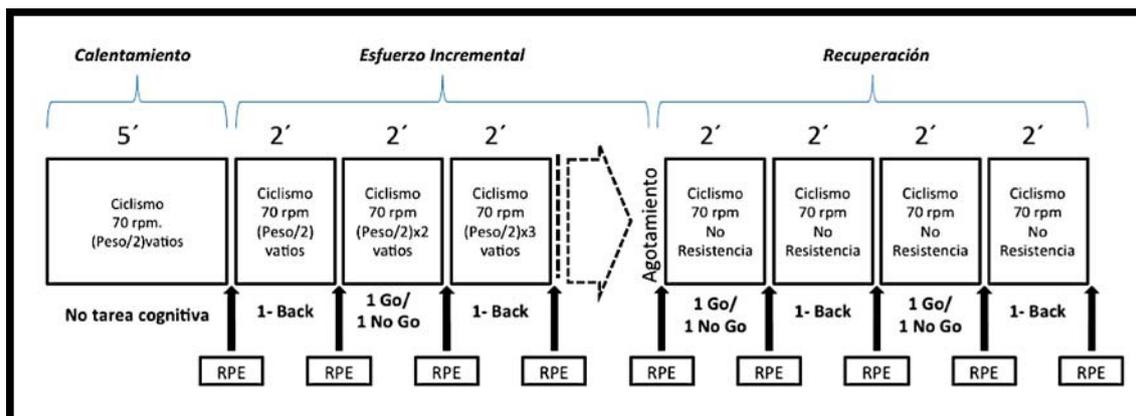


Figura 36: Representación visual de la prueba con esfuerzo mental bajo

Carga Mental Alta (3-Back y 2 Go/2 No Go)

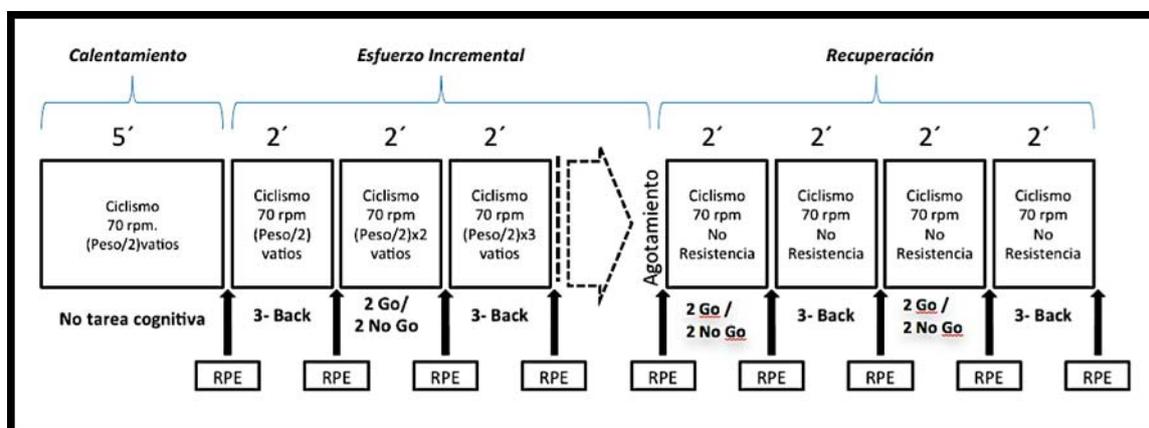


Figura 37: Representación visual de la prueba con esfuerzo mental alto.

Al finalizar cada palier un investigador reprogramaba el cicloergómetro (subía el número de vatios) mientras un segundo preguntaba al participante sobre su nivel de esfuerzo percibido, respondiendo éste señalando con el dedo el valor correspondiente (el participante no debía hablar para no interferir en los registros de



VO₂) en una reproducción visual de la escala RPE 6-20, después de cada palier de dos minutos hasta el agotamiento, y después de cada dos minutos durante la recuperación.

Atendiendo a estas instrucciones, resulta evidente que el número de medidas durante el ejercicio variaba de un participante a otro, ya que el número de palieres completados antes del agotamiento dependía de la condición física. Por esta razón, los principales análisis del presente experimento comprenden, por un lado, el número de palieres realizados por todos los participantes (5; de otra forma sería imposible la comparación entre-sujetos); y, por otro, los palieres correspondientes a la recuperación.

Finalmente, además de recoger las puntuaciones del RPE, también se registró el consumo de oxígeno y la frecuencia cardíaca en todos los participantes durante todos los periodos de esfuerzo y recuperación, aunque, por las razones mencionadas, sólo fueron analizadas las medidas tomadas durante la recuperación y las correspondientes al número de palieres finalizados por todos los participantes.

Para el registro del consumo de oxígeno durante la realización del experimento, se empleó un analizador de la composición de gases modelo Cosmed K4b²®. El instrumento de medida se envió a las oficinas del fabricante para su revisión técnica antes de que comenzara el experimento (para este modelo se recomienda una revisión cada 6 meses). Antes de cada sesión fue calibrado de forma individual siguiendo el manual de instrucciones del fabricante.



El analizador de gases toma un punto de observación para cada ciclo de inhalación/exhalación en ml/min·kg calculado a partir de la diferencia entre la concentraciones de oxígeno en el aire inhalado y exhalado.

4.2. Resultados

4.2.1. Comprobación del agotamiento.

El nivel de esfuerzo fue aumentando hasta que el participante informó que era incapaz de ejercer por más tiempo el mismo nivel de esfuerzo. Como se señaló anteriormente, sólo los participantes que llegaron a 18 puntos o más en la subescala RPE-Total fueron considerados para los análisis.

El promedio de RPE en el punto de agotamiento no varió a través de condiciones, lo que garantizaba que, en este punto, las tres condiciones estaban equiparadas en el esfuerzo percibido subjetivo. Un ANOVA intrasujeto 3 (Carga: alta, baja, sin carga) x 3 (RPE subescala: local, central, total) para las medidas RPE en el punto de agotamiento no arrojó ningún efecto significativo. La media (ET) de los valores de RPE para la carga alta, la carga baja, y la condición de no carga fueron 19,48 (.30), 19,56 (.25) y 19,54 (.27) [$F < 1$], respectivamente. La interacción Subescala x Carga tampoco fue significativa [$F(4, 60) = 2.03$; $MSE = .17$, $p = .10$].

Sin embargo, el efecto entre las subescalas se aproximó más a la significación. La media (ET) de los valores para las escalas local, central, total fueron 19.60 (.15), 19.42 (.19), y 19.56 (.13) [$F(2, 30) = 3.02$; $MSE = .15$; $p = .064$]. Visualmente, el nivel central de esfuerzo percibido, fue ligeramente inferior a los niveles local y total. Esto está en concordancia con el hecho bien conocido que la percepción del esfuerzo en



ciclismo aparece más rápidamente a nivel de los músculos implicados en el movimiento que a nivel cardiorrespiratorio, especialmente en participantes que no poseen en un alto estado de forma física.

Por otro lado, la frecuencia cardíaca fue monitorizada durante el esfuerzo y la recuperación. En el agotamiento, la media (ET) del porcentaje sobre la frecuencia cardíaca máxima individual estimada (calculada como 220 menos la edad) para las tres condiciones fue 92,44% (1.54), 95,11% (1.00), y 93,90% (1.74) [$F(2, 30)=2.29$, $MSE=12.50$; $p=.12$]. Esto nos garantiza, en primer lugar, que los participantes estaban realmente cerca del agotamiento cuando ellos informaron que estaban agotados, y, en segundo lugar, que las tres condiciones estaban equiparadas en ese momento. Por tanto, como se verá más adelante, cualquier diferencia encontrada más allá de este punto solo puede ser atribuible a la manipulación de la carga mental.

Finalmente, también se registró el consumo de oxígeno, en promedio de los últimos 30 segundos antes del agotamiento (el promedio se empleó para estabilizar la medida). La media (ET) de los valores de VO_2 medidos en ml/Kg·min fueron 43.15 (2.85), 44.97 (2.65), y 44,83 (2.98), para la carga alta, la carga baja y la condición de no carga, respectivamente. Estos valores no difieren significativamente entre ellos ($F<1$). Debido a que tres registros de dos participantes se mostraron claramente anómalos ($VO_2 < 25$), también se llevó a cabo el mismo análisis sin tener presente a estos participantes. En este caso, la media (ET) de los valores de VO_2 fueron 44.15 (2,76) , 47.12 (2.50), y 48.38 (2.00). Una vez más, el efecto de la carga cognitiva no resultó significativo [$F(2, 26)=1.08$, $MSE=50.58$, $p=.36$].



4.2.2. Comprobación de la Implicación en la Tarea de Carga Cognitiva

Hemos calculado la discriminabilidad (DA) para intervalos de 30 segundos a través de toda la tarea. Hemos tenido en cuenta que todos los participantes en todas las condiciones completaron al menos 5 niveles de esfuerzo, de manera que tenemos 20 puntuaciones discriminativas de todos ellos, mas otras 16 que corresponden a los 8 minutos de la fase de recuperación. En aras de la simplicidad, y con el fin de estabilizar la medición, se promediaron las puntuaciones discriminativas para los cuatros intervalos de 30 segundos de cada palier de esfuerzo de 2 minutos. Y todo ello, analizando la Go/No-go y la N-Back de manera conjunta. El mismo análisis de discriminabilidad puede ser aplicado a las dos tareas, de manera que el tipo de tarea deber ser considerada como un factor contrabalanceado.

En la **Figura 38** se muestran los niveles del promedio discriminativo para cada nivel de 2 minutos durante el esfuerzo para las dos condiciones de carga (carga alta y carga baja; obviamente en la condición de no carga no había tarea cognitiva para chequear) mientras que en la **Figura 39** se muestra durante la recuperación.

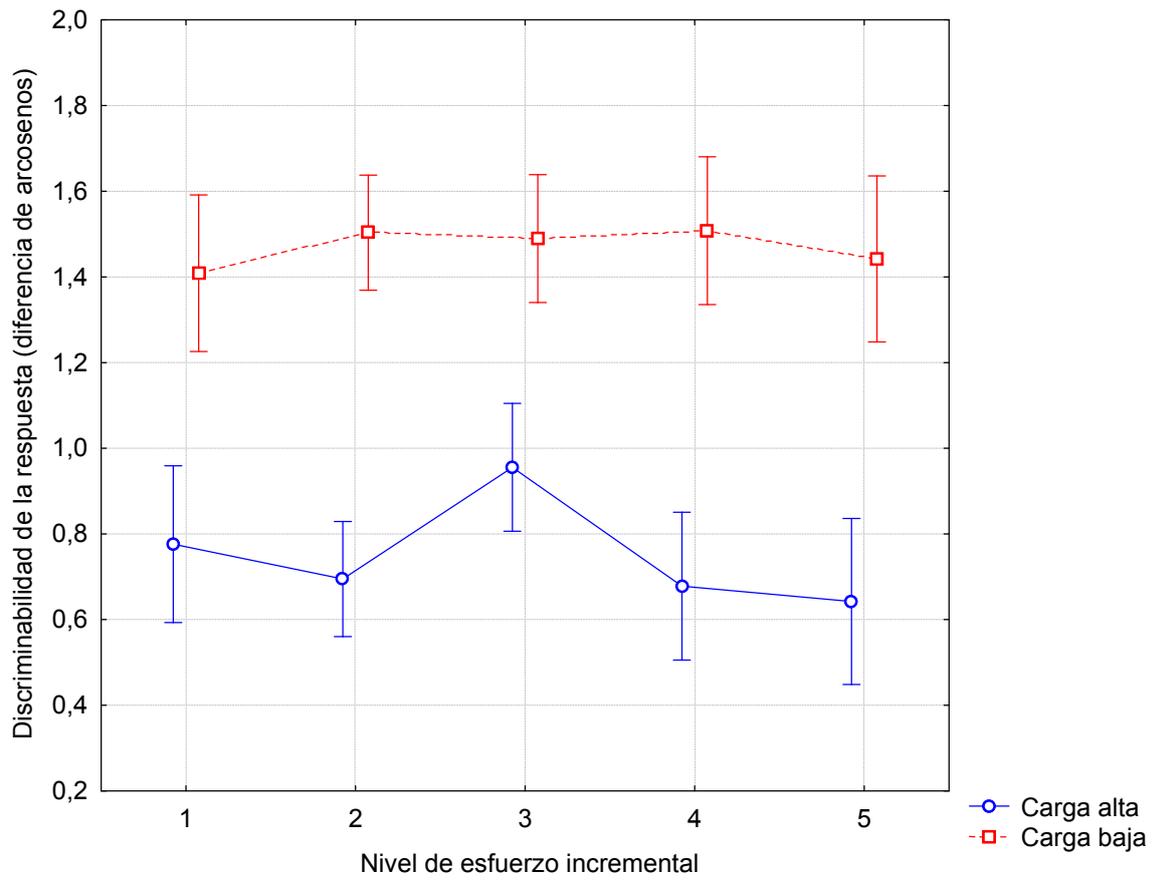


Figura 38: Niveles de Promedio Discriminativo para las dos condiciones de Carga Mental durante el Esfuerzo

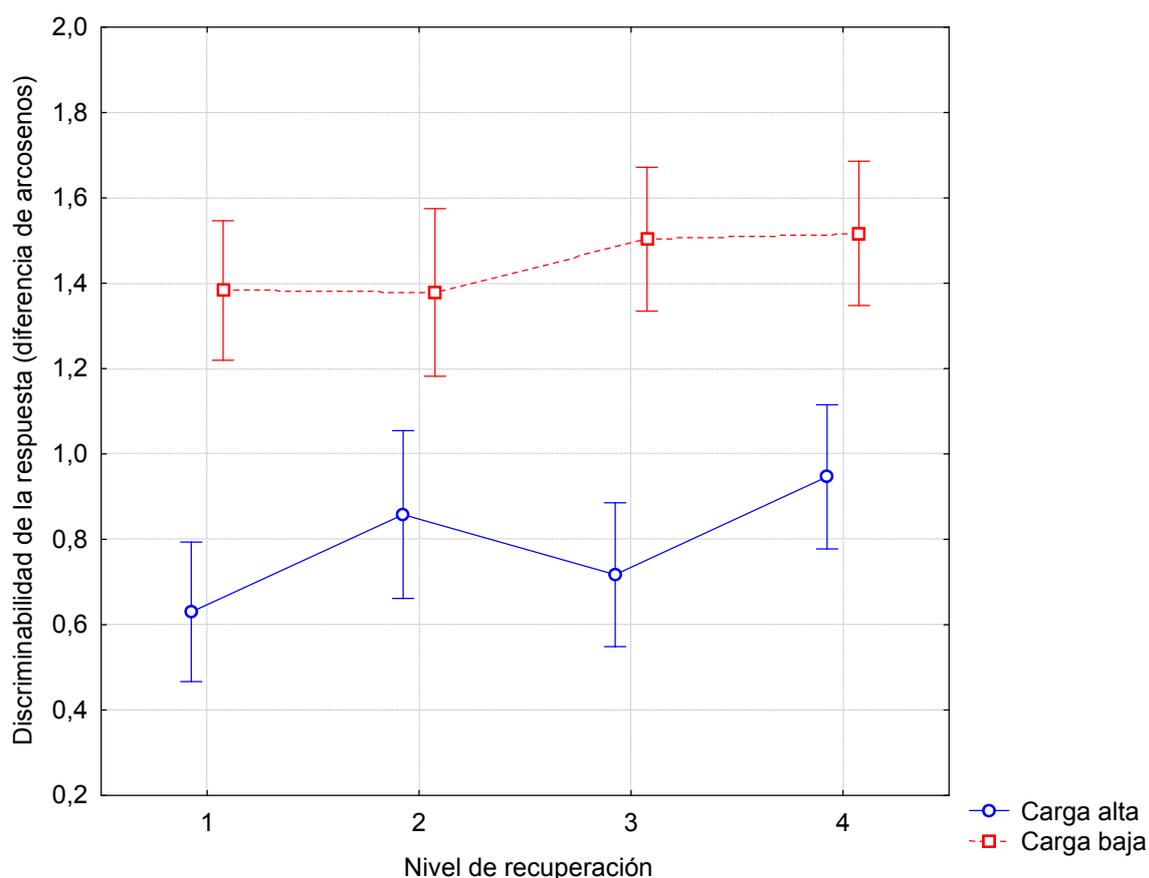


Figura 39: Los Niveles de Promedio Discriminativo para las dos condiciones de Carga Mental durante la Recuperación

Durante el esfuerzo incremental, la ANOVA Carga Cognitiva (alta, baja) x Palier (Calentamiento y palieres 1-5) arrojó un efecto significativo de la Carga [$F(1, 30)=102.09$, $MSE=.20$, $p<.01$]. Ni el efecto del Palier ni el de la interacción Carga x Palier fueron significativos [$F(4, 120)=1.70$, $MSE=.08$, $p=.15$, y $F(4, 120)=1.62$, $MSE=.08$, $p=.17$, respectivamente].

Durante la recuperación, hubo de nuevo un efecto principal de la Carga Cognitiva [$F(1, 30)=67.33$, $MSE=.21$, $p<.01$], con un mayor rendimiento en la condición de carga baja, como era de esperar. Adicionalmente, el rendimiento



mejoró moderadamente con la progresiva recuperación [$F(3, 90)=3.08$, $MSE=.09$, $p=.03$]. La interacción Carga Cognitiva x Palier de Recuperación no llegó a ser significativa [$F(3, 90)=1.58$, $MSE=.09$, $p=.20$].

En resumen, como puede verse en la **Figura 38**, la discriminabilidad en los dos niveles estaba muy por encima de cero para todos los puntos de medida, lo que puede ser interpretable como una implicación significativa de los participantes con la tarea durante la prueba. Además, como se esperaba, el rendimiento fue significativamente mejor para la tarea de carga baja. En ninguna de las dos condiciones de carga el rendimiento fue empeorando durante el esfuerzo incremental, aunque en ambas hubo una mejora moderada durante la recuperación

4.2.3. RPE (Borg Scale)

Como hemos comentado anteriormente, para el análisis de los datos, aquellos participantes que mostraron valores de RPE por debajo de 18 para el palier de agotamiento (el palier en el cual los participantes deciden parar) en cualquiera de las tres condiciones de carga, fueron excluidos del análisis. Como se trataba de un esfuerzo máximo, hemos considerado que no señalar al menos este valor en la última percepción del esfuerzo, implica no haber comprendido la lógica de dicha escala, o no haber ejercido el máximo esfuerzo posible durante la prueba. Dos fueron los participantes que no cumplieron con este requisito, por lo cual quedaron 16 participantes para el análisis estadístico. Para ver el registro de los datos del RPE acudir a las **tablas 3, 4 y 5**.



Se llevó a cabo un ANOVA mixto: Carga Cognitiva (alta, baja y sin carga) x Palieres (1-5) x Tipo de Escala (local, central y total) de los datos de **RPE durante el esfuerzo progresivo hasta la fatiga**. Sólo cinco bloques fueron analizados, debido a que, a pesar de que los diferentes participantes alcanzaron diferentes números de bloques en función de sus niveles de condición física, todos ellos finalizaron, por lo menos, 5. Por tanto, éste es el número de bloques para los cuales tenemos registros fiables para todos los participantes de la muestra.

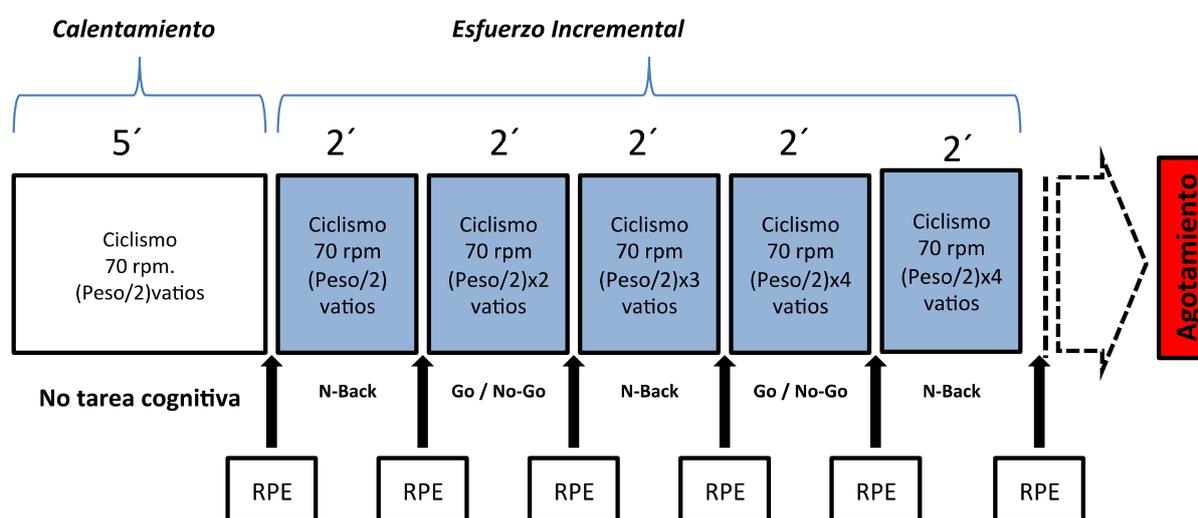


Figura 40: Representación visual de los palieres registrados

En consecuencia, tenemos cinco medidas de RPE durante el esfuerzo (además de la medición inicial tomada entre el final del calentamiento y el inicio de la fase de esfuerzo incremental).

Se llevó a cabo un ANOVA intrasujeto Palier (1-5) x Carga Cognitiva (carga alta, carga baja, no carga) x Subescala (local, central, total) para los valores de esfuerzo percibido (RPE).



La **Figura 41** muestra como la RPE se intensifica con el esfuerzo para las tres condiciones de carga cognitiva y las tres subescalas. El efecto de Palier fue fuertemente significativo, con el RPE incrementándose gradualmente con el esfuerzo físico $F(5, 75)=212.72$, $MSE=9.1$, $p<.01$. La carga mental, sin embargo, no tiene ningún efecto directo o interactivo sobre la RPE [$F<1$; $F(4, 60)=1.04$; $MSE=.70$; $p=.39$; $F(10, 150)=1.53$; $MSE=2.60$; $p=.13$; y $F(20, 300)=1.51$, $MSE=.20$; $p=.08$, para el efecto principal de la Carga, la interacción Carga x Palier, la interacción Carga x Subescala, y la interacción de 2ª orden, respectivamente].

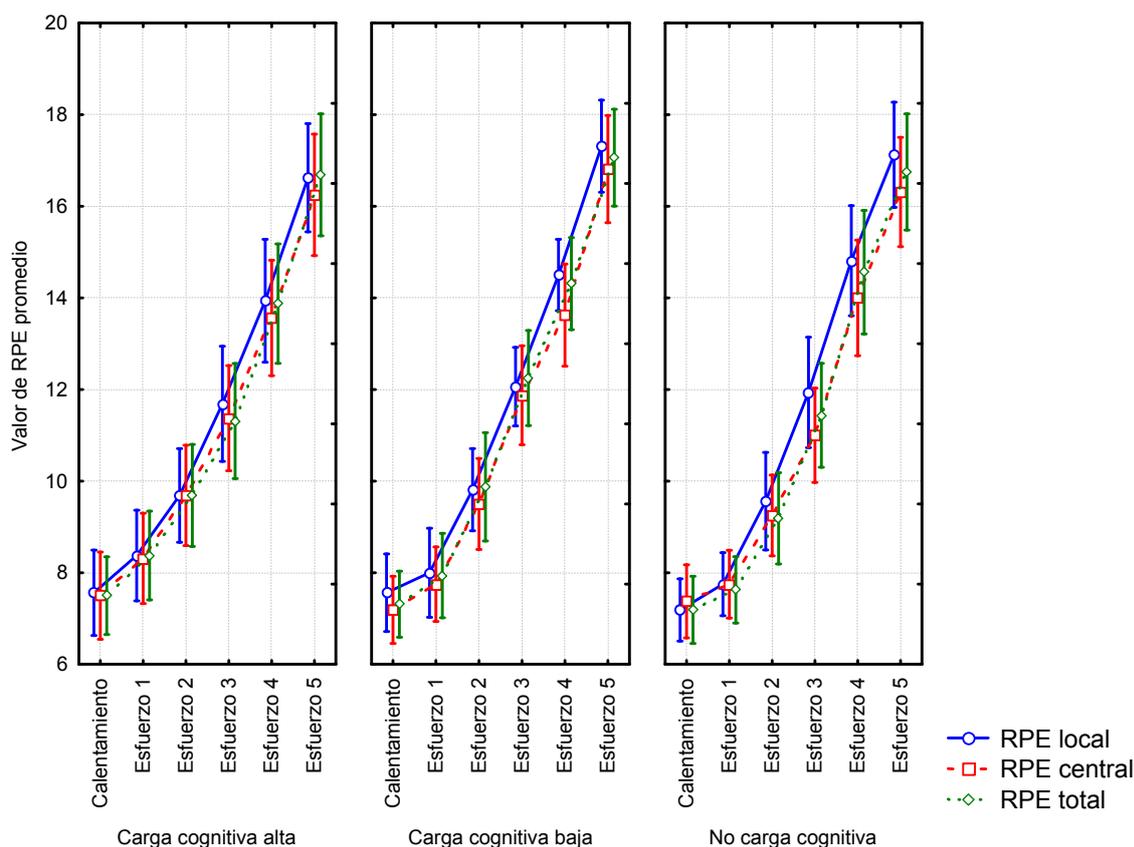


Figura 41: RPE para la tres condiciones de carga y las tres subescalas durante el esfuerzo



Los valores de RPE difieren entre las subescalas [$F(2, 30)=5.95$, $MSE=1.50$, $p=.01$], siendo los valores de las escalas local y total levemente más altos que los de la central. La media (ET) de los valores para las Subescalas local, central y total fueron 11.41 (1.29), 11.06 (1.43), y 11.27 (1.47), respectivamente. Las comparaciones planeadas arrojaron diferencias significativas entre la puntuación local y central ($p=.02$), así como entre los valores de central y total ($p<.01$), pero no entre los valores local y total ($p=.16$). Además, las subescalas interactuaron con los Palieres [$F(10, 150)=3.00$; $MSE=.30$; $p<.01$]. Como se muestra en la **Figura 42**, el esfuerzo percibido se acumulaba más rápidamente a nivel local que central, y el esfuerzo total parece estar basado más directamente en el esfuerzo local que en el cardiorrespiratorio.

Por último, para el análisis de las **puntuaciones de RPE durante la recuperación** se realizó una ANOVA intrasujeto 3 (Carga) x 5 (Palieres: agotamiento, recuperación 1, recuperación 2, recuperación 3, recuperación 4) x 3 (Subescala) donde los valores de RPE sufrieron un efecto significativo de la Carga $F(2, 30)=3.25$, $MSE=19.6$, $p=.05$. La comparación planeada mostró una diferencia significativa entre alta carga y no carga ($p=.03$). Como se puede observar en la **Figura 43** los valores RPE para la condición de carga baja se encontraban entre los correspondientes a las condiciones de carga alta y no-carga, y no fueron significativamente diferentes para ninguna de las dos. La media (ET) de los valores de RPE fueron 12.49 (2.31), 12.07 (1.90), y 11.47 (1.65) para las condiciones de alta carga, baja carga, y no carga respectivamente. Los análisis de tendencias



mostraron que el efecto de la Carga sobre la RPE fue exclusivamente lineal ($p=.03$; $F < 1$ para los otros componentes).

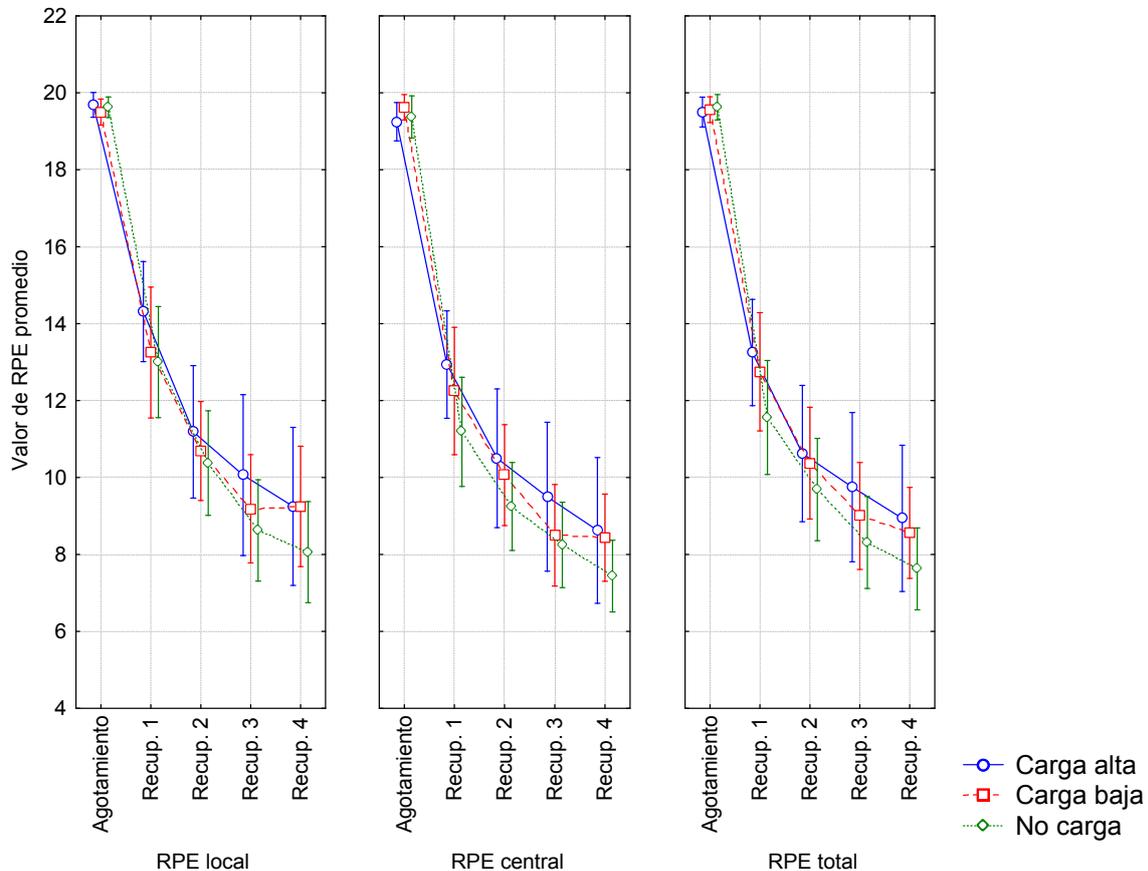


Figura 42: RPE para la tres condiciones de carga y las tres subescalas durante la recuperación

Obviamente, el efecto de Palier fue muy significativo $F(4, 60)=222.73$; $MSE=13.2$; $p<.01$. Más interesante fueron los efectos de Subescalas, $F(2, 30)=12.31$; $MSE=2.60$; $p<.01$, y la interacción de Palier x Subescalas $F(8, 120)=2.70$, $MSE=1.00$; $p<.01$. Los valores promedio de las Subescalas fueron 12.40 (1.87), 11.68 (1.74), y 11.94 (1.77) para la local, central y total, respectivamente. Las comparaciones planeadas mostraron diferencias significativas entre las Subescalas local y central ($p<.01$), y entre las Subescalas central y total ($p<.01$), pero también



entre las Subescalas local y total ($p < .01$). Como se puede observar en la **Figura 43**, al igual que ocurrió durante el agotamiento, las Subescalas local y total fueron las más afectadas por el esfuerzo. Sin embargo, la interacción es debida al hecho de que la RPE local siguió siendo superior que la RPE central desde el agotamiento hasta el final de la recuperación, mientras que la RPE total disminuyó más rápidamente y se emparejó con la RPE central al final de la recuperación.

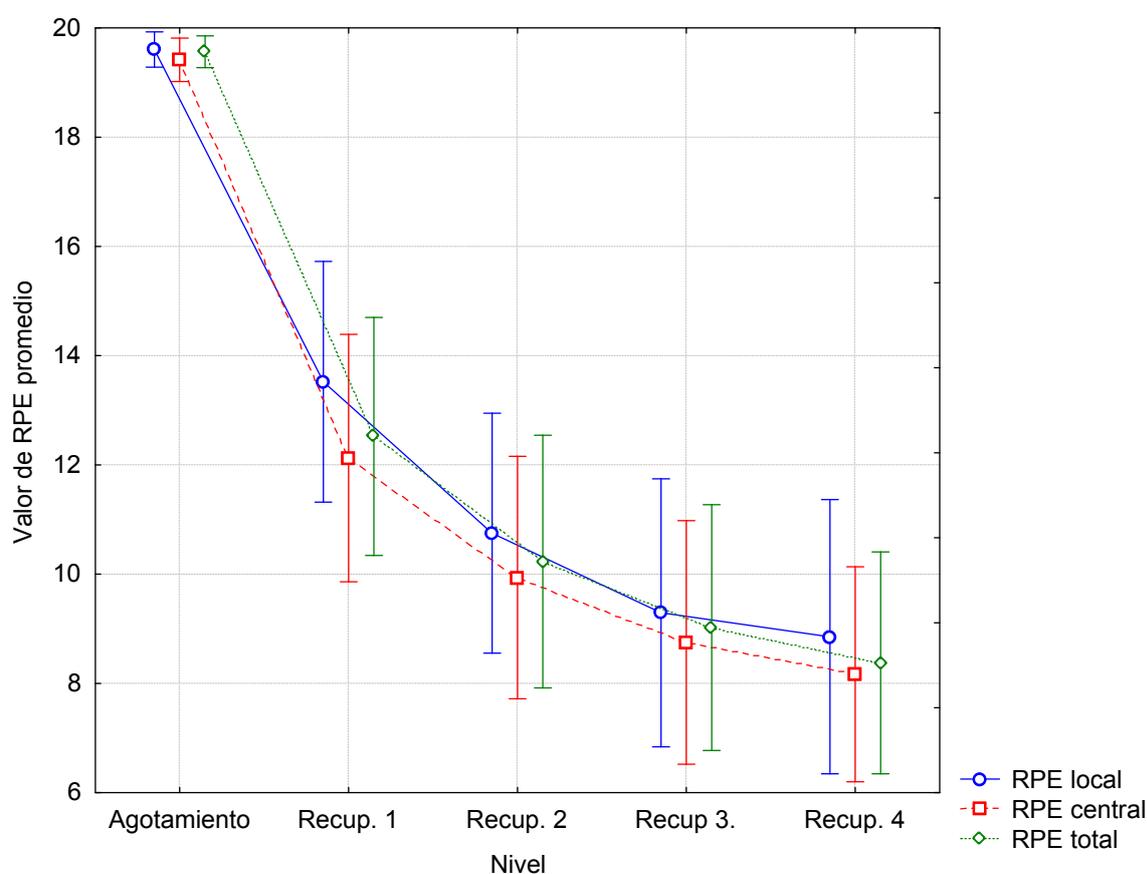


Figura 43: Valores promedio de la RPE para las tres subescalas durante la recuperación

4.2.4. Tiempo hasta el Agotamiento



El tiempo medio hasta el agotamiento no fue diferente entre las condiciones de carga cognitiva. Los participantes se ejercitaron durante 763 (26.40), 776 (28.58), y 752 (26.79) segundos, en las condiciones de carga alta, baja, y no carga, respectivamente [$F(2, 30)=1.98$, $MSE=1201$, $p=.16$]. En otras palabras, la carga de trabajo cognitivo no aceleró el agotamiento.

4.2.5. Oxígeno Consumido Durante Esfuerzo y Recuperación

Como se describió anteriormente, se utilizó un analizador de gases K4b²® para controlar continuamente el consumo de oxígeno durante la tarea. Para los propósitos del análisis, y con el fin de tener los mismos puntos de observación para todas las condiciones, se calcularon los valores medios de VO_2 para cada intervalo consecutivo de 30 segundos. (**Tablas 6 a 11**)

Durante el esfuerzo, hemos analizado 20 puntos de registros de cada participante en cada condición, lo que corresponde aproximadamente a 10 minutos (el último intervalo de 30 segundo está incompleto para algunos participantes que se agotaron durante este intervalo). Como se puede ver en la **Figura 44** el consumo de oxígeno se incrementó gradualmente durante el ejercicio, casi de forma lineal con respecto a la carga física de la tarea. Sólo el efecto del intervalo fue significativo $F(19, 285)=316.78$, $MSE=9.00$, $p<.001$. Ni el efecto de la Carga, ni el de la interacción $Palier \times Carga$ se aproximaron a la significación ($F < 1$ en ambos casos).

En los valores medios de VO_2 durante la recuperación se muestran en la **Figura 45**. Sólo el efecto del intervalo fue significativo. Como era de esperar, el consumo de oxígeno decrece gradualmente después del agotamiento, $F(15, 225)=201.72$,

La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción del esfuerzo físico durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento



$MSE=8.2$, $p<.01$, pero no fue significativamente afectado por la Carga Mental, ni



globalmente, $F < 1$, ni en la interacción con intervalo, $F(30, 450) = 1.35$, $MSE = 3.40$,

$p = .11$

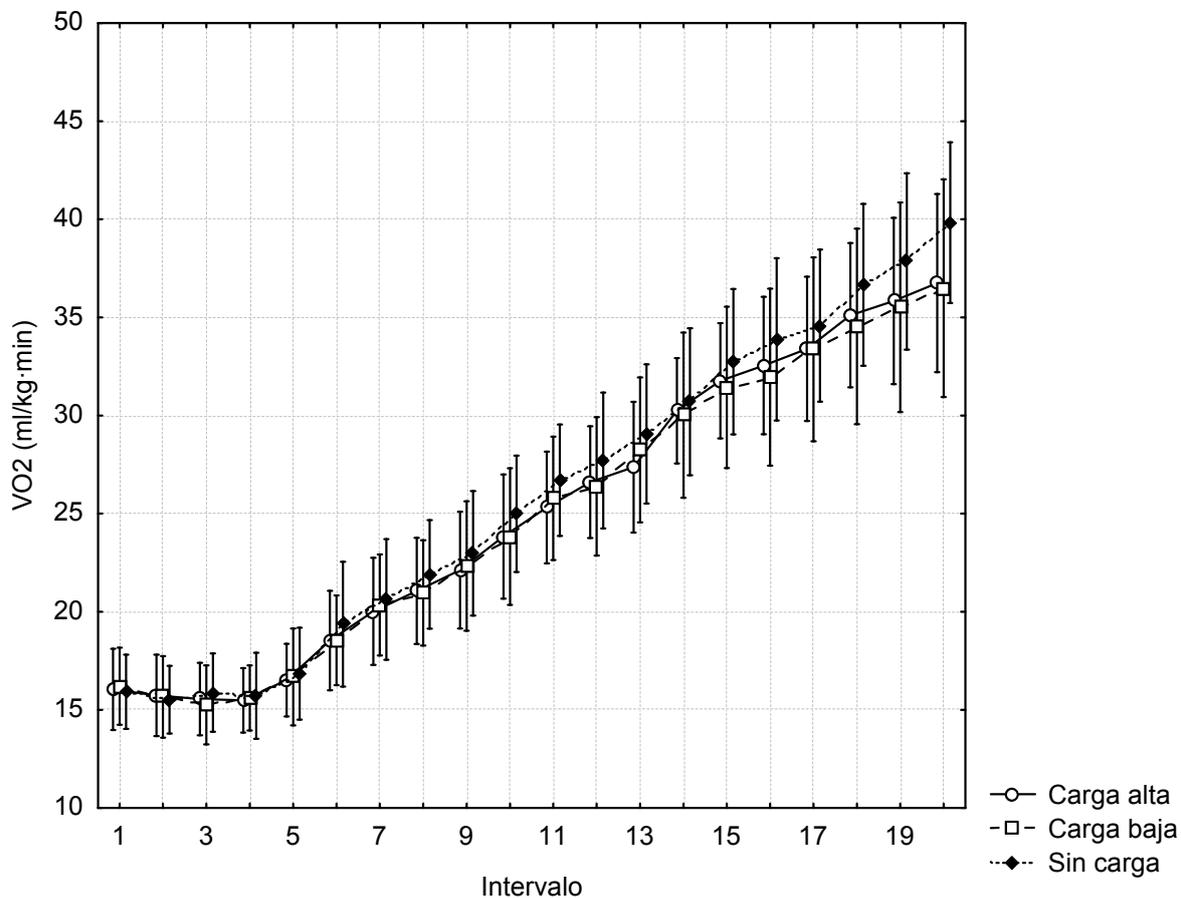


Figura 44: Consumo de Oxígeno durante el esfuerzo



5. EXPERIMENTO 2

En el experimento 1 se mostró un efecto limitado pero relevante de la carga de trabajo cognitivo sobre el esfuerzo percibido. Este efecto no alcanzó la significación durante el esfuerzo incremental, pero sí la alcanzó durante la recuperación. Visualmente, la condición de carga alta parecía incrementar la percepción de esfuerzo al comienzo de la tarea, pero esta diferencia desapareció cuando el ejercicio continuó. Es importante destacar que, claramente reapareció (alcanzando significación) durante la recuperación. Por otro lado, la carga mental no interactuó con el tipo de subescala. En otras palabras, aunque las tres subescalas mostraron dinámicas ligeramente diferentes, estas no se vieron afectadas por la manipulación de la carga cognitiva.

Sin embargo, el efecto cognitivo de la carga puede ser explicado de un modo alternativo. Las tareas de carga cognitiva muy alta no sólo son más exigentes cognitivamente, sino que también provocan más errores, lo que hace que sean más activadoras, y potencialmente más negativas desde un punto de vista hedónico.

En el experimento 2 se trató de replicar el efecto encontrado en el experimento 1 pero manipulando artificialmente el equilibrio entre *feedback* positivo y negativo para las respuestas en la tarea cognitiva, sin manipular la dificultad de la tarea. Adicionalmente, se monitorizó el estado emocional de los participantes durante toda la tarea.

Es decir, se llevó a cabo una manipulación emocional/motivacional, directamente relacionada con el rendimiento de la tarea. Se manipuló artificialmente



el *feedback* de las respuestas de la tarea cognitiva, para que los participantes percibieran un mayor o menor grado de éxito en su rendimiento en la tarea cognitiva. Esta manipulación no solo mostró un efecto sobre el esfuerzo percibido, sino también en la valencia y el consumo de oxígeno.

Los principales **objetivos** del estudio fueron:

O₁: Comprobar la influencia de la carga de trabajo mental y del tipo de *feedback* sobre la percepción subjetiva del esfuerzo durante el ejercicio y la recuperación en una prueba incremental máxima en cicloergómetro.

O₂: Comprobar la influencia de la carga de trabajo mental y del tipo de *feedback* sobre el VO_2 durante el ejercicio y la recuperación en una prueba incremental máxima en cicloergómetro.

O₃: Comprobar la influencia de la carga de trabajo mental y del tipo de *feedback* sobre el rendimiento físico, medido mediante el tiempo de esfuerzo hasta el agotamiento en una prueba incremental máxima en cicloergómetro.

O₄: Analizar la dinámica emocional resultante de la combinación de los efectos de la carga física y mental.

Las principales **hipótesis** del estudio fueron:

H₁: En participantes expuestos a un esfuerzo máximo incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro, la manipulación de la carga mental y del tipo de *feedback* durante la realización de dicho esfuerzo y su recuperación, influye en la percepción subjetiva del esfuerzo por parte del participante (RPE).

H₂: En participantes expuestos a un esfuerzo máximo incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro, la manipulación de la carga mental y del tipo de



feedback durante la realización de dicho esfuerzo, influye en el tiempo hasta la aparición del agotamiento.

H₃: En participantes expuestos a un esfuerzo máximo incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro, la manipulación de la carga mental y del tipo de *feedback* durante la realización de dicho esfuerzo y su recuperación, influye en el consumo de oxígeno (VO₂)

H₄: En participantes expuestos a un esfuerzo máximo incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro, la manipulación de la carga mental y del tipo de *feedback* durante la realización de dicho esfuerzo y su recuperación, influye en la dinámica emocional (SAM: valencia y activación)

5.1. Método y Procedimiento:

5.1.1. Participantes:

En este experimento participaron 18 nuevos participantes, formado por 9 mujeres y 9 hombres; con una edad media de 21.72 años; con un rango de edad entre 18-26 años (**Tabla 12**). El reclutamiento de los participantes y aparatos empleados fueron idénticos a los utilizados en el experimento 1. La única diferencia relevante fue la tarea cognitiva específica usada, y la forma en que manipulamos el estado motivacional/emocional de los participantes.

La tarea cognitiva fue una prueba de seguimiento de secuencias falsas. Al igual que en la tarea N-Back, a los participantes se les presentó una serie de dígitos, uno por cada ensayo (con una duración y un intervalo entre estímulos idéntico a los de las tareas previas). Se les dijo que la secuencia de dígitos se iba generando siguiendo un patrón oculto y que su tarea consistía en descubrir ese patrón.



También se les dijo que no todos los dígitos seguían el patrón, pero sí una alta proporción de ellos, así que para cada ensayo ellos debían indicar si el actual dígito seguía el patrón o no (pulsar en caso afirmativo, no pulsar si su respuesta era no). En realidad, no había un patrón a descubrir, y el *feedback* fue programado dependiendo de la condición experimental. En la condición de **Feedback Negativo** (*Carga Alta*), los participantes recibieron *feedback* positivos falsos (un sonido característico) en un tercio de los ensayos, y un *feedback* negativo en los otros dos tercios. En la condición de **Feedback Positivo** (*Carga Baja*), en cambio, ellos recibieron *feedback* positivo en dos tercios de los ensayos, y *feedback* negativo en el otro tercio. Durante la tarea, ninguno de los participantes informó haber descubierto que el *feedback*, en realidad, no estaba relacionado con la tarea.

Aparte de las variables dependientes descritas en el experimento 1 (Subescalas RPE de Borg y consumo de oxígeno), también se han recogido datos (puntuaciones) del estado emocional provocado por la tarea. Para ello se empleó el maniquí de autoevaluación o *Self-assessment manikin* (SAM-versión española, Moltó et al., 1999; Bradley y Lang, 1994),

La respuesta, para esta medida, viene dada por la elección de una de los 5 iconos que aparecen ordenados, o el punto intermedio entre dos de ellos, que ilustran los estados emocionales progresivos (de baja a alta activación, y de valencia negativa a positiva) que el participante está sintiendo en cada momento. La respuesta de los participantes es codificada como un valor entre 1 y 9 (representado por 5 iconos y los 4 puntos intermedios entre ellos). A cada

La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción del esfuerzo físico durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento



participante se le pidió que indicara su estado emocional en las dos dimensiones objetivos, suscitado por cada bloque de dos minutos.

La representación visual de las pruebas sería:

No Carga Mental:

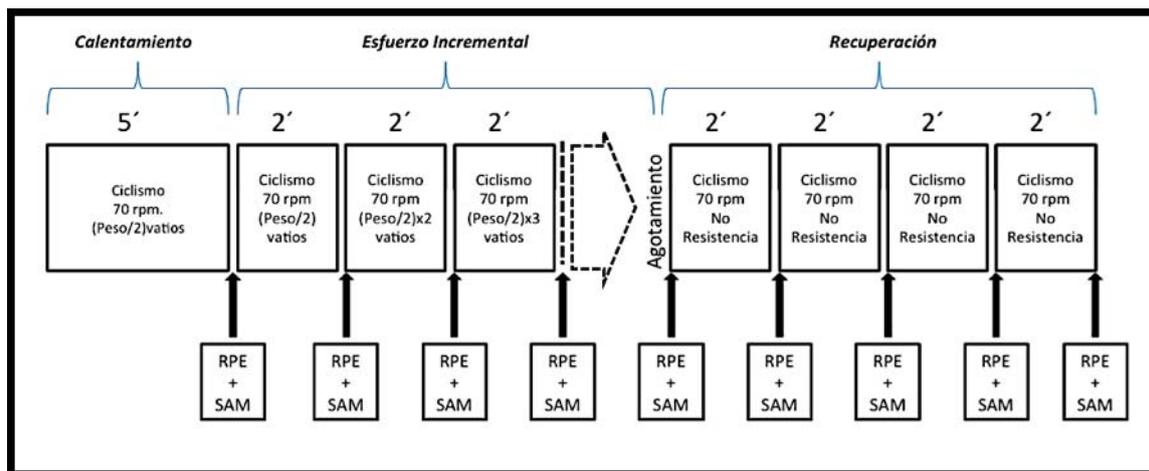


Figura 46: Representación visual de la prueba sin esfuerzo mental

Carga Mental Baja:

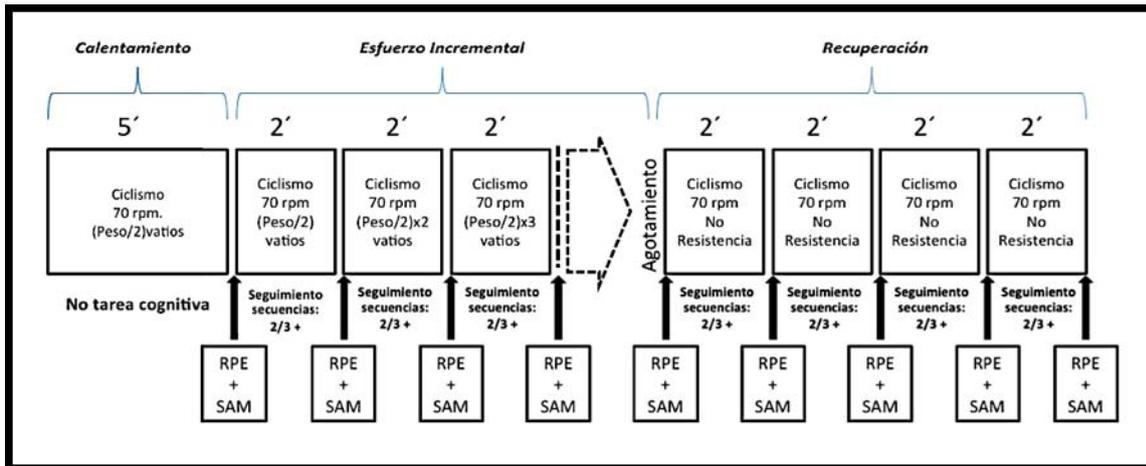


Figura 47: Representación visual de la prueba con esfuerzo mental bajo

Carga Mental Alta

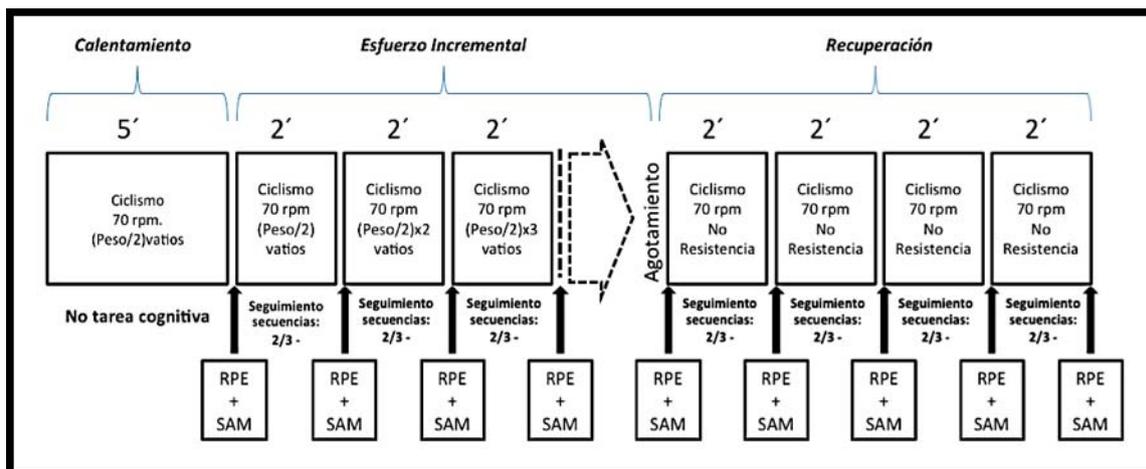


Figura 48: Representación visual de la prueba con esfuerzo mental alto

5.2. Resultados



5.2.1. Comprobación del Agotamiento y del Grado de Implicación del Participante en la Tarea de Carga Mental.

Solo los participantes que dieron valores de esfuerzo percibido total cercano al máximo (RPE Total ≥ 18) fueron tomados en cuenta para el estudio, lo que permitió seleccionar a 12 participantes para ulteriores análisis.

Una vez más, comprobamos las posibles diferencias entre las condiciones de carga en el punto de agotamiento. La media (ET) de los valores de RPE fueron 19.61 (.27), 18.97 (.55), y 19.41 (.26) para las condiciones de carga alta, baja carga y no carga, respectivamente. Como ocurrió Experimento 1, estos valores estaban cercanos al máximo (20) y no difirieron entre ellos $F(2, 22)=2.73$, $MSE=1.41$, $p=.09$. Los RPEs para las tres subescalas difirieron entre ellos en este punto $F(2, 22)=3.67$, $MSE=.19$, $p<.05$. Las comparaciones planeadas mostraron una diferencia significativa entre la escala Local y la Total ($p=.04$), pero no entre la escala Local y Central ($p=.24$). La existente entre la escala Central y Total estuvo muy cercana a la significación ($p=.053$). Las medias (ET) para los valores de RPE para las tres escalas fueron 19.19 (.37), 19.33 (.26), y 19.47 (.21) para la escala local, central, y total, respectivamente. En este caso, a diferencia de lo que se observó en el experimento 1, fue la subescala total de RPE, y no la local, la que más fuertemente reflejaba el esfuerzo percibido.

En el agotamiento, la media (ET) de los porcentajes sobre la frecuencia cardiaca máxima estimada (calculada como 220 menos la edad) para las tres condiciones de carga fueron 92.21% (1.63), 93.45% (1.60), y 93.72% (1.09). El efecto de *Feedback/Carga* estaba lejos de la significatividad ($F<1$). Una vez más, esto



asegura no sólo que los participantes estaban cerca del agotamiento al final de la fase de esfuerzo incremental, sino que también las tres condiciones estaban equiparadas en este punto.

La media (ET) de los valores de VO_2 medido en ml/kg·min y promediados para los 30 segundos antes del agotamiento fueron 50.49 (1.69), 46.48 (3.56), y 48.39 (2.38), para las condiciones de carga alta, baja, y no carga, respectivamente. Estos valores no fueron significativamente diferentes entre ellos ($F < 1$). Un registro de uno de los participantes nos parecía claramente anómalo ($VO_2 < 25$), por lo que también se llevó a cabo el mismo análisis pero sin tener en cuenta a ese participante. La media (ET) para los valores de VO_2 fueron 50.75 (1.83), 48.44 (3.25), y 47.51 (2.42). El efecto de la carga cognitiva se mantuvo, de nuevo, no significativo [$F < 1$].

5.2.2. Escala de Borg (RPE)

Como se ha comentado anteriormente, los participantes que dieron valores totales de RPE menores de 18 para el palier de agotamiento (el palier en el cual los participantes deciden parar), en alguna de las tres condiciones, fueron excluidos de todos los análisis posteriores. La aplicación de este criterio motivó la exclusión de 6 participantes, lo que dejó 12 participantes para el análisis estadístico (**Tablas 13, 14 y 15**)

RPE durante el esfuerzo hasta el agotamiento



Los valores de RPE crecieron gradualmente con la magnitud del esfuerzo. Todos los participantes intentaron al menos 5 palieres, por lo que ellos terminaron al menos 4, motivo por el que éste es el número de bloques analizados.

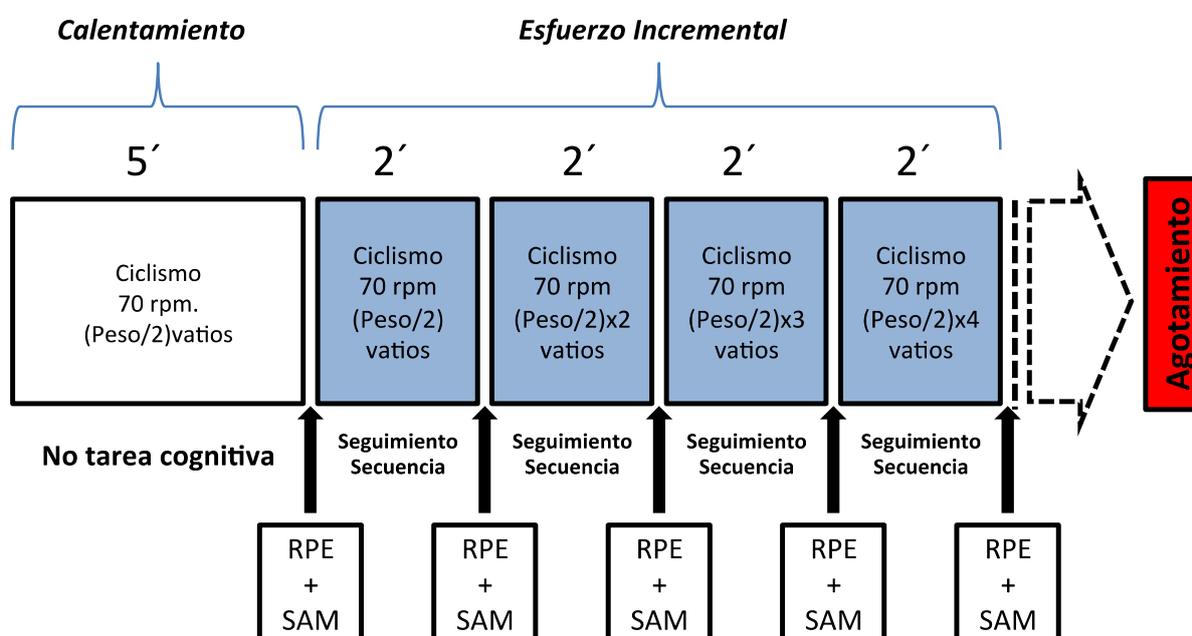


Figura 49: Representación visual de los niveles de esfuerzo analizados

En la **Figura 50** se muestran las medias de los valores de RPE para las tres subescalas durante el esfuerzo incremental. Todos los participantes completaron al menos 4 palieres en las tres condiciones. Una ANOVA intrasujeto 3 (Carga/Feedback: Negativo, Positivo, No carga) x 5 (Palier: calentamiento y cuatro bloques) 3 (Subescalas: Local, Central, Total) sólo dio un efecto significativo de Palier, con el RPE casi linealmente aumentando durante la fase de esfuerzo. La media (ET) de los valores de RPE para las tres condiciones de Carga/Feedback fueron 12.00 (1.33), 12.66 (1.66), y 12.72 (1.13), para la carga/feedback negativo, positivo, y no carga, respectivamente [$F(2, 22)=1.99$; $MSE=14.26$, $p=.16$]. A



diferencia del experimento 1, las RPEs para las tres subescalas no difieren entre ellas [$F(2, 22)=1.77$; $MSE=2.47$, $p=.19$], ni la subescala interactuó con la Carga/Feedback ($F<1$)

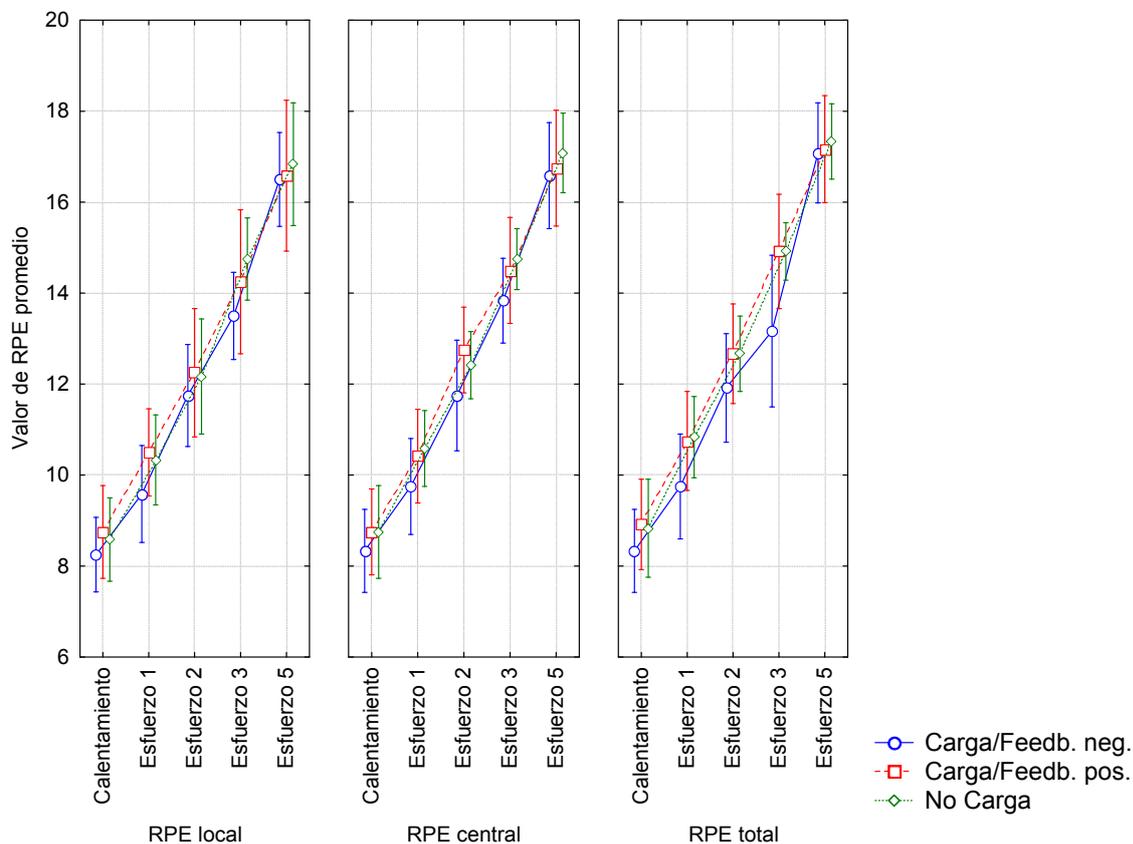


Figura 50: Las medias de los valores de RPE para las tres subescalas durante el esfuerzo incremental

REP Durante la Recuperación

En la **Figura 51** se muestra las medias de las medidas de RPE desde el punto de agotamiento hasta el final de la recuperación. Además del evidente efecto de Palieres (Agotamiento, Recuperación 1-4) [$F(4, 44)=319.59$, $MSE=7.20$, $p<.01$], con los valores de RPE disminuyendo gradualmente con la recuperación, el análisis arrojó una interacción Carga/Feedback x Palier [$F(8, 88)=7.38$, $MSE=2.68$, $p<.01$].



La interacción fue debida a las diferentes tasas de recuperación en las diferentes condiciones de *Carga/Feedback*. Más específicamente, si el análisis se limita al punto de agotamiento, y al primer palier de recuperación, hay un efecto significativo de la Carga [$F(2, 22)=4.51$, $MSE=5.04$, $p=.02$]. La media (ET) de los valores de RPE limitados a este segmento fueron 16.32 (.89), 15.32 (.64), y 15.35 (.37), para las condiciones de *Carga/Feedback* Negativo, Positivo, y No carga, respectivamente. Los valores de RPE son mayores para la condición de *Carga/Feedback* Negativo que para las otras dos [$F(1, 11)=5.48$, $MSE=8.28$, $p=.04$], lo que supone que este efecto tienen un componente cuadrático significativo [$F(1, 11)=5.06$, $MSE=2.64$; $p=.046$].

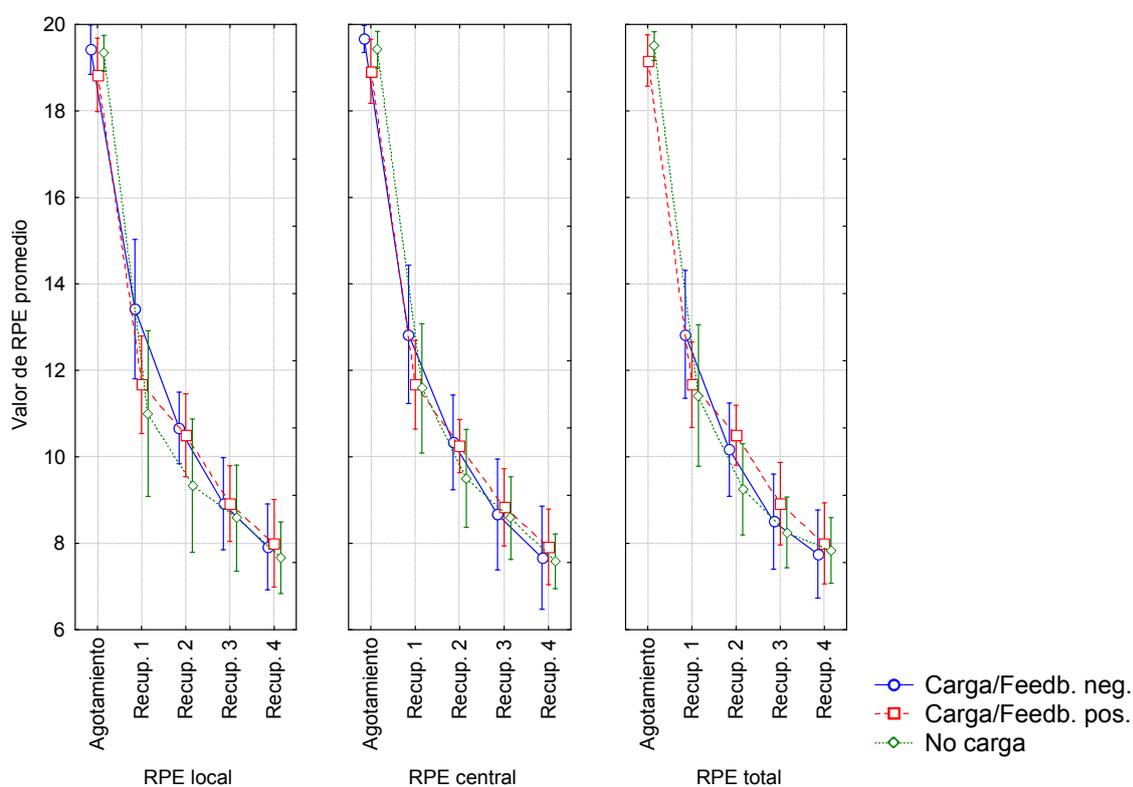


Figura 51: Las medias de los valores de RPE para las tres subescalas durante la recuperación



Si el análisis se extiende al segundo palier de la recuperación, la media (ET) de los valores de RPE (restringidos a este segmento) son 14.34 (1.01), 13.69 (.73), y 13.37 (1.21), para las condiciones de Carga/*Feedback* Negativo, Positivo y No carga, respectivamente. El principal efecto de la carga sigue siendo significativo [$F(2, 22)=3.44$; $MSE=7.73$; $p=.05$], pero el componente cuadrático se desvanece ($F<1$).

En otras palabras, hay suficiente evidencia de que el efecto de Carga/*Feedback*, es principalmente atribuible al *feedback* en las primeras etapas de la recuperación, en contraste con lo que ocurría en el experimento 1, donde este efecto tendía a desaparecer a medida que progresaba la recuperación.

A diferencia del experimento 1, sin embargo, no hubo efecto del tipo de Subescala [$F<1$ para el efecto marginal de la subescala; la media (ET) de los valores fueron 11.61 (1.23), 11.56 (.97), y 11.57 (.96) para las subescalas local, central y total, respectivamente]. Aunque el efecto de Carga/*Feedback* fue visualmente más evidente en la subescala local de RPE, la interacción de la subescala con cualquiera de los otros factores estaba muy lejos de ser significativa [$F(4, 44)=1.80$, $MSE=.48$, $p=.15$; $MSE(8, 88)=1.66$, $MSE=.26$, $p=.12$; y $F(16, 176)=1.16$; $MSE=.24$, $p=.30$, para las interacciones Carga/*Feedback* x Subescala, Palier x Subescala, y la interacción de segundo orden, respectivamente].

5.2.3. Valencia y Activación Emocional



Como se detalla en la sección de procedimiento, junto con la escala de Borg, los participantes fueron preguntados por su estado emocional durante la tarea. Para tal propósito se usaron las escalas de valencia y activación del maniquí de autoevaluación (SAM). El orden de las tres escalas (RPE, SAM-Valencia, y SAM-Activación) fue semicontrabalanceado para cada sesión (RPE nunca apareció entre dos escalas de SAM) (**Tablas 16, 17 y 18**)

SAM-valencia y SAM-activación durante esfuerzo incremental

Los cambios en el estado emocional de Valencia y Activación, según la escala de SAM se muestran en la **Figura 52**. Los valores de Valencia disminuyeron casi linealmente con el esfuerzo, reflejando la intuición de que el esfuerzo incremental se siente como hedónicamente negativo $F(4, 44)=39.74$, $MSE=1.46$, $p<.01$. La media (ET) de los valores de Valencia fueron 7.94 (.48), 7.46 (.48), 6.61 (.38), 5.72 (.38), y 4.83 (.52), para el calentamiento, y los cuatro palieres siguientes, respectivamente. Los Palieres no interactuaron con la Carga/Feedback ($F<1$).

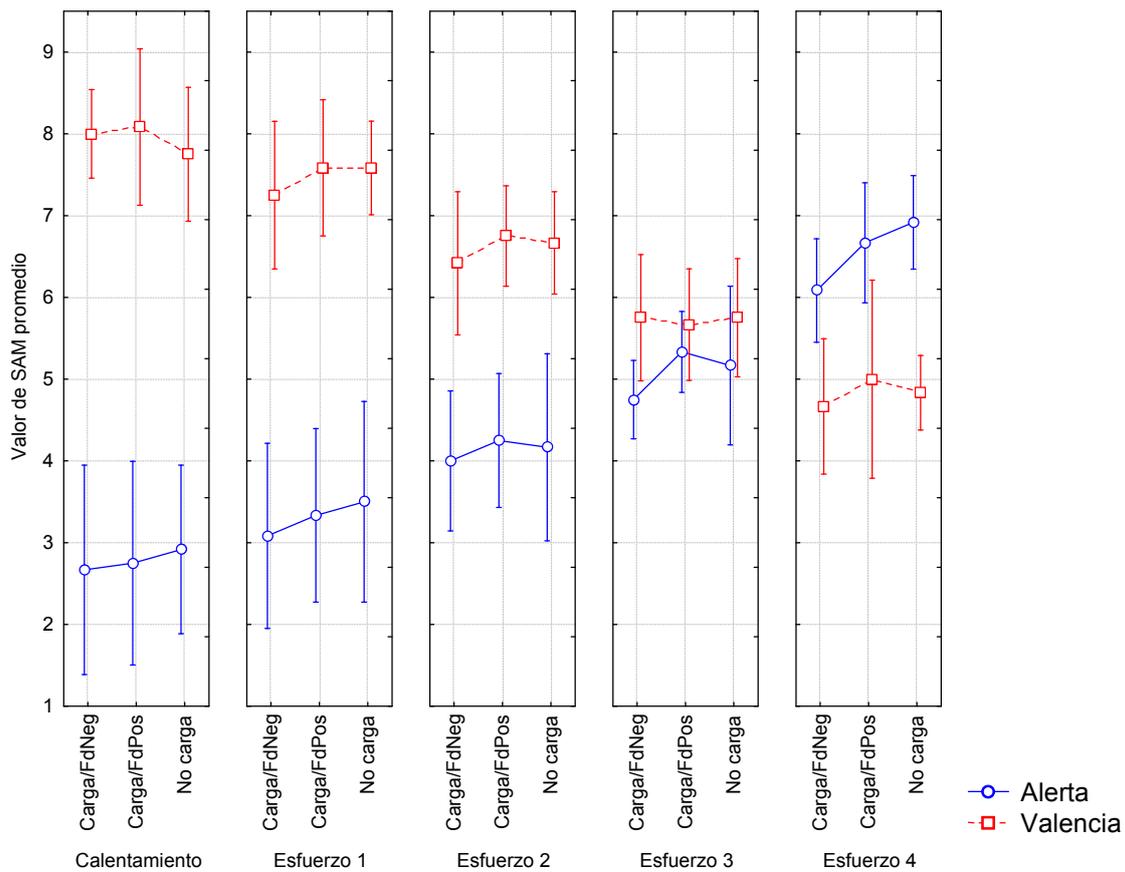


Figura 52: Cambios en el estado emocional de Valencia y activación, según lo medido por la escala de SAM

La activación se incrementó claramente con los Palieres. La media (ET) de los valores de activación a través de los palieres fueron 2.78 (.73), 3.31 (.78), 4.14 (.59), 5.08 (.45), y 6.56 (.37), para el calentamiento, y los 4 palieres siguientes de esfuerzo, respectivamente [$F(4, 44)=63.39$, $MSE=1.28$, $p<.01$]. El efecto de la Carga y la interacción de la Carga x Palier estaban muy lejos de la significatividad (ambos $F<1$)

SAM valencia and SAM activación durante recuperación.



En la **Figura 53** se muestran los valores de la Valencia y activación de las tres condiciones de carga, desde el punto de agotamiento hasta el último intervalo de la recuperación. (Agotamiento, Recuperación 1-4).

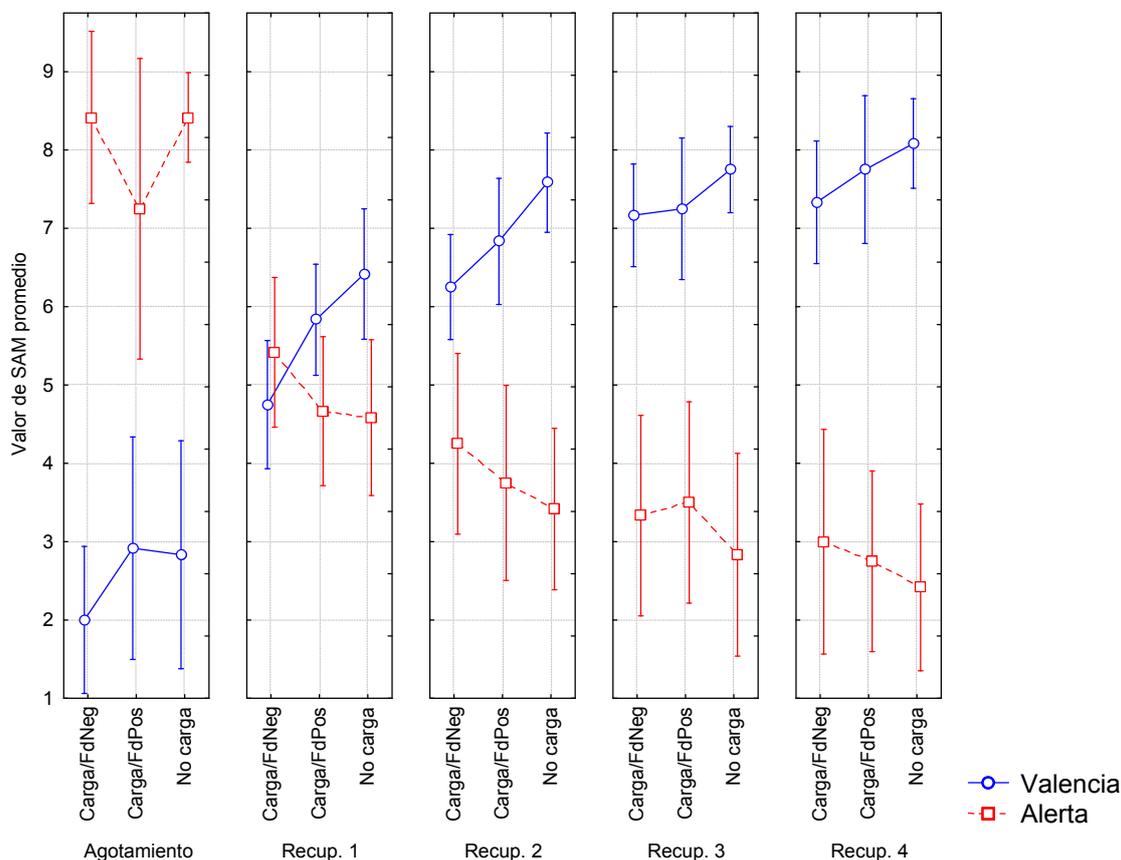


Figura 54: Cambios en el estado emocional de Valencia y activación, según lo medido por la escala de SAM

Como era de esperar, la Valencia fue evolucionando positivamente durante la recuperación [$F(4, 44)=45.03$, $MSE=3.49$, $p<.01$]. Más interesante aún, fue el fuerte efecto principal de la Carga/Feedback [$F(2, 22)=7.54$, $MSE=2.15$, $p<.01$]. La media (SD) de los valores de valencia fueron 5.50 (.55), 6.12 (.47), y 6.53 (.37) para las condiciones de Carga/Feedback Negativo, Positivo y No carga, respectivamente.



Los análisis de tendencias mostraron sólo el componente lineal como significativo. En otras palabras, la condición de *feedback* negativo provocó una valencia menos positiva que la condición de no carga, con la condición de *feedback* negativo localizada entre ellos [$F(1, 11)=18.98$, $MSE=1.69$, $p<.01$].

La activación, por el contrario, disminuyó gradualmente durante la recuperación [$F(4, 44)=31.12$, $MSE=5.17$, $p<.01$]. La Carga/*Feedback*, además, no ejerció ningún efecto significativo sobre la activación [$F(2, 22)=2.36$, $MSE=2.35$, $p=.11$], ni interactuó con los Palieres de recuperación [$F(8, 88)=.13$, $MSE=1.54$, $p=.35$]. En otras palabras, la manipulación principal afectó el estado hedónico de los participantes (por lo menos durante la recuperación), sin influir de manera significativa su nivel de activación.

Correlación entre Dimensión Emocional y Percepción del Esfuerzo

El efecto de la Carga/*Feedback* fue más evidente sobre la valencia que sobre la activación. Sin embargo, estábamos interesados en comprobar cual de las dos dimensiones emocionales fue más predictiva de los valores de RPE.

Sobre una base individual, la correlación entre valencia y RPE (promedio entre las subescalas para todas las etapas de recuperación) fue $r=-.85$, mientras que la existente entre la activación y RPE fue $r=.77$. La diferencia entre estas dos correlaciones (para 180 observaciones, muestras relacionadas, y revirtiendo el signo negativo de la r) fue muy superior al nivel de significación [$t(3)=-22.63$, $p<.01$]. En otras palabras, la RPE está mucho más estrechamente relacionada con la Valencia hedónica que con la mera activación. Dado que la Valencia fue un mayor predictor



de RPE que la activación (a pesar del hecho que la activación y RPE están directamente correlacionadas, y valencia y RPE lo están inversamente) se descarta la posibilidad de que el efecto de *Carga/Feedback* sobre la RPE se deba exclusivamente a la contaminación de la valencia, o viceversa. Si este fuera el caso, la contaminación habría alcanzado a todas las escalas (incluyendo la activación)

5.2.4. Tiempo hasta el Agotamiento

El tiempo hasta el agotamiento produjo diferencias entre las dos condiciones, pero no en la dirección esperada. La media (SD) tiempo hasta el agotamiento para las condiciones de *Carga/Feedback* Negativo, Positivo, y No carga fueron 885.5 (38.26), 787.5 (33.97), y 752.5 (30.68) segundos, respectivamente. En otras palabras, la condición de *feedback* negativo hizo que la gente pedaleara más tiempo que en las otras dos condiciones [$F(2, 22)=22.06$; $MSE=2586$, $p<.01$. Como se verá más adelante, esto puede deberse a una alteración del ritmo de pedaleo en la bicicleta durante la tarea de esfuerzo.

5.2.5. Consumo de Oxígeno Durante el Esfuerzo Incremental y la Recuperación

Para medir el consumo de oxígeno durante la recuperación se usó el mismo procedimiento que en el Experimento 1. Sin embargo, los resultados en este caso difieren notablemente. (**Tablas 19 a 24**)

En primer lugar, el consumo de oxígeno aumentó **durante el esfuerzo hasta el agotamiento** $F(18, 198)=290.11$, $MSE=6.40$, $p<.001$, pero a tasas diferentes en



función de las condiciones de Carga $F(36, 396)=2.31$, $MSE=2.80$, $p<.001$ (para la interacción de Intervalo x Carga, (ver **figura 54**). Sin embargo, el consumo de oxígeno no se equiparó con la Carga. En realidad, la condición con la mayor Carga fue la única en la cual el incremento de consumo de oxígeno fue menos marcado. Además, en el intervalo de 30 segundos justo anteriores al agotamiento, las tres condiciones estaban equiparadas en consumo de oxígeno (véase agotamiento y comprobación del grado de implicación del participante en la tarea de carga mental).

Este efecto es muy similar a las diferencias visuales apreciadas en el Experimento 2 y no fue completamente inesperado (ver discusión). Como se señaló anteriormente, la carga cognitiva puede provocar pequeñas fluctuaciones en el ritmo de pedaleo y, en consecuencia, disminuciones puntuales del rendimiento físico y consumo de oxígeno. Esto podría suponer que las condiciones experimentales no fueran completamente equiparables hasta alcanzado el agotamiento.

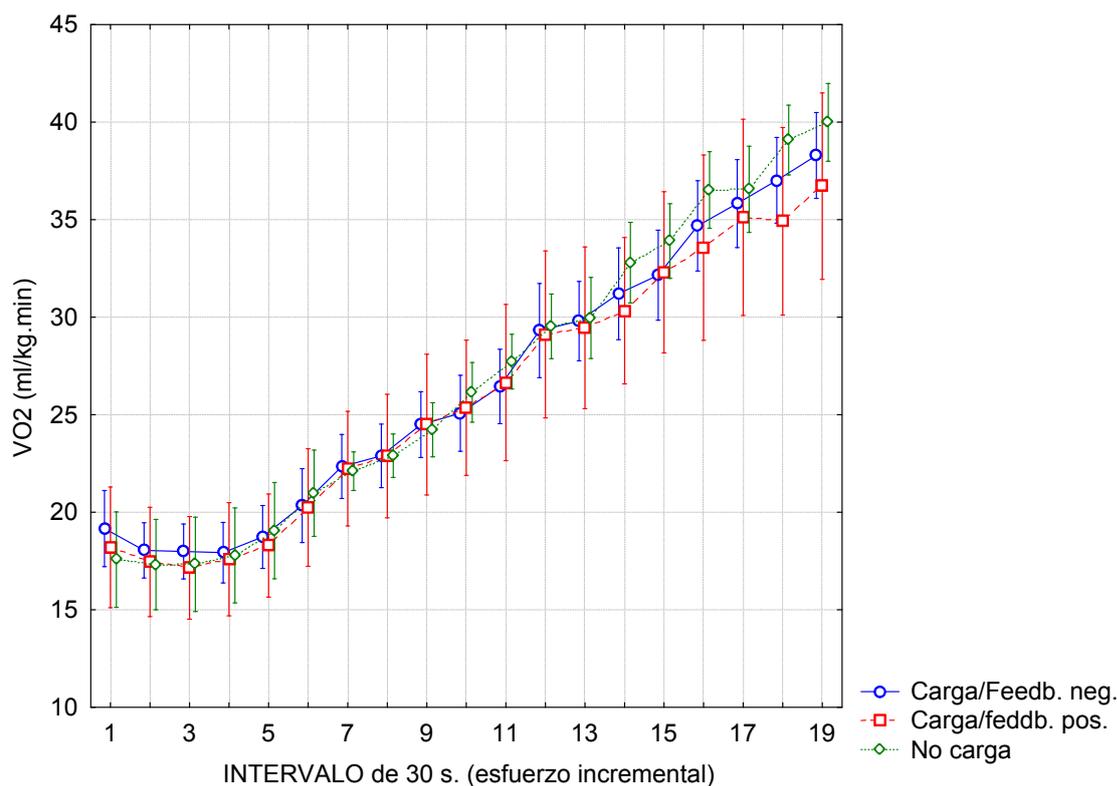


Figura 54: Los valores del consumo de oxígeno durante el esfuerzo hasta el agotamiento

Como era de esperar, el consumo de oxígeno decreció **durante la recuperación** $F(15, 165)=183.57$, $MSE=8.3$, $p<.01$. El efecto de la Carga/feedback no llegó a ser significativo $F(2, 22)=1.59$, $MSE=277.5$, $p=.23$. Lo más importante, como puede verse en la **Figura 55**, es que la Carga interactuó con los Palieres, y la forma del tal interacción claramente se asemeja a la que se encuentra con la percepción del esfuerzo. $F(3, 330)=2.56$, $MSE=4.3$, $p<.01$. De acuerdo a los tests LSD post-hoc, el *Feedback* Negativo y Positivo tan sólo diferían entre ellos en el Intervalo 2 ($p=.03$), es decir, entre 30 y 60 segundos después del agotamiento. El *Feedback* Positivo no difirió significativamente de la No Carga en ninguno de los intervalos. Finalmente, el *Feedback* Negativo fue diferente de la No Carga en los



Intervalos: 4, entre 90 y 120 segundos después del agotamiento ($p=.01$), 5, entre 120 y 150 segundos después del agotamiento ($p<.02$), 6, entre 150 y 180 segundos después del agotamiento ($p=.01$), 7, entre 180 y 210 segundos después del agotamiento ($p=.01$), 8, entre 210 y 240 segundos después del agotamiento ($p<.03$), 9, entre 240 y 270 segundos después del agotamiento ($p=.01$), 10, entre 270 y 300 segundos después del agotamiento ($p<.02$), 11, entre 300 y 330 segundos después del agotamiento, 14, entre 390 y 420 segundos después del agotamiento ($p=.02$), y 16, entre 450 y 480 segundos después del agotamiento ($p=.02$).

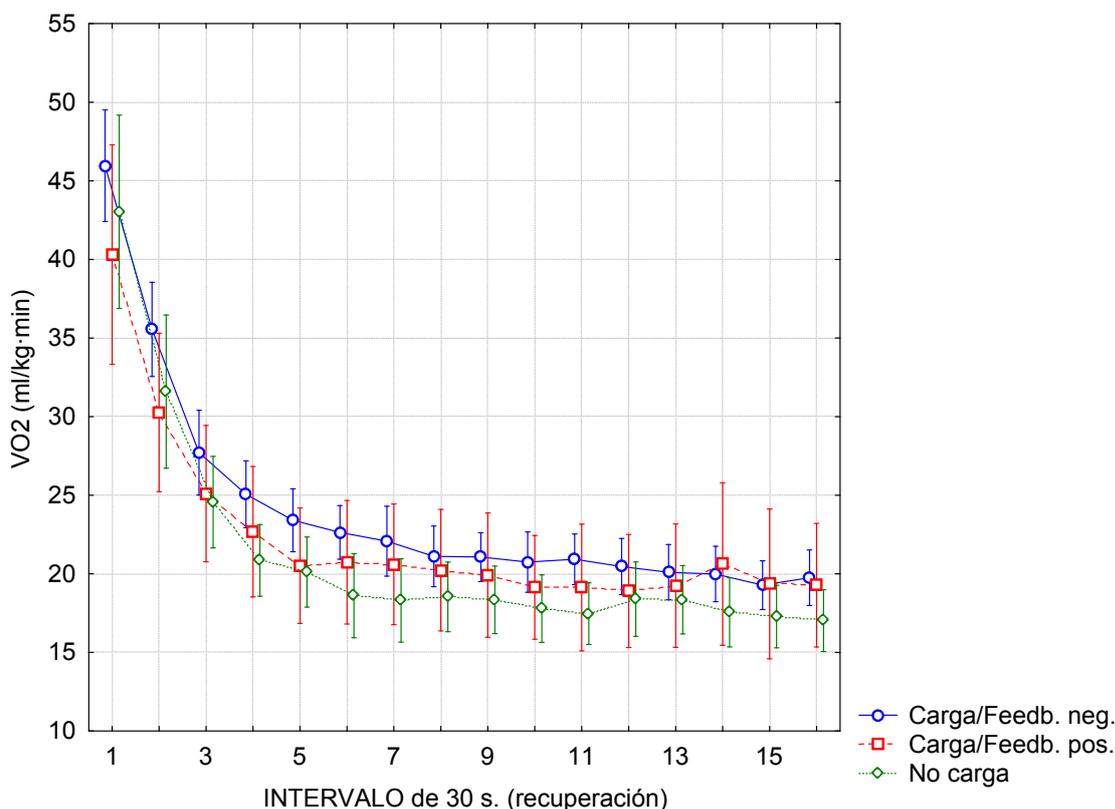


Figura 55: Los valores del consumo de oxígeno durante la recuperación



CAPÍTULO III

RESUMEN DE LOS RESULTADOS



RESUMEN DE LOS RESULTADOS

En el experimento 1, generamos una carga cognitiva durante la prueba pidiéndole a los participantes que resolvieran dos tareas alternativas que implican al ejecutivo central, mientras que pedaleaban en un cicloergómetro hasta el punto de agotamiento, y más tarde, durante la recuperación activa. Se compararon las condiciones de alta y baja carga cognitiva y con una condición control donde no se realizaba ninguna tarea cognitiva concomitante al ejercicio. Durante todo el proceso se monitorizó la percepción del esfuerzo, medida por medio de la escala de Borg RPE 6-20, junto con el consumo de oxígeno.

Los resultados del experimento 1 confirmaron parcialmente la hipótesis de que la carga cognitiva contribuye a la sensación de esfuerzo, pero sólo durante la recuperación activa. Las tres condiciones se comportaron de manera muy similar durante el esfuerzo incremental. Ni en la percepción del esfuerzo ni el consumo de oxígeno se reflejó de manera significativa la carga cognitiva, y los participantes en las tres condiciones no difirieron en el tiempo que emplearon para llegar al umbral de agotamiento. Durante la recuperación, sin embargo, se encontró un efecto significativo de la carga cognitiva sobre la RPE, con la carga cognitiva impulsando linealmente al esfuerzo percibido. En otras palabras, durante esta etapa, las personas que solventaron tareas de difícil función ejecutiva informaron de una recuperación más lenta que aquellos que experimentaron una menor demanda cognitiva.

Es necesario destacar que los participantes de este experimento estaban activamente involucrados con la tarea durante las dos etapas (esfuerzo y



La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción del esfuerzo físico durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento

recuperación), ya que las condiciones de carga cognitiva y los valores de discriminabilidad (que mide el rendimiento cognitivo) estaban claramente por encima del azar. Además, el rendimiento fue peor para la condición de carga alta, lo que demuestra indirectamente que la condición de carga cognitiva alta es realmente más difícil que la de baja carga.

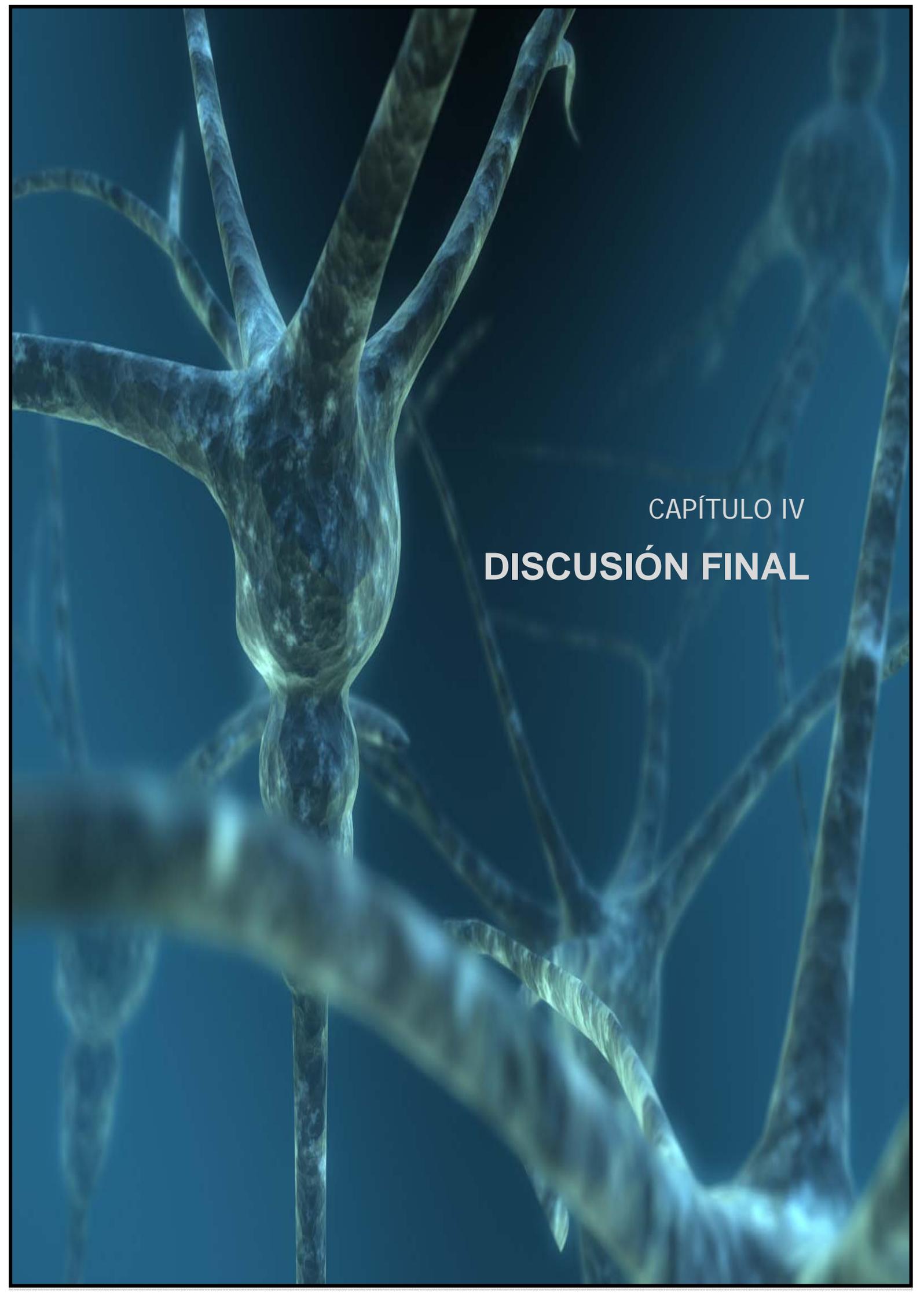
Un rendimiento más pobre implica un menor nivel de éxito, y por lo tanto una mayor cantidad de *feedback* negativos. Esta influencia de la carga cognitiva sobre la percepción del esfuerzo durante la recuperación, puede ser debido, tanto a la carga cognitiva per se, como a los efectos motivacionales generados por el *feedback* negativo.

En el experimento 2, las dos condiciones de carga no difirieron en términos de dificultad de tarea, sino sólo en la proporción de *feedback* positivos/negativos del rendimiento en la tarea cognitiva. La señal de *feedback* fue de hecho suficiente para reproducir el efecto de la carga cognitiva. El efecto del tipo de *feedback* fue un poco menos intenso y más transitorio que el efecto de la carga cognitiva, lo que implica que la señal de *feedback*, aunque no es el único factor que contribuye al efecto de la carga cognitiva sobre la percepción del esfuerzo, es al menos, un contribuyente significativo.

Tan importante como el efecto de la carga cognitiva sobre la percepción del esfuerzo es la descripción de la dinámica afectiva que acompaña al esfuerzo, y como ésta también se ve afectada por la carga mental. Durante el esfuerzo incremental, la activación aumenta gradualmente, y la valencia hedónica decrece



con la acumulación de esfuerzo. La interrupción del esfuerzo máximo fue inmediatamente seguido por una fuerte disminución de la activación (visualmente más grande que sobre el RPE), probablemente como revelación de un alivio repentino. Lo más importante, es que la valencia está inversamente seguida por los valores de RPE a través de las condiciones, lo que refleja el efecto de la manipulación de la Carga/*Feedback* durante la recuperación activa.



CAPÍTULO IV
DISCUSIÓN FINAL



DISCUSIÓN FINAL

En los dos experimentos descritos, a los participantes se les pidió que hicieran una prueba de esfuerzo incremental en un cicloergómetro hasta el agotamiento, mientras fueron sometidos a diferentes grados de carga mental. En el experimento 1, la carga mental fue manipulada de una manera estándar, variando la cantidad de información o la complejidad de los criterios necesarios para tomar las decisiones oportunas. En el experimento 2 se usó una tarea falsa de seguimiento de secuencias con el fin de manipular el *feedback* del rendimiento de la tarea, sin tener que manipular otros parámetros de ésta.

Si hacemos referencia al **primer objetivo**, en los dos experimentos la carga mental afectó, de una manera u otra, a la percepción subjetiva del esfuerzo de los participantes. Si bien durante el esfuerzo incremental no se encontró ningún efecto de la carga mental sobre la percepción del esfuerzo, por el contrario la carga mental enlenteció la recuperación subjetiva, por lo que podemos afirmar que, a tenor de los resultados obtenidos, el esfuerzo medido a través de la escala de Borg (valores RPE) decrece más lentamente en condiciones de carga tras el agotamiento. Replicando los dos experimentos los resultados evidencian el efecto de la carga mental sobre la percepción del esfuerzo durante la recuperación.

Esto nos lleva, por tanto, a cumplir con uno de los objetivos propuestos en esta investigación, que era el de *demostrar como la carga mental del SNC (definida ésta desde el punto de vista de la neurociencia actual) influye en el estado general de esfuerzo percibido (RPE)*. Concretamente el efecto sobre el esfuerzo percibido mostraba una relación lineal con la cantidad de carga mental. Los participantes en la



condición de Carga Alta se recuperaron más lentamente que en la condición de No Carga, y de forma intermedia en la condición de Carga Baja.

En relación con el **segundo objetivo**, el análisis del consumo de oxígeno apoya directamente un supuesto doble emocional/cognitivo. En principio, no hay una razón para asumir que el estado emocional negativo genere *per se* un aumento de la actividad mental a un nivel suficiente para que la actividad cerebral compita con la actividad muscular por los recursos disponibles, entre otros motivos porque, tal como apunta Marcora (2009), el oxígeno no es depletable. Sin embargo, es bien sabido que la atención mantenida y el esfuerzo consciente hacen que el incremento del consumo de oxígeno y glucosa del cerebro sea significativo (ver, por ejemplo, Fairclough y Houston, 2004). En el experimento 1 las diferencias entre las condiciones, en términos de consumo de oxígeno durante la recuperación, no alcanzaron significación estadística (aunque las diferencias visuales consecuentemente se mostraban en concordancia con las diferencias observadas en las medidas de percepción del esfuerzo). En el experimento 2 las diferencias, en términos de consumo de oxígeno, entre las condiciones fueron evidentes, con un orden similar al mostrado por los datos de esfuerzo percibido.

Haciendo referencia al **tercer objetivo**, el tiempo medio hasta el agotamiento no fue diferente entre las condiciones de carga cognitiva en el experimento 1, es decir, la carga de trabajo mental no aceleró el agotamiento. Pero, sin embargo, en el experimento 2 se produjeron diferencias entre las dos condiciones, aunque no en la dirección esperada. La condición de *feedback* negativo hizo que la gente pedaleara por más largo tiempo que en las otras dos condiciones. Como se verá más adelante,



esto solo puede deberse a una alteración del ritmo de pedaleo en la bicicleta durante la tarea de esfuerzo.

Con relación al **cuarto objetivo** establecido, en el Experimento 2 la dificultad de la tarea fue constante a través de las dos condiciones de carga, pero el número de ensayos en que se proporcionó *feedback* positivo fue manipulado artificialmente a dos niveles, 1/3 en la condición de Carga Alta (*Feedback* Negativo), y 2/3 en la condición de Carga Baja (*Feedback* Positivo). Es importante destacar que la manipulación de la ratio positivo/negativo fue de por sí suficiente para influir en el nivel de esfuerzo percibido por los participantes durante la recuperación. Este efecto puede ser atribuido al menos a dos mecanismos: por una parte, es razonable asumir que el estado de ánimo negativo causado por los errores frecuentes, y la incapacidad percibida para resolver la tarea, aumente directamente la sensación de esfuerzo (un mecanismo puramente emocional). Y por otra, los errores frecuentes pueden llevar a los participantes a aumentar su esfuerzo para resolver la tarea y, por lo tanto, invertir más recursos atencionales/ejecutivos (doble mecanismo cognitivo-emocional). En realidad, el estado emocional se relacionó directamente con la fatiga, como se demuestra por los datos de la valencia emocional durante la tarea. El hecho de que la manipulación del *feedback* afectara significativamente a la valencia, pero no a la activación, parece reforzar la hipótesis puramente emocional, no mediada por un posible incremento de los recursos invertidos en la solución de la tarea.

En cualquier caso, este efecto parece indicar que la carga sobre la memoria de trabajo no es el factor principal para explicar los efectos encontrados en el experimento 1, sino que son las consecuencias emocionales directas e indirectas de



cometer errores, más o menos a menudo, las que constituyen un importante factor de mediación para que se produzca el efecto.

En relación con el **quinto objetivo**, desde el punto de vista teórico, nuestro experimento arroja luz sobre la naturaleza de la influencia de la carga mental sobre el esfuerzo físico percibido, e indirectamente, sobre las mismas causas de la fatiga física. Esto permite dar respuesta a otro de los objetivos planteados para este trabajo que es *modelar las vías a través de las cuales se produce exactamente la influencia de la carga mental sobre la fatiga*. Como se señaló en la introducción, hay dos mecanismos por medio de los cuales la Carga Mental, tanto la emocional como la puramente cognitiva, pueden afectar a la percepción del esfuerzo: **directamente**, mediante un mecanismo central puramente psicológico; o **indirectamente**, por medio de la depleción de recursos comunes (el consumo de glucosa se incrementaría como consecuencia del incremento del metabolismo cerebral provocado por la carga mental, lo que causaría que este recurso no estuviera plenamente disponible para los músculos).

No es de extrañar que nuestros resultados apunten a la combinación de ambos mecanismos. Por un lado, el esfuerzo percibido es mucho más sensible a la carga mental que el consumo de oxígeno. O, lo que viene a ser lo mismo, encontrar una diferencia en los niveles de consumo de oxígeno no es un requisito para que aparezca el efecto sobre la percepción subjetiva del esfuerzo. Por la otra parte, las diferencias en el consumo de oxígeno durante la recuperación son consistentemente compatibles con las diferencias encontradas en el esfuerzo percibido, y, en el experimento 2, con el hecho de que la diferencia entre



condiciones en el consumo de oxígeno alcanzara la significación. Ninguno de los dos mecanismos puede, por tanto, ser completamente descartado, y los dos encuentran algún soporte en nuestro patrón de resultados.

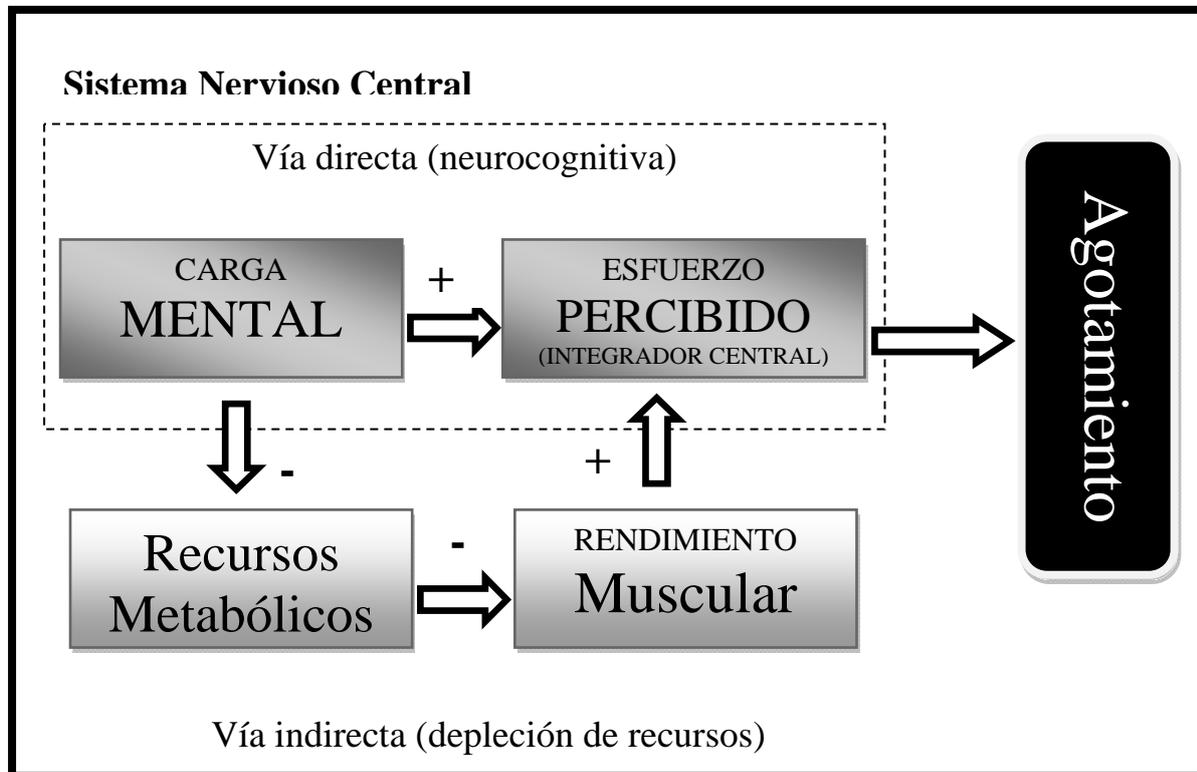


Figura 56: Modelo de doble vía del efecto de la carga cognitiva central sobre el esfuerzo percibido

Merece la pena mencionar algunas diferencias entre nuestros resultados y los previos de la literatura. En primer lugar, Marcora et al. (2009) encontraron que los participantes sometidos a una carga mental alta se agotaban antes que aquéllos sometidos a niveles menores de carga. Nosotros no encontramos diferencias significativas consistentes con respecto al momento del agotamiento. En consecuencia, tampoco encontramos diferencias en la estimación de la fatiga entre las condiciones de Carga durante el esfuerzo hasta el agotamiento. Sin embargo, en sus estudios, las tareas cognitiva y física no se solapaban temporalmente, sino que



la tarea cognitiva era previa al ejercicio. Por otra parte, el objetivo de los autores no era generar carga mental sino fatiga física, y comprobar si perjudicaba el rendimiento físico. Como se señaló anteriormente, para generar fatiga mental se necesita una fatiga de larga duración o por lo menos de una cierta dificultad. Incluso considerando que nuestra tarea de carga alta fue bastante difícil, nuestros participantes trabajaron en ella sólo durante unos minutos antes y después del agotamiento, lo que es seguramente insuficiente para una gran fatiga mental. En otras palabras, nuestros resultados no están en desacuerdo con Marcora et al (2009), pero añaden una nueva evidencia: la carga mental perjudica la recuperación subjetiva del esfuerzo.

En el campo de la ergonomía DiDomenico and Nussbaum (2008) no pudieron demostrar ningún efecto de una tarea con carga cognitiva sobre la estimación del esfuerzo físico (medida usando la escala de Borg CR10; Borg, 1982) durante un esfuerzo hasta la fatiga en una situación simulada de trabajo. Sin embargo, la tarea utilizada por estos autores (levantamiento y desplazamientos de pesas) se quedó lejos de ser un esfuerzo hasta el agotamiento. De hecho, la máxima condición de carga física produjo un valor medio sobre CR10 de 5 (en un rango de 0-10). Las diferencias en nuestros datos comenzaron a aparecer después del agotamiento y, en el estudio de Marcora et al. (2009), los niveles de fatiga se aproximaron al agotamiento. Tentativamente, esto podría significar que los resultados de DiDomenico and Nussbaum no son generalizables a las situaciones de más demanda fisiológica. Las tareas hasta al agotamiento son probablemente poco frecuentes en el dominio de ocupaciones ergonómicas, pero, obviamente, son muy frecuentes en los contextos deportivos y del ejercicio físico.



Y en tercer lugar, nuestros resultados aparentemente difieren de informes previos que también relacionan los efectos del *feedback* positivo/negativo sobre las tareas de rendimiento. Wallace and Baumeister (2002) encontraron que la resolución de conflictos (en una tarea de colores “Stroop”) perjudicó el rendimiento en una tarea de seguimiento de figuras. Este efecto remanente se observó entre las tareas cognitivas pero, en realidad, los autores no descartan la posibilidad de que puedan también encontrarse diferencias entre las tareas cognitivas y físicas (Gaillot, Baumeister, DeWall, Maner, Plant, Tice, Brewer, y Schmeichel, 2007). Más importante aún, el añadir *feedback* de éxito/fracaso sobre el rendimiento en la primera tarea no moduló tal efecto, por lo que los autores se muestran a favor de una explicación mental/fisiológica.

Sin embargo, a diferencia de nuestro experimento, el *feedback* en este caso se proporcionó *después* de la tarea de color stroop, y no *durante*, por lo que: 1) el impacto emocional del *feedback* es probablemente menos intenso, y 2) el *feedback* no puede influir en el grado en que los participantes se involucran en la tarea. Desafortunadamente, los efectos emocionales y cognitivos del *feedback* en nuestro segundo experimento no son separables. Como se señaló anteriormente, es bastante posible que el *feedback* negativo motive a los participantes a esforzarse más fuertemente en buscar la regla “oculta”, mientras que los positivos indican que los participantes están haciéndolo bien por lo que han descubierto la regla y no necesitan esforzarse más. Sin embargo, nuestras condiciones replican fielmente como se obtiene el *feedback* en las situaciones de entrenamiento/competición deportivas, por lo que apunta a la necesidad de considerar, no sólo la dificultad de la



tarea mental en sí, sino también el esfuerzo mental directamente o indirectamente derivado de las consecuencias emocionales del rendimiento. No obstante, se requieren muchas más investigaciones para llegar a determinar si este efecto es puramente emocional o está mediado cognitivamente.

Es importante destacar que este es el primer estudio, a nuestro conocimiento, que monitoriza el estado emocional del deportista durante el esfuerzo. En el marco conceptual hemos presentado la idea de que el esfuerzo percibido es un estado motivacional. Esta idea, a pesar de todo, está lejos de ser novedosa. En los ámbitos de la neuroeconomía y economía del comportamiento el valor motivacional del esfuerzo es bien conocido en el estudio del aprendizaje instrumental y toma de decisiones. En nuestros experimentos, en promedio, el estado hedónico del ejercicio comenzó a ser más negativo que positivo (SAM: valencia < 5) para los cuatro niveles de esfuerzo, y rápidamente se convirtió en más positivo que negativo en cuanto el esfuerzo máximo se interrumpió después del agotamiento. Lo más importante, y en concordancia con la idea de que la sensación de esfuerzo es motivacional en su esencia, es que la valencia y el RPE estaban estrechamente relacionados, como demuestra el hecho de que la valencia experimente el mismo efecto de *Carga/Feedback* que la RPE. Esto difiere radicalmente de los hallazgos sobre la Activación, que también relacionados con la RPE, no mostraban ningún efecto significativo de la de *Carga/Feedback*.

El hecho de que la valencia esté más directamente vinculada con el ejercicio que la activación puede ser debido a las diferentes características emocionales del esfuerzo y la fatiga. En el ámbito cognitivo, se ha demostrado que la fatiga



disminuye la activación gradualmente, mientras que la carga la promueve (Di Stasi et al., 2010, 2011). Sin embargo, tanto el esfuerzo como la fatiga son hedónicamente negativos. Es probable que las tareas físicas tengan efectos emocionales similares, con la carga física y la fatiga física produciendo efectos opuestos sobre la percepción subjetiva de la activación, pero similar efecto sobre la valencia hedónica.

No podemos concluir esta discusión final sin hacer mención al lado negativo de nuestros resultados y que se refieren a las diferencias encontradas entre los resultados de los dos experimentos.

En el Experimento 1, la sensación de esfuerzo fue (como se esperaba) más fuerte a nivel local y global que central. Este efecto no se replicó en el Experimento 2, donde el esfuerzo fue más fuertemente sentido a nivel global que local o central. Los procedimientos de los dos experimentos, con respecto a las instrucciones proporcionadas a los participantes, fueron idénticos. Las dos muestras fueron también reclutadas siguiendo el mismo procedimiento al azar. Así, aunque los valores de VO_2 máx. parecen mostrar que los participantes del Experimento 2 estaban un poco más en forma, esta diferencia es insuficiente para explicar la diferencia sensitiva sobre la bicicleta. En consecuencia, la única diferencia puede estar en los métodos de medición. En el Experimento 1, a los participantes se les preguntó sólo sobre la percepción del esfuerzo (usando las tres subescalas); mientras que en el Experimento 2, se les preguntó sobre los 3 valores de RPE, más sobre la valencia y activación (SAM). La correlación entre estas medidas muestra que es muy probable que los participantes no discriminaran entre las escalas de



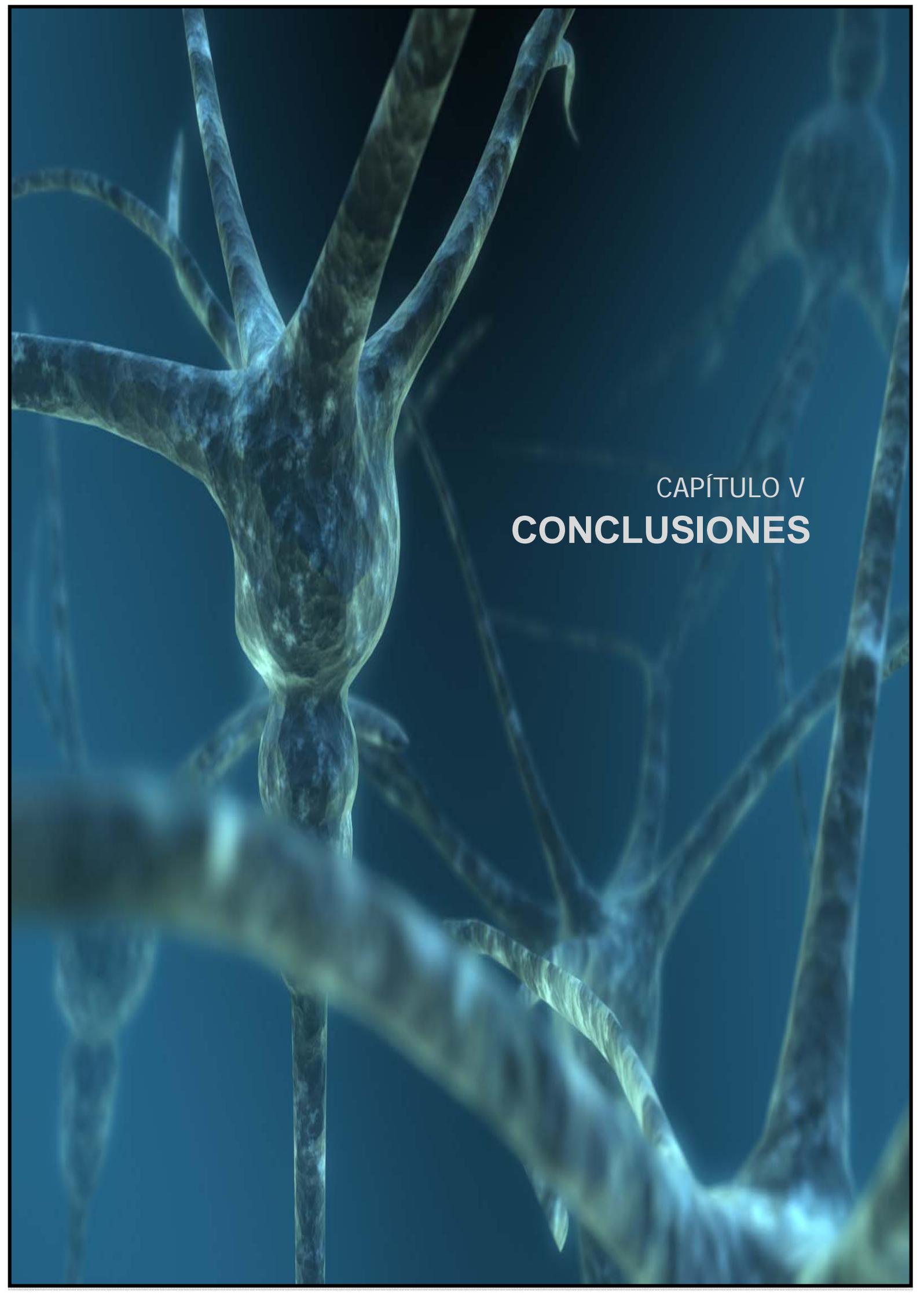
RPE, pero que sí lo hicieran a través de las escalas de percepción del esfuerzo y estado emocional. Como se señaló anteriormente, la correlación entre RPE (promedio a través de las subescalas) y valencia fue de $r=.85$, y la correlación entre RPE y activación fue $r=.77$. En el mismo experimento, las correlaciones entre los valores de las subescalas de RPE fueron mucho más altas ($r=.97$ para correlación local-central, $r=.97$ para la correlación local-total, y $r=.99$ para la correlación central-total). Dentro de las correlaciones de RPE se indica claramente que los participantes estaban usando las tres subescalas como si fueran una sola: esto no significa que los participantes no evaluaran de manera precisa su nivel de esfuerzo percibido, sino que las diferentes subescalas de RPE definitivamente perdieron su significado diferencial.

La siguiente diferencia consiste en el tiempo hasta el agotamiento. La carga cognitiva en el primer experimento no altera significativamente el tiempo hasta el agotamiento. Sin embargo, en el Experimento 2 la condición de *Feedback/Carga* negativa generó un mayor tiempo hasta el agotamiento que las otras dos. Esto solo puede ser debido a la posibilidad de que, a pesar de nuestros esfuerzos por mantenerla constante, la condición interfiriera con el ritmo de pedaleo en la bicicleta. Por esta razón, fue especialmente importante comprobar que las tres condiciones estaban equiparadas en todos los aspectos (RPE, consumo de oxígeno, y frecuencia cardíaca) al finalizar el periodo de esfuerzo de la prueba. Hay que tener en cuenta que este fallo potencial no afecta a la fiabilidad de los efectos del *Feedback/Carga* durante la recuperación. Por otra parte, si la condición de *Feedback/Carga* negativa interfiere con el ritmo de pedaleo en la bicicleta durante la recuperación, esta condición debería haber provocado valores más bajos de RPE, y



valores de consumo de oxígeno más bajos que la otras dos. Si acaso, el único efecto posible de una posible interferencia habría contribuido a ocultar en cierta medida el efecto de la *Carga/ Feedback* sobre las medidas de recuperación.

La última diferencia se refiere al consumo de oxígeno. En el Experimento 1 no hemos encontrado ningún efecto de la carga cognitiva sobre el VO_2 . Las diferencias visuales estaban en consonancia con el grado de carga cognitiva, pero se mantuvieron lejos de la significación. Por el contrario, en el Experimento 2 encontramos un claro efecto significativo de la carga mental sobre el consumo de oxígeno durante la fase de recuperación. Esta diferencia no parece que sea debida a un mayor impacto de las tareas utilizadas en este segundo experimento (dado que las dimensiones de otros efectos de la manipulación de la carga sobre otras medidas no difieren sustancialmente entre experimentos). Sin embargo, no parece que exista ningún aspecto del procedimiento o dato anómalo que justifique una posible desconfianza en nuestros resultados. De hecho, incluso en el caso de los participantes descartados, porque las medidas de consumo de oxígeno en el agotamiento parecían anómalas, las tres condiciones en el Experimento 2 fueron fuertemente equiparadas antes de que la recuperación comenzara. Además, la fase de recuperación fue idéntica en todos los sentidos desde el punto de vista procedimental en las tres condiciones, por lo que el efecto es estadística y procedimentalmente fiable. Si la ausencia de algún efecto en el Experimento 1 fue debido a la falta de fortaleza estadística, o su presencia en el Experimento 2 fue debida a la casualidad, es una cuestión que permanece abierta para futuras investigaciones.



CAPÍTULO V
CONCLUSIONES



CONCLUSIONES:

1. En relación con el **objetivo número 1**:

La carga mental (tal y como es definida en la neurociencia cognitiva actual) afecta a la percepción subjetiva del esfuerzo en una prueba de esfuerzo máxima incremental en un cicloergómetro. Ésta no perjudica a la percepción del esfuerzo durante la fase de esfuerzo incremental, pero sí afecta de manera significativa a la recuperación subjetiva del esfuerzo tras la realización del esfuerzo hasta el agotamiento. De manera que a medida que la carga mental adquiere una mayor dimensión para el participante, más lenta es su recuperación subjetiva.

2. En relación con el **objetivo número 2**:

La carga mental no afecta de manera significativa al consumo de oxígeno durante la fase de esfuerzo de una prueba incremental máxima en un cicloergómetro. Pero, por el contrario, sí que afecta de manera significativa al consumo de oxígeno durante la recuperación tras la realización del esfuerzo hasta el agotamiento, de una manera similar al mostrado por los datos de esfuerzo percibido. sólo cuando la manipulación de la carga presentaba una clara orientación emocional.

3. En relación al **objetivo número 3**:

La carga de trabajo mental no tiene un efecto significativo sobre el rendimiento físico, medido mediante el tiempo de esfuerzo hasta el agotamiento en una prueba incremental máxima en cicloergómetro. Es decir, la carga de trabajo mental no acelera el agotamiento en este tipo de pruebas.

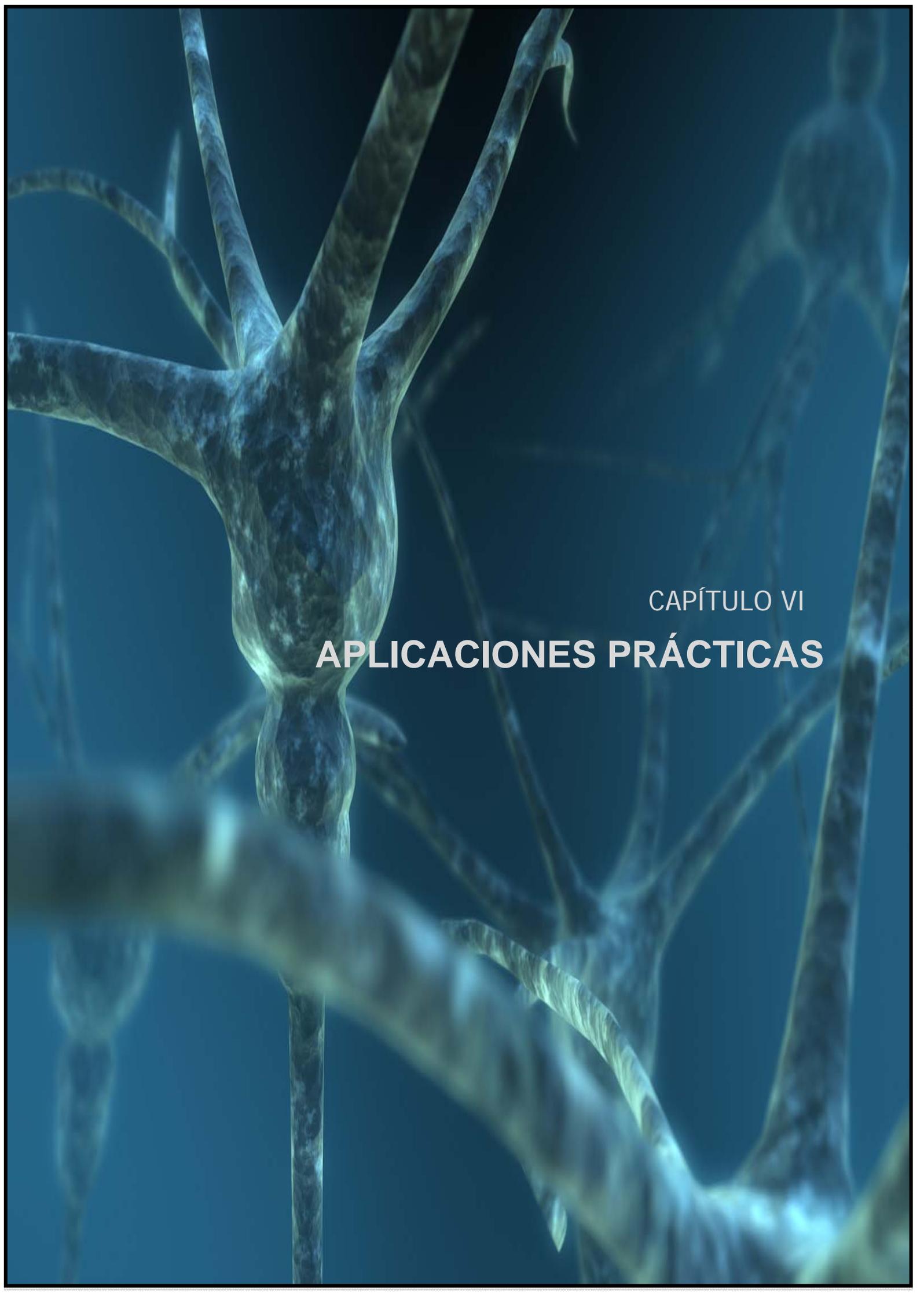


4. En relación con el **objetivo número 4**:

La manipulación del *feedback* influyó de manera significativa sobre el esfuerzo percibido de los participantes durante la recuperación, sobre la valencia emocional (de la misma manera), pero no sobre la activación. Esto permite concluir que el estado de ánimo negativo, causado por las consecuencias emocionales directas o indirectas de los errores cometidos, y la incapacidad percibida para resolver la tarea, aumenta directamente la sensación de esfuerzo. Podemos por tanto concluir que esta interacción es debida a un mecanismo puramente emocional.

5. En relación con el **objetivo número 5**:

Pensamos que son dos los mecanismos por los cuales la carga mental (abarcando sus dos dimensiones: emocional y cognitiva) puede afectar a la percepción del esfuerzo, uno es el puramente psicológico (vía directa) y el otro el mecanismo fisiológico de la depleción de recursos comunes (vía indirecta). No parece que ninguno de los dos mecanismos pueda ser completamente descartado y, al mismo tiempo, los dos encuentran algún soporte en nuestro patrón de resultados.



CAPÍTULO VI
APLICACIONES PRÁCTICAS



APLICACIONES PRÁCTICAS:

El proceso de entrenamiento comienza con la toma de decisiones por parte del entrenador de los elementos que conforman la planificación deportiva. Su elaboración se sustenta sobre el conocimiento de las variables o factores que afectan al rendimiento deportivo y que determinan los contenidos del programa de entrenamiento. En los deportes de interacción motriz, con compañeros, con adversarios o con ambos, la dialéctica de juego se sustenta sobre capacidades individuales de naturaleza fisiológica, motriz, cognitiva y psicológica. El rendimiento en el juego no sólo depende de un tipo de cualidades sino del conjunto. Pese a ello, los modelos de planificación vigentes se construyen sobre el concepto de carga fisiológica, centrándose en el entrenamiento físico y excluyendo las connotaciones cognitivas o psicológicas que, inevitablemente, tiene la intervención didáctica del entrenador, el propio diseño de las tareas, o el contexto/situación en la que se encuentre el equipo (posición en la tabla, últimos resultados obtenidos, etc.).

Desde esta visión reduccionista y, a nuestro parecer, desprovista de sentido, se concibe el estímulo desde una perspectiva exclusivamente cuantitativa (volumen e intensidad), despreciando el análisis cualitativo y específico. No podemos obviar una de las características más importantes de este proceso de adaptación, al que denominamos entrenamiento, que no es otra que la transformación de las características cualitativas de los estímulos externos que actúan sobre el organismo en características internas de éste (Oliveira, Amieiro, Resende y Barreto, 2007). Desde esta perspectiva resulta imprescindible considerar el



componente cognitivo y psicológico de la carga, o lo que es lo mismo, **introducir la carga mental en la planificación del entrenamiento como variable que contribuye a incrementar los efectos de la carga física.**

En el presente estudio se ha evidenciado la influencia que genera la carga mental (en sus dimensiones cognitiva y emocional) sobre la percepción del esfuerzo y sobre alguno de los parámetros fisiológicos (VO_2) determinantes en la aparición y acumulación de fatiga. Dado que nuestra investigación se ha desarrollado con un tipo de esfuerzo continuo y máximo, propio de ciertos deportes individuales, que se distingue del carácter intermitente del que tiene lugar en los deportes de equipo, debemos ser prudentes con la interpretación de los resultados. No obstante, si bien el esfuerzo físico diseñado se asemeja más al de los deportes individuales de fondo, la carga mental tiene más vinculación con la de los deportes de equipo. Esta doble dimensión nos obliga a ser prudentes pero, al mismo tiempo, nos concede la posibilidad de considerar como aplicación práctica general la necesidad de contemplar la carga mental en la planificación del entrenamiento para evitar desajustes graves. De hecho, podría darse el caso de que la programación del entrenamiento de un equipo (baloncesto, fútbol, balonmano,...) contemplara el ser sometido a una carga reducida de entrenamiento, es decir, hacer un esfuerzo moderado desde el punto de vista fisiológico, y terminar sometido a una carga elevada como consecuencia de la intervención del entrenador que genera condiciones de práctica con una gran exigencia cognitiva o emocional. En este sentido, podemos afirmar que no es lo mismo realizar un desplazamiento de 1000 metros sin ningún otro tipo de actividad concomitante a una intensidad dada, que realizar una actividad en la que este mismo esfuerzo físico tiene lugar en una



situación compleja donde existan requisitos tácticos, técnicos y psicológicos. En el segundo caso, se produce un incremento global de la magnitud de la carga.

Por motivos similares, se puede caer en el error de elaborar métodos de recuperación del esfuerzo atendiendo exclusivamente a parámetros físicos, y no tener presente la fatiga mental que genera la carga de entrenamiento sobre el participante. En el ámbito del entrenamiento deportivo cada vez se le presta una mayor importancia a la recuperación como medio para mejorar el rendimiento del deportista y evitar el aumento del riesgo de lesiones fruto de una acumulación de la fatiga. La gran densidad de entrenamientos, de partidos y de competiciones oficiales, acumulados a lo largo del año, es una de las razones por las que se le ha brindado esta gran importancia. De igual forma que sucede durante la actividad deportiva, nuestros resultados muestran una clara influencia de la carga mental sobre las variables estudiadas durante la recuperación.

Desgraciadamente, parece que la aplicación al campo práctico todavía está lejos de ser una realidad, al observar que los medios más utilizados para la recuperación de un esfuerzo suelen ser los baños de contraste, la actividad aeróbica extensiva a una baja intensidad, los masajes, los estiramientos, los ejercicios de "soltura", etc., pero rara vez se toman medidas para la recuperación mental y emocional del participante tras el esfuerzo realizado. Es decir, se entiende que la fatiga es debida a parámetros puramente físicos enfocando los medios de recuperación casi exclusivamente a esta dimensión. No obstante, la recuperación de los niveles de rendimiento físico tiene un carácter hedónicamente positivo,



ayuda a recuperar la sensación de bienestar mental, lo que indirectamente los convierte en medios eficaces de recuperación.

Otro ejemplo de una posible aplicación se refleja en las situaciones de entrenamiento post-partido. Aunque es bien conocido que fisiológicamente es mejor entrenar el día después de la competición, para facilitar la recuperación del organismo, quizás no sea lo más adecuado desde el punto de vista mental. Al respecto, Mourinho, tomado de Oliveira et al. (2007), comenta que el día después del partido, tanto a él como a sus jugadores, les cuesta más concentrarse, planificar, pensar, etc., convirtiéndose los entrenamientos en acciones vacías que terminan no sentando bien mentalmente a ningún miembro del equipo. Sus palabras exactas tomadas de la obra de Olivera et al. (2007) son “lo que es bueno para el cuerpo no tiene porque serlo para la cabeza, y tenemos que ver esta cuestión desde un punto de vista global” (p.110).

Es necesario destacar que la repercusión de esta es tremenda, puesto que alteraría el proceso de entrenamiento y los resultados previstos.

Tal como apuntábamos anteriormente, las características físicas de la carga la asemejan más a la de algunos deportes individuales que a la de los colectivos. Sirva como ejemplo que, en relación con las principales variables de la carga, la intensidad global de entrenamiento se establece teniendo en cuenta los umbrales individuales de los deportistas y los tiempos de recuperación y supercompensación atendiendo a la naturaleza de la carga.



En relación con los umbrales individuales, **la carga mental podría utilizarse intencionalmente para la incrementar la magnitud global de la carga y provocar una adaptación del organismo elevando el umbral de agotamiento** sin necesidad de elevar los niveles de carga física. Esto es posible debido a que la carga mental contribuye a la sensación de esfuerzo, lo que nos permite incrementar los niveles de tolerancia a la fatiga, evitando un mayor deterioro del organismo desde el punto de vista físico y el riesgo para la salud.

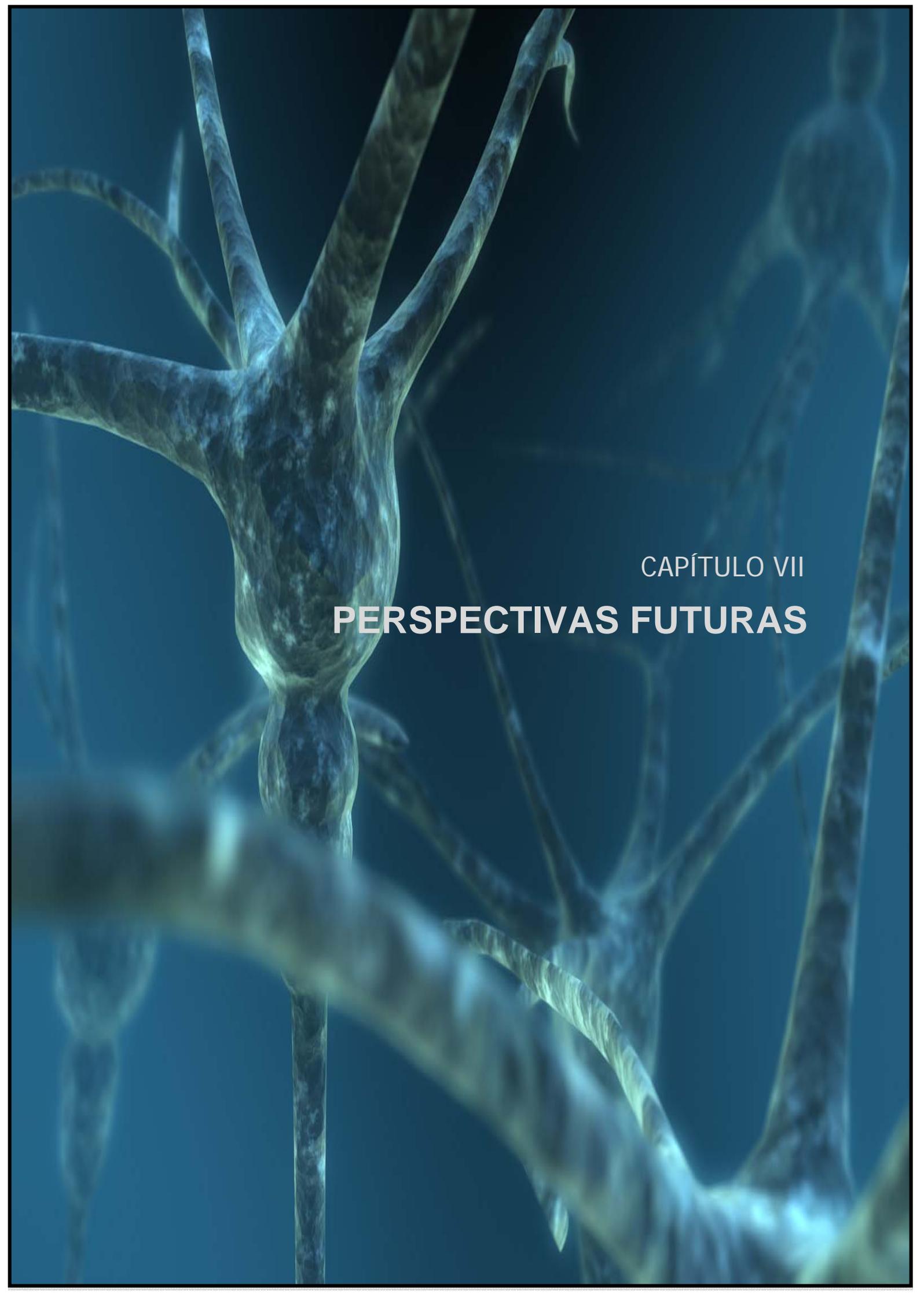
En la actualidad existen evidencias empíricas que ayudan a determinar el tiempo de recuperación de un trabajo de fuerza, o de resistencia, etc., atendiendo al tipo de manifestación desarrollada. Sin embargo, toda la investigación desarrollada para calcular estos periodos de recuperación se basó exclusivamente en la repercusión física que estas cargas generan en el organismo, sin contemplar las posibles variaciones de la interacción de este trabajo condicional con una carga mental sobre el participante, aspecto que, según se desprende de nuestro estudio, podría modificar sustancialmente estos resultados. Sirva como ejemplo, que no es lo mismo correr 1500 metros a la máxima intensidad, pero sin ningún tipo de componente emocional (correr por correr), que realizar la misma carga física pero disputando la medalla de oro en unos juegos olímpicos.

En último lugar, los datos obtenidos de los experimentos realizados justifican la **aplicación de técnicas cognitivo-conductuales de parada del pensamiento y disociativas para el incremento del rendimiento en competición**. Durante actividades continuas y extensivas (ciclismo de carretera, carreras de fondo, etc.) la inhibición del pensamiento provoca un efecto paradójico de incremento de la



carga mental (Salkovskis y Campbell, 1993), con los efectos que esto genera en la percepción del esfuerzo. Esto significa que podrían ser utilizadas como un medio más para conseguir incrementar la magnitud de la carga de entrenamiento cuando éste fuera el objetivo. Por el contrario, las técnicas disociativas no parecen llevar apareadas un incremento de la carga mental, lo que convierte su uso en una excelente estrategia para reducir la percepción del esfuerzo durante la competición.

Como conclusión, desde la perspectiva reduccionista actual de la orientación del entrenamiento, la regulación del proceso es, cuando menos, imprecisa y podría conducir a errores en la interpretación de los efectos del entrenamiento. Como se ha podido demostrar en el presente estudio, no podemos planificar el entrenamiento atendiendo a parámetros puramente fisiológicos sino también a aspectos mentales. Y, como venimos diciendo, esto es válido tanto para la aplicación de la carga como para los métodos de recuperación.



CAPÍTULO VII
PERSPECTIVAS FUTURAS



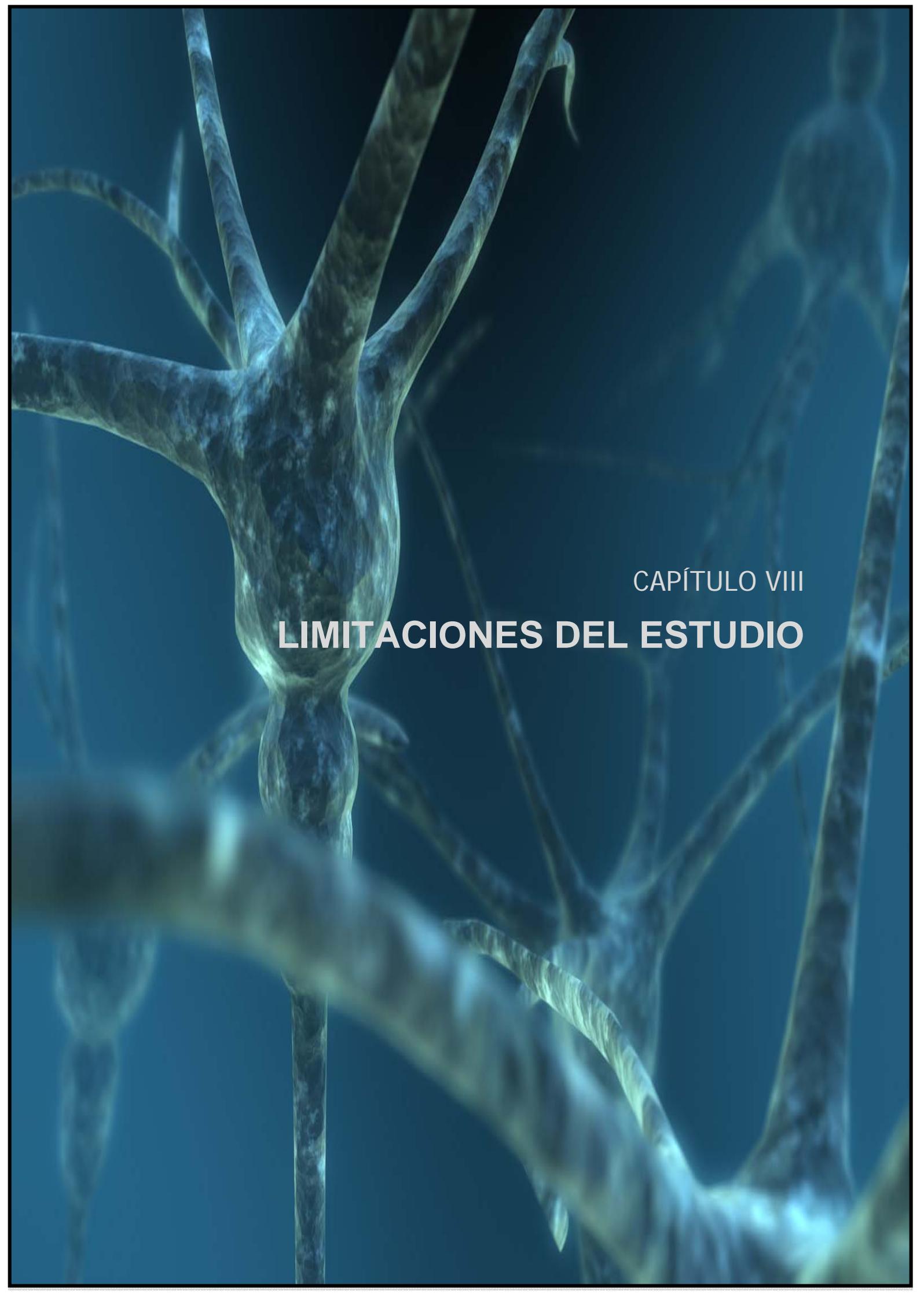
PERSPECTIVAS FUTURAS:

1. Sustituir el cicloergómetro por el tapiz rodante. Son tres los motivos que nos han llevado a tomar esta decisión. El primero es que la actividad realizada en el cicloergómetro supone un tipo de esfuerzo muy específico que genera una mayor fatiga local y un incremento de la percepción subjetiva en esta subescala, en aquellas personas que no están habituadas a este tipo de ejercicio. El segundo motivo es que el control de la carga física es mucho más exacto al no depender del ritmo de pedaleo del participante, como ocurre en el cicloergómetro, sino de la velocidad de carrera establecida. En el cicloergómetro se pueden producir pequeñas modificaciones, como consecuencia de la variación del ritmo de pedaleo respecto a las 70 revoluciones por minuto establecidas en el protocolo, mientras en el tapiz el deportista obligatoriamente debe correr a la velocidad de paso para evitar la caída. Y en tercer lugar, para consolidar la tendencia de nuestro grupo de investigación de aproximar la línea experimental al contexto real en los deportes de interacción, donde la carrera es el modo de desplazamiento habitual.
2. Comprobar la influencia de la carga mental cuando el deportista realiza esfuerzos intermitentes y no continuos. Esto nos permitirá reproducir las demandas energéticas de los deportes de equipo en los que las demandas cognitivas y emocionales representan un porcentaje elevado de la magnitud de la carga.



3. Modificar el procedimiento de investigación, particularmente la orientación de la carga mental, para que las demandas del ejecutivo central y memoria de trabajo se acerquen más a las características de las actividades deportivas en contexto real. Esta aproximación podría hacerse involucrando imágenes de juego grabadas en vídeo y tareas de toma de decisiones sobre el comportamiento de los jugadores que aparecen en las escenas proyectadas.

4. Realizar un trabajo de campo con aplicación de un diseño que se adapte al contexto real y permita obtener resultados de la interacción de la carga mental (cognitiva-emocional) y la percepción subjetiva del esfuerzo en un contexto de mayor validez ecológica.



CAPÍTULO VIII

LIMITACIONES DEL ESTUDIO



LIMITACIONES DEL ESTUDIO:

Procedente del campo del entrenamiento, este equipo de investigadores es plenamente consciente de que el camino para mejorar comienza con el ejercicio de autocrítica sobre el trabajo realizado. De ahí, que queramos concluir este trabajo haciendo mención a las limitaciones con las que ha contado el estudio, exponiéndolas de una manera simple y precisa para facilitar la labor de futuros investigadores interesados por la cuestión.

- La primera limitación se refiere al protocolo para la exposición y selección de los valores de la escala de Borg y SAM en el intervalo transcurrido entre dos palieres. Las citadas escalas se mostraron de manera manual a través de una tabla en donde el participante tenía que marcar con el dedo el valor que viera pertinente (al tener la máscara del espirómetro no puede hablar). Esto hizo que en algunas ocasiones el proceso resultara incómodo para el participante. Para estudios posteriores el software integrará la presentación en pantalla de las distintas escalas facilitando al participante la labor al pulsar en la botonera el valor que crea conveniente.

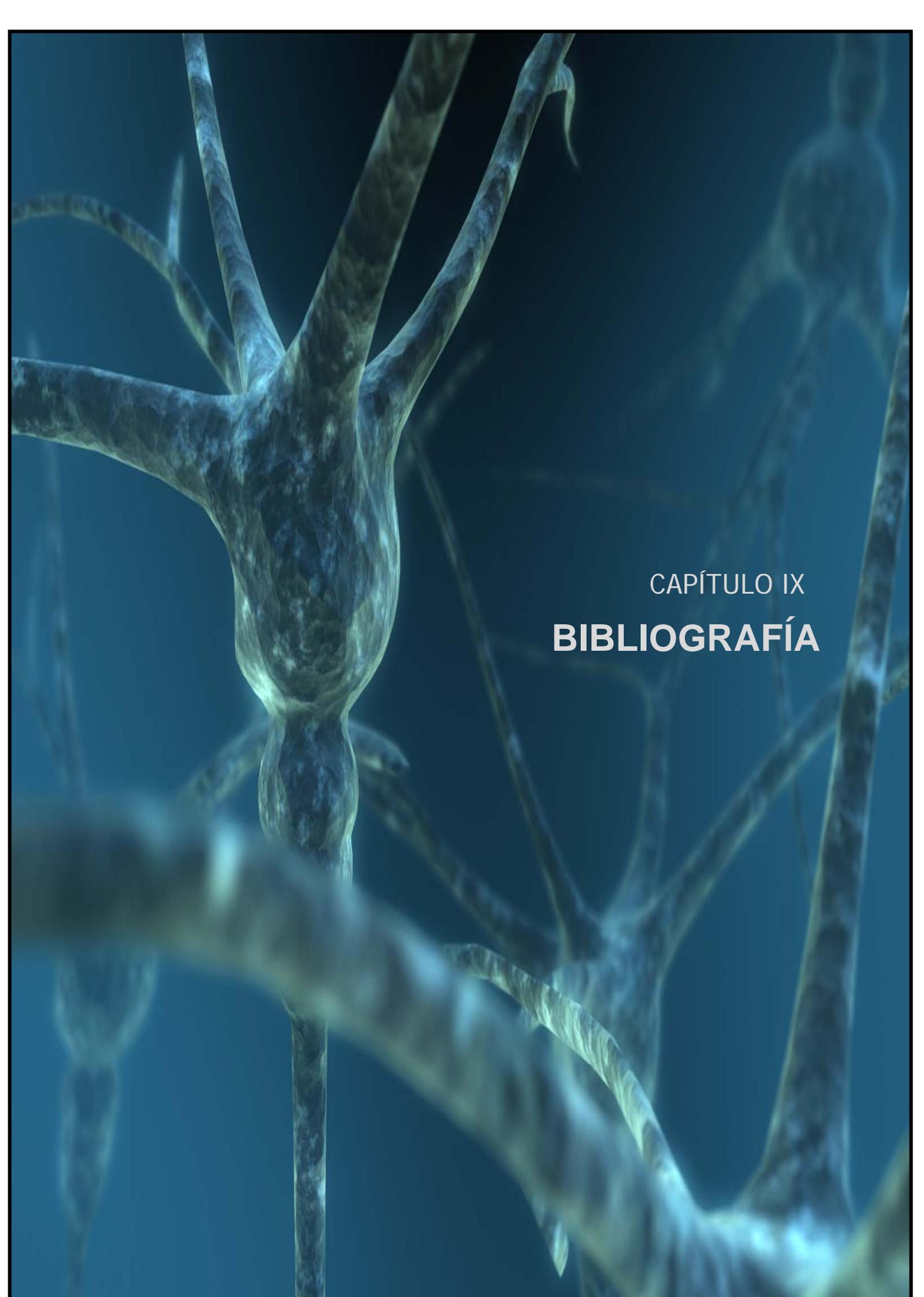
- En el proceso de análisis estadístico de los datos, tuvimos que omitir a varios participantes. En concreto se omitieron aquellos participantes que no marcaron valores por encima de 18 en la escala de Borg, para el bloque de agotamiento. Una de las posibles interpretaciones es que estos participantes no entendieron bien el funcionamiento de la escala, lo que nos lleva a modificar el futuro protocolo



introduciendo pruebas que garanticen la comprensión de las diferentes subescalas y de esta manera la reducción de la muerte experimental.

- El tratamiento de los registros de volumen de oxígeno obtenidos por el analizador de gases, para el posterior análisis estadístico, se realizó de manera manual como fruto del desconocimiento de que el software informático del aparato te los arrojaba de manera automática. Esto hizo que este proceso fuera más laborioso y prolongado en el tiempo. Desde el conocimiento adquirido a posteriori, entendemos que para posteriores análisis este proceso será más fácil y rápido.

- La toma de datos de las escalas de Borg y SAM tuvo lugar en los segundos inmediatamente posteriores al término de cada palier de 2 minutos. Pese a que el procedimiento se automatizó para reducir al máximo el tiempo, esta fase implicaba unos segundos en los que el participante continuaba pedaleando y por tanto acumulando carga. Para evitar es desfase entre condiciones de carga, en el futuro la toma de datos se realizará en los últimos segundos de cada palier.



CAPÍTULO IX
BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

- Aaronson, L. S., Teel, C. S., Cassmeyer, V., Neuberger, G. B., Pallikkathayil, L., Pierce, J., et al. (1999). Defining and measuring fatigue. *Journal of Nursing Scholarship*, 31(1), 45-50.
- Abbiss, C. R., y Laursen, P. B. (2005). Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Medicine*, 35(10), 865-898.
- Alexiou H, Coutts AJ. The validity of the session- RPE method for monitoring training load in elite female soccer players. *Int J Sports Physiol Performance* 2008;3(3):320–330.
- Allman, B. L., y Rice, C. L. (2002). Neuromuscular fatigue and aging: Central and peripheral factors. *Muscle and Nerve*, 25(6), 785-796.
- 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.
- Arend, I., Botella, J., y Barrada, J. R. (2003). Emotional load and the formation of illusory conjunctions in the time domain. [Carga emocional y formación de conjunciones ilusorias en el dominio del tiempo] *Psicothema*, 15(3), 446-451.



- Arruza, J, et al. (1996) Esfuerzo percibido y frecuencia cardiaca: el control de la intensidad de los esfuerzos en el entrenamiento de Judo. *Revista de Psicología del Deporte*, 9 – 10, 29 - 40.
- Astrand, P.O., y Rhodahl, K. (1985). *Fisiología del trabajo físico*. España. Edictorial Panamericana.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Bailey, S. P., Davis, J. M., y Ahlborn, E. N. (1993). Neuroendocrine and substrate responses to altered brain 5-HT activity during prolonged exercise to fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 74(6), 3006-3012.
- Bassett Jr., D. R., y Howley, E. T. (1997). Maximal oxygen uptake: 'classical' versus 'contemporary' viewpoints. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(5), 591-603.
- Barbany, J.R. (2002). *Fundamentos de fisiología del ejercicio y del entrenamiento*. Barcelona: Barcanova.
- 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.
- Benton, D. (1990). The impact of increasing blood glucose on psychological functioning. *Biological Psychology*, 30(1), 13-19.



- Benton, D., Parker, P.Y. y Donohue, R.T. (1997). The supply of glucose to the brain and cognitive functioning. *Journal of Biosocial Science*, 28 (4), 463–479.
- Berger, P. J., McCutcheon, L., Soust, M., Walker, A. M., y Wilkinson, M. H. (1991). Electromyographic changes in the isolated rat diaphragm during the development of fatigue. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 62(5), 310-316.
- Bigland-Ritchie, B., Cafarelli, E., y Vollestad, N. K. (1986). Fatigue of submaximal static contractions. *Acta Physiologica Scandinavica*, 128(SUPPL. 556), 137-148.
- Bigland-Ritchie, B., Furbush, F., y Woods, J. J. (1986). Fatigue of intermittent submaximal voluntary contractions: Central and peripheral factors. *Journal of Applied Physiology*, 61(2), 421-429.
- Boksem, M. A. S., Meijman, T. F., y Lorist, M. M. (2006). Mental fatigue, motivation and action monitoring. *Biological Psychology*, 72(2), 123-132.
- 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.
- Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 2(2), 92-98.
- 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., 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. A. (1974). Perceived exertion. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 2, 131-153.
- 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. V. (1982a). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377-381.
- Borg, G. A. V. (1982b). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377-381.
- Borg, E. and 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, Lambert MI (2008) Autonomic control of heart rate during and after exercise—measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med* 28:633–646.
- Cañas, J. J. (2004). *Personas y máquinas. El diseño de su interacción desde la ergonomía cognitiva*. Madrid: Pirámide.
- Chen, M.J., Fan, X., Moe, S.T. Criterion-related validity of the Borg ratings of perceived exertion scale in healthy individuals: A meta-analysis. *Journal of Sports Sciences* 20 (11), pp. 873-899
- Cohen, J.D., Perlstein, W.M., Braver, T.S., Nystrom, L.E., Noll, D.C., Jonides, J., and Smith, E.E. (1997). Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature*, 386: 604-608.
- 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.
- Coyle, E. F., y Montain, S. J. (1992a). Benefits of fluid replacement with carbohydrate during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(9 SUPPL.)
- Coyle, E. F., y Montain, S. J. (1992b). Carbohydrate and fluid ingestion during exercise: Are there trade-offs? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(6), 671-678.



- Cuadrado, J. (2010). *Análisis de la influencia de la intensidad del entrenamiento sobre variables de control de la carga interna en deportes de equipo*. (Tesis doctoral). Universidad de Granada
- Díaz Ocejo, J., Mora Mérida, J. A., y Chapado, F. (2009). Analysis of the cognitive strategies in aerobic endurance. [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.
- Donohue, R.T. y Benton, D. (1999). Cognitive functioning is susceptible to the level of blood glucose. *Psychopharmacology*, 145, 378-385.
- Edwards, R. H. (1981). Human muscle function and fatigue. *Ciba Foundation Symposium*, 82, 1-18.
- Enoka, R. M., y Stuart, D. G. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 72(5), 1631-1648.
- Epstein, F. H., Jones, N. L., y Killian, K. J. (2000). Mechanisms of disease: Exercise limitation in health and disease. *New England Journal of Medicine*, 343(9), 632-641.



- 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(4), 567-573.
- Eston, R.G., Parfitt, G., Campbell, L. y Lamb, K.L. (2000). Reliability of effort perception for regulating exercise intensity in children using the Cart and Load Effort Rating (CALER) Scale. *Pediatric Exercise Science* 12 (4), pp. 388-397
- 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.
- Evans, W. J., y Lambert, C. P. (2007). Physiological basis of fatigue. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(1 SUPPL.)
- Fairclough, S. H., y Houston, K. (2004). A metabolic measure of mental effort. *Biological Psychology*, 66(2), 177-190.
- Fernández, J.C. (2001) Concepto y taxonomía de la fatiga física. *Lectura, Educación Física y Deportes*, año 7, nº34. Extraído el 23 de Septiembre del 2008 desde <http://www.efdeportes.com>
- 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.



- Fitts, R. H. (2008). The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 104(2), 551-558.
- Forestier, N., y Nougier, V. (1998). The effects of muscular fatigue on the coordination of a multijoint movement in human. *Neuroscience Letters*, 252(3), 187-190.
- Gabriel, D. A., Basford, J. R., y An, K. -. (2001). Neural adaptations to fatigue: Implications for muscle strength and training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(8), 1354-1360.
- 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. In Hancock, P.A. and Desmond, P.A. (eds.). *Stress, Workload and Fatigue*, Lawrence Erlbaum Associates, London, pp. 623–639.
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 81(4), 1725-1789.
- Gandevia, S. C., Enoka, R. M., McComas, A. J., Stuart, D. G., y Thomas, C. K. (1995). Neurobiology of muscle fatigue: Advances and issues. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 384, 515-525.
- Gibson, H., y Edwards, R. H. T. (1985). Muscular exercise and fatigue. *Sports Medicine*, 2(2), 120-132.



- Gopher, D. y Donchin, E. (1986). Workload. An examination of the concept. En K. Boff, L. Kaufman y J.P. Thomas (Eds.): Handbook of Perception and Human Performance. Vol II. Cap. 41, (pp. 41.1-41.49). New York: Wiley.
- 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), pp. 501-507
- Green, J.M., Michael, T., y Solomon, A.H. (1999). The validity of ratings of perceived exertion for cross-modal regulation of swimming intensity. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 39 (3), pp. 207-212
- 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.
- Hart, S. G., y Staveland, L. E. (1988). *Development of NASA-TLX (task load index): Results of empirical and theoretical research*
- Hill, A. V., Long, C. N. H. and Lupton, H. (1924). Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen. Parts VII–VII. *Proc. R. Soc. Lond.* 97, 155–176.
- Hill-Haas S., Coutts A., Rowsell G., Dawson B. Variability of acute physiological responses and performance profiles of youth soccer players in small-sided games. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2008 Sep;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.
- Hopkins, W.G. (1991). Quantification of training in competitive sports. Methods and applications. *Sports Medicine* 12 (3), pp. 161-183
- 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.
- 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
- Jackson, S. A. (1995). Factors influencing the occurrence of flow state in elite athletes. *Journal of Applied Sport Psychology*, 7, 138-166.
- Jaenes, J.C. (2009). Personalidad resistente en deporte/ Hardy personality in Sport. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 2, 98-101.
- 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.



- Kahol, K., Leyba, M. J., Deka, M., Deka, V., Mayes, S., Smith, M., et al. (2008). Effect of fatigue on psychomotor and cognitive skills. *American Journal of Surgery*, 195(2), 195-204.
- Kay, D., y Marino, F. E. (2000). Fluid ingestion and exercise hyperthermia: Implications for performance, thermoregulation, metabolism and the development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 18(2), 71-82.
- Kayser, B. (2003). Exercise starts and ends in the brain. *European Journal of Applied Physiology*, 90(3-4), 411-419.
- 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.
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*, 55, 352-358.
- Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: A powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33(10), 1197-1206.
- Kravitz, L., Robergs, R.A., Heyward, V.H., Wagner, D.R., y Powers, K. (1997). Exercise mode and gender comparisons of energy expenditure at self-selected intensities. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29 (8), pp. 1028-1035
- Lambert MI, Borresen J (2006) A theoretical basis of monitoring fatigue: a practical approach for coaches. *Int J Sports Sci Coaching* 1:371–388.



- Lambert, E. V., St. Clair Gibson, A., y Noakes, T. D. (2005). Complex systems model of fatigue: Integrative homeostatic control of peripheral physiological systems during exercise in humans. *British Journal of Sports Medicine*, 39(1), 52-62.
- Little, T., Williams, A.G. (2007). Measures of exercise intensity during soccer training drills with professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21 (2), pp. 367-371
- López-Chicharro, J. y Fernández, A. (2006). *Fisiología del Ejercicio*. España. Médica Panamericana
- Lorist, M. M., Bezdán, E., ten Caat, M., Span, M. M., Roerdink, J. B. T. M., y Maurits, N. M. (2009). The influence of mental fatigue and motivation on neural network dynamics; an EEG coherence study. *Brain Research*, 1270(C), 95-106.
- Madigan, M. L., y Pidcoe, P. E. (2003). Changes in landing biomechanics during a fatiguing landing activity. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(5), 491-498.
- 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.
- 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.
- 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.
- Meeusen, R., Watson, P., Hasegawa, H., Roelands, B., y Piacentini, M. F. (2006). Central fatigue: The serotonin hypothesis and beyond. *Sports Medicine*, 36(10), 881-909.
- Miller, R. G. (2002). Role of fatigue in limiting physical activities in humans with neuromuscular diseases. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81(11 SUPPL.)
- Millet, G. Y., Millet, G. P., Lattier, G., Maffiuletti, N. A., y Candau, R. (2003). Alteration of neuromuscular function after a prolonged road cycling race. *International Journal of Sports Medicine*, 24(3), 190-194.
- 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(1), 49-100.
- Miyake, A. y Shah, P. (1999). *Models of working memory: mechanisms of active maintenance and executive control*. Londres: Cambridge University Press.
- Morgan, W. P. (1973). Psychological factors influencing perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 5(2), 97-103.



- Morgan WP, Raven PB, Drinkwater BL, Horvath SM. (1973) Perceptual and metabolic responsivity to standard bicycle ergometry following various hypnotic suggestions. *Int J Clin Exp Hypn* 21:86–101
- Morgan, W. P., Hirta, K., Weitz, G. A., y Balke, B. (1976). Hypnotic perturbation of perceived exertion: Ventilatory consequences. *American Journal of Clinical Hypnosis*, 18(3), 182-190.
- Morgan, W. P., Horstman, D. H., Cymerman, A., y Stokes, J. (1983). Facilitation of physical performance by means of a cognitive strategy. *Cognitive Therapy and Research*, 7(3), 251-264.
- Moyna, N.M., Robertson, R.J., Meckes, C.L., Peoples, J.A., Millich, N.B., y Thompson, P.D., (2001). Intermodal comparison of energy expenditure at exercise intensities corresponding to the perceptual preference range. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (8), pp. 1404-1410
- 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.



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.

Nicol, C., Avela, J., y Komi, P. V. (2006). The stretch-shortening cycle: A model to study naturally occurring neuromuscular fatigue. *Sports Medicine*, 36(11), 977-999.

Nicol, C., Komi, P. V., y Marconnet, P. (1991a). Fatigue effects of marathon running on neuromuscular performance. I. changes in muscle force and stiffness characteristics. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 1(1), 10-17.

Nicol, C., Komi, P. V., y Marconnet, P. (1991b). Fatigue effects of marathon running on neuromuscular performance. II. changes in force, integrated electromyographic activity and endurance capacity. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 1(1), 18-24.

Nielsen, B., Hales, J. R. S., Strange, S., Christensen, N. J., Warberg, J., y Saltin, B. (1993). Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. *Journal of Physiology*, 460, 467-485.



- 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.
- Noakes, T. D. (2008). Rating of perceived exertion as a predictor of the duration of exercise that remains until exhaustion. *British Journal of Sports Medicine*, 42(7), 623-624.
- Noakes, T. D., y Gibson, A. S. C. (2004a). Logical limitation to the "catastrophe" models of fatigue during exercise in humans. *British Journal of Sports Medicine*, 38(5), 648-649.
- Noakes, T. D., y Gibson, A. S. C. (2004b). Logical limitation to the "catastrophe" models of fatigue during exercise in humans. *British Journal of Sports Medicine*, 38(5), 648-649.



- Noakes, T. D., y Marino, F. E. (2009). Point:Counterpoint: Maximal oxygen uptake is limited by a central nervous system governor. *Journal of Applied Physiology*, 106(1), 338-341.
- Noakes, T. D., Peltonen, J. E., y Rusko, H. K. (2001). Evidence that a central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia. *Journal of Experimental Biology*, 204(18), 3225-3234.
- Noakes, T. D., St. Clair Gibson, A., y Lambert, E. V. (2004). From catastrophe to complexity: A novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans. *British Journal of Sports Medicine*, 38(4), 511-514.
- Noble, B. J. (1982a). Clinical applications of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 406-411.
- Noble, B. J. (1982b). Clinical applications of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 406-411.
- Noble, B. J., Borg, G. A. V., y Jacobs, I. (1983). A category-ratio perceived exertion scale: Relationship to blood and muscle lactates and heart rate. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(6), 523-528.
- Noble, B. J., Metz, K. F., Pandolf, K. B., y Cafarelli, E. (1973). Perceptual responses to exercise: A multiple regression study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 5(2), 104-109.



- Noble, B.J. y Robertson, R.J. (1996). *Perceived Exertion*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996, pp. 60–77, 99–100.
- Nybo, L., y Nielsen, B. (2001). Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 91(3), 1055-1060.
- 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.
- Oliveira, B., Amieiro, N., Resende N. y Barreto, R. (2007). *Mourinho. ¿Por qué tantas victorias?*. España: MCSports
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., y Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 25(1), 46-59.
- Owens, D.S., Parker, P.Y., Benton, D. Blood glucose and subjective energy following cognitive demand. *Physiology and Behavior* 62 (3), pp. 471-478
- 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.
- Pandolf, K. B., Billings, D. S., y Drolet, L. L. (1984). Differentiated ratings of perceived exertion and various physiological responses during prolonged upper and lower



- body exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 53(1), 5-11.
- Parvizi, J., y Damasio, A. (2001). Consciousness and the brainstem. *Cognition*, 79(1-2), 135-160.
- 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.
- Pons, I.D. (2008). *Evaluación de la carga mental en tareas de control*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña.
- Pollock, M.L. (1988) Prescribing Exercise for fitness and adherence. En R. K. Dishman (ed.) *Exercise Adherence: Ist Impact on Public Health*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Rahnama, N., Reilly, T., Lees, A., y Graham-Smith, P. (2003). Muscle fatigue induced by exercise simulating the work rate of competitive soccer. *Journal of Sports Sciences*, 21(11), 933-942.
- Robertson, R.J. (2001). Exercise testing and prescription using RPE as a criterion variable. *International Journal of Sport Psychology* 32 (2), pp. 177-188
- Robertson, R. J., Goss, F. L., Aaron, D. J., Nagle, E. F., Gallagher Jr., M., Kane, I. R., et al. (2009). Concurrent muscle hurt and perceived exertion of children during resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(5), 1146-1154.



- Robertson, R.J., Goss, F.L., Boer, N.F., Peoples, J.A., Foreman, A.J., Dabayebbeh, I.M., Millich, N.B., Balasekaran, G., Riechman, S.E., Gallagher, J.D. y Thompkins, T. (2000). Children's OMNI scale of perceived exertion: Mixed gender and race validation. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32 (2), pp. 452-458
- Rodacki, A. L. F., Fowler, N. E., y Bennett, S. J. (2001). Multi-segment coordination: Fatigue effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(7), 1157-1167.
- Rejeski, W.J., y Ribisl, P.M. (1980). Expected task duration and perceived effort: An attributional analysis. *Journal of Sport Psychology*, 2, 227-236.
- Salkovskis, P.M. y Campbell, P. (1994). Thought suppression induces intrusion in naturally occurring negative intrusive thoughts. *Behaviour Research and Therapy*, 32(1), 1-8
- Scholey, A. (2001). Fuel for thought. *Psychologist*, 14(4), 196-201.
- 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.
- Shen, J., Barbera, J. y Shapiro, C.M. (2006). Distinguishing sleepiness and fatigue: Focus on definition and measurement. *Sleep Medicine Reviews*, 10(1), 63-76
- 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.

Schomer, H. (1986). Mental strategies and the perception of effort of marathon runners. *International Journal of Sport Psychology*, 17, 41-59.

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.

St. Clair Gibson, A., Baden, D. A., Lambert, M. I., Lambert, E. V., Harley, Y. X. R., Hampson, D., et al. (2003). The conscious perception of the sensation of fatigue. *Sports Medicine*, 33(3), 167-176.

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.

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.

Vøllestad, N. K. (1997). Measurement of human muscle fatigue. *Journal of Neuroscience Methods*, 74(2), 219-227.



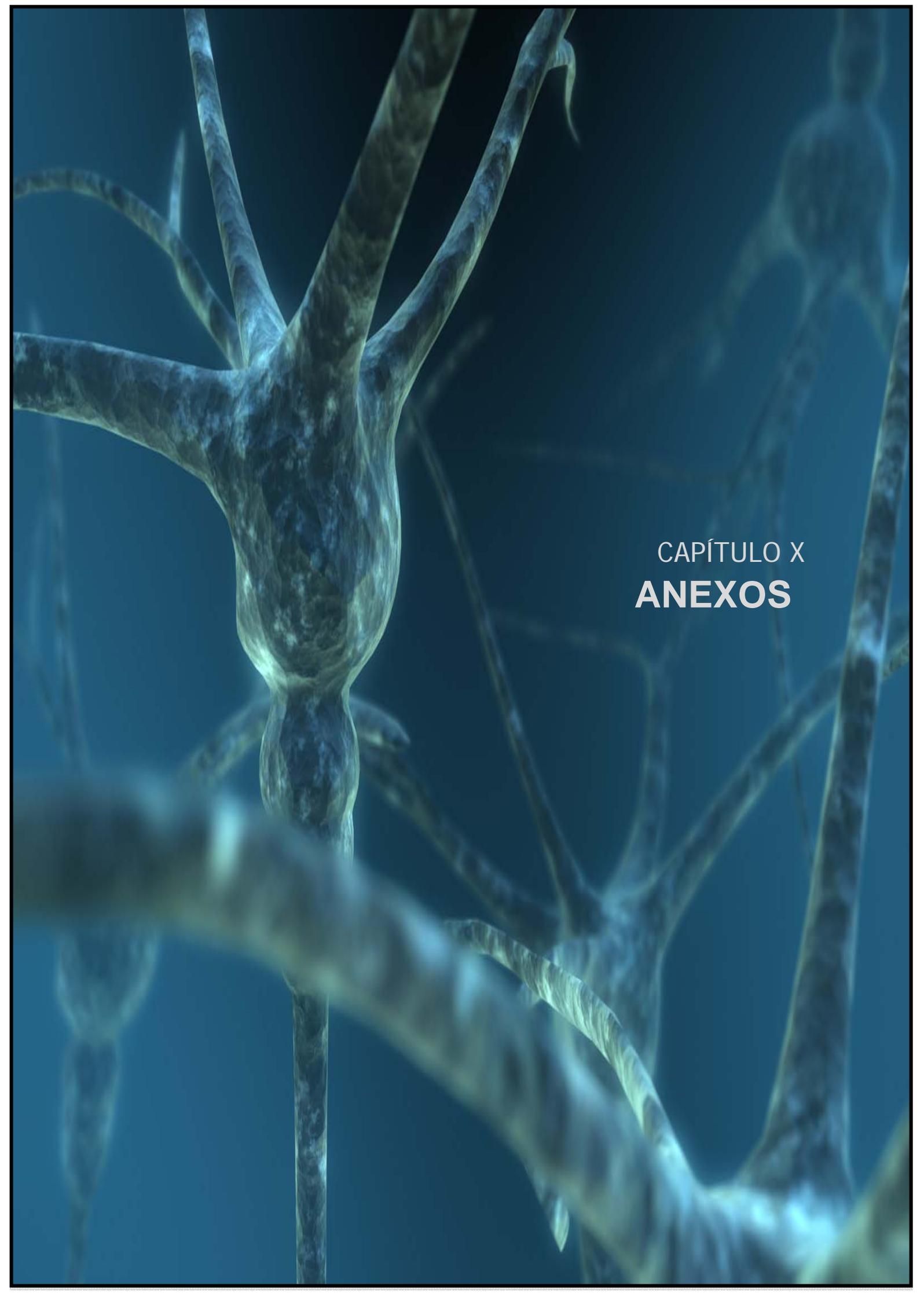
- Vollestad, N. K., Sejersted, O. M., Bahr, R., Woods, J. J., y Bigland-Ritchie, B. (1988). Motor drive and metabolic responses during repeated submaximal contractions in humans. *Journal of Applied Physiology*, 64(4), 1421-1427.
- Wallace, R.M. y Baumeister, R.F. (2002). The effect of success versus failure feedback on further self- control. *Self and Identity*, 1, 35-41.
- Walsh, M. L. (2000). Whole body fatigue and critical power: A physiological interpretation. *Sports Medicine*, 29(3), 153-166.
- 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.
- Wickens, C. D. (1984) *Processing resources in attention. In: Varieties of attention*. Ed R. Parasuraman y D. R. Davies. Academic Press.
- 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.
- Willmore, J.H., y Costill, D.L. (2005). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. España. Editorial Paidotribo



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.

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.

Zabala, M. (2003). *Influencia de un programa de intervención basado en el biofeedback de la frecuencia cardíaca sobre la percepción de la intensidad de esfuerzo en alumnos de educación secundaria obligatoria*. (Tesis Doctoral).
Universidad de Granada



CAPÍTULO X
ANEXOS



Tabla 2. Registro Participantes Experimento 1

	Participante nº	Edad (años)	Sexo	Peso (Kg.)	Altura (cm.)	IMC	%Masa Grasa	Masa Magra (Kg.)
1	1.1	23	H	56	166	20,6	17,3	46,3
	1.2	23	H	55	166	20	18,8	44,7
	1.3	23	H	55,2	166	20	18,9	44,8
2	3.1	20	H	64,3	162	24,5	27	46,9
	3.2	20	H	64,7	162	25	28,6	46,2
	3.3	20	H	64,4	162	24,5	28,3	46,2
3	4.1	20	H	63,9	158	25,6	28,2	45,9
	4.2	20	H	63,9	158	25,6	29,7	44,9
	4.3	20	H	63,4	158	25,4	27,3	46,1
4	5.1	20	V	65,1	174	21,5	7,6	60,1
	5.2	20	V	65,6	174	21,7	6,2	61,5
	5.3	20	V	65,1	174	21,5	6,8	60,7
5	6.1	22	V	67,8	178	21,4	11,9	59,7
	6.2	22	V	66,2	178	21,1	9	61,6
	6.3	22	V	67	178	21,1	8	61,6
6	7.1	20	V	89,1	183	26,6	14,5	76,2
	7.2	20	V	88,6	183	26,5	13,5	76,6
	7.3	20	V	91,3	183	27,3	13,3	79,2
7	8.1	21	V	75,7	174	25	13,3	65,6
	8.2	21	V	75,7	174	24,7	11,7	66,8
	8.3	21	V	75,6	174	24,7	13,1	65,7
8	9.1	22	V	57,7	158	22,8	11,7	50,9
	9.2	22	V	57,5	158	23	11,5	50,9
	9.3	22	V	57,6	158	23,1	11,6	50,9
11	11.1	20	V	67,7	178	21,4	5,2	64,2
	11.2	20	V	67,1	178	21,4	5,2	63,6
	11.3	20	V	68,1	178	21,5	5,7	64,2
12	12.1	23	V	88,6	183	26,5	11,4	78,7
	12.2	23	V	88,7	183	26,5	12	78,1
	12.3	23	V	88,7	183	26,5	11,1	78,8

La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción del esfuerzo físico durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento



13	13.1	22	V	90,3	189	25,3	12,4	79,1
	13.2	22	V	89,7	189	25,4	13,7	77,4
	13.3	22	V	90,1	189	25,2	12,4	80
14	14.1	26	V	82,8	184	24,5	6,7	77,2
	14.2	26	V	84,2	184	24,9	7,3	78
	14.3	26	V	82,8	184	24,5	6,8	77,2
15	15.1	21	V	73,7	178	23,3	8,2	67,7
	15.2	21	V	73,2	178	23,1	9	66,6
	15.3	21	V	74,3	178	23,5	7,8	67,5
16	16.1	20	V	86,7	179	27,4	13,9	74,6
	16.2	20	V	85,9	179	27,1	16,2	72
	16.3	20	V	85,8	179	26,8	14,9	73
17	17.1	20	V	63,7	166	23,1	7,8	58,7
	17.2	20	V	62,8	166	22,8	6,1	59
	17.3	20	V	64,5	166	23,4	7,2	59,9
18	18.1	19	V	79,7	176	25,7	10,4	71,4
	18.2	19	V	79,9	176	25,8	13,7	68,9
	18.3	19	V	79,6	176	25,7	11,7	70,3
19	19.1	22	V	77,1	176	24,9	13,3	66,8
	19.2	22	V	77,1	176	24,9	14,4	66
	19.3	22	V	76	176	24,3	14,7	64,8
20	20.1	20	H	67,3	168	23,8	22,4	52,2
	20.2	20	H	67	168	23,7	16,5	50,5
	20.3	20	H	66,8	168	23,7	19,5	53,8



Tabla 3. Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE) en Carga Mental Alta. Experimento 1:

S	1 1 1			1 1																		1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1																	
	Calent.			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	R1	R2	R3	R4																							
	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T															
1	8	8	7				9	9	9	13	13	12	15	15	15	16	16	16	17	17	17	19	19	19	20	20	20	16	16	15	14	14	14	14	14	14	13	13	13
2	11	11	11									11	11	11	11	13	12	13	13	13	13	17	17	17	19	19	19	13	13	13	11	11	11	11	11	11	9	9	9
3	7	7	7						9	9	9	9	9	9	13	11	13	13	13	13	13	15	17	19	19	17	19	15	13	13	11	10	11	11	9	11	9	9	9
4	6	6	6						6	6	6	7	7	6	7	8	7	9	9	9	14	15	15	20	20	20	13	12	12	9	9	9	8	8	8	7	7	7	
5	7	7	7						9	9	9	9	9	9	11	9	9	12	11	11	15	13	13	18	16	17	11	10	10	9	8	8	6	6	6	6	6	6	
6	7	7	7						8	8	8	11	11	11	13	13	13	16	16	16	18	18	18	20	20	20	17	17	17	13	13	13	9	9	9	7	7	7	
7	7	7	7				8	8	8	9	9	9	11	11	12	13	14	15	15	16	17	17	17	18	20	20	17	16	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
8	7	7	7						8	8	8	10	11	11	12	11	11	15	13	14	17	15	16	19	18	18	15	12	13	13	10	11	12	9	10	11	8	9	
9	6	6	6						7	7	7	9	9	9	10	10	10	12	13	13	16	16	16	19	20	20	12	12	15	9	9	9	7	8	7	6	6	6	
10	7	7	7									9	9	9	11	11	11	14	14	14	17	15	17	20	20	20	11	11	11	8	8	8	7	7	7	7	7	7	
11	9	9	9						9	9	9	11	10	11	12	11	11	15	14	14	18	16	17	20	18	19	17	16	16	13	12	12	15	13	13	15	10	12	
12	8	6	7				9	7	8	11	9	10	13	12	11	14	12	13	16	14	15	18	16	17	19	18	17	14	12	12	11	9	9	9	8	8	9	7	8
13	6	6	6						6	6	6	8	7	7	11	10	10	13	12	12	17	16	17	20	19	20	10	10	10	8	7	7	6	6	6	6	6	6	
14	7	7	7						9	9	9	11	11	11	14	14	14	16	17	16	19	19	19	20	20	20	13	13	13	12	13	12	11	10	11	9	9	9	
15	8	8	8						9	9	9	11	11	11	13	12	12	13	13	13	14	14	14	16	16	18	18	15	16	15	15	14	14	15	14	14	13	13	13
16	12	12	11						13	13	13	13	13	13	14	15	14	14	15	15	15	16	16	19	19	19	12	10	11	10	9	10	7	6	7	7	6	7	
17	6	6	6						6	6	6	6	6	6	6	7	6	9	9	9	13	10	10	18	15	17	18	18	8	8	7	6	6	6	6	6	6	6	
18	7	8	8									7	8	8	7	8	8	11	10	10	17	15	16	20	19	19	17	16	16	9	8	8	7	8	8	7	8	8	

Final del CalentFinalamiento

Inicio de la Recuperación



La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción del esfuerzo físico durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento.

Tabla. 4. Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE) en Carga Mental Baja. Experimento 1:

S	2 2 2			2 2																		2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2			
	Fin cal			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	R1	R2	R3	R4									
	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T				
1	9	9	9				10	10	10	11	11	11	13	13	13	14	14	14	15	15	15	17	17	17	
2	7	9	9						9	9	9	11	11	13	13	15	15	15	15	17	19	19	19	19	19
3	7	7	7				7	7	7	11	11	11	13	13	13	15	15	15	19	19	19	19	19	19	19
4	6	6	6				6	6	6	9	10	10	12	13	13	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20
5	7	6	6			8	7	7	9	8	8	11	10	11	13	12	13	17	15	16	19	16	17	20	20
6	10	9	9				11	10	11	12	12	12	14	14	14	15	16	16	18	19	19	20	20	20	20
7	8	7	7			7	7	7	11	11	11	14	13	14	15	15	15	17	17	17	19	19	19	20	20
8	9	7	8			11	8	9	11	10	10	14	11	13	15	12	14	18	16	17	19	17	18	20	20
9	7	7	7			9	9	10	9	9	9	11	11	11	13	11	12	17	16	17	20	20	20	20	20
10	7	6	7						8	8	8	10	10	10	13	14	14	17	15	16	18	19	18	18	18
11	9	9	9			8	9	9	11	11	13	13	12	14	15	14	16	19	17	18	20	19	19	20	20
12	6	6	6			7	7	7	8	8	8	10	11	11	13	12	13	15	14	14	17	16	17	18	19
13	6	6	6						6	6	6	7	6	6	11	11	11	13	12	12	15	15	15	19	18
14	7	6	6						7	7	7	9	9	10	11	11	11	14	14	14	17	17	17	19	19
15	9	8	8			9	8	8	11	10	10	12	12	12	13	12	12	14	13	14	16	15	16	17	17
16	11	10	10				11	11	11	12	11	12	12	12	14	14	14	15	15	16	18	18	18	19	20
17	6	6	6			6	6	6	7	6	6	8	6	7	12	9	11	16	14	14	20	18	19	20	20
18	6	6	6				6	6	6	8	7	7	12	11	11	16	15	15	20	19	19	20	20	20	20

Final del Calentamiento

Inicio de la Recuperación



Tabla 9. Volumen de Oxígeno (VO₂) Recuperación con Carga Mental Alta. Experimento 1:

S	C1															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	46	33	28	24	21	20	22	21	19	20	21	19	20	19	19	16
2	29	21	19	18	18	17	16	18	18	17	17	17	16	17	15	14
3	40	30	23	22	20	17	19	19	21	16	17	18	17	17	19	17
4	42	32	27	23	21	20	23	20	20	21	20	19	17	18	17	16
5	49	33	27	23	23	23	23	24	26	24	24	23	24	23	23	22
6	46	35	24	22	20	19	18	18	17	17	17	15	18	15	15	15
7	46	41	37	36	35	34	33	33	34	33	32	32	32	31	31	31
8	44	31	23	22	22	21	21	19	20	21	21	22	20	19	18	20
9	30	26	18	16	15	12	13	12	12	13	13	13	13	15	12	11
10	18	14	12	10	9	10	10	10	10	10	10	10	11	10	9	10
11	43	32	27	23	22	19	20	20	17	19	19	17	19	16	19	18
12	32	25	19	17	17	16	15	15	15	15	15	16	15	13	13	12
13	43	30	25	22	21	20	21	21	20	20	20	20	19	18	19	19
14	25	24	19	14	15	10	11	14	15	15	14	15	11	16	15	15
15	48	36	29	27	25	26	24	23	22	23	21	21	22	22	28	29
16	39	33	24	21	20	20	20	19	19	20	19	18	18	20	20	17
17	48	34	26	22	23	21	20	20	19	18	19	20	20	19	16	15
18	20	16	13	12	13	10	13	11	10	10	10	10	12	10	12	12



La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción del esfuerzo físico durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento.

Tabla 10. Volumen de Oxígeno (VO₂) Recuperación con Carga Mental Baja. Experimento 1:

S	C2															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	42	31	25	21	20	21	20	20	19	19	19	18	19	19	19	18
2	29	23	19	20	22	19	17	16	17	17	15	16	16	16	15	15
3	34	24	20	18	18	18	20	17	18	20	18	18	18	18	18	17
4	48	35	27	23	22	19	20	19	20	15	17	18	16	18	17	16
5	46	31	25	20	20	19	18	19	17	17	18	16	17	16	17	17
6	43	31	23	20	19	17	17	18	18	18	17	17	16	17	15	16
7	47	39	28	25	24	22	23	23	22	21	21	20	21	20	20	22
8	35	25	20	18	17	17	17	15	14	16	16	15	14	15	15	15
9	55	45	33	28	25	25	24	24	25	25	24	23	23	24	24	24
10	31	25	22	18	17	17	17	17	16	15	16	16	15	16	16	16
11	41	32	26	24	22	19	19	18	19	18	17	17	17	16	18	18
12	44	35	28	25	22	23	22	21	21	21	22	20	20	20	21	19
13	40	30	23	21	19	19	18	18	17	17	17	17	17	17	16	15
14	40	30	24	23	22	20	21	20	20	20	19	19	18	20	18	19
15	44	32	26	24	24	23	22	22	21	21	21	20	21	21	20	20
16	9	7	4	4	4	4	5	3	4	5	5	3	3	6	4	3
17	30	22	17	13	12	12	13	13	14	13	14	13	11	11	11	11
18	28	25	19	17	13	14	12	12	13	14	13	13	13	14	14	14



Tabla 11. Volumen de Oxígeno (VO₂) Recuperación sin Carga Mental. Experimento 1:

S	C3															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	39	27	22	20	20	20	18	18	18	16	15	15	16	18	15	16
2	34	25	20	17	15	15	15	13	13	14	13	13	12	12	13	12
3	40	28	20	18	17	16	14	15	15	15	13	14	14	14	13	15
4	52	38	31	29	25	24	24	24	25	24	24	25	25	26	27	22
5	47	32	23	20	20	20	18	19	18	19	18	20	18	20	20	18
6	39	28	21	18	19	17	16	16	15	15	16	15	13	16	14	16
7	37	26	20	18	16	16	15	15	16	15	14	14	14	14	13	11
8	44	29	24	20	19	18	20	19	19	17	20	18	16	19	18	17
9	52	35	24	22	21	19	19	19	19	18	18	18	17	19	18	18
10	16	13	11	9	6	8	8	8	7	8	6	6	8	8	9	8
11	35	25	21	18	20	17	17	17	17	17	17	18	16	18	17	17
12	45	34	26	23	21	21	19	19	19	18	18	16	17	19	17	17
13	44	30	24	21	20	20	19	20	18	20	19	18	19	18	17	17
14	38	27	24	22	20	19	20	20	19	19	18	18	18	16	17	17
15	55	40	33	28	26	26	26	25	25	24	24	24	23	24	22	21
16	17	17	18	14	13	14	13	13	13	10	11	14	11	15	16	11
17	43	29	22	21	19	19	18	17	18	17	18	17	18	17	16	16
18	40	27	20	16	14	13	13	13	12	12	12	12	12	12	12	11



Tabla 12. Registro Participantes Experimento 2:

	Participante nº	Edad (años)	Sexo	Peso (Kg.)	Altura (cm.)	IMC	%Masa Grasa	Masa Magra (Kg.)
1	1.1	21	V	68	168	24,1	16,4	56,8
	1.2	21	V	68,3	168	24,2	16,2	57,2
	1.3	21	V	68,7	168	24,3	15,5	58
2	2.1	21	V	77,3	172	26,1	18,9	62,7
	2.2	21	V	78,1	172	26,1	17,9	64,1
	2.3	21	V	77,2	172	25,8	17,1	64
3	3.1	19	V	64,1	178	20,2	10,4	57,4
	3.2	19	V	64,1	178	19,8	9,9	57,7
	3.3	19	V	64,3	178	20,3	10,6	57,5
4	4.1	19	V	68	170	23,5	11,9	59,9
	4.2	19	V		170			
	4.3	19	V	67,1	170	23,2	12,1	59
5	5.1	22	V	76,3	179	23,8	14,7	65,1
	5.2	22	V	76,1	179	23,8	14,7	64,9
	5.3	22	V	76,1	179	23,8	13,6	65,7
6	6.1	20	H	54,9	161	21,2	23,1	42,2
	6.2	20	H	55,4	161	21,4	22,4	43
	6.3	20	H	55,5	161	21,4	23	42,7
7	7.1	22	V	72,5	173	24,2	15,5	61,3
	7.2	22	V	72,7	173	24,3	15,8	61,2
	7.3	22	V	73,7	173	24,6	16,2	61,8
8	8.1	22	V	71,3	192	19,3	7,8	65,7
	8.2	22	V	69,7	192	18,9	8,7	63,6
	8.3	22	V	70,2	192	19	8,2	64,4
9	9.1	19	H	55,2	162	21	20,1	44,1
	9.2	19	H	55,2	162	21	21,2	43,5
	9.3	19	H	54,7	162	20,8	20,3	43,6
10	10.1	20	H	65,6	170	22,7	28,3	47
	10.2	20	H	65,1	170	22,5	27,3	47,3
	10.3	20	H	65	170	22,5	26,8	47,6



11	11.1	21	V	76,3	192	20,7	7,9	70,3
	11.2	21	V	76,1	192	20,4	8,6	69,6
	11.3	21	V	74,9	192	20,3	8,2	68,8
12	12.1	19	V	67,9	177	21,7	7	63,1
	12.2	19	V		177			
	12.3	19	V	67,6	177	21,6	7,3	62,7
13	13.1	20	V	54,3	168	19,2	3,1	52,6
	13.2	20	V	54	168	19,1	2,4	52,7
	13.3	20	V	54,3	168	19,2	3,1	52,6
14	14.1	19	V	65,2	168	23,1	6	61,3
	14.2	19	V	65,4	168	23,2	6,2	61,3
	14.3	19	V	64,9	168	23	7,2	60,2
15	15.1	19	V	76,7	179	23,9	14,2	65,8
	15.2	19	V	76,1	179	23,8	9,4	68,9
	15.3	19	V	77	179	24	14,9	65,5
17	17.1	20	V	75,2	184	22,2	7,5	69,6
	17.2	20	V	75	184	22,2	5,9	70,6
	17.3	20	V	75,2	184	22,2	6,3	70,5
18	18.1	20	V	82,1	189	23	7,9	75,6
	18.2	20	V	82,1	189	23	7,9	75,6
	18.3	20	V	81,8	189	22,9	8,5	74,8
19	19.1	19	V	63,2	172	21,4	7	58,8
	19.2	19	V	63,2	172	21,4	7	58,8
	19.3	19	V	64,2	172	21,7	11,8	56,6



La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción del esfuerzo físico durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento.

Tabla 13. Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE) en Carga Mental Alta. Experimento 2:

S	C1			C1														C1																									
	Calentamiento			P1				P2				P3				P4				P5				P6				P7				R1			R2			R3			R4		
	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T							
1	10	11	11	11	11	11	12	13	13	11	11	12	13	14	13	14	15	15	15	17	17	15	17	17	13	13	13	11	11	11	13	15	14	13	12	14							
2	9	9	9				9	9	9	11	11	11	12	12	12	13	14	14	17	17	17	20	20	20	15	15	15	10	10	10	9	9	9	8	8	8							
3	6	6	6	7	7	7	9	9	9	10	10	10	12	10	10	13	12	12	16	15	15	19	19	19	12	10	10	11	10	10	10	11	10	10	9	9							
4	7	7	7	9	9	9	10	10	10	11	11	11	13	12	12	13	14	14	15	15	15	17	17	17	12	11	11	9	10	10	9	8	8	7	7	7							
5	7	7	7	8	8	8	9	9	9	11	11	11	12	11	11	15	15	15	20	19	19	20	20	20	15	13	13	12	10	11	12	9	9	10	7	8							
6	7	7	7				8	7	7	9	8	8	11	10	10	15	14	14	17	16	17	20	19	19	12	11	11	11	10	10	9	9	9	8	7	8							
7	8	8	8	9	9	9	9	9	9	12	11	11	13	12	12	15	14	14	17	17	17	20	20	20	12	12	12	10	9	9	9	8	9	9	9	9							
8	7	6	6				7	7	7	8	9	9	11	11	11	12	15	15	15	17	17	19	19	19	11	12	12	11	11	11	9	9	9	7	7	7							
9	7	7	7							7	7	7	9	9	9	13	13	13	15	15	15	20	20	20	11	11	11	11	11	11	8	8	8	7	7	7							
10	6	6	6				6	6	6	7	8	7	8	9	10	12	14	13	16	17	19	17	19	19	14	12	13	9	8	7	7	6	6	6	6	6							
11	7	7	7				8	8	8	8	8	8	10	9	9	11	12	13	14	14	15	20	20	20	14	12	12	13	11	10	11	10	8	9	8	8							
12	11	11	11				11	11	11	13	13	13	15	15	15	15	15	15	17	15	17	19	19	20	11	10	10	9	9	9	7	7	7	7	7	7							
13	6	7	7	9	10	10	11	12	12	13	14	14	15	16	6	17	18	18	18	19	20	19	20	20	16	17	17	12	15	14	11	14	13	11	13	12							
14	7	7	7	10	10	10	11	11	11	11	12	11	13	12	13	14	15	14	15	15	15	17	17	17	11	11	11	8	9	9	9	9	9	8	9	8							
15	7	7	7				8	9	9	11	11	11	12	13	13	15	14	15	18	18	18	20	20	20	11	11	11	9	10	9	8	8	8	7	7	7							
16	9	9	9	11	11	11	10	10	10	11	11	11	12	12	12	13	13	13	16	15	16	20	20	20	13	13	13	11	11	11	10	10	10	10	10	10							
17	7	7	7				9	9	9	10	10	11	13	13	14	14	15	17	18	18	19	20	20	19	18	17	11	10	11	7	7	7	6	6	6								
18	9	11	9							11	11	11	11	11	11	13	11	13	15	13	14	16	14	16	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9							



Tabla 14. Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE) con Carga Mental Baja. Experimento 2:

S	C2 C2 C2			C2														C2																									
	Calentamiento			P1				P2				P3				P4				P5				P6				P7				R1			R2			R3			R4		
	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T							
1	9	9	9	11	11	11	11	11	11	12	13	13	13	14	14	15	15	15	17	17	17	17	17	18	11	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11						
2	7	7	7							7	7	7	10	10	10	12	12	12	13	14	14	17	17	18	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	6	6	6						
3	7	7	7	8	8	8	9	9	9	11	10	10	11	11	11	13	14	17	16	15	15	18	18	18	12	12	12	11	10	11	10	9	9	9	8	8							
4	7	7	7	9	9	9	10	10	10	11	11	11	13	12	12	13	14	14	15	15	15	17	17	17	12	11	11	9	10	10	9	8	8	7	7	7							
5	9	9	9				9	9	9	10	11	11	12	12	12	13	14	14	17	17	17	19	19	19	12	12	12	11	11	11	10	10	10	8	8	8							
6	10	10	10							11	10	11	12	11	12	16	15	16	19	18	19	20	20	20	11	10	11	11	10	11	11	10	11	10	9	9							
7	8	8	8				10	10	10	12	11	11	11	11	11	13	13	13	15	15	15	18	18	18	12	13	13	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11						
8	6	6	6	7	7	7	8	8	8	7	10	10	9	12	12	10	14	14	13	16	17	16	18	18	11	12	12	11	11	11	9	9	9	7	7	7							
9	9	9	9							9	9	9	11	11	12	13	13	13	17	17	17	20	20	20	11	11	11	11	10	10	7	7	7	7	7	7							
10	7	7	7							8	8	9	10	10	11	12	14	13	16	16	17	18	17	18	14	13	13	10	10	10	8	8	8	7	7	7							
11	6	6	6	6	6	6	8	7	7	11	12	11	13	12	13	15	14	15	17	16	18	19	19	19	16	14	12	14	11	12	10	10	10	10	9	10							
12	11	11	11				11	11	11	13	13	13	15	15	15	15	15	15	17	15	17	19	19	20	11	10	10	9	9	9	7	7	7	7	7	7							
13	9	9	9	10	10	10	11	12	12	12	13	12	14	14	15	16	17	17	19	20	20	20	20	20	11	11	11	9	11	11	9	10	10	9	9	9							
14	9	9	9	11	12	12	12	13	12	13	14	14	15	15	15	16	16	17	17	17	17	19	19	19	13	12	12	11	12	11	11	10	11	11	10	10							
15	7	7	7				8	9	9	11	11	11	13	13	13	15	15	15	17	17	17	20	20	20	11	11	11	9	9	9	8	7	7	7	7	7							
16	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	11	10	11	13	12	13	15	15	15	18	17	18	10	10	10	9	8	9	9	8	9	8	8	8							
17	7	7	7	9	9	9	10	10	11	13	13	14	14	14	15	17	18	18	19	20	20	20	20	20	11	14	15	10	10	11	8	8	8	7	8	8							
18	9	11	9				11	11	11	11	11	11	13	11	13	15	13	14	16	14	16	19	17	19	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9						



La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción del esfuerzo físico durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento.

Tabla 15. Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE) sin Carga Mental. Experimento 2:

S	C3 C3 C3			C3														C3																									
	Calentamiento			P1				P2				P3				P4				P5				P6				P7				R1			R2			R3			R4		
	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T	L	C	T							
1	11	11	11	11	12	12	12	12	12	14	15	15	15	15	15	17	16	16	18	18	18	20	20	20	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	11	10						
2	7	7	7				7	7	7	12	11	12	14	13	14	17	16	17	19	18	19	20	20	20	6	6	6	7	7	7	8	8	8	7	7	7							
3	6	6	6	7	6	6	7	7	7	9	8	8	10	9	9	13	11	12	16	14	15	17	17	16	12	12	12	11	10	10	9	8	8	8	8	7	7						
4	6	6	6	6	7	7	8	8	8	7	9	9	11	11	11	13	13	13	15	15	15	17	17	17	15	13	14	11	11	10	7	7	7	6	7	6							
5	7	7	7	8	7	7	8	8	8	11	10	10	15	13	13	17	16	17	19	19	19	20	20	20	15	13	14	14	12	12	13	12	11	10	9	10							
6	9	9	8				9	8	8	11	10	10	13	12	12	15	15	15	18	17	17	20	20	20	11	10	10	9	8	8	8	7	7	7	7	7							
7	8	9	9				10	10	10	11	11	12	12	13	13	15	14	15	17	16	16	19	18	19	13	13	13	11	11	11	10	10	10	10	10	10							
8	6	6	7	7	7	7	7	9	9	7	11	11	11	14	14	11	15	15	16	18	18	19	19	20	9	11	10	7	7	7	7	8	7	7	7	7							
9	7	7	7							7	7	7	9	10	10	11	12	13	15	15	15	19	19	19	7	11	9	7	9	9	7	7	7	7	7	7							
10	7	7	7							8	8	8	10	11	11	12	14	13	15	17	16	18	20	19	14	14	14	12	11	10	9	9	8	7	7	7							
11	11	10	10	11	10	10	12	11	11	12	12	12	14	14	15	15	16	16	17	18	18	19	19	19	15	15	15	12	12	11	11	10	9	9	8	8							
12	9	11	11	10	11	11	11	13	13	13	13	13	15	15	15	17	17	17	19	19	19	19	19	19	9	11	11	7	9	8	7	7	7	6	7	7							
13	9	9	9	10	10	11	11	11	12	13	13	13	15	15	15	17	17	18	19	19	19	19	19	19	12	12	12	10	10	10	9	9	9	8	8	9							
14	11	11	10	11	11	10	13	12	13	15	14	14	15	14	15	16	15	16	17	17	16	19	19	19	12	11	12	12	11	12	9	10	10	10	9	9							
15	8	8	8	9	9	9	11	10	11	13	12	13	14	14	14	17	17	17	19	19	19	20	20	20	9	10	10	8	8	8	7	8	8	7	7	7							
16	11	11	10	11	11	11	13	13	13	14	13	13	14	13	14	15	14	15	16	15	15	17	17	17	12	12	12	11	11	11	11	10	11	10	10	10							
17	7	11	11	7	11	11	11	12	11	15	14	15	16	15	15	17	17	18	20	19	19	20	20	20	12	13	13	8	10	10	7	8	8	7	7	8							
18	8	8	8	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	13	14	14	15	16	16	19	19	19	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9						

Final del Calentamiento

Inicio de la Recuperación



Tabla 16. Activación y Valencia (SAM) con Carga Mental Alta. Experimento 2:

S	C1	C1	Final del Calentamiento														Inicio de la Recuperación												
	Calent.		C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1					
	(V)	(A)	P1	P2		P3		P4		P5		P6		P7		R1	R2		R3		R4		(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)
1	5	5	5	5	5	5	6	5	6	6	7	7	7	7	7	6	6	7	7	7	7	7	7	8					
2	7	3		5	3	3	4	3	5	3	6	2	8	2	9	3	5	4	5	5	4	5	3						
3	7	4	6	4	7	4	6	5	6	6	5	7	4	8	8	9	6	6	6	5	4	5	5	4					
4	7	3	7	4	6	4	7	5	7	5	6	6	6	8	7	9	6	6	8	5	7	3	7	2					
5	8	5	7	6	7	6	6	6	5	7	4	8	1	9	1	9	4	7	6	6	7	5	7	5					
6	8	2		8	2	8	3	7	4	7	5	6	7	6	9	7	5	7	4	7	2	7	2						
7	7	3	6	4	6	4	6	5	4	6	4	6	3	7	2	8	5	5	6	3	7	3	7	2					
8	8	2		7	2	7	3	7	5	5	6	4	8	2	9	5	5	6	3	7	2	7	2						
9	9	1				9	1	7	3	7	3	5	5	1	9	5	5	7	3	9	1	9	1						
10	7	8		5	7	6	7	5	5	4	4	3	2	3	3	4	5	6	7	7	7	7	7						
11	9	2		8	2	8	3	7	5	7	6	5	7	3	9	5	8	7	7	7	6	7	7						
12	8	2		7	2	6	4	5	5	3	7	2	9	1	9	7	2	8	1	8	1	9	1						
13	7	2	7	3	5	5	5	4	4	7	3	7	2	8	1	9	4	6	5	5	6	5	6	4					
14	9	1	9	1	8	1	8	1	7	3	7	3	5	5	5	8	8	2	9	2	9	2	9	1					
15	9	1		9	2	7	3	6	5	4	7	2	8	1	9	5	5	7	3	8	2	9	1						
16	8	2	8	2	7	2	7	3	7	3	6	3	5	5	3	7	6	5	7	3	7	2	8	2					
17	9	1		9	3	7	3	5	5	5	7	2	7	1	9	3	7	6	4	8	2	8	1						
18	5	3				5	5	5	5	5	5	5	6	5	7	5	2	5	3	5	3	5	3						



La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción del esfuerzo físico durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento.

Tabla 17. Activación y Valencia (SAM) con Carga Mental Baja. Experimento 2

s	C2		C2														C2							
	Calentamiento		P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7		R1		R2		R3		R4	
	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)
1	5	3	4	5	5	5	6	5	5	6	6	6	6	7	7	7	6	7	6	7	7	5	7	6
2	9	5					7	5	7	5	7	5	5	7	3	7	7	5	7	5	9	3		
3	8	2	8	4	6	5	6	5	7	6	5	7	5	8	6	9	7	7	6	5	6	4	6	3
4	7	3	7	4	6	4	7	5	7	5	6	6	6	8	7	9	6	6	8	5	7	3	7	2
5	9	7			9	7	6	7	5	7	9	9	3	9	9	1	5	8	5	6	6	7	7	5
6	9	1					8	3	7	5	5	6	5	8	4	9	6	5	6	6	7	5	8	2
7	5	3				6	4	6	4	5	5	4	5	5	6	4	5	5	5	4	5	4	5	4
8	9	2	7	3	7	4	7	5	6	6	5	7	4	8	3	9	4	5	7	4	7	4	7	3
9	9	1					9	1	9	3	5	5	3	7	1	9	7	3	9	3	9	2	9	2
10	8	2					7	3	6	4	5	5	2	6	3	8	5	5	6	3	7	3	8	2
11	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	5	5	4	3	1	5	5	6	7	5	6	5	7
12	8	2			7	2	6	4	5	5	3	7	2	9	1	9	7	2	8	1	8	1	9	1
13	8	3	9	2	8	3	8	4	6	5	5	7	4	8	2	9	7	5	8	3	8	3	8	2
14	9	1	8	2	7	2	7	2	7	3	6	3	6	4	3	7	7	2	7	2	8	2	8	1
15	9	1			8	2	6	3	5	6	5	6	2	7	1	9	7	3	8	2	9	1	9	1
16	8	2	8	2	8	2	8	3	7	3	6	4	5	5	4	6	7	3	8	2	8	1	8	1
17	9	1	9	3	7	3	5	5	5	7	2	7	1	9	1	9	5	5	7	1	9	1	9	1
18	5	3			5	5	5	5	5	5	5	6	5	7	9	9	5	2	5	3	5	3	5	3



Tabla 18. Activación y Valencia (SAM) sin Carga Mental. Experimento 2:

S	C3 C3		C3														C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3									
	Calent.		P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7		R1		R2		R3		R4			
	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)		
1	5	5	6	7	7	7	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	6	7	6	7	6			
2	7	5			7	5	5	5	5	6	5	7	5	9	5	9			7	5	7	6	7	5		
3	7	2	7	3	7	3	7	4	6	4	6	5	4	7	7	8			5	5	6	3	5	3	6	3
4	7	1	5	2	7	3	7	4	7	5	7	7	6	8	5	9			7	6	7	3	7	2	7	2
5	8	5	8	8	7	8	8	8	6	9	5	9	3	9	2	9			5	8	6	7	7	7	8	5
6	7	3			7	3	7	4	7	5	6	7	6	8	6	8			7	4	7	3	7	2	7	2
7	5	2			7	3	7	3	5	5	4	6	4	7	8	8			6	5	7	4	7	3	7	3
8	9	2	8	2	8	5	6	4	5	6	4	6	4	8	2	9			6	4	8	2	7	2	8	2
9	9	1					9	1	7	3	7	3	5	7	1	9			8	3	9	3	9	1	9	1
10	8	2					7	3	6	3	4	5	4	7	2	8			5	5	7	3	8	2	8	2
11	6	6	6	6	6	6	7	5	8	4	7	4	7	3	6			5	6	7	5	7	5	7	5	
12	9	3	8	3	5	5	5	6	5	7	3	8	1	9	1	9			9	3	9	1	9	1	9	1
13	9	1	9	2	8	3	6	4	4	6	3	7	3	8	2	8			5	6	7	3	8	2	9	1
14	9	1	9	1	9	1	7	3	7	3	5	3	5	4	3	5			8	2	9	2	9	1	9	1
15	8	2	7	3	7	4	5	6	4	6	3	8	2	9	1	9			7	3	8	2	8	2	9	1
16	9	2	7	2	7	3	7	5	6	4	6	5	4	5	4	6			7	4	7	4	7	3	8	2
17	8	3	8	3	7	1	5	3	5	7	3	7	1	9	1	9			7	3	9	3	9	1	9	1
18	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	7	7	9			5	4	5	4	5	5	5	5

Final del Calentamiento

Inicio de la Recuperación



Tabla 22. Volumen de Oxígeno (VO₂) Recuperación con Carga Mental Alta. Experimento 2:

Participantes	C1															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	39	29	21	16	16	16	14	14	14	15	15	15	14	14	15	13
2	42	32	24	21	21	21	19	19	19	18	19	18	18	18	18	17
3	29	23	19	18	19	18	16	17	16	17	16	17	16	15	17	16
4	22	18	15	15	16	17	15	15	15	16	15	15	15	16	16	16
5	49	36	30	26	24	24	24	24	23	23	24	24	23	21	22	23
6	45	39	31	26	25	23	21	19	19	18	18	18	17	19	17	17
7	54	38	32	28	25	26	26	22	23	24	22	22	20	23	22	23
8	50	43	32	29	28	27	27	25	24	27	25	25	24	26	23	24
9	36	27	22	19	18	18	17	16	16	16	17	15	16	15	16	15
10	39	32	24	22	21	20	19	17	19	18	19	20	17	19	19	19
11	53	40	29	27	24	24	25	24	23	23	23	23	21	22	21	22
12	46	32	26	25	21	22	19	21	22	21	21	21	19	19	17	19
13	51	40	32	29	27	25	24	23	21	23	23	22	23	20	21	20
14	56	56	61	56	56	54	50	34	29	27	25	27	25	24	24	23
15	43	31	21	21	20	20	19	19	21	19	18	19	20	17	17	20
16	57	43	34	32	30	27	28	27	26	25	24	24	25	22	24	21
17	45	36	30	27	26	23	25	24	23	21	22	20	23	20	19	19
18	43	34	26	24	24	22	21	22	21	21	21	20	20	19	21	21



La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción del esfuerzo físico durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento.

Tabla 23. Volumen de Oxígeno (VO₂) Recuperación con Carga Mental Baja. Experimento 2:

Participantes	C2															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	31	26	21	19	17	17	17	17	18	17	15	15	15	16	17	14
2	26	21	16	15	14	14	13	12	12	14	11	12	12	13	12	13
3	56	43	30	26	25	26	24	23	22	20	20	19	21	21	20	19
4	22	18	15	15	16	17	15	15	15	16	15	15	15	16	16	16
5	22	19	17	15	14	15	15	15	14	15	13	12	13	13	14	14
6	43	33	30	26	25	26	25	23	22	23	22	23	24	23	24	23
7	45	33	26	22	22	22	20	21	21	22	19	19	19	19	18	19
8	52	33	28	24	22	21	23	25	21	19	20	20	21	20	18	20
9	37	28	22	22	19	19	18	18	18	17	17	16	17	17	15	16
10	44	37	37	36	32	34	33	33	34	31	33	31	31	32	31	33
11	53	40	29	27	24	24	25	24	23	23	23	23	21	22	21	22
12	46	32	26	25	21	22	19	21	22	21	21	21	19	19	17	19
13	53	42	33	28	23	24	24	23	23	21	23	22	28	39	35	25
14	42	32	29	26	25	26	25	23	23	23	22	22	23	24	23	23
15	40	28	23	20	18	17	21	17	18	15	16	17	17	20	17	18
17	62	50	40	36	33	31	31	29	27	30	26	29	28	27	27	23
18	24	18	15	13	11	12	11	11	11	11	10	11	10	10	10	10
19	43	34	26	24	24	22	21	22	21	21	21	20	20	19	21	21



Tabla 24. Volumen de Oxígeno (VO₂) Recuperación sin Carga Mental. Experimento 2:

Participantes	C3															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	49	34	23	21	23	20	18	18	17	17	16	16	16	16	17	14
2	20	15	14	14	14	11	10	11	12	10	11	11	11	10	11	11
3	44	33	23	20	17	17	16	16	15	15	14	13	14	13	14	12
4	40	28	22	20	21	19	18	18	19	17	17	17	16	16	17	16
5	45	34	26	23	24	21	22	22	20	21	20	21	20	21	21	19
6	42	26	22	19	18	17	14	17	21	18	17	18	19	18	18	19
7	41	27	22	19	18	16	17	17	17	18	18	25	22	18	16	14
8	55	43	31	25	23	20	21	19	20	20	18	19	21	21	19	19
9	33	24	20	16	16	15	15	16	15	15	15	15	15	15	15	15
10	36	29	24	22	21	21	22	22	21	19	19	19	20	19	20	19
11	46	39	31	25	26	26	24	22	22	22	20	22	21	20	21	20
12	52	38	28	23	22	22	21	20	22	18	20	20	20	19	19	19
13	48	34	24	17	16	13	14	16	13	14	13	13	13	12	13	13
14	51	36	27	25	24	22	21	22	21	21	21	20	22	20	21	20
15	48	33	25	23	21	19	20	19	19	18	18	19	19	18	16	16
17	55	45	30	24	24	23	21	20	22	21	20	20	20	20	19	19
18	52	36	27	23	21	22	19	23	20	20	19	19	20	20	18	20
19	48	33	28	28	27	26	27	27	24	26	25	25	26	24	27	25

La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción del esfuerzo físico durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento.

