



Efectos de un protocolo de exposición y entrenamiento en hipoxia en un ciclista máster 30

Alumno: Francesc Homar Calafell

Tutor: Rafael Martín Acero

Trabajo de Fin de Grado

Curso 2018/2019

ÍNDICE

1-Motivación.....	5
2-Contextualización.....	6
3-Objetivos.....	8
4-Marco teórico.....	9
4.1-Revisión bibliográfica.....	17
5-Metodología.....	22
5.1-Sujeto.....	22
5.2-Diseño.....	22
5.3-VARIABLES.....	22
5.4-Recursos materiales.....	24
5.5-Propuesta de intervención.....	25
6-Resultados y discusión.....	38
7-Reflexiones del proyecto de intervención.....	43
7.1-Aprendizajes.....	43
7.2-Limitaciones.....	44
7.3-Propuestas de aplicación futuras.....	45
8-Competencias.....	46
9-Bibliografía.....	49
10-Anexos.....	52

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Protocolo de exposición a la hipoxia de un ciclista profesional.....	15
Tabla 2. Ejemplo de protocolo de IHT.....	16
Tabla 3. Artículos encontrados en las bases de datos según las palabras clave.....	17
Tabla 4. Revisión bibliográfica.....	17
Tabla 5. Datos del sujeto.....	22
Tabla 6. Resumen de las sesiones del protocolo.....	32
Tabla 7. Resultados valores hematológicos.....	38
Tabla 8. Comparación valores hematológicos.....	38
Tabla 9. Resultados de la potencia.....	40
Tabla 10. Limitaciones y aspectos favorables.....	44

Figura 1. Diferentes modelos de hipoxia.....	10
Figura 2. Evolución de la capacidad aeróbica durante (LH-TH).....	11
Figura 3. Compresor hipoxia.....	24
Figura 4. Bicicleta Merida.....	24
Figura 5. Pedales Garmin Vector 3.....	24
Figura 6. Rodillo Elite Arion.....	24
Figura 7. PowerBreathe.....	25
Figura 8. Test inicial.....	27
Figura 9. %O ₂ en cada sesión.....	27
Figura 10. Análisis biomecánico primer día.....	30
Figura 11. Análisis biomecánico tercer día.....	30
Figura 12. Damián durante IHT.....	31
Figura 13. Damián durante IHE.....	31
Figura 14. Perfil de Potencia Pre-Protocolo y Post-Protocolo.....	41
Figura 15. Resultados de la HRV y la frecuencia cardíaca basal.....	41
Figura 16. Oportunidades en el campo de la salud.....	45
Figura 17. Entrenamientos 1.....	52
Figura 18. Entrenamientos 2.....	53
Figura 19. Entrenamientos 3.....	54
Figura 20. Entrenamientos 4.....	55
Figura 21. Entrenamientos 5.....	56
Figura 22. Entrenamientos 6.....	57
Figura 23. Entrenamientos 7.....	58
Figura 24. Entrenamientos de IMT.....	59
Figura 25. Sesión 4.....	60
Figura 26. Sesión 5.....	60
Figura 27. Sesión 6.....	61
Figura 28. Sesión 7.....	61
Figura 29. Sesión 8.....	62
Figura 30. Sesión 9.....	62
Figura 31. Sesión 10.....	63

Figura 32. Sesión 11.....	63
Figura 33. Sesión 12.....	64
Figura 34. Sesión 13.....	64
Figura 35. Sesión 14.....	65
Figura 36. Sesión 15.....	65
Figura 37. Sesión 16.....	66
Figura 38. Sesión 17.....	66
Figura 39. Sesión 18.....	67
Figura 40. Sesión 19.....	67
Figura 41. Sesión 20.....	68
Figura 42. Sesión 21.....	68
Figura 43. Sesión 22.....	69
Figura 44. Sesión 23.....	69
Figura 45. Sesión 24.....	70
Figura 46. Sesión 25.....	70
Figura 47. Sesión 26.....	71
Figura 48. Sesión 27.....	71
Figura 49. Sesión 28.....	72
Figura 50. Sesión 29.....	72
Figura 51. Sesión 30.....	73
Figura 52. Sesión 31.....	73
Figura 53. Sesión 32.....	74
Figura 54. Sesión 33.....	74
Figura 55. Sesión 34.....	74
Figura 56. Sesión 35.....	75
Figura 57. Sesión 36.....	75
Figura 58. Sesión 37.....	75
Figura 59. Sesión 38.....	76
Figura 60. Sesión 39.....	76
Figura 61. Sesión 40.....	76
Figura 62. Sesión 41.....	77
Figura 63. Sesión 42.....	77
Figura 64. Sesión 43.....	77

1-MOTIVACIÓN

En la actualidad, en el ciclismo, se está cuidando cada detalle de la preparación del ciclista, los equipos profesionales han puesto de moda lo que llaman “ganancias marginales”, lo que significa controlar pequeños detalles que sumados pueden determinar la victoria de un ciclista u otro. Además una gran parte del pelotón vive por encima de los 1800 metros de altitud, ya sea en Andorra o en Suiza, debido a los beneficios que ello conlleva. Pero no todos los ciclistas se lo pueden permitir, entre ellos los que practican el ciclismo como una afición pero que a su vez compiten, los denominados máster. Muchos de ellos dedican grandes esfuerzos, tanto personales como económicos para mejorar su rendimiento, y una manera de obtener beneficios similares a los de aquellos que viven en altura es el entrenamiento en hipoxia intermitente (IHT). El IHT permite vivir y entrenar al nivel del mar, realizando sesiones de aproximadamente una hora en altitud simulada, por lo tanto es un buen complemento para el entrenamiento de los ciclistas.

En el mes de junio de 2018, el sujeto de esta intervención presentaba unos valores hematológicos cercanos a la anemia. Por esta razón, el preparador propuso este tipo de entrenamiento para evitar que se repitiesen estos valores perjudiciales para el rendimiento deportivo.

Por otro lado este método de entrenamiento es bastante novedoso, lo que en un futuro puede ser una oportunidad laboral, ya que es aplicable a la mayoría de deportes, tanto de resistencia, velocidad o de equipo, y muchas de sus funciones están aún por determinar.

Para ello vamos a llevar a cabo un protocolo de exposición en hipoxia intermitente (IHE) + IHT, en el cual el ciclista va realizar distintas sesiones tanto pasivas como activas, para intentar obtener los beneficios descritos en diversas publicaciones. Se hará una evaluación inicial y otra final para poder analizar los efectos de este protocolo.

2-CONTEXTUALIZACIÓN

Damián es el ciclista que ha realizado el protocolo de IHE+IHT, él fue piragüista de élite hasta el 2011, a partir de 2012 empezó a practicar ciclismo combinando Btt con otras disciplinas como los Raids de Aventura llegando a participar en una copa del mundo de esta modalidad en Costa Rica. Participando en un Raid de 24h en Asturias en el año 2014 sufrió un accidente que le llevó a estar dos años sin caminar. Finalmente en 2016 le colocaron una prótesis en el tobillo que le permitió volver a practicar ciclismo, con pequeñas limitaciones biomecánicas. Y desde el año 2017 es ciclista aficionado.

Trabaja de ingeniero en una oficina técnica, y dispone sobre tres horas diarias para entrenar, siempre supeditadas a la disponibilidad en el trabajo, por lo que algunos días la conciliación se hace realmente complicada. El hecho de combinar trabajo y entrenamiento no es lo óptimo para el rendimiento pero dado que su trabajo es sedentario le permite realizar entrenamientos de calidad. Ya que compite en una categoría de ciclismo en el que los compañeros y rivales están en las mismas condiciones laborales y familiares le resulta apasionante competir y medirse contra ellos.

Las pruebas ciclistas que mas le apasionan son pruebas de larga distancia >4 horas, por este motivo las marchas cicloturistas son las más atractivas para él. También participa en pruebas de ciclismo máster, dónde ha centrado su preparación este año. Son pruebas de entorno dos horas de duración y más intensas que las marchas cicloturistas. Estas pruebas una gran preparación para los objetivos principales de la temporada, que para 2019 serán el Campeonato Gallego Máster y Campeonato España Máster.

El pasado año 2018, durante el mes de junio, momento de la temporada en la que hay algunas competiciones importantes, presentó un hematocrito (HCT) de 40%, es decir, rozando la anemia. Para evitar esta situación el entrenador ha decidido usar la hipoxia intermitente (IH).

Para poder realizar este entrenamiento el entrenador de Damián se puso en contacto con la empresa IAltitude, ellos proporcionaron el material necesario y establecieron el protocolo de IHE. Los entrenamientos se desarrollaron en la Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física en Bastiagueiro, más concretamente en un despacho, al no ser necesario mucho espacio fue sencillo disponer de un lugar para llevar a cabo el protocolo.

Resumen trayectoria deportiva de Damián:

- 2000 comenzó a practicar piragüismo en un club de A Coruña (S.D As Xubias)
- 2002 ganó su primer CTO. Gallego.
- 2008 fichó por el Breogán del Grove
- 2008 ganó su primer CTO. España
- 2009 incorporación al equipo nacional de piragüismo.

- 2009 9º Cto Europa Piragüismo (distancia no olímpica)
- 2010 7º puesto Cto. Europa Sub-23 (distancia olímpica)
- 2009 8º Cto Europa Piragüismo (distancia no olímpica)
- 2010 9º Puesto Cto. Mundo (distancia no olímpica)
- 2011 7º Puesto Cto. Mundo (distancia no olímpica)
- 2011 2º Puesto en Preolimpico (distancia olímpica)

3-OBJETIVOS

OBJETIVO PRINCIPAL:

-Evitar que se repitan los valores hematológicos (hematocrito y hemoglobina) perjudiciales para el rendimiento, del mes de junio de 2018.

OBJETIVOS SECUNDARIOS:

-Registrar la potencia tras el protocolo de exposición y entrenamiento en hipoxia.

-Registrar los valores hematológicos tras el protocolo de exposición y entrenamiento en hipoxia.

-Analizar los efectos del protocolo de exposición y entrenamiento en hipoxia.

4-MARCO TEÓRICO

Introducción:

En los Juegos Olímpicos de México (1968) a una altitud de 2300 metros empezó el interés por parte de los deportistas del entrenamiento en altura y de los científicos para investigar los cambios fisiológicos en el cuerpo humano. En la actualidad los deportistas recurren a estancias prolongadas y entrenamientos en altura, o bien el uso de la simulación de altitud mediante tiendas o compresores de hipoxia.

Conceptos básicos:

-La hipoxia se define como una disminución del contenido del oxígeno (O_2) o de la presión parcial del mismo a nivel sistémico o celular. En una situación de hipoxia disminuye la presión parcial de oxígeno en sangre arterial (Urdampilleta, 2015).

-Se conocen dos tipos de hipoxia, la hipobárica (HH) y la normobárica (HN). La HH es la hipoxia que se produce al disminuir la presión atmosférica y un mantenimiento de concentración de oxígeno en el aire (21%). La HN se produce por respirar aire de baja concentración de oxígeno generado a través de dispositivos como máscaras con mezcla de gases o tiendas hipóxicas con menos concentración de O_2 en el aire.

-La saturación arterial de oxígeno (SaO_2) nos ayuda a valorar la carga hipóxica en un sujeto mediante el uso de un pulsioxímetro. A nivel del mar y en reposo el valor normal es entre 99 y 100%, a 2500m entre 92 y 93%, a 4500m entre 80 y 84% y a 6500m entre 70 y 74%.

-La eritropoyetina (EPO) es una hormona glucoproteica que regula la proliferación y diferenciación de células rojas. Su producción está regulada por la reducción del contenido arterial de oxígeno mediada a su vez por anemia o hipoxia. Cuando el ser humano se expone a condiciones de hipoxia, se desencadena un aumento de en la formación de EPO (Álvarez-Herms, 2014). La EPO estimula la eritropoyesis mejorando el transporte de oxígeno a los tejidos y con ello la resistencia y la actividad muscular. Esta proteína es sintetizada de forma natural por el riñón. Destacar que se calcula que es utilizada ilegalmente por el 7-10% de los atletas de resistencia especialmente aeróbica para aumentar el VO_2max (Wilber, 2001).

Modelos de entrenamiento en altitud o hipoxia:

Según (Millet et al. 2010) hay distintos **modelos de entrenamiento en altitud o hipoxia**.

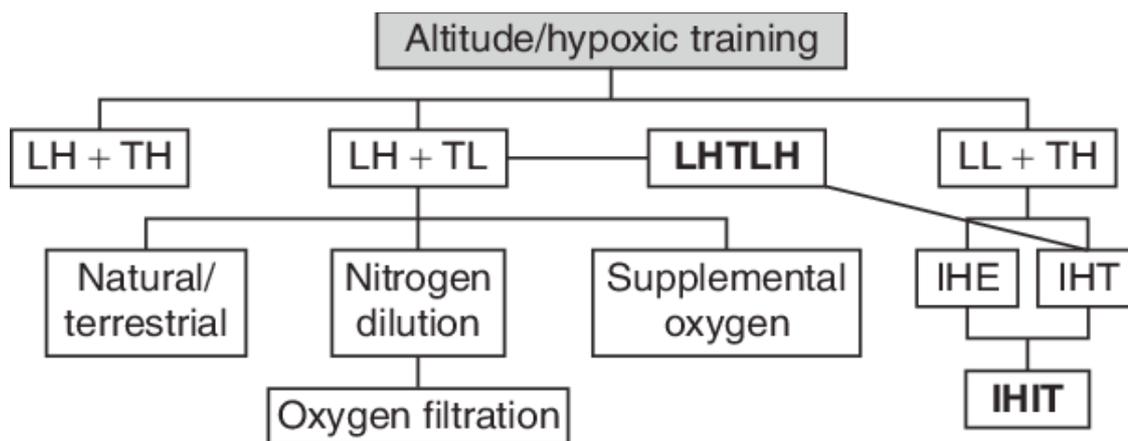


Fig. 1. Diferentes modelos de hipoxia. (Millet et al. 2010).

1-LH+TH (Living High-Train High)

Este método consiste en vivir y entrenar en altitud moderada, es decir, entre los 1800 y los 3000 metros. Es el modelo de entrenamientos que es seguido especialmente por los atletas de Etiopía o Kenia, pero hay que tener en cuenta la predisposición genética que tienen (Urdampilleta, 2015). Por esta razón, los deportistas que genéticamente están adaptados al nivel del mar recurren a campos de entrenamiento en altitud. Éstos duran entre dos y cuatro semanas, y se llevan a cabo dos o tres veces al año. Los campos en altura se desarrollan en cuatro fases: fase de aclimatación, fase primaria de entrenamiento, recuperación y preparación para volver al nivel del mar, y retorno al nivel del mar. La primera fase se caracteriza, tal y como su nombre indica, por aclimatar al cuerpo a la altitud, es decir, se consigue superarla cuando la saturación de oxígeno (SaO_2) tras una caída significativa tiende a aumentar (Urdampilleta, 2015). Es la fase más crítica y tiene una duración entre 7 y 10 días. La siguiente fase dura entre dos y tres semanas, en la cual se desarrolla el entrenamiento incrementando progresivamente, tanto el volumen como la intensidad. La tercera fase tiene el propósito de recuperar completamente de la fatiga inducida por la altitud. Tiene una duración de 2 a 5 días. La última fase se puede dividir en tres partes. De 2 a 4 días posteriores al campo en altura, al retorno al nivel del mar, son positivos para competir. De 4 a 10 días al retorno al nivel del mar se produce una re-aclimatación en la cual el estado de forma sufre una caída. Por último, la tercera fase es óptima para la competición ya que el cuerpo se ha aclimatado de nuevo al nivel del mar. Esta fase empieza entorno a los 15

días de regresar el campus en altura.

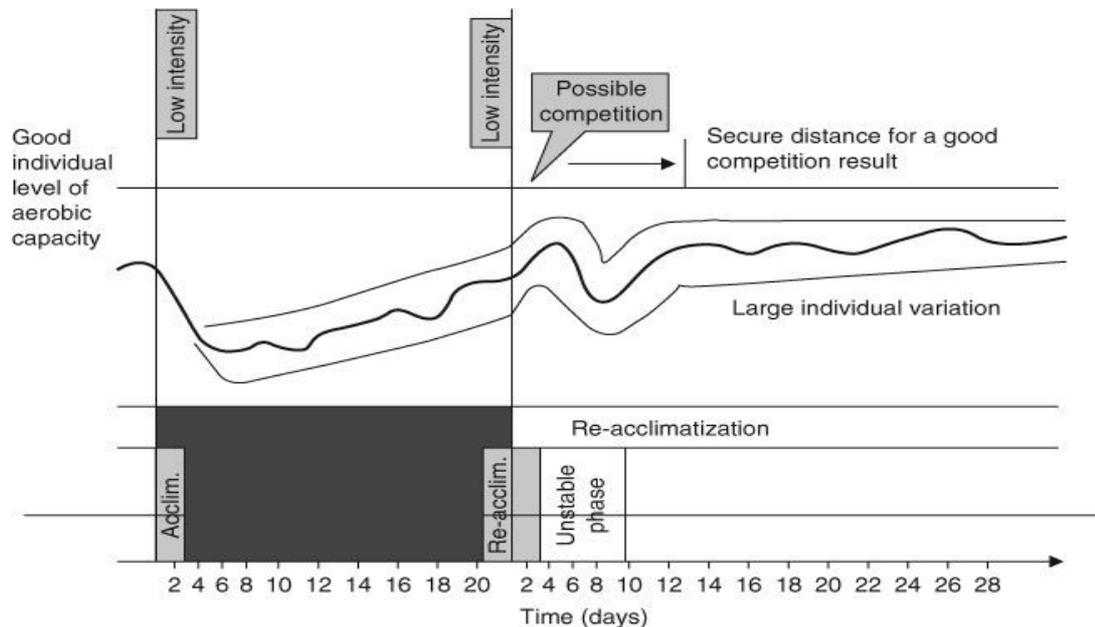


Fig. 2. Evolución de la capacidad aeróbica durante (LH-TH). (Millet et al. 2010)

2-LH+TL (Live High-Train Low)

Este modelo requiere vivir y dormir en altitudes comprendidas entre los 2200-3000 metros (habitualmente en 2500m) y entrenar a cotas más bajas cercanas a 1000-1200m (Urdampilleta, 2015). Este método reemplazó al tradicional LH+TH (Millet et al. 2010). Levine y Stray-Gundersen en 1997 comprobaron el efecto de vivir a una altitud moderada (2500m) y entrenar abajo, a una altura de 1250m, con el resultado de un incremento de estado de forma a nivel del mar en atletas muy entrenados. La intención de este modelo es obtener los beneficios de vivir en altitud, es decir, conseguir la secreción de EPO, y a su vez poder entrenar a intensidades parecidas a las del nivel del mar, con una mayor presión parcial de O₂. No obstante, vivir arriba y entrenar abajo puede ser controvertido y a la vez muy discutido por varias razones. Es verdad que desde el punto de vista hematológico se consiguen unas mayores ganancias de la serie roja en la sangre, pero a la vez estas mejoras en los parámetros hematológicos, no han demostrado ser los justificantes de la mejora del rendimiento. Por otra parte, los estudios realizados en este campo, han visto mejoras en pruebas de esfuerzo de capacidad aeróbica, no obstante no se han observado mejoras a nivel del VO₂max o hay contradicción entre los diferentes estudios.

3-LH+TLH (Living High-Train Low-High)

En este caso el objetivo es vivir y dormir en altitudes comprendidas entre los 2200-3000m y variar la altitud de los entrenamientos según el objetivo y calidad de éste: cuando se realizan entrenamientos anaeróbicos y de calidad, entrenar abajo, como mucho a 1200m y cuando se entrena la eficiencia aeróbica y/o trabajo de volumen,

pasar a 2200-3000m (Urdampilleta, 2015). Tras los estudios de Livine y Stray-Gundersen de 1997 y 2001, se intentó completar su propuesta combinando entrenamientos en hipoxia y estancias en altura.

4-LL+TH (Living Low-Train High)

El modelo de entrenamiento en altitud o hipóxico viviendo en cotas bajas y entrenando en cotas altas Live Low and Train High consiste en que los atletas vivan en un ambiente natural, normóxico y normobárico, y sean expuestos a intervalos discretos y relativamente cortos (de 5 a 180 minutos) de hipoxia normobárica o hipoxia hipobárica simuladas. El método LL+TH puede ser empleado por atletas en estado de reposo (exposición hipóxica intermitente, o IHE) o durante sesiones de entrenamiento formal (entrenamiento hipóxico intermitente, o IHT).

-IHE/IHT/IHET

Por otro lado, existe un interés por la investigación y utilización de métodos de hipoxia intermitente como la exposición a hipoxia intermitente (IHE) la cual se aplica mediante la estancia pasiva en habitaciones con ambiente hipóxico o a través de la respiración de aire con menos concentración de O₂. También el denominado entrenamiento en hipoxia intermitente (IHT), que consiste en entrenamiento continuo o interválico en condiciones de hipoxia normobárica o hipobárica.

IH: Desde hace décadas se está investigando la hipoxia intermitente (IH), sin embargo, no se conocen bien sus efectos, esto se debe a la diversidad de protocolos que se han utilizado en las investigaciones. La hipoxia intermitente se puede definir como episodios repetidos o recurrentes de bajo nivel de oxígeno (hipoxia), intercalados con períodos de normoxia (Navarrete-Opazo y Mitchell, 2014).

IHE: La exposición a hipoxia intermitente (IHE) o periódica se define como la exposición a hipoxia con duración perdurable desde segundos hasta horas y una frecuencia desde días a semanas. Éstos periodos de hipoxia intermitente están separados por intervalos de retorno a normoxia o menor intensidad de hipoxia (Ramos Campo et al. 2011).

-Adaptaciones hematológicas.

Los cambios hematológicos que se han observado en los estudios son muy variados, pero la EPO parece ser que es lo que aumenta con mayor facilidad a diferencia del hematocrito (Hct), que en muy pocos estudios se ha observado su aumento. Según el meta-análisis de (Park et al. 2016) se puede afirmar el aumento de la EPO tras la realización de protocolos de hipoxia, en cambio, el aumento de RBC, Hb, Hct y VO₂max es variable en función de los estudios analizados, la causa que proponen es la diversidad de protocolos que se usan en los diferentes estudios, Urdampilleta, 2015 y Ramos Campo et al. 2016 afirman la misma situación en cuanto a la diversidad de protocolos.

-Rendimiento.

Se ha observado un incremento entorno al 3% en el rendimiento de los deportistas de resistencia.

IHT: Entrenamiento en hipoxia intermitente (IHT) se refiere al uso discontinuo de hipoxia normobárica o hipobárica con la intención de reproducir algunos de los efectos clave de la aclimatación a la altitud con el fin último de conseguir el aumento del rendimiento del deportista al nivel del mar (Levine, 2002).

-Adaptaciones hematológicas.

Incremento de la secreción de la hormona eritropoyetina (EPO), la hemoglobina (Hb) y los eritrocitos (Stray-Gundersen, Chapman & Levine, 2001; Levine & StrayGundersen,1997; Meeuwsen, Hendriksen & Holewijn, 2001; Hamlin, Marshall, Hellemans & Ainslie, 2010)

-Rendimiento.

Modificaciones en la regulación del pH y el transporte de lactato incrementan el rendimiento aeróbico y anaeróbico.

IHET: Es la combinación de los dos métodos expuestos anteriormente. Aunque sea un método más complicado y costoso a la hora de aplicarlo en el contexto deportivo, podría inducir las mejores adaptaciones (Urdampilleta, 2015). Será el método utilizado en esta intervención.

Cambios en los sistemas en hipoxia:

-Sistema respiratorio

El organismo se defiende de la falta de O₂ respirando más aire, es decir, aumentando la frecuencia ventilatoria así como el volumen inspirado. Se facilita la eliminación de CO₂, y con ello mejora la presión parcial de oxígeno alveolar, esto se conoce como respuesta ventilatoria a la hipoxia. De esta forma se consigue que haya una mayor presión parcial de oxígeno en el alveolo pulmonar (PAO₂), por lo que el oxígeno se difunde con mayor facilidad a la sangre y en consecuencia, la presión parcial de oxígeno disuelta en la sangre arterial (SpO₂) es mayor. Hay que destacar que la respuesta ventilatoria a la hipoxia no es constante. El mayor incremento de la ventilación se produce durante las primeras 24 horas. Por otra parte, el equivalente ventilatorio de oxígeno (volumen de aire respirado por cada litro de oxígeno consumido), disminuye con la altitud hasta los 2300m y aumenta con la altitud a partir de esa cota. Por último, la alcalosis respiratoria producida en respuesta a la hipoxia aguda, aumenta la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno y esto puede ser un problema a la hora de liberar oxígeno a los tejidos (Urdampilleta, 2015).

-Sistema cardiovascular

Al poco tiempo de alcanzar una determinada altura, se estimula la actividad simpático-adrenal (a través de las hormonas adrenalina o noradrenalina) y que tiene como resultado un aumento de la frecuencia cardíaca. Con ello aumenta el gasto cardíaco, haciendo que el corazón bombee un mayor volumen de sangre por unidad de tiempo, llegando a un máximo hacia el quinto día de la estancia en altitud. Tras los primeros 5-7 días de estancia en altitud (hasta la aclimatación parcial del organismo), es una

disminución de la frecuencia cardíaca y el volumen sistólico. En altitud se reduce claramente el VO_2 max debido a la limitación de difusión de O_2 en los pulmones, pero a nivel muscular se observan niveles similares de difusión de O_2 muscular durante el ejercicio en hipoxia crónica y normoxia. Se ha visto que la reducción de la frecuencia cardíaca máxima podría interpretarse como un mecanismo de autoprotección del corazón para no aumentar sus necesidades metabólicas por encima del aporte de oxígeno que le llega. En general parece que la tensión arterial en reposo no se modifica por la exposición a la altitud o a la presión atmosférica baja. Durante el ejercicio físico en altitud la tensión arterial sistólica aumenta y la tensión arterial diastólica disminuye ligeramente, como ocurre a nivel del mar. Se ha observado que aumenta el efecto de Borg (mayor diferencia de pH entre la sangre arterial y venosa) y se intenta producir un transporte de oxígeno más eficiente para las nuevas condiciones en hipoxia (Urdampilleta, 2015)

-Cambios hematológicos:

Cuando el tiempo de exposición a la hipoxia es lo suficientemente largo, existen modificaciones en las variables hematológicas, concretamente en la serie roja, que pueden compensar una buena o mala respuesta individual a la hipoxia. La saturación del 92% es el punto en el cual se inicia el estímulo eficiente de la eritropoyesis. La hipoxia estimula la secreción de la EPO, que regula la proliferación y diferenciación de las células rojas, induciendo un aumento de reticulocitos, hemoglobina y eritrocitos, y aumento del transporte de oxígeno en sangre. Durante las estancias en altura la demanda orgánica de hierro aumenta y la posible deficiencia de éste puede impedir una respuesta correcta hematopoyética, por lo tanto va a ser necesaria la suplementación de hierro dietético de tipo hemo. Por otra parte, la medida de la respuesta eritropoyética depende del volumen de glóbulos rojos inicial del deportista y de la variabilidad genética. Se produce el aumento de 1-2% en los parámetros de la serie roja, por cada semana de estancia entre los 2200-3000 metros de altitud. A partir de los 17 días por encima de los 4000 metros de altitud el transporte de O_2 aumenta significativamente. Estancias superiores a 4 semanas por encima de los 2500 metros se han observado aumentos en la hemoglobina de hasta un 7,5%. Por último un aumento demasiado elevado de los glóbulos rojos y su hemoconcentración dificultará la circulación sanguínea y el transporte de oxígeno, especialmente cuando el hematocrito aumenta por encima de valores del 55% (Urdampilleta, 2015).

EJEMPLOS

Durante la búsqueda de información sobre este tema encontré dos protocolos de hipoxia que me ayudaron en un principio a ver ejemplos. El primero es uno realizado por un ciclista profesional de IHE y el segundo es un ejemplo que proponen los fabricante de generadores de hipoxia Hypoxico.

-Diversos protocolos observados:

PROTOCOLO EXPOSICIÓN HIPOXIA CICLISTA PROFESIONAL

DÍA	SEMANA	SATURACIÓN	T. HIPOXIA	T. NORMOXIA	DURACIÓN
4/7/2016	1	85-86%	5'	2'	60'
5/07/2016	1	85-86%	6'	2'	60'
11/7/2016	2	82-83%	6'	2'	70'
12/7/2016	2	81-82%	5'30"	90"	70'-80'
13/7/2016	2	82%	4'30"	90"	<60'
15/7/2016	2	82%	6'	2'	60'
18/7/2016	3	81-82%	6'	1'	75'
20/7/2016 *	3	70-80%	6'	1'	60'-90'

Propuesta en la última semana para realizar después de los entrenamientos:

DÍA	SEMANA	SATURACIÓN	T. HIPOXIA	T. NORMOXIA	DURACIÓN
20/7/2016 *	3	82-83%	5'	90"	45'-60'

*A partir del día 20 no se especificaba cuántos días más realizó las sesiones.

Tabla 1. Protocolo de exposición a la hipoxia de un ciclista profesional. Elaboración propia.

IHT PROTOCOL HYPOXICO		
Day	Total Time	*Oxygen Saturation
1	1 hour	75-80%
2	1 hour	75-80%
3	1hr. 10m	75-80%
4	1hr. 10m	75-80%
5	1hr. 10m	75-80%
6	1hr. 20m	75-80%
7	1hr. 20m	75-80%
8	1hr. 20m	75-80%
9	1hr. 30m	75-80%
10	1hr. 30m	75-80%
11	1hr. 30m	70-75%
12	1hr. 30m	70-75%
13	1hr. 30m	70-75%
14	1hr. 30m	70-75%
15	1hr. 40m	75-80%
16	1hr. 40m	75-80%
17	1hr. 40m	75-80%
18	1hr. 50m	75-80%
19	1hr. 50m	75-80%
20	1hr. 50m	75-80%
21	2 hrs.	75-80%
22	2 hrs.	75-80%
23	2 hrs.	70-75%
24	2 hrs.	70-75%
25	2 hrs.	70-75%
26	2 hrs.	70-75%
27	2 hrs.	70-75%
28	2 hrs.	70-75%
29	2 hrs.	70-75%
*Adjust altitude based on oxygen saturation shown on pulse-oximeter		

Tabla 2. Ejemplo de protocolo de IHT. Extraído de: www.hypoxico.com

4.1-REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

	Sportdiscus	Scopus	PubMed
“intermittent hypoxic training”	60	150	150
“intermittent hypoxic exposure”	28	75	152
“altitude training”	744	420	423

Tabla 3. Artículos encontrados en las bases de datos según las palabras clave. Elaboración propia.

Criterios de inclusión:

Publicaciones en lengua inglesa y castellano.

En ciclismo.

Aplican programas de hipoxia intermitente.

Referencia	Muestra	Estímulo	Carga hipóxica	Duración en semanas	Resultados
Terrados et al. (1988)	Ciclistas de élite (8)	HN 2300m activo	4-5 sesiones/semana 105-150 min/día (19 sesiones)	4	-Aumenta capacidad de trabajo en altitud -Aumenta capilarización -Disminuye lactacidemia= VO_2max x
Geiser et al. (2001)	Ciclistas aficionados (33)	HN 3850m activo	5 sesiones/semana 30 min/día 67/80% VO_2max (30 sesiones)	6	-Aumenta VO_2max (8-11% en normoxia y 2-7% en hipoxia) -Aumenta resistencia aeróbica (12-36%)

					-Los entrenamientos al 80%VO ₂ max fueron más eficaces
Clark et al. (2007)	Ciclistas entrenados (16)	HH 2000-3000m activo	Estudia los efectos de la altitud sobre la potencia y ritmos de pedaleo, para programación de estrategias en ciclistas. Analiza diferentes ritmos y potencias a alturas diferentes: 200, 1200, 2300, 3200m		En hipoxia hay un aumento ligero de cadencia de pedaleo. A partir de los 3000m se mantiene y se pierde mucha potencia. Hay una pérdida de potencia media de 7% por cada 1000m de ascenso. Mejora rendimiento de resistencia en hipoxia.
Roels et al. (2007)	Ciclistas y triatletas entrenados (33)	HH 4500m activo	2 sesiones/semana entrenamientos interválicos a 90-100% Watts max (14 sesiones)	7	-Aumenta potencia media en cicloergómetro -Aumenta VO ₂ max -A las 3 semanas se observaron mejoras de rendimiento. Sin mejoras a partir de las 4 semanas
Czuba et al. (2011)	Ciclistas de élite (20)	HN 15% FiO ₂ 3000m activo	3 sesiones/semana de 60 minutos (9 sesiones)	3	-Aumenta VO ₂ en Umbral Aeróbico y Anaeróbico

					-Aumenta tiempo de la prueba y la potencia media -Aumenta VO ₂ max
Ramos-Campo et al. (2016)	Triatletas elite (18)	HN 14,5-15% FiO ₂ activo	2 sesiones/semana 60min continuo/interválico 60-70% Uan (16 sesiones)	8	-Aumenta la potencia en Umbral anaeróbico -Mayor eficiencia de la FC en el Umbral aeróbico
Czuba et al. (2018)	Ciclistas entrenados (30)	HN 16,3% FiO ₂ activo	3 sesiones/semana 60-70min (12 sesiones)	4	-Aumento capacidad aeróbica -No cambios hematológicos

Tabla 4. Revisión bibliográfica. Elaboración propia.

Entre los artículos revisados hay diferencias en los objetivos de estudio. En primer lugar, Terrados et al. (1988) busca las diferencias en el rendimiento y la estructura del músculo entre entrenar a nivel del mar y entrenar en altitud simulada, en cambio, Czuba et al. (2018) compara el efecto del IHT y el modelo LH-TL, en la capacidad aeróbica. Por otra parte, Clark et al. (2007) estudia los efectos de la altitud sobre la potencia y ritmos de pedaleo, para programación de estrategias en ciclistas. Por último, Geiser et al. (2001), Roels et al. (2007), Czuba et al. (2011) y Ramos-Campo et al. (2016) analizan un programa de IHT.

Mayoritariamente se utiliza la hipoxia normobárica, pero con diferencias a la hora de simular la altitud o la FiO_2 , por una parte se simula la altura entre los 2300 metros y los 4500 metros, y por otra la FiO_2 entre 14,5 y 16,3. La diferencia de altura se debe a que a menor altitud los entrenamientos son continuos y a mayor altura interválicos. Algunos estudios doblan la altitud a otros, podemos observar que hay grandes diferencias a la hora de realizar las investigaciones. Un aspecto importante a tener en cuenta cuando se programan sesiones a determinada altura o con una FiO_2 determinada, es el hecho de que en función del deportista y del momento en el proceso de aclimatación va a tener diferente SaO_2 . La SaO_2 será el mejor indicador para saber el grado de estrés hipóxico al que está sometido un deportista. Diferentes autores hablan de entrenar entre el 78% y el 90% de SaO_2 , lo que equivale a entrenar en altitudes comprendidas entre los 2000m y los 3000m. Además estos valores están establecidos para deportes de resistencia en los que se compite a nivel del mar o altitud moderada, ya que los alpinistas pueden llegar a porcentajes muy inferiores de SaO_2 , entorno al 70%.

En cuanto a la carga hipóxica también es muy variada, desde las 2 sesiones a la semana, Roels et al. (2007) y Ramos-Campo et al. (2016) hasta las 5, Terrados et al. (1988) y Geiser et al. (2001). La duración de las sesiones si que está más establecida en los protocolos, las sesiones de mayor intensidad entorno a los 45 minutos y las más extensivas como máximo una hora y media. En función del tipo de sesión la intensidad de esta varía, tal y como se entrena normalmente, es decir, en normoxia, las sesiones extensivas se entrenan a una menor intensidad que las interválicas. Por último, el número de semanas de los protocolos varía entre las tres y ocho semanas de duración, así también varía el número total de sesiones.

Los primeros estudios, Terrados et al (1988) y Geiser et al. (2001), buscaron cambios en la estructura de la musculatura a través de biopsias. Terrados et al. (1988) muestra un incremento en el número de capilares por músculo, por su parte Geiser et al. (2001) observó que el entrenamiento en hipoxia aumenta los efectos en la densidad mitocondrial y capilar y, por lo tanto, en los mecanismos oxidativos a nivel celular.

En todos ellos se estudia los cambios en el rendimiento de los ciclistas. Terrados et al. (1988) observa un incremento en la capacidad de trabajo. Geiser et al. (2001), Czuba et al. (2011) Ramos-Campo et al. (2016) y Czuba et al. (2018), obtuvieron en sus investigaciones un incremento del VO_2max , por lo tanto una mejora de trabajo de la capacidad aeróbica, a diferencia de Terrados et al. (1988), Roels et al. (2007) que no encontraron diferencias significativas. Mediante el lactato estudiaron el rendimiento y encontraron mejoras significativas en el umbral Czuba et al. (2011), Ramos-Campo et al. (2016) y Czuba et al. (2011).

Por otro lado, también se han estudiado las modificaciones hematológicas en distintos estudios y los resultados son dispares. Roels et al. (2007) y Czuba et al. (2011) no encontraron cambios significativos en RBC, Hb, HGB y Hct, en cambio Czuba et al. (2018) comprobó un incremento de los índices hematológicos, concretamente en RBC, HGB, Hct y porcentaje de reticulocitos en sangre.

En dos de ellos, Roels et al. (2007) y Ramos-Campo et al. (2016), se midió la potencia, en el primero el pico de potencia de salida (PPO) y en el segundo la potencia en los umbrales (P2,5, P4 y P8) en ambos estudios se observó un aumento de la potencia.

Terrados et al. (1988) determinó un descenso de la capacidad glucolítica, pero estudios recientes, Ramos-Campo et al. (2016) y Czuba et al. (2018), dicen lo contrario observando mejoras en el rendimiento anaeróbico. Por otra parte, Geiser et al. (2001) nos habla de una mejora de la capacidad oxidativa del músculo.

El estudio llevado a cabo por Clark et al. (2007) es diferente a los otros, en él se realizaron diversos test a diferentes intensidades y a diferentes altitudes, para determinar cómo afecta la altitud en la potencia del ciclista. En primer lugar se concluye que la eficiencia bruta no fue alterada durante el ejercicio máximo. Sin embargo, encontraron que la eficiencia bruta submáxima fue peor a 3.200 m en comparación con 200 y 1.200 m, consecuencia de cadencias superiores. Por último, hay una pérdida de potencia media de 7% por cada 1000m de ascenso.

En conclusión, en esta revisión de artículos a lo largo de tres décadas, se observa la diversidad de objetivos en los estudios en ciclistas y la evolución que han sufrido. En principio parecía que solo había mejoras en el rendimiento aeróbico, pero los estudios más recientes también observan mejoras en el rendimiento anaeróbico. En cuanto a los valores hematológicos hay mucha variedad de resultado por lo que se hace realmente difícil afirmar si este tipo de entrenamientos produce cambios significativos. Por último, esta diversidad de resultados puede deberse a la diversidad de protocolos utilizados y también a la diversidad de objetivos en los estudios.

5-METODOLOGÍA

5.1-Sujeto

La intervención se ha llevado a cabo en un solo sujeto, un ciclista de categoría máster-30.

NOMBRE	Damián
EDAD	33 años
TALLA	1,83m
PESO	74kg
EQUIPO	Norinver
CATEGORÍA	Máster-30

Tabla 5. Datos del sujeto. Elaboración propia.

5.2-Diseño

El protocolo diseñado tuvo una duración de 11 semanas incluyendo sesiones de IHE y IHT. Para evaluar el efecto del protocolo se realizó una analítica sanguínea previa (06/02/2019) para saber los valores hematológicos, otra en mitad del protocolo (23/03/2019) y el 09/05/2019 la última pasadas dos semanas del final del protocolo. Por otra parte, la potencia se midió inicialmente, extrayendo la curva de potencia mediante la plataforma TrainingPeaks. Analizando los mejores datos de potencia en determinados tiempos. Posteriormente al protocolo se analizó de igual manera para conocer la nueva curva de potencia. Para el control de la fatiga se ha utilizado la frecuencia cardíaca basal y la variabilidad de la frecuencia cardíaca. Analizando cada mañana estos valores.

5.3-VARIABLES

Para poder obtener los datos de esta intervención y conocer su efecto hemos analizado tres tipos de variables: valores hematológicos, la potencia y la frecuencia cardíaca basal y la variabilidad de la frecuencia cardíaca.

Valores hematológicos

-La hemoglobina (Hb) es la responsable del color rojo de la sangre y es la principal proteína de los eritrocitos (hay unos 15 g/dl de sangre). Cada molécula de Hb está formada por 4 subunidades y cada subunidad consiste en un grupo hemo (que contiene 1 átomo de hierro) unido a una globina (Reiriz, 2010).

-Los eritrocitos o hematíes son el tipo de célula más numerosa de la sangre ya que constituyen el 99% de los elementos formes de la sangre. En realidad no son verdaderas células porque no tienen núcleo ni otras organelas y su tiempo de vida es limitado (unos 120 días) (Reiriz, 2010).

-El hematocrito representa la proporción del volumen sanguíneo total que ocupan los hematíes (Reiriz, 2010).

-El volumen corpuscular medio (VCM) es el volumen medio de cada eritrocito. Es el

resultado de dividir el hematocrito por el número de hematíes (Reiriz, 2010).

-La hemoglobina corpuscular media (HCM) es el contenido medio de Hb en cada eritrocito. Es el resultado de dividir la cantidad de hemoglobina total por el número de hematíes (Reiriz, 2010).

Potencia

Actualmente se utilizan los potenciómetros a la hora de entrenar en ciclismo, ya que ofrecen mucha información y además muy útil al entrenador. Más concretamente se realiza una curva de potencia que permite conocer los vatios que genera un ciclista en diferentes tiempos. El perfil de potencia del ciclista se constituye a través de la administración de cuatro test maximales en los cuales es necesaria la medición de la potencia de los ciclistas. Allen y Coggan (2012) optaron por determinar distintos periodos de tiempo, que van desde los 5 segundos hasta los 60 minutos de duración, para poder observar la potencia media máxima que es capaz de generar un sujeto en determinados momentos. Las cuatro pruebas planteadas son las siguientes:

- 5 segundos - Potencia (Neuromuscular)
- 1 minuto - Capacidad anaeróbica
- 5 minutos - Consumo máximo de oxígeno ($VO_2Máx$)
- 60 minutos - Umbral Funcional de Potencia (FTP)

Además vamos a incluir la potencia en 10 minutos.

Variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV)

Para el control de la fatiga hemos utilizado la variabilidad de la frecuencia cardíaca en reposo mediante la utilización de HRV4 Training. El HRV ha sido propuesto como el indicador más útil para valorar la fatiga global (Schmitt, Regnard y Millet, 2015). Además el hecho de permanecer en hipoxia presenta cambios en el HRV, concretamente se ha comprobado que provoca una disminución del HRV, ya sea por reducción o mantenimiento de la modulación vagal, o por predominio simpático o incluso una combinación de estas respuestas. (Oliveira et. al. 2017)

5.4-RECURSOS MATERIALES

Generador de hipoxia



Fig. 3. Compresor hipoxia. Extraído de: www.ialtitude.com

Bicicleta Merida Reacto



Fig. 4. Bicicleta Merida. Extraído de: www.merida-bikes.es

Pedales Garmin Vector 3



Fig. 5. Pedales Garmin Vector 3. Extraído de: www.garmin.com

Rodillo Elite Arion



Fig. 6. Rodillo Elite Arion. Extraído de: www.elite-real.com

HRV4Training

Para el control de la fatiga hemos utilizada la variabilidad de la frecuencia cardíaca mediante la aplicación HRV4Training, la única que está validada científicamente.

TrainingPeaks

Esta plataforma nos ayuda con el control de los entrenamientos del ciclista. Es una de las más utilizadas en el ciclismo profesional, y gracias a ella hemos obtenido el perfil de potencia del deportista.

PowerBreathe (IMT)

Para el Entrenamiento de los Músculos Inspiratorios (IMT) el ciclista ha utilizado PowerBreathe. El entrenamiento específico de los músculos respiratorios se asocia con

una mejora del rendimiento en deportes de resistencia (Sales et. al. 2016). IMT entrena el diafragma, la musculatura intercostal y accesoria de la respiración, haciéndola más eficiente y optimizando el metabolismo energético muscular de modo que fortalece y mejora funcionalmente retrasando la fatiga respiratoria. Este efecto es más visible cuando el deportista supera el umbral anaeróbico, ya que en este momento es cuando más intensamente trabajan los músculos respiratorios.



Fig. 7. PowerBreathe. Extraído de: www.powerbreathe.es

5.5-PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Para realizar este protocolo de entrenamiento en hipoxia, el entrenador se puso en contacto con la empresa IAltitude. Fueron ellos los que propusieron las sesiones IHE en consenso con el entrenador y las de IHT fueron propuestas por el entrenador bajo la supervisión del fisiólogo de dicha empresa. El fisiólogo, diariamente ha revisado las sesiones para programar la siguiente.

A continuación se explica el proceso y los aspectos a tener en cuenta a la hora de diseñar protocolos de exposición y entrenamiento en hipoxia.

A la hora de diseñar el protocolo de hipoxia hay que tener en cuenta una serie de aspectos clave que nos van a determinar la composición de éste. Álvarez-Herms (2019) propone cinco puntos para periodizar con estímulos de hipoxia en rendimiento. Como se ha comentado previamente, destacar que este tipo de entrenamiento es un complemento al entrenamiento general que realiza el deportista, en este caso el ciclista sigue sus entrenamientos diarios de ciclismo.

Cinco aspectos clave de la periodización con estímulos de hipoxia:

-Maduración fisiológica del deportista. En este apartado incluye la edad, la preparación física, mentalidad y programa deportivo seguido.

-Especificidad de la respuesta esperada: estímulo específico, general o coadyuvante. Mejora del transporte de oxígeno, mejora de la capilaridad, mejora de la eficiencia metabólica específica, aumento de la intensidad relativa de esfuerzo fisiológico, mejora de respuesta musculares periféricas o aclimatación para estímulos

posteriores.

-Inclusión de los estímulos de hipoxia en la periodización a corto/medio/largo plazo. Depende de la maduración fisiológica del deportista, hace referencia a en que punto de su preparación física y su experiencia previa en este tipo de entrenamientos.

-Valorar aspectos previos de salud. Analítica (RBC, ferritina, transferrina, enzimas hepáticas, sistema inmune...), estado nutricional, hidratación, entrenamiento de los músculos respiratorios y trabajo de hipoxemia en ejercicio.

-Control y seguimiento individual de los estímulos de hipoxia. Profesionales médicos y deportivos especializados en la materia.

Para el diseño del protocolo hay que seguir la teoría y los principios del entrenamiento para no caer en errores, y que este complemento del entrenamiento no provoque efectos negativos en el rendimiento del ciclista.

Al igual que en el entrenamiento general, la teoría de la adaptación está presente en este entrenamiento concreto. El estímulo hipóxico incrementó progresivamente su intensidad en el ciclista de diversas maneras, disminuyendo el % de oxígeno inspirado, aumentando el tiempo de duración de la sesión o bien aumentando el tiempo de ciclos de hipoxia y reduciendo el tiempo en normoxia. Frente a esto, se periodizaron microciclos, en los cuales estas variables se iban modificando obteniendo adaptaciones en la frecuencia cardíaca y en la saturación de oxígeno. Finalmente al llegar a una adaptación mayor se inició los entrenamientos en hipoxia, lo que supone un estrés mayor para el ciclista. Con IHE se consiguen unas adaptaciones generales en el cuerpo, es decir, a nivel centra. Y mediante el IHT pretendemos obtener las mejoras a nivel periférico más interesante para el ciclismo, concretamente en las piernas.

Los principios del entrenamiento han estado presentes durante todo el proceso.

-Principio de individualización: Este protocolo fue diseñado únicamente para Damián adaptándolo a su fisiología, a su disponibilidad horaria, en función de sus respuestas tras los entrenamientos y al estado de recuperación.

-Principio de progresión: Aumentando progresivamente la intensidad en los entrenamientos. Cada semana ha realizado de tres a cinco sesiones siguiendo el

-Principio de continuidad: Cada semana ha realizado de tres a cinco sesiones.

-Principio de recuperación: En función de su calendario de competición y de los entrenamientos de mayor intensidad se modificaron las sesiones.

-Principio de unidad funcional: Las condiciones de hipoxia incrementan la respuesta fisiológica simultánea en varios sistemas orgánicos.

-Principio de especificidad: A nivel metabólico se requiere una mayor participación de la vía anaeróbica para generar más energía en unidad de tiempo, implicando así respuestas específicas sobre el sistema glucolítico.

-Principio de sobrecarga: Se contribuye a crear un mayor ajuste a nivel homeostático que el propio entrenamiento en normoxia.

Habiendo realizado las analíticas sanguíneas previas, el trece de febrero se inició este protocolo. En primer lugar, el ciclista pasó un test inicial, el cual finalizaba en el momento en que la SaO₂ se situaba por debajo del 83%, en función del tiempo de

duración al llegar a esta saturación se predice tu capacidad inicial de someterte a este tipo de entrenamiento. Según (Bassovitch y Serebrovskaya, 2013), hay tres tipos de respuesta, el primero en que la caída de la saturación hasta el 85% tarda entre 30-90s, el segundo se sitúa entre 90-180s y por último el tercer tipo de respuesta tarda más de 180s. La primera respuesta nos indica que es un no respondedor, y está desaconsejado el uso de hipoxia en estos sujetos, la segunda respuesta es característica de un sujeto sedentario sano y la tercera se relaciona con deportistas entrenados y acostumbrados a la hipoxia. En este caso tardó 3 minutos y 44 segundos, lo que determinó una respuesta apta para llevar a cabo el entrenamiento en altitud simulada

Test:

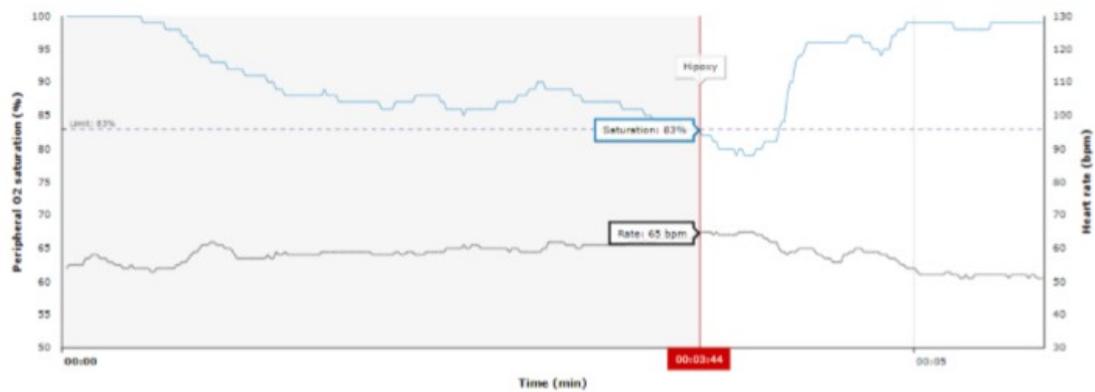


Fig. 8. Test inicial. Figura propia.

Tras el test se inició un primer bloque de IHE en el cual progresivamente se iba disminuyendo el %O₂, lo que simula una mayor altitud. El objetivo de este bloque era conseguir una aclimatación adecuada en primer lugar y en segundo lugar obtener los beneficios a nivel central del organismo. Se estructuró el bloque en cinco microciclos, cada uno de ellos tenía una altitud simulada determinada, se inició a los 2700m y llegó hasta los 5750m, pero durante el microciclo se iban modificando la duración de la sesión y los tiempos de hipoxia y normoxia.

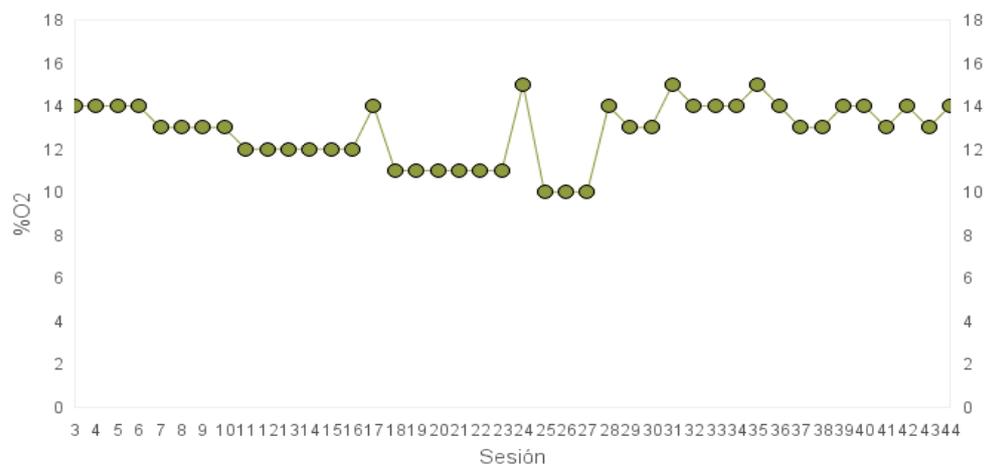


Fig. 9. %O₂ en cada sesión. Figura propia.

Las sesiones iban alternando ciclos en hipoxia y ciclos en normoxia, es decir, ciclos de estrés y ciclos de recuperación, en este bloque la duración de los ciclos de hipoxia siempre fueron mayores que los de normoxia. La duración de las sesiones de 48 minutos hasta los 72 minutos, tal y como recomienda Urdampilleta (2015). La mayoría de entrenamientos fueron interválicos pero en determinados momentos se programaron sesiones extensivas, con una función recuperadora.

Destacar el entrenamiento de los músculos inspiratorios, el ciclista durante toda la temporada los entrena, pero es muy importante en los programas de hipoxia incluir previamente este entrenamiento. Hay estudios que confirman los beneficios también a la hora de realizar esfuerzos en altura o altitud simulada. Como ya se ha comentado anteriormente una de las respuestas iniciales a la exposición a la altitud y consecuente hipoxia ambiental es el aumento de la frecuencia respiratoria (hiperventilación) y la frecuencia cardíaca en lo que se llama fase de aclimatación, caracterizada por una forzada compensación cardiopulmonar. Si además realizamos ejercicio en esta condición, la afectación negativa hacia el rendimiento será significativa, directamente proporcional al grado de hipoxia. Álvarez-Herms et. al. 2019 observó una reducción de la fatiga muscular respiratoria, retraso de la activación del metaborreflejo muscular respiratorio y mejor mantenimiento de la saturación arterial de oxígeno en sangre SaO_2 y flujo sanguíneo a musculatura locomotora. En el estudio de Jeffries et. al. 2019, se afirma que la hipoxia severa o moderada provoca una reducción en ejercicio siendo controlado el nivel de esfuerzo a un nivel fijo. Las primeras señales para determinar el esfuerzo percibido están relacionadas a una reducción de hipoxemia arterial y aun incremento de la ventilación, que fue reconducido mayormente por un incremento en la frecuencia respiratoria. Como consecuencia de la exposición a hipoxia se produce una menor oxigenación, lo cual exige un mayor trabajo de la musculatura respiratoria para compensar la falta de oxígeno. Fortalecer la musculatura inspiratoria con entrenamiento IMT y PowerBreathe ayuda a mejorar la capacidad de realizar ejercicio en altitud/altitud simulada (Biolaster, 2019). En el apartado “ANEXOS” aparece el programa de entrenamiento seguido por el ciclista.

El viernes 22 de febrero empezó a tomar hierro Solgar en la forma hematínica por prescripción del doctor. Autores como Urdampilleta, (2015) recomiendan el uso de hierro como suplemento para evitar posibles anemias durante los protocolos de hipoxia y facilitar la eritropoyesis.

En la sesión número veinte empezó a utilizar la hiperoxia. Hasta el momento tras los ciclos de hipoxia el ciclista se quitaba la máscara y respiraba aire del ambiente, pero al empezar a estar a una altura muy elevada como son 5050 metros, cambió la normoxia por la hiperoxia, lo facilitaba mucho su recuperación. Se podía observar como la SaO_2 se situaba rápidamente al 100% tras llegar al 78% previamente. El uso de la hiperoxia está cada vez más extendido entre los deportistas de montaña, esquiadores, corredores de sky-running, alpinistas... Pero recientemente se ha utilizado por futbolistas que juegan partidos a una altura elevada, por ejemplo la selección de Brasil en un partido frente a Bolivia. También se está usando en competiciones en las que los deportistas tienen que realizar distintas pruebas en un mismo día, competiciones de natación y

pruebas de ciclismo en pista. La hiperoxia se usó en las sesiones de exposición a la hipoxia en altitud superior a 5000 metros y en las sesiones de IHT.

Tras las treinta sesiones que duró el primer bloque, se inició el segundo. En este último bloque se combinaron sesiones de IHE con otras de IHT. El objetivo principal era obtener unas mejoras a nivel periférico, es decir, con la activación de los músculos, en este caso la musculatura de las piernas y glúteos, mediante la capilarización de los vasos sanguíneos obtener los beneficios de la vascularización de la sangre en los miembros más útiles en el ciclismo. Para ello recurrimos a un trabajo anaeróbico, alternando series a 300 vatios de potencia durante la hipoxia con recuperaciones a 200 vatios en hiperoxia, con una cadencia elevada, en torno a 90-95 revoluciones por minuto.

Finalmente realizó un total de 43 sesiones más el test inicial, entre el 13 de febrero de 2019 y el 25 de abril de 2019, 34 de ellas fueron de exposición a la hipoxia y 9 de entrenamiento en hipoxia.

Por último, es recomendable realizar sesiones posteriores al protocolo. Existe la “memoria hipóxica”, que es uno de los factores determinantes entre los respondedores y no-respondedores, es decir, una persona que ha entrenado o ha estado expuesto a la hipoxia tendrá más facilidad para responder ante este estímulo. Para seguir obteniendo estos beneficios se recomienda realizar una sesión de hipoxia pasiva cada 10-14 días tras finalizar el programa de hipoxia durante dos o tres meses.

Para controlar las sesiones, la empresa Ialtitude ha diseñado un software en el cual aparecen diversos parámetros que nos ayudaron a desarrollar las sesiones. Entre estos parámetros, hay dos que nos ayudan a cuantificar la carga hipóxica el HTI y HRI. A continuación aparecen las definiciones facilitadas por IAltitude.

HTI: es el índice de estrés al que sometemos al deportista en la sesión, y correlaciona con el área de desaturación entre 90% y un máximo de 75% de SaO₂. Cuanto más alto sea, más carga de estrés, más estímulo de FIH1 y por tanto más efecto, pero también, más posibilidades de efectos adheridos, como puede ser somnolencia, fatiga, algún pequeño dolor de cabeza y poco más. A nivel general, índices bajos son entre 20 y 50, medios entre 60 y 90, altos entre 100 y 150 y muy altos por encima de 160.

HRI: es un índice que correlaciona con el área de saturación entre 90 y 98%. Nos indica la capacidad de respuesta y recuperación de la saturación tras los ciclos de hipoxia. A más alto, mejor recuperación y asimilación de la sesión.



Fig. 10. Análisis biomecánico primer día. Elaboración propia.

Otra parte de mi intervención con el ciclista fue preparar las pruebas de contrarreloj. Realizando entrenamientos y modificaciones biomecánicas en la bicicleta para mejorar en este tipo de pruebas. Para analizar biomecánicamente al ciclista el entrenador y yo lo grabamos desde el coche y posteriormente medimos los ángulos. Repetimos el entrenamiento tres días. El primer día, la posición en la bicicleta era muy aerodinámica, pero poco eficiente. El ciclista no era capaz de desarrollar los vatios correspondientes a la intensidad y duración programadas, por un motivo principal, la altura del sillín. Estaba demasiado elevado y en consecuencia los músculos isquiotibiales limitaban el movimiento de pedaleo impidiendo conseguir los vatios asignados. Por este motivo hicimos modificaciones en la bicicleta, buscando una posición más cómoda, un poco menos aerodinámica, pero más eficiente. A la hora de hacer las modificaciones estábamos limitados por una serie de normas que establece la UCI, una dificultad añadida. La sitio elegido para este entrenamiento fue Montsalgueiro, buscamos una zona relativamente llana y cerca de Coruña, con la intención de que el ciclista pudiera conseguir de forma prolongada una velocidad elevada desarrollando unos vatios elevados también. Es importante repetir la zona en donde vas a hacer las series ya que tienes la zona controlada y puedes comparar las diferentes series.

Asistí a dos pruebas de contrarreloj una en Chantada y la otra fue el Campeonato Gallego de Contrarreloj, donde desgraciadamente el ciclista sufrió una caída a falta de 600m para finalizar la carrera. Aún así terminó cuarto a pocos segundos del podio. En estas pruebas se vieron reflejados los entrenamientos realizados previamente.



Fig. 11. Análisis biomecánico tercer día. Elaboración propia.



Fig. 12. Damián durante IHT. Figura propia.

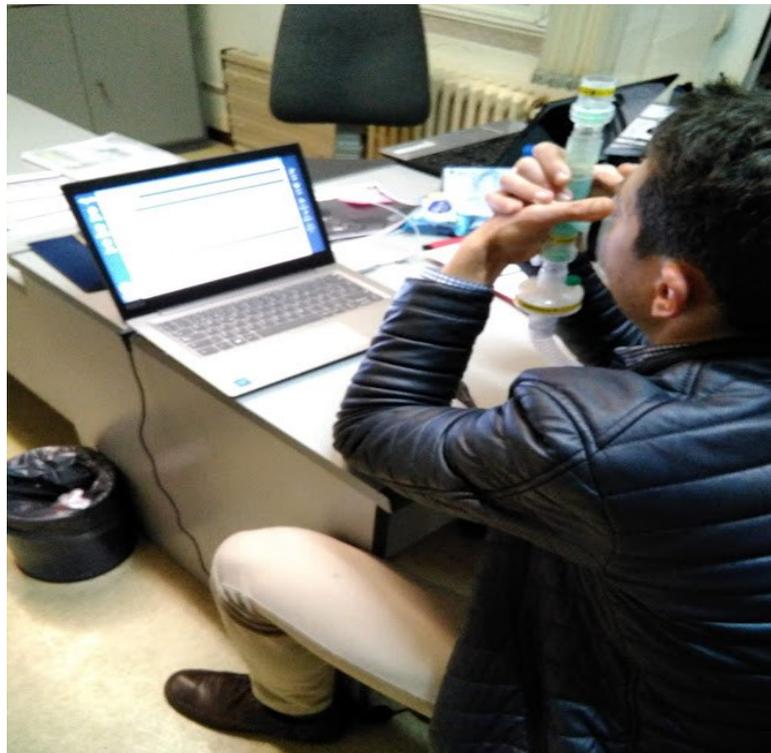


Fig. 13. Damián durante IHE. Elaboración propia.

A continuación se presenta la tabla dónde se resume todo el protocolo:

FEBRERO 2019						
LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
11	12	13	14	15	16	17
		TEST + Altitud: 2700 % O₂: 15 T. Sesión: 48 Ciclos: 3 H: 4 N: 4 Límite SaO₂: 89 SaO₂ AVG: 97 BPM AVG: 51 HTI: 0 HRI: 379		Altitud: 3250 % O₂: 14 T. Sesión: 72 Ciclos: 8 H: 5 N: 4 Límite SaO₂: 88 SaO₂ AVG: 93 BPM AVG: 107 HTI: 16,42 HRI: 297		
18	19	20	21	22	23	24
Altitud: 3250 % O₂: 14 T. Sesión: 72 Ciclos: 8 H: 5 N: 4 Límite SaO₂: 88 SaO₂ AVG: - BPM AVG: - HTI: -	Altitud: 3250 % O₂: 14 T. Sesión: 72 Ciclos: 8 H: 5 N: 4 Límite SaO₂: 88 SaO₂ AVG: 95 BPM AVG: 66 HTI: 5,87	Altitud: 3250 % O₂: 14 T. Sesión: 72 Ciclos: 8 H: 5 N: 4 Límite SaO₂: 88 SaO₂ AVG: 96 BPM AVG: 50 HTI: 0		Altitud: 3800 % O₂: 13 T. Sesión: 72 Ciclos: 8 H: 5 N: 4 Límite SaO₂: 85 SaO₂ AVG: 94 BPM AVG: 58 HTI: 64,25		

HRI: -	HRI: 379,28	HRI: 483,40		HRI: 367,25		
25	26	27	28			
Altitud: 3800 % O₂: 13 T. Sesión: 72 Ciclos: 8 H: 5 N: 4 Límite SaO₂: 85 SaO₂ AVG: 95 BPM AVG: 52 HTI: 4,15 HRI: 375,43	Altitud: 3800 % O₂: 13 T. Sesión: 70 Ciclos: 7 H: 6 N: 4 Límite SaO₂: 85 SaO₂ AVG: 92 BPM AVG: 72 HTI: 111,15 HRI: 262,98	Altitud: 3800 % O₂: 13 T. Sesión: 70 Ciclos: 7 H: 6 N: 4 Límite SaO₂: 85 SaO₂ AVG: 92 BPM AVG: 47 HTI: 98,14 HRI: 280,81				
MARZO 2019						
LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
				1	2	3
				Altitud: 4400 % O₂: 12 T. Sesión: 70 Ciclos: 7 H: 6 N: 4 Límite SaO₂: 83 SaO₂ AVG: 90 BPM AVG: 55 HTI: 217,21 HRI: 250,88		
4	5	6	7	8	9	10
Altitud: 4400		Altitud: 4400	Altitud: 4400	Altitud: 4400		

% O₂: 12 T. Sesión: 72 Ciclos: 8 H: 5 N: 4 Límite SaO₂: 83 SaO₂ AVG: 93 BPM AVG: 45 HTI: 76,44 HRI: 322,17		% O₂: 12 T. Sesión: 72 Ciclos: 8 H: 5 N: 4 Límite SaO₂: 83 SaO₂ AVG: 92 BPM AVG: 38 HTI: 164,75 HRI: 318,51	% O₂: 12 T. Sesión: 72 Ciclos: 8 H: 5 N: 4 Límite SaO₂: 83 SaO₂ AVG: 92 BPM AVG: 47 HTI: 142,22 HRI: 308,05	% O₂: 12 T. Sesión: 72 Ciclos: 8 H: 5 N: 4 Límite SaO₂: 83 SaO₂ AVG: 93 BPM AVG: 65 HTI: 145,97 HRI: 332,36		
11	12	13	14	15	16	17
Altitud: 44 % O₂: 12 T. Sesión: 72 Ciclos:8 H: 5 N: 4 Límite SaO₂: 83 SaO₂ AVG: 91 BPM AVG: 50 HTI: 225,27 HRI: 291,27	Altitud: 3250 % O₂: 14 T. Sesión: 60 Ciclos: 2 H: 25 N: 5 Límite SaO₂: 85 SaO₂ AVG: 92 BPM AVG: 45 HTI: 29,85 HRI: 125,62	Altitud: 5050 % O₂: 11 T. Sesión: 48 Ciclos: 8 H:4 N: 2 Límite SaO₂: 80 SaO₂ AVG: 89 BPM AVG: 59 HTI: 206,6 HRI: 134,61	Altitud: 5050 % O₂: 11 T. Sesión: 48 Ciclos: 8 H: 4 N: 2 Límite SaO₂: 80 SaO₂ AVG: 88 BPM AVG: 52 HTI: 238,46 HRI: 130,86		Altitud: 5050 % O₂: 11 T. Sesión: 50 Ciclos:10 H: 3 HIP: 2 Límite SaO₂: 80 SaO₂ AVG: 93 BPM AVG: 54 HTI: 135,68 HRI: 268,74	
18	19	20	21	22	23	24
Altitud: 5050 % O₂: 11 T. Sesión: 50 Ciclos:10 H: 3 HIP: 2 Límite SaO₂: 80 SaO₂ AVG: 95		Altitud: 5050 % O₂: 11 T. Sesión: 60 Ciclos:10 H: 4 HIP: 2 Límite SaO₂: 80 SaO₂ AVG: 93	Altitud: 5050 % O₂: 11 T. Sesión: 60 Ciclos:10 H: 4 HIP: 2 Límite SaO₂: 80 SaO₂ AVG: 91	Altitud: 2700 % O₂: 15 T. Sesión: 60 Ciclos: 2 H:25 N: 5 Límite SaO₂: 84 SaO₂ AVG: 95	Altitud: 5750 % O₂: 10 T. Sesión: 54 Ciclos: 9 H: 4 HIP: 2 Límite SaO₂: 77 SaO₂ AVG: 91	

BPM AVG: 43 HTI: 45,1 HRI: 294,23		BPM AVG: 56 HTI: 117,25 HRI: 295,02	BPM AVG: 61 HTI: 187,54 HRI: 269,1	BPM AVG: 52 HTI: 0 HRI: 325,71	BPM AVG: 49 HTI: 201,86 HRI: 247,16	
25	26	27	28	29	30	31
Altitud: 5750 % O₂: 10 T. Sesión: 54 Ciclos: 9 H: 4 HIP: 2 Límite SaO₂: 77 SaO₂ AVG: 91 BPM AVG: 46 HTI: 202,9 HRI: 272,66	Altitud: 5750 % O₂: 10 T. Sesión: 54 Ciclos: 9 H: 4 HIP: 2 Límite SaO₂: 77 SaO₂ AVG: 90 BPM AVG: 53 HTI: 278,86 HRI: 262,93	Altitud: 3250 % O₂: 3250 T. Sesión: 48 Ciclos: 8 H: 4 N: 2 Límite SaO₂: 86 SaO₂ AVG: 98 BPM AVG: 46 HTI: 0 HRI: 376,13	Altitud: 3800 % O₂: 13 T. Sesión: 56 Ciclos: 8 H: 5 N: 2 Límite SaO₂: 85 SaO₂ AVG: 94 BPM AVG: 48 HTI: 39,06 HRI: 279,93			Altitud: 3800 % O₂: 13 T. Sesión: 56 Ciclos: 8 H: 5 N: 2 Límite SaO₂: 85 SaO₂ AVG: 93 BPM AVG: 56 HTI: 67,63 HRI: 224,43
ABRIL 2019						
LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
1	2	3	4	5	6	7
Altitud: 2700 % O₂: 15 T. Sesión: 56 Ciclos: 8 H: 5 N: 2 Límite SaO₂: 80 SaO₂ AVG: 94 BPM AVG: 49 HTI: 22,15 HRI: 276,89				Altitud: 2700 % O₂: 14 T. Sesión: 45 Ciclos: 15 H: 1 HIP: 2 Límite SaO₂: 80 SaO₂ AVG: 93 BPM AVG: 140 HTI: 101,05 HRI: 249,88		Altitud: 2700 % O₂: 14 T. Sesión: 45 Ciclos: 15 H: 1 HIP: 2 Límite SaO₂: 80 SaO₂ AVG: 93 BPM AVG: 129 HTI: 118,1 HRI: 260,2

8	9	10	11	12	13	14
Altitud: 2700 % O₂: 14 T. Sesión: 45 Ciclos: 15 H: 1 HIP: 2 Límite SaO₂: 80 SaO₂ AVG: 94 BPM AVG: 127 HTI: 80,28 HRI: 274,69	Altitud: 2700 % O₂: 14 T. Sesión: 45 Ciclos: 15 H: 1 HIP: 2 Límite SaO₂: 78 SaO₂ AVG: - BPM AVG: - HTI: - HRI: -	Altitud: 2700 % O₂: 14 T. Sesión: 45 Ciclos: 15 H: 1 HIP: 2 Límite SaO₂: 80 SaO₂ AVG: 94 BPM AVG: 133 HTI: 109,01 HRI: 273,14	Altitud: 3800 % O₂: 13 T. Sesión: 56 Ciclos: 7 H: 6 N: 2 Límite SaO₂: 85 SaO₂ AVG: 91 BPM AVG: 66 HTI: 92,76 HRI: 128,5			
15	16	17	18	19	20	21
Altitud: 3800 % O₂: 13 T. Sesión: 64 Ciclos: 8 H: 6 N: 2 Límite SaO₂: 82 SaO₂ AVG: 90 BPM AVG: 44 HTI: 203,94 HRI: 215,83	Altitud: 3250 % O₂: 14 T. Sesión: 60 Ciclos: 15 H: 1 HIP: 3 Límite SaO₂: 78 SaO₂ AVG: 96 BPM AVG: 120 HTI: 73,45 HRI: 407,88	Altitud: 3250 % O₂: 14 T. Sesión: 60 Ciclos: 15 H: 1 HIP: 3 Límite SaO₂: 78 SaO₂ AVG: 95 BPM AVG: 131 HTI: 113,15 HRI: 398,79	Altitud: 3800 % O₂: 13 T. Sesión: 56 Ciclos: 8 H: 5 N: 2 Límite SaO₂: 84 SaO₂ AVG: 92 BPM AVG: 56 HTI: 97,43 HRI: 235,92			
22	23	24	25	26	27	28
Altitud: 3250 % O₂: 14 T. Sesión: 60 Ciclos: 15 H: 1 HIP: 3		Altitud: 3800 % O₂: 13 T. Sesión: 56 Ciclos: 8 H: 5 N: 2	Altitud: 3250 % O₂: 14 T. Sesión: 60 Ciclos: 15 H: 1 HIP: 3			

Límite SaO₂: 78 SaO₂ AVG: 93 BPM AVG: 124 HTI: 179,23 HRI: 379,83		Límite SaO₂: 84 SaO₂ AVG: 92 BPM AVG: 57 HTI: 87,19 HRI: 190,82	Límite SaO₂: 78 SaO₂ AVG: 94 BPM AVG: 136 HTI: 139,93 HRI: 372,1			
--	--	--	---	--	--	--

6-RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en las analíticas sanguíneas y las modificaciones del perfil de potencia del ciclista, serán los que determinarán el efecto producido por el protocolo de IHE+IHT en el ciclista.

Variables hematológicas

En primer lugar se exponen los resultados de la variable hematológica.

	VALORES DE REFERENCIA	06/02/2019	23/03/2019	09/05/2019	VARIACIÓN
HEMOGLOBINA	13-18 g/dL	14,4	14,3	14,9	+3,47%
ERITROCITOS	4,5-5,5 mill/mm ³	4,51	4,48	4,74	+5,09%
HEMATOCRITO	41-50 %	44,3	43,4	46,7	+5,41%
VCM	80-99 f/L	96,8	98,4	98,5	+1,75%
HCM	26-32 pc	31,4	32,4	31,4	0%
HIERRO	59-193 mcg/dL	-	61	66	+8,19%

Tabla 7. Resultados valores hematológicos. Elaboración propia.

	VALORES DE REFERENCIA	20/06/2018	09/05/2019	VARIACIÓN
HEMOGLOBINA	13-18 g/dL	13	14,9	+14,61%
ERITROCITOS	4,5-5,5 mill/mm ³	4,11	4,74	+15,32%
HEMATOCRITO	41-50 %	40,6	46,7	+15,02%
VCM	80-99 f/L	98,7	98,5	-0,2%
HCM	26-32 pc	31,6	31,4	-0,63%
HIERRO	59-193 mcg/dL	-	66	-

Tabla 8. Comparación valores hematológicos. Elaboración propia.

A la hora de analizar los resultados de las analíticas sanguíneas vamos a observarlos desde dos puntos de vista. Por una parte podemos ver los cambios en diferentes parámetros, durante el período de duración del protocolo, los cuales nos dan la información de la evolución del deportista. Se realizaron tres analíticas una previa, otra en mitad del período de intervención y una post-intervención. Y por otra parte, se van a analizar comparándolos entre años. Los valores a analizar son los siguientes: hemoglobina, eritrocitos, hematocrito, VCM, HCM y hierro.

Como se puede observar en el apartado “variación” de la tabla 7, todos los parámetros han subido, HGB (+3,47%), eritrocitos (+5,09%), Hct (+5,41%), VCM (+1,75%) y hierro (+8,19%), excepto el HCM, que se mantiene en el mismo valor, tras casi tres

meses de protocolo. Estos resultados coinciden completamente con Rodríguez et al. 1999. En su estudio en el cual también combinan IHE y IHT, observaron un incremento significativo en RBC (+12%), Ret (+54), Hb (+18) y Hct (+11%), en nuestro caso los incrementos no han sido tan elevados y solo han sido analizados en un ciclista. Estos autores concluyeron que la combinación de IHE y IHT puede favorecer la respuesta eritropoyética. Por su parte Czuba et al. 2018, también demostró un incremento significativo en RBC, HGB, Hct y porcentaje de reticulocitos en sangre. Hamlin et al. 2010, obtuvo un aumento del Hct y HGB, según sus conclusiones por el efecto de estimular la eritropoyetina.

A diferencia de estos resultados, (Geiser et al. 2001; Roels et al. 2007; Czuba et al. 2011 y Sánchez y Borrani, 2018) no han encontrado aumentos significativos de los valores hematológicos en programas de IHE y IHT. Las causas que proponen ellos, tras no haber conseguido una aumento de estos valores son, la corta duración del estímulo hipóxico al que fueron sometidos sus deportistas y la posibilidad de sujetos no respondedores en sus investigaciones. Otros autores determinan que la aplicación de este programa de hipoxia intermitente no incrementa las variables hematológicas determinantes para la eritropoyesis y que derivan en un aumento del rendimiento en ciclistas entrenados. El protocolo utilizado, el tamaño de la muestra y las diferencias individuales ante la aclimatación a la altura pueden interferir en estos resultados (Ramos-Campo et al. 2011).

En la tabla 8 aparecen los resultados comparando los dos años, y también se observan mejoras en el HCT, la HGB y eritrocitos del 15,02%, 14,61% y 15,32% respectivamente. En las investigaciones leídas no aparecen resultados de años anteriores, por lo que se hace difícil poder comparar nuestros resultados con los de otros. Con los resultados obtenidos este año hemos cumplido el objetivo principal de esta intervención. Hemos evitado que se repitiesen los valores del año anterior en el período de competiciones importantes.

Realizar 34 sesiones de IHE y 9 de IHT han producido mejoras en los valores hematológicos del ciclista, destacar que en la mayoría de investigaciones los deportistas no han estado expuestos durante tantas horas a la hipoxia como en este caso. Éste puede ser el motivo por el cual hemos obtenido estos resultados, a diferencia de la mayoría de investigaciones en las que no se producen estos incrementos.

La potencia

La potencia es un indicador muy fiable del rendimiento en ciclismo, por este motivo y porque es fácil de medir mediante un potenciómetro, se ha incluido como variable para determinar los efectos de este protocolo.

VARIACIÓN DE LA POTENCIA POST-PROGRAMA			
TIEMPO	VATIOS PRE	VATIOS POST	VARIACIÓN
P5"	983	857	-12,81%
P1'	503	505	+0,4%
P5'	397	439	+10,58%
P10'	360	388	+7,77%
P60'	283	321	+13,42%

Tabla 9. Resultados de la potencia. Elaboración propia.

Las mejoras de los resultados en la potencia se han dado en 5' (+10,58%), 10' (+7,77%) y 60' (+13,42%). En cambio, la potencia en 1' se mantiene igual (+0,4%) y la potencia en 5" desciende (-12,81%). Podemos decir que hay una mejora de la potencia en el umbral anaeróbico y en el VO₂max al relacionar P60' y P5' respectivamente.

En la línea de estos resultados encontramos diversos estudios en los que se produce un incremento de la potencia tras un protocolo de IHT (Meeuwsen et al. 2001; Hamlin et al. 2009; Czuba et al. 2011; Ramos-Campo et al. 2016 y Czuba et al. 2018). Hamlin et al. 2009, solo obtuvo un incremento significativo en 30s a diferencia de nosotros que no lo hemos obtenido. Por su parte, (Meeuwsen et al. 2001; Czuba et al. 2011; Ramos-Campo et al. 2016 y Czuba et al. 2018) determinaron mejoras de potencia en el umbral anaeróbico al igual que nosotros, ellos al realizar investigaciones lo comprobaron mediante el test The Wingate Anaerobic (WanT) (Meeuwsen et al. 2001), mediante un test incremental de potencia, en el cual cada 3min se elevaban 40 vatios de potencia (Czuba et al. 2011 y Czuba et al. 2018) y a través de un test de umbrales lácticos, incrementando 50 vatios cada 5min (Ramos-Campo et al. 2016). Por nuestra parte, hemos obtenido estos resultados gracias a la plataforma TrainingPeaks, que muestra los mejores datos de potencia en cada uno de los tiempos, analizando todos los entrenamientos y extrayendo el dato concreto, es decir, no hemos realizado ningún test.

Por otro lado, Roels et al. 2007, no encontró diferencias significativas entre el grupo control y el grupo que realizó IHT, ambos mejoraron a la par, por lo que concluyen que la hipoxia no fue determinante en los resultados, al realizar el mismo entrenamiento, fue este el que produjo las mejoras en la potencia.

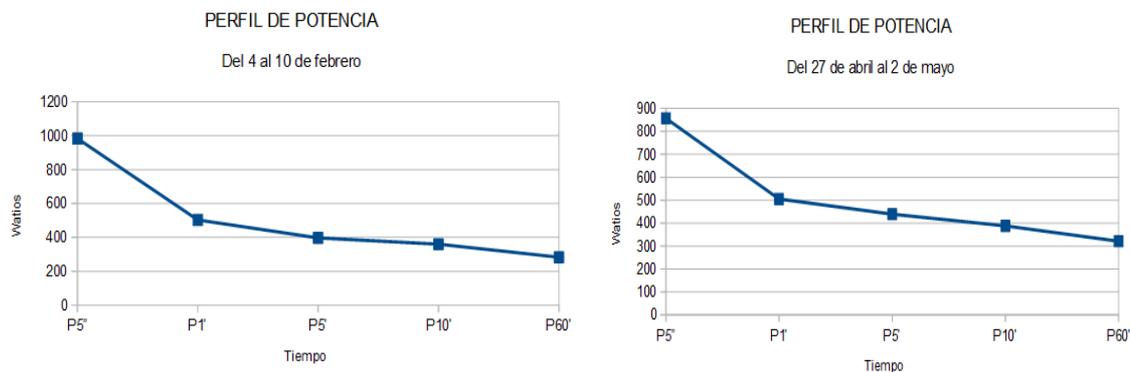


Fig. 14. Perfil de Potencia Pre-Protocolo y Post-Protocolo. Figura propia.

Las mejoras en la potencia no son solo a causa del protocolo de IHE+IHT, sino que en gran medida son fruto del entrenamiento realizado durante este periodo. Se puede ver el resumen de los entrenamientos en el apartado “ANEXOS”. Gracias a la hipoxia simulada, a diferencia del entrenamiento en altitud, se pueden seguir manteniendo las intensidades de entrenamiento habituales. En entrenamiento en altitud la primera semana es de aclimatación, lo que no permite realizar entrenamientos de calidad y además hay que tener en cuenta que por cada 1000 metros de altitud se reduce un 7% los vatios a los que hay que entrenar.

Variabilidad de la frecuencia cardíaca y frecuencia cardíaca basal

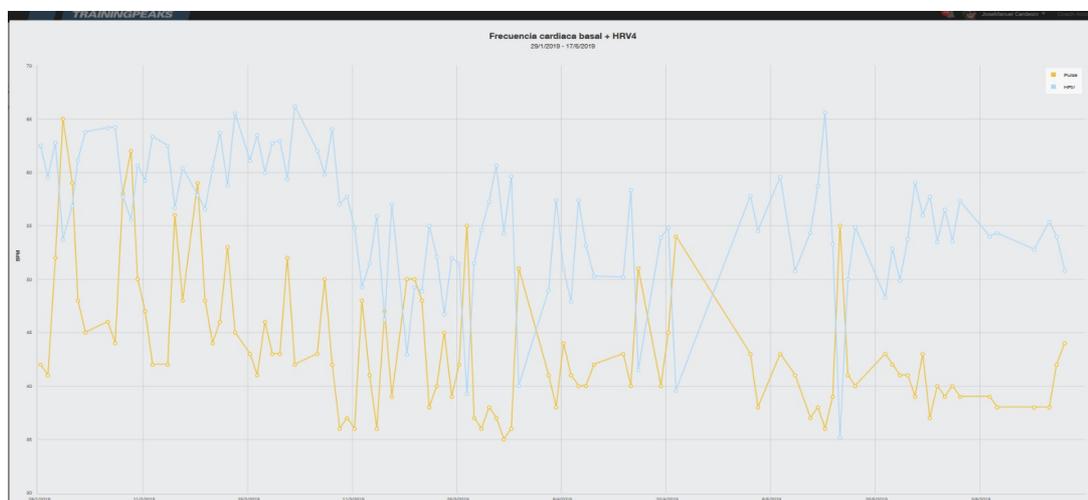


Fig. 15. Resultados de la HRV y la frecuencia cardíaca basal. Figura propia.

Mediante la aplicación HRV4Training hemos controlado la fatiga del ciclista. Por un lado a través de la frecuencia cardíaca basal, un dato muy importante tradicionalmente para los deportistas de resistencia que les permite conocer su estado de fatiga. Y por otro lado, la variabilidad de la frecuencia cardíaca, en este caso un método más novedoso pero muy útil tanto para el deportista como para el entrenador.

Es difícil afirmar la fatiga causada por este protocolo, ya que ha mantenido sus entrenamientos establecidos. Pero hay que destacar que en varios momentos de la intervención, la HRV nos advirtió de situaciones de fatiga. Por ejemplo, dos días antes de padecer una gastroenteritis, la aplicación dio valores propios de estar muy fatigado, por lo tanto anticipó esta situación. Tras este acontecimiento, en los días que daba valores que anunciaban fatiga el entrenador modificaba los entrenamientos o bien los eliminaba.

En la imagen se puede observar las modificaciones que sufrieron la HRV y la frecuencia basal durante el periodo que duró el protocolo.

En conclusión, el protocolo descrito en este trabajo ha producido mejoras tanto en los valores hematológicos como en la potencia generada por el ciclista. Se ha logrado el objetivo principal, evitar los valores hematológicos del año anterior. Al no ser una investigación no puedo afirmar que las mejoras sean exclusivamente por este protocolo, de hecho, estoy seguro que el entrenamiento general del ciclista ha producido en gran medida las mejoras en la potencia. En cuanto a los valores hematológicos se han mantenido en valores correctos durante el protocolo, por lo tanto, a pesar de la carga de entrenamientos se ha conseguido mantener al ciclista con valores adecuados para la competición, seguramente por el efecto del protocolo.

7-REFLEXIONES DEL PROYECTO DE INTERVENCIÓN

7.1-APRENDIZAJE

Mi conocimiento previo sobre este tema, la hipoxia, era prácticamente nulo, lo que me ha permitido realizar un proceso para conocer un nuevo tema desde “cero”, con todo lo que ello implica. El uso de las diferentes bases de datos, leer diversos libros o recurrir a profesionales de la materia, incluso apuntarme a un curso on-line. Las bases de datos como fuente de artículos ya las conocía, pero para la elaboración de este trabajo he profundizado en su conocimiento. También en referencia a los artículos, durante estos años de estudio en la universidad había leído diversos estudios, pero en este caso he aprendido a analizarlos y a comprenderlos, es decir, saber extraer lo importante y útil de cada una de las investigaciones leídas y posteriormente obtener un conocimiento general sobre la materia. También realizamos una conferencia con los fisiólogos de IAltitude para resolver dudas. Por otro lado, he aprendido a utilizar una metodología de trabajo, ya no solo para la elaboración de trabajos escritos, sino también en el campo práctico. Una frase que puede describir esta metodología es la siguiente: “Lo que se puede medir, se puede mejorar”. En referencia a esta frase puedo decir que he aprendido a medir antes, durante y después de la intervención, a analizar estas mediciones y obtener una evaluación. Lo que permite tener un conocimiento amplio respecto al trabajo realizado.

El ciclismo es un deporte muy conocido para mí, ya que he competido y lo he practicado durante muchos años. A pesar de esto, he aprendido mucho sobre él, en gran medida por mi implicación práctica en este trabajo. Las horas dedicadas me han servido para saber diseñar protocolos, saber las variables a controlar y analizar las respuestas. También conozco el funcionamiento de los aparatos para poder llevar a cabo este tipo de entrenamientos. Un aspecto negativo como es la rotura de un compresor durante este periodo, se convirtió en positivo al conocer el funcionamiento de estos aparatos y para en un futuro detectar posibles problemas y conocer su solución. Mi implicación con este trabajo ha ido más allá del reflejado en estas páginas. He realizado diversas actuaciones con el ciclista y el entrenador; estudios biomecánicos, con sus respectivos ajustes, entrenamientos preparatorios para competiciones, aprender el uso de la plataforma TrainingPeaks, incluso ir a ver la competiciones del ciclista y entrenar conjuntamente con él. Un aspecto al que le doy mucha importancia tras este periodo es el de atender con atención a las observaciones del ciclista, creo que a pesar de los datos objetivos, es importante conocer los aspectos subjetivos que nos comenta el deportista para tener una visión mas completa. Todo esto ha propiciado que sea un trabajo que me ha proporcionado un conocimiento general en materia de ciclismo.

Por último, destacar que es un trabajo que engloba diversos campos dentro del mundo de la actividad física. Desde la fisiología humana hasta las nuevas tecnologías, con el uso de compresores de hipoxia y plataformas y aplicaciones digitales, pasando por el entrenamiento enfocado al rendimiento y a la salud.

Agradecer profundamente al ciclista y al entrenador su implicación en este trabajo.

7.2-LIMITACIONES

LIMITACIONES	ASPECTOS FAVORABLES
<ul style="list-style-type: none"> -UN CAMBIO DE ORDENADOR -UN CAMBIO DE COMPRESOR -UN ERROR EN EL ORDENADOR -RESERVORIO INSERVIBLE PARA IHT -POCA BLBIOGRAFÍA SOBRE IHT -ESCASEZ DE PROTOCOLOS -NO PROTOCOLO POR PARTE DE IALITUDE 	<ul style="list-style-type: none"> -CONOCIMIENTO PREVIO DEL ENTRENADOR -CONSTANCIA DEL CICLISTA -EN UN FUTURO, POSIBILIDADES LABORALES

Tabla 10. Limitaciones y aspectos favorables. Elaboración propia.

Tanto al inicio como durante la intervención han ido surgiendo limitaciones que han dificultado el desarrollo de ésta, a pesar de ello hemos conseguido llevarla a cabo.

En primer lugar, a la hora de buscar información sobre el IHT concretamente hay muy poca bibliografía, para el tema de “entrenamiento en altura” sí que hay mucha información, y ha sido de mucha utilidad. El problema de esta situación es la escasez de protocolos, por lo que nos pusimos en contacto con la empresa IAltitude. Ellos nos propusieron un protocolo para la IHE, pero en el momento de empezar con el IHT tampoco nos supieron proponer uno concreto. Gracias a la experiencia previa del entrenador hemos podido desarrollar uno, el mismo que ya se llevó a cabo hace un año con otro ciclista y obteniendo buenos resultados.

Con el material también hemos tenido algunos problemas. Durante la primera semana de IHE el ordenador que transmite los datos a la empresa IAltitude se rompió, por esto tuvimos que recoger las primeras sesiones manualmente. Y en la semana del 8 de abril se estropeó el compresor, además el compresor de IAltitude no tiene el suficiente caudal, ni suficiente reservorio para el IHT que llevamos a cabo en esta intervención, por lo que utilizamos otro compresor para el IHT.

Hay que destacar la constancia del ciclista, ya que es un estrés añadido a su entrenamiento, y no solo fisiológico, sino también mental ya que tuvo que desplazarse hasta la Facultad para llevar a cabo este entrenamiento. Por otra parte ha sido de gran ayuda el conocimiento del entrenador y sus experiencias previas en este campo.

Otros aspectos que modificaría una vez finalizada esta intervención son: incluir la ferritina en las analíticas sanguíneas, analizar de manera antropológica al ciclista previamente y posteriormente y modificaría el protocolo, reduciendo sesiones de IHE y aumentando las de IHT. La ferritina no se midió en todas las analíticas, por este motivo no la incluyo en los resultados. Los datos antropológicos creo que hubieran sido interesantes, ya no solo por el trabajo, sino para el entrenamiento general del ciclista. Y por último, aumentaría las sesiones de IHT para obtener las mejoras periféricas previamente señaladas en detrimento de las mejoras a nivel central que ofrecen las sesiones de IHE.

7.3-APLICACIONES PRÁCTICAS PROPUESTAS

El entrenamiento en hipoxia intermitente nos ofrece amplio abanico de posibilidades, tanto en el campo del rendimiento deportivo como en el de la salud.

Tradicionalmente se ha utilizado en los deportes de resistencia, pero en la actualidad hay diversos estudios que apuntan hacia nuevos deportes. Por un lado, los deportes de equipo, por ejemplo, el fútbol o el baloncesto. El uso del entrenamiento en hipoxia en el fútbol competitivo de alto nivel podría ser beneficioso y positivo como método de mejora de rendimiento físico, no técnico-táctico (Álvarez-Herms, et al. 2013). También lo es en la recuperación de lesiones deportivas. Combinando hipoxia con plataformas vibratorias Urdampilleta et al. (2014) afirman que “este nuevo modelo de entrenamiento puede permitir mejoras la fuerza máxima y capacidad de recuperación ayudando en gran medida a no perder las cualidades condicionales”. Por otro lado, ha aparecido recientemente el concepto de entrenamiento interválico de máxima intensidad en hipoxia (EIMIH), que combina el estímulo de alta intensidad con el entrenamiento en hipoxia. Camacho-Cardenosa et al. (2016) concluye que esta nueva “dosis” sería suficiente para mejorar la resistencia ante sprints repetidos, sin embargo no sería suficiente para generar adaptaciones positivas ante diferentes tipos de saltos o en la potencia anaeróbica.

Respuestas adaptativas en pacientes

- **Reducción de la TA sistólica** (Serebrovskaya et al. Intermittent hypoxia: cause of or therapy for systemic hypertension? *Exp Biol Med* (2008))
- **Mejora función cardíaca y prevención de deterioro tejido muscular cardíaco** (Meerson et al. Adaptation to high altitude hypoxia as a factor preventing development of myocardial ischemic necrosis. *Am J Cardiol* (1973) 31(1):30-4.)
- **Prevención de enfermedad coronaria** (Burtcher et al. Intermittent hypoxia increases exercise tolerance in elderly men with and without coronary artery disease. *Int J Cardiol* (2004) 96(2):247-54.)
- **Prevención de accidentes cerebrovasculares** (Hougaard et al. Remote ischemic preconditioning as an adjunct therapy to thrombolysis in patients with acute ischemic stroke: a randomized trial. *Stroke* (2014) 45(1):159-67.)
- **Mejora en pacientes con apnea del sueño** (Rowley et al. The influence of episodic hypoxia on upper airway collapsibility in subjects with obstructive sleep apnea. *J Appl Physiol* (2007) 103(3):911-5.)
- **EPOC** (Haider et al. Interval hypoxic training improves autonomic cardiovascular and respiratory control in patients with mild chronic obstructive pulmonary disease. *J Hypertens* (2009) 27(8):1648-54.)
- **Obesidad y diabetes** (Urdampilleta et al. Usefulness of combining intermittent hypoxia and physical exercise in the treatment of obesity. *J Physiol Biochem* (2012) 68(2):289-304.)
(Mackenzie et al. The effect of hypoxia and work intensity on insulin resistance in type 2 diabetes. *J Clin Endocrinol Metab* (2012) 97(1):155-62)

Verges et al. Hypoxic conditioning as a new therapeutic modality. *Frontiers*. 2015

Dr. Jesús Álvarez-Herms
@jesusah80
jesusah80@gmail.com

Fig. 16. Oportunidades en el campo de la salud. Verges et al. 2015.

En el campo de la salud también aparecen mejoras recogidas en la imagen de Verges et al. (2015). Como se puede observar son muchas en las patologías en las que se obtienen mejoras con la utilización de la hipoxia intermitente. La reducción de la tensión arterial sistólica, mejora de la función cardíaca y prevención del deterioro del tejido muscular cardíaco, prevención de enfermedad coronaria, prevención de accidentes cerebrovasculares, mejora en pacientes con apnea del sueño, EPOC, obesidad y diabetes.

8-COMPETENCIAS

Análisis de competencias necesarias para la elaboración del Trabajo de Fin de Grado:

A19 Planificar, desarrollar, controlar y evaluar técnica y científicamente el proceso de entrenamiento deportivo en sus distintos niveles y en las diferentes etapas de la vida deportiva, de equipos con miras a la competición, teniendo en cuenta las diferencias biológicas entre hombres y mujeres y la influencia de la cultura de género en la actuación del entrenador y en los deportistas.

Esta competencia la he adquirido en asignaturas como Teoría y Práctica del Entrenamiento, Fisiología del Ejercicio II, Metodología de la Investigación en Actividad Física y Deporte y Prácticum. El TFG me ha permitido planificar, controlar y evaluar el protocolo de entrenamiento. Gracias a estas asignaturas ha sido más fácil su desarrollo.

A23 Evaluar técnica y científicamente la condición física y prescribir ejercicios físicos en los ámbitos de la salud, el deporte escolar, la recreación y el rendimiento deportivo, considerando las diferencias biológicas por edad y género.

Esta competencia la he adquirido en asignaturas como Anatomía y Cinesiología del Movimiento Humano, Teoría y Práctica del Entrenamiento e Metodología de la Investigación en Actividad Física y Deporte. En el TFG ha sido muy importante evaluar los efectos que ha tenido este protocolo y prescribir ejercicios individualizados al sujeto de la intervención.

A27 Aplicar los principios cinesiológicos, fisiológicos, biomecánicos, comportamentales y sociales en los contextos educativo, recreativo, de la actividad física y salud y del entrenamiento deportivo, reconociendo las diferencias biológicas entre hombres y mujeres y la influencia de la cultura de género en los hábitos de vida de los participantes.

Esta competencia la he adquirido en asignaturas como Anatomía y Cinesiología del Movimiento Humano, Biomecánica del Movimiento Humano, Fisiología del Ejercicio II y Prácticum. Ha sido muy importante aplicar estos principios a la hora de desarrollar el TFG. La asignatura Prácticum ha sido de gran ayuda para adquirirla y ponerla en práctica en este trabajo.

A28 Realizar e interpretar pruebas de valoración funcional en los ámbitos de la actividad física saludables y del rendimiento deportivo.

Esta competencia la he adquirido en Fisiología del Ejercicio II y en Actividad Física y Calidad de Vida II. En ambas se realizaron muchas horas prácticas en las cuales adquirí esta competencia. En el caso del TFG, al ser del ámbito del rendimiento, la asignatura

Fisiología del Ejercicio II ha sido de mayor ayuda.

Conocer y saber aplicar las nuevas tecnologías de la información y la imagen, A36 tanto en las ciencias de la actividad física y del deporte, como en el ejercicio profesional.

Esta competencia la he adquirido en las asignaturas Tecnología en Actividad Física y Deporte y Actividad Física y Calidad de Vida II. Y la he desarrollado con más profundidad durante el TFG al usar aplicaciones como HRV4TRAINING y TrainingPeaks.

B1 Conocer y poseer la metodología y estrategia necesaria para el aprendizaje en las ciencias de la actividad física y del deporte.

Esta competencia la he adquirido durante los cuatro cursos del grado en sus diferentes asignaturas, y las he puesto en práctica en el Prácticum y el TFG. Creo que es muy importante adquirir esta metodología para diferenciarnos de otros estudiantes que no cursan este grado.

B4 Trabajar de forma colaboradora, desarrollando habilidades, de liderazgo, relación interpersonal y trabajo en equipo.

Esta competencia la he adquirido durante los cuatro cursos del grado en sus diferentes asignaturas, y las he puesto en práctica en el Prácticum y el TFG. Durante las sesiones he compartido muchos momentos de trabajo con el entrenador y el ciclista, es decir, hemos colaborado entre los tres.

B8 Desarrollar hábitos de excelencia y calidad en los diferentes ámbitos del ejercicio profesional.

Esta competencia la he adquirido durante los cuatro cursos del grado en sus diferentes asignaturas, y las he puesto en práctica en el Prácticum y el TFG. El entrenador me ha dado muchas indicaciones y consejos para adquirir unos hábitos y una metodología acorde al grado estudiado. En un futuro hay que mantenerlos y mejorarlos.

Comprender la literatura científica del ámbito de la actividad física y el deporte en lengua inglesa y en otras lenguas de presencia significativa en el ámbito científico.

Esta competencia la he adquirido en asignaturas como Metodología de la Investigación de la Actividad Física y Deporte y Teoría y Práctica del Entrenamiento. Para poder realizar el marco teórico y la revisión bibliográfica ha sido de gran utilidad lo aprendido en estas asignaturas. Durante el TFG he profundizado en la lectura y comprensión de la literatura científica. Además que en mi caso, el tema era muy novedoso por lo que al principio fue un poco complicado la comprensión de algunas investigaciones.

B10 Saber aplicar las tecnologías de la información y comunicación (TIC) al ámbito de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.

Esta competencia la he adquirido en las asignaturas Tecnología en Actividad Física y Deporte y Actividad Física y Calidad de Vida II. Y la he desarrollado con más profundidad durante el TFG al usar aplicaciones como HRV4TRAINING y TrainingPeaks.

B19 Ejercer la profesión con responsabilidad, respeto y compromiso.

Esta competencia la he adquirido durante los cuatro cursos del grado en sus diferentes asignaturas, y las he puesto en práctica en el Prácticum y el TFG. Las horas dedicadas al Prácticum fueron muy productivas para desarrollar estas cualidades, además el tutor profesional estuvo muy atento a la hora de darme consejos al igual que el entrenador del ciclista durante las sesiones de hipoxia.

**Conocer, reflexionar y adquirir hábitos y destrezas para el aprendizaje autónomo y el trabajo en equipo a partir de las prácticas externas en alguno
B20 de los principales ámbitos de integración laboral, en relación a las competencias adquiridas en el grado que se verán reflejadas en el trabajo fin de grado.**

Esta competencia la he adquirido en el Prácticum y en el TFG. El desarrollo del TFG ha sido como realizar otras prácticas, ya que he ido a todas las sesiones de entrenamiento y he interactuado con el ciclista y el entrenador.

**Utilizar las herramientas básicas de las tecnologías de la información y las
C3 comunicaciones (TIC) necesarias para el ejercicio de su profesión y para el aprendizaje a lo largo de su vida.**

Esta competencia la he adquirido en las asignaturas Tecnología en Actividad Física y Deporte y Actividad Física y Calidad de Vida II. Y la he desarrollado con más profundidad durante el TFG al usar aplicaciones como HRV4TRAINING y TrainingPeaks.

C8 Valorar la importancia que tiene la investigación, la innovación y el desarrollo tecnológico en el avance socioeconómico y cultural de la sociedad.

Esta competencia la he adquirido por completo durante el TFG. He tomado conciencia de la importancia de las investigaciones para el desarrollo de la mejora del deporte, tras la lectura de diversas investigaciones y la evolución que provocan tanto en la actividad física como en el deporte.

9-BIBLIOGRAFÍA

- Allen, H. y Coggan, A. (2014). *Entrenar y correr con potenciómetro*. Barcelona: Editorial Paidotribo.
- Álvarez-Herms, J., Julià-Sánchez, S., Urdampilleta, A., Corbi, F. y Viscor, G. (2013). Potenciales aplicaciones del entrenamiento de hipoxia en el fútbol. *Apunts Medicina de l'Esport*, 48 (179): 103-108.
- Álvarez-Herms, J. (2014). Potenciales aplicaciones de la hipoxia intermitente: individualización del entrenamiento anaeróbico. *Tesis Doctoral*. Universidad de Barcelona.
- Álvarez-Herms, J., Julià-Sánchez, S., Corbi, F., Odriozola-Martínez, A. y Burtscher, M. (2019). Putative Role of Respiratory Muscle Training to Improve Endurance Performance in Hypoxia: A Review. *Frontiers in Physiology*, vol 9, art 1970.
- Bassovitch, O. y Serebrovskaya, T. V. (2013). Equipment and regimes for intermittent hypoxia therapy. *Author's Proof*, 25, 31-34.
- Camacho-Cardenosa, A., Camacho-Cardenosa, M., Martínez, I., Brazo-Sayavera, J., Timon, R., y Olcina, G. (2016). Una alternativa específica de trabajo en hipoxia orientada a esfuerzos intermitentes: Entrenamiento interválico de máxima intensidad en hipoxia (EIMIH). *Kronos*, 15 (1).
- Clark, S. A., Bourdon, P. C., Schmit, W., Singh, B., Cable, G. y Onus, K. J. (2007). The effect of acute simulated moderate altitude on power, performance and pacing strategies in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol*, 102, 45-55.
- Czuba, M., Waskiewicz, Z., Zajac, A., Poprzecki, S., Cholewa, J. y Roczniok, R. (2011). The effects of intermittent hypoxic training on aerobic capacity and endurance performance in cyclists. *Journal os Sports Science and Medicine*, 10, 175-183.
- Czuba, M., Fidos-Czuba, O., Ploszczyca, K., Zajac, A. y Langfort, J. (2018). Comparison of the effect of intermittent hypoxic training vs. the live high, train low strategy on aerobic capacity and sports performance in cyclists in normoxia. *Biol. Sport*. 35, 39-48
- Geiser, J., Vogt, M., Billeter, R., Zuleger, C., Belforti, F. y Hoppeler, H. (2001). Training High-Living Low: Changes of Aerobic Performance and Muscle Structure with Training at Simulated Altitude. *Journal os Sports Science and Medicine*, 22, 579-585.
- Hamlin, M. J., Marshall, H. C., Hellemans, J., Ainslie, P. N. y Anglem, N. (2010). Effect of intermittent hypoxic training on 20 km time trial and 30 s anaerobic performance. *Journal os Sports Science and Medicine*, 20, 651-661.
- Jeffries, O., Patterson, S. D. y Waldron, M. (2019). The effect of severe and moderate

hypoxia on exercise at a fixed level of perceived exertion. *European Journal of Applied Physiology*, 119, 1213-1224.

-Levine, B. y Stray-Gundersen, J. (1997). "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of Applied Physiology*, 83, 102-112.

-Levine, B. D. (2002). Intermittent Hypoxic Training: Fact and Fancy. *High Altitude Medicine & Biology*, 3(2), 177-193.

-Meeuwssen, T., Hendriksen, I. J. M. y Holewijn, M. (2001). Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol*, 84, 283-290.

-Millet, G. P., Roels, B., Scmitt, L., Woorons, X., y Richalet, J. P. (2010). Combining Hypoxic Methods for Peak Performance. *Sports Medicine*, 40, 1-25.

-Navarrete-Opazo, A. y Mitchell, G. S. (2014). Therapeutic potential of intermittent hypoxia: a matter of dose. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 37, 1181-97.

-Oliveira, A. L. M., Rohan, P. A., Rodrigues, T. y Da Silva, P. P. (2017). Effects of Hypoxia on Heart Rate Variability in Healthy Individuals: A Systematic Review. *International Journal of Cardiovascular Sciences*, 30, 251-261.

-Park, H., Hwang, H., Park, J., Lee, S. y Lim, K. (2016). The effects of altitude/hypoxic training on oxygen delivery capacity of the blood and aerobic exercise capacity in elite athletes – a meta-analysis. *J Exerc Nutrition Biochem*, 20, 15-22.

-Ramos-Campo, D. J., Martínez, F., Esteban, P., Rubio-Arias, J., Clemente, V. J., Mendizabal, S. y Jiménez J. F. (2011). Modificaciones hematológicas producidas por un programa de exposición a hipoxia intermitente de ocho semanas de duración en ciclistas / Hematological changes produced by eight weeks of intermittent hypoxia exposure program in cyclist. *Archivos de Medicina del Deporte*, 145, 319-330.

-Ramos-Campo, D. J., Martínez, F., Esteban, P., Rubio-Arias, J. A. y Jiménez, J. F. (2016). Entrenamiento en hipoxia intermitente y rendimiento ciclista en triatletas / Intermittent Hypoxic Training and Cycling Performance in Triathletes. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 66, 139-156.

-Reiriz, J. (2010). *Composición de la sangre*. Recuperado de: <https://www.infermeravirtual.com/files/media/file/102/Sangre.pdf?1358605574>

-Rodríguez, F. A., Casas, H., Casas, M., Pagés, T., Rama, R., Ricart, A., Ventura, J. L., Ibáñez, J., y Viscor, G. (1999). Intermittent hypobaric hypoxia stimulates erythropoiesis and improves aerobic capacity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31:2, 264-268.

-Roels, B., Bentley, D. J., Coste, O., Mercier, J. Y Millet G. P. (2001). Effects of

intermittent hypoxic training on cycling performance in well-trained athletes. *Eur J Appl Physiol*, 101, 359-368.

-Sales, A. T., Fregonezi, G. A., Ramsook, A. H., Guenette, J. A., Lima, I. N. y Reid, W. D. (2016). Respiratory muscle endurance after training in athletes and non-athletes: A systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport*, 76-86.

-Sánchez, A. M. J., y Borrani, F. (2018). Effects of intermittent hypoxic training performed at high hypoxia level on exercise performance in highly trained runners. *Journal of Sports Sciences*, 36:18, 2045-2052.

-Schmitt, L., Regnard, J., & Millet, G. P. (2015). Monitoring Fatigue Status with HRV Measures in Elite Athletes: An Avenue Beyond RMSSD? *Frontiers in Physiology*, 73, 246–243.

-Stray-Gundersen, J., Chapman, R. F. y Levine, B. D. (2001). "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *Journal of Applied Physiology*, 91, 1113-20.

-Terrados, N., Melichna, J., Sylvén, C., Jansson, E. y Keijsers, L. (1988). Effects of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. *Eur J Appl Physiol*, 57, 203-209.

-Urdampilleta, A., Álvarez-Herms, J., Martínez Sanz, J.M., Corbi, F. y Roche, E. (2014). Readaptación física en futbolistas mediante vibraciones mecánicas e hipoxia / Physical rehabilitation in football by mechanical vibration and hypoxia. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 14 (53): 119-134.

-Urdampilleta, A. (2015). *Fisiología de la hipoxia y entrenamientos en altitud. Guía teórico-práctica para realizar entrenamientos en altura e hipoxia en deportistas*. Oiartzun: ElikaEsport Editorial.

-Urdampilleta, A. (2015). Eficacia de un programa de entrenamiento interválico de fuerza resistencia en hipoxia intermitente combinado a un plan dietético-nutricional en la preparación integral de alpinistas: Efectos en los parámetros físico-fisiológicos, bioquímicos, hematológicos, rendimiento deportivo y prevención del mal agudo de montaña. *Tesis doctoral*. Universidad de Elche.

-Verges, S., Chacaroun, S., Godin-Ribuot, D. y Baillieux, S. (2015). Hypoxic Conditioning as a new Therapeutic Modality. *Front Pediatr*, 3 (58).

-Wilber, R., L. (2001). Current Trends in Altitude Training. *Sports Medicine*, 31, 249-265.

10- ANEXOS

10.1-Entrenamientos realizados durante el periodo de duración del protocolo.

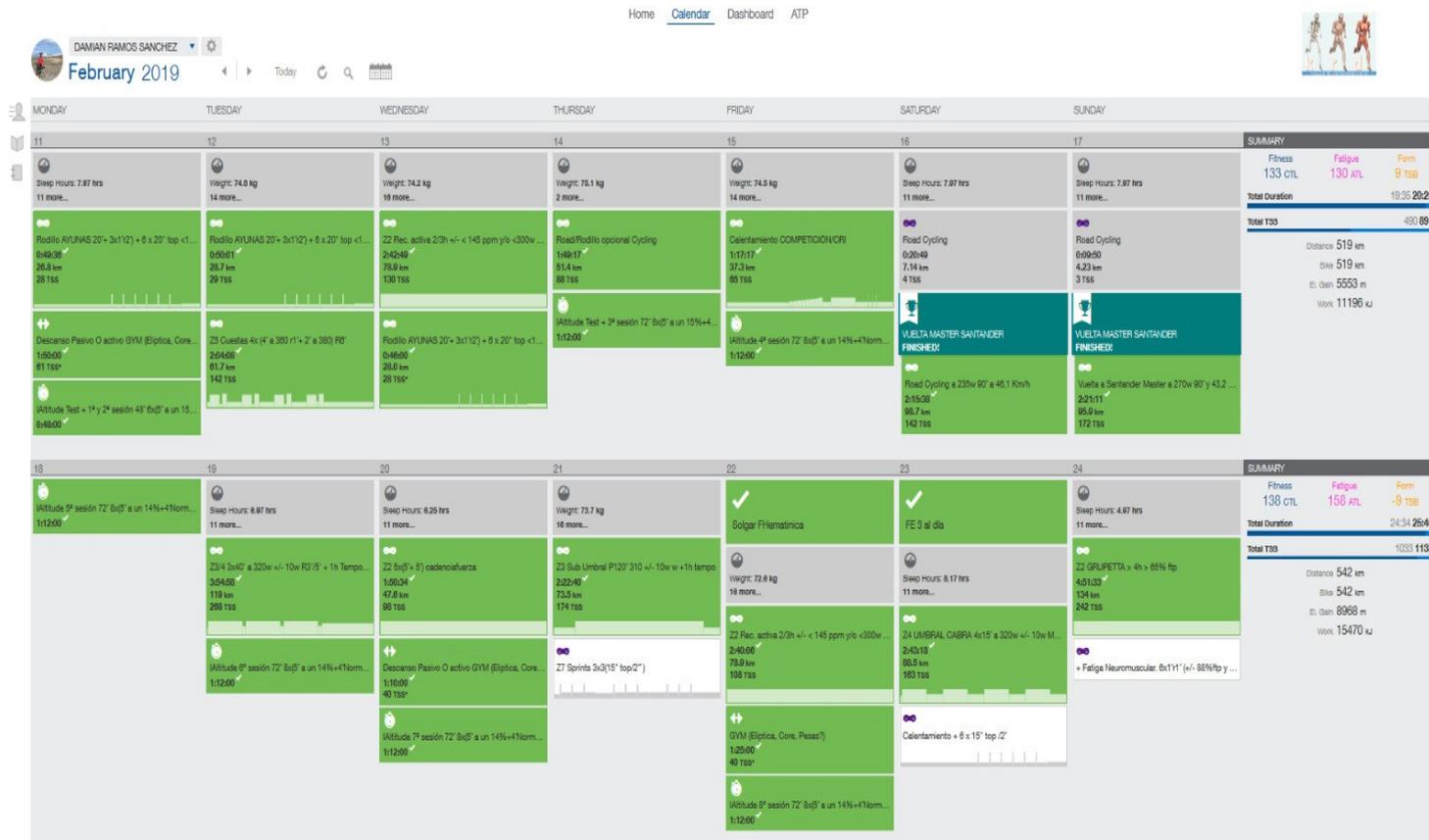


Fig. 17. Entrenamientos 1. Figura propia.

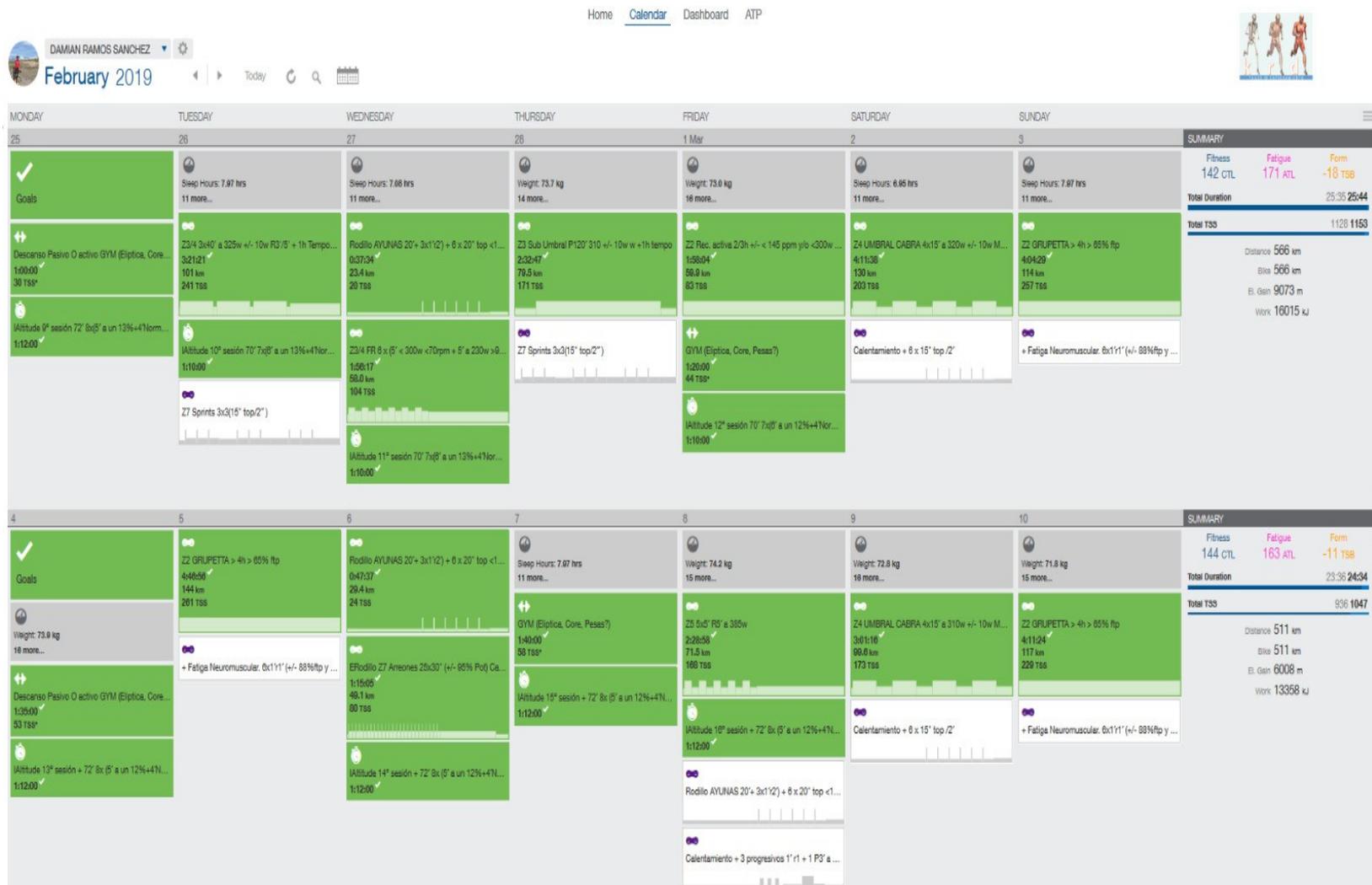


Fig. 18. Entrenamientos 2. Figura propia.

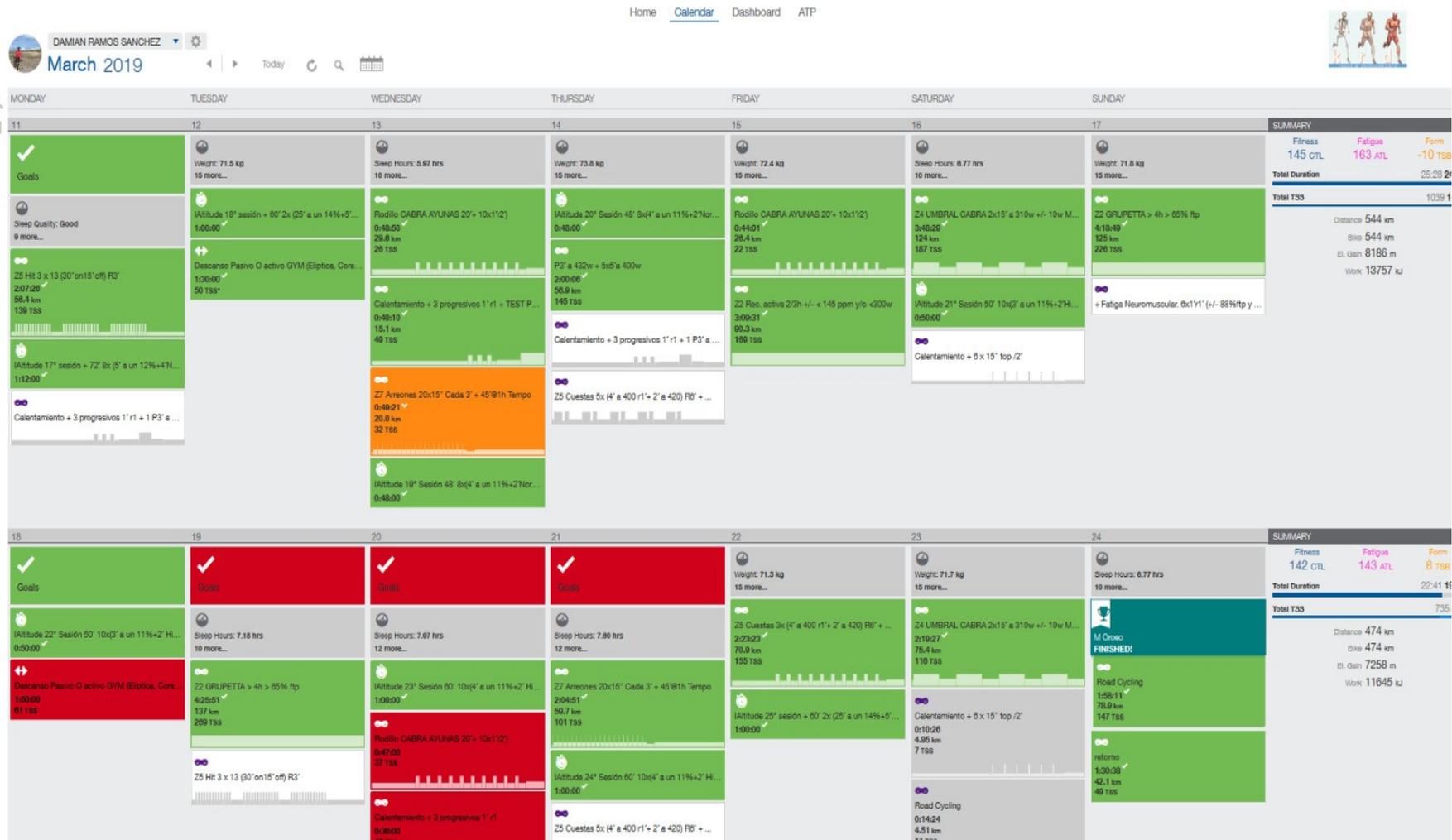


Fig. 19. Entrenamientos 3. Figura propia.

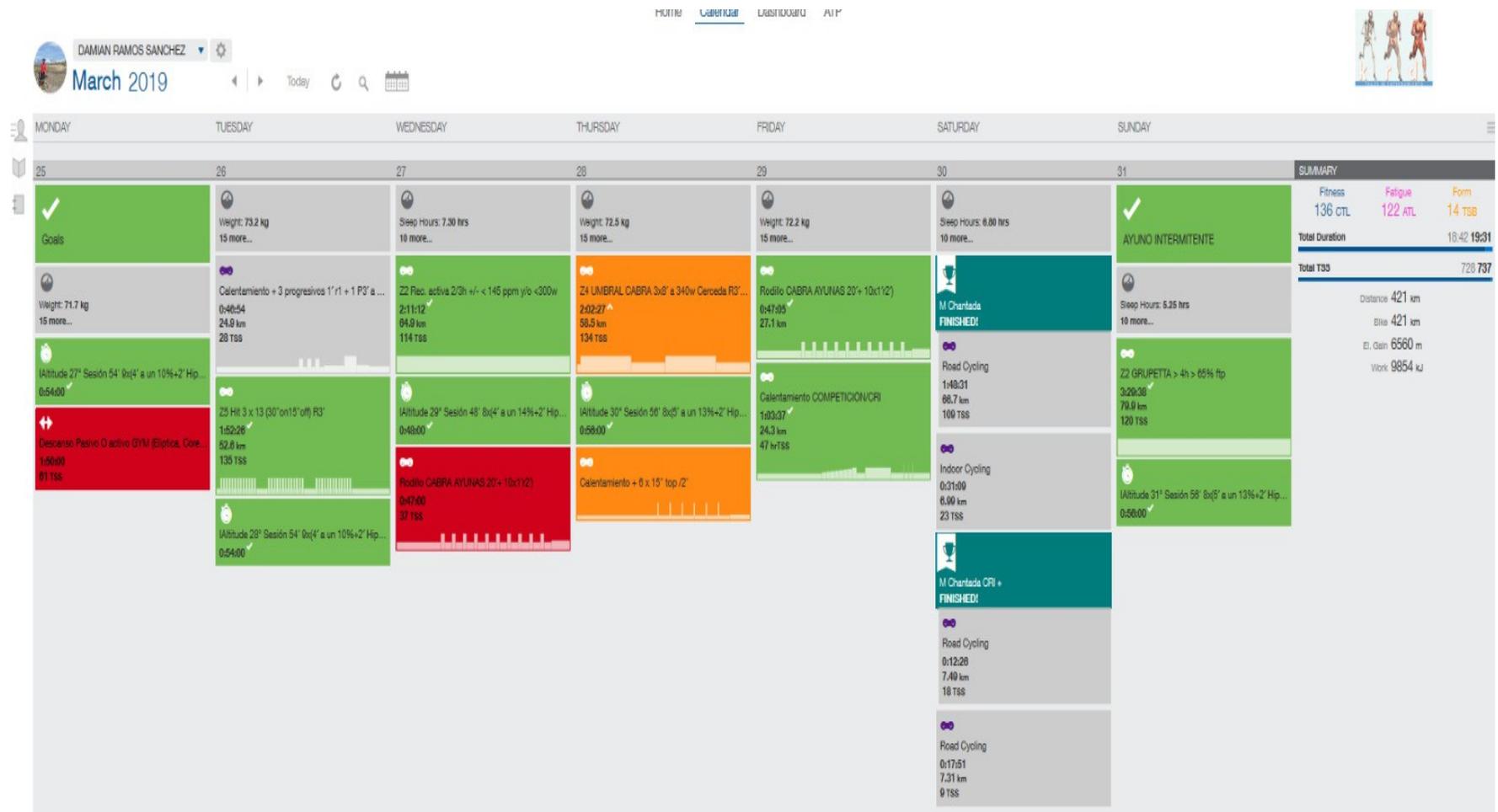


Fig. 20. Entrenamientos 4. Figura propia.

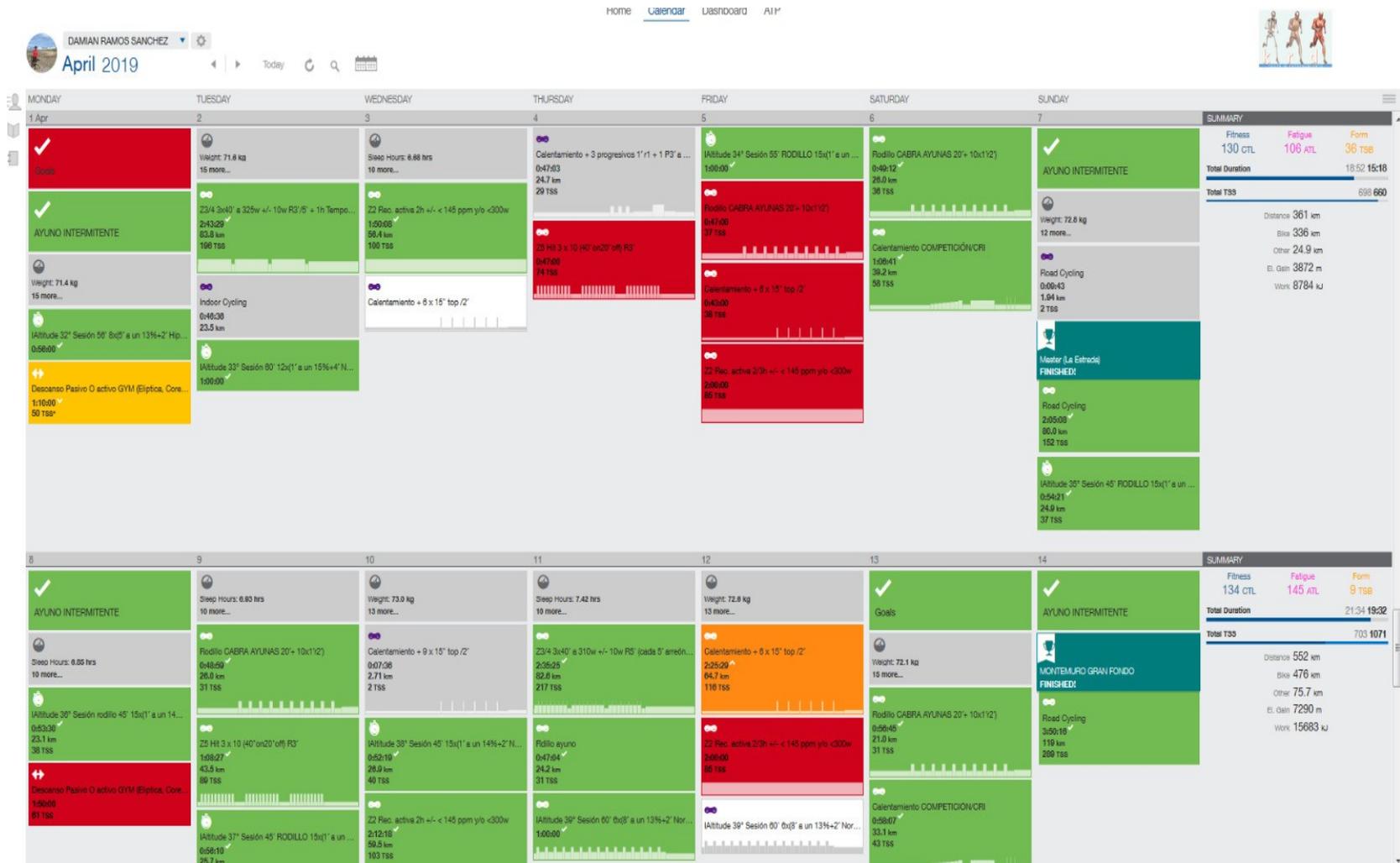


Fig. 21. Entrenamientos 5. Figura propia.

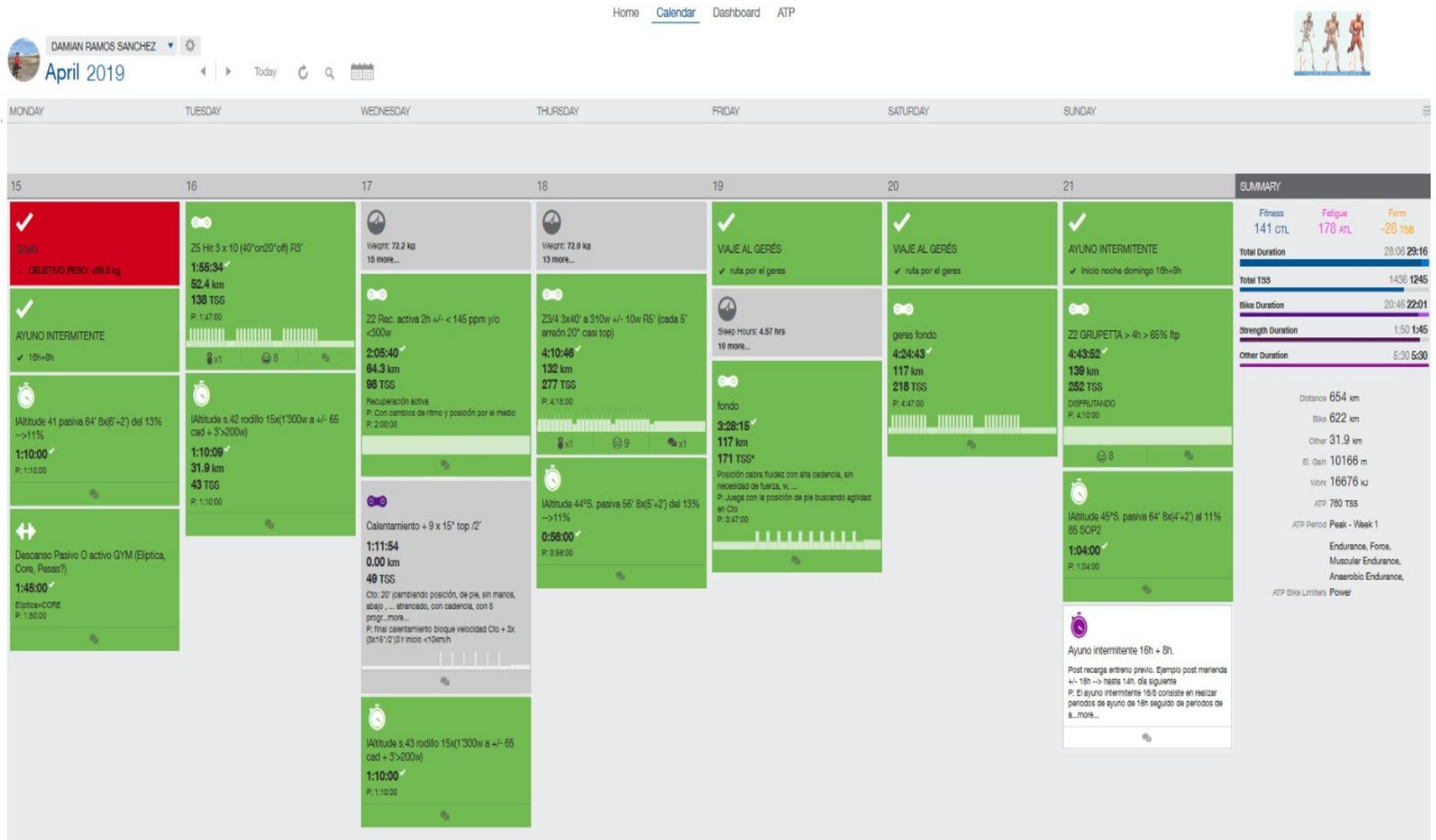


Fig. 22. Entrenamientos 6. Figura propia.

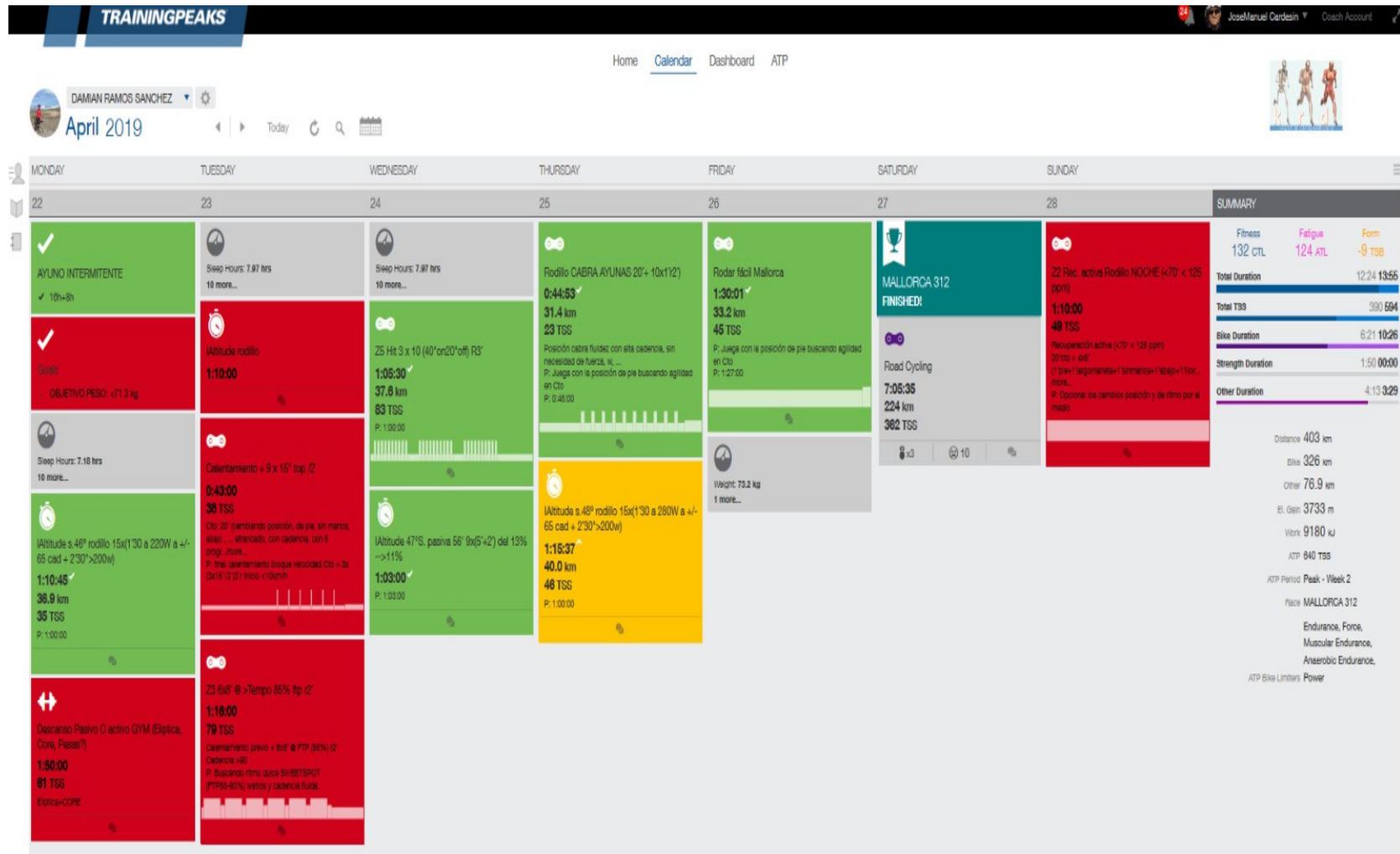


Fig. 23. Entrenamientos 7. Figura propia.

10.2-Programa de entrenamiento de IMT.

= RODILLO

PLAN DE ENTRENAMIENTO RESPIRATORIO AVANZADO.

Semana 1	30/01 2,0	31/01 2,0	01/02	02/02	03/02	04/02	05/02
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	P.M 2,0	P.M 4,0	P.M	P.M	P.M 4,0	P.M	P.M
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Semana 2	09/02	19	21/02	23/02	25/02	27/02 6,0	28/02 6,5
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	P.M	P.M	P.M	P.M	P.M	P.M 6,0	P.M 6,5
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Semana 3	01/03 3,0	02/03 7,5	03/03 6,5	04/03	05/03	06/03	07/03
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	P.M 6,5	P.M 6,5	P.M 7,0	P.M	P.M	P.M	P.M
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Semana 4	08/03	09/03	10/03	11/03	12/03	13/03	14/03
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Semana 5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Semana 6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Entrenamiento estándar 2x30 Inspiraciones. Comenzar con 50% de 1 Inspiración máxima
Entrenamiento estándar 2x30 Inspiraciones. Aumentar intensidad
1x10x Inspiraciones. Nivel Intensidad Inicial (calentamiento)
•
1x10x Inspiraciones. Máxima intensidad para 10 Inspiraciones
•
1x10 Inspiraciones. Reducir Intensidad
3x10 Inspiraciones. Rec: 1'. Máxima intensidad para 10 reps
Máximo n° de Inspiraciones. Reducir Intensidad Estándar (compatible con trabajo dinámico en ejercicio)
Día de Descanso

Fig. 24. Entrenamientos de IMT. Figura propia.

10.3- Sesiones protocolo de hipoxia.



Fig. 25. Sesión 4. Elaboración propia.



Fig. 26. Sesión 5. Elaboración propia.



Fig. 27. Sesión 6. Elaboración propia.



Fig. 28. Sesión 7. Elaboración propia.



Fig. 29. Sesión 8. Elaboración propia.



Fig. 30. Sesión 9. Elaboración propia.



Fig. 31. Sesión 10. Elaboración propia.

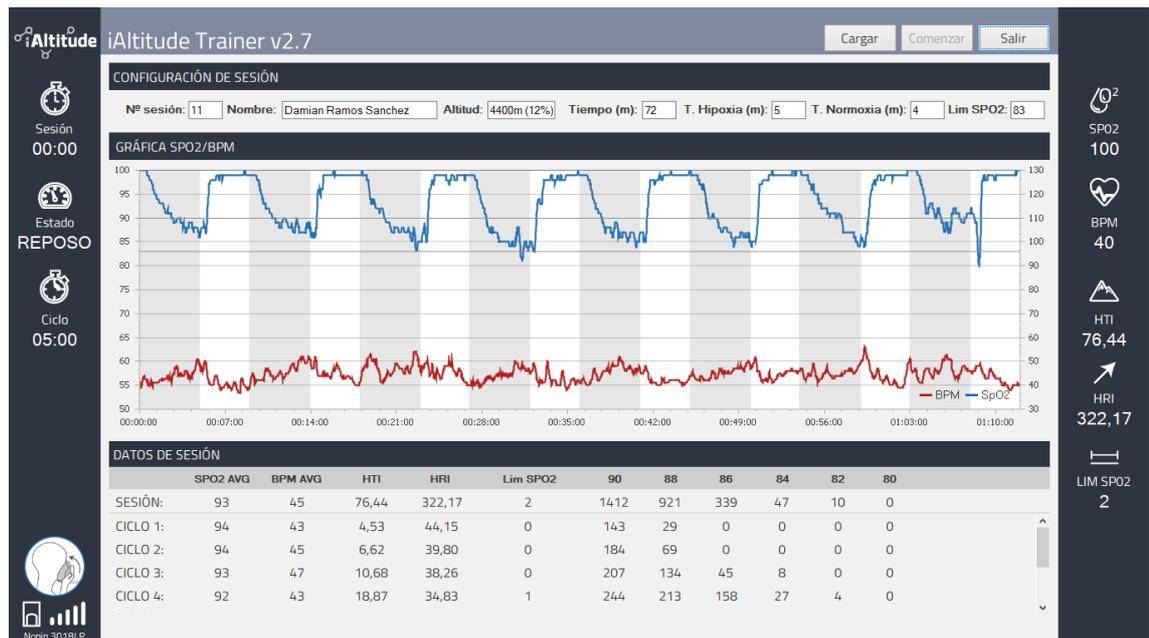


Fig. 32. Sesión 11. Elaboración propia.

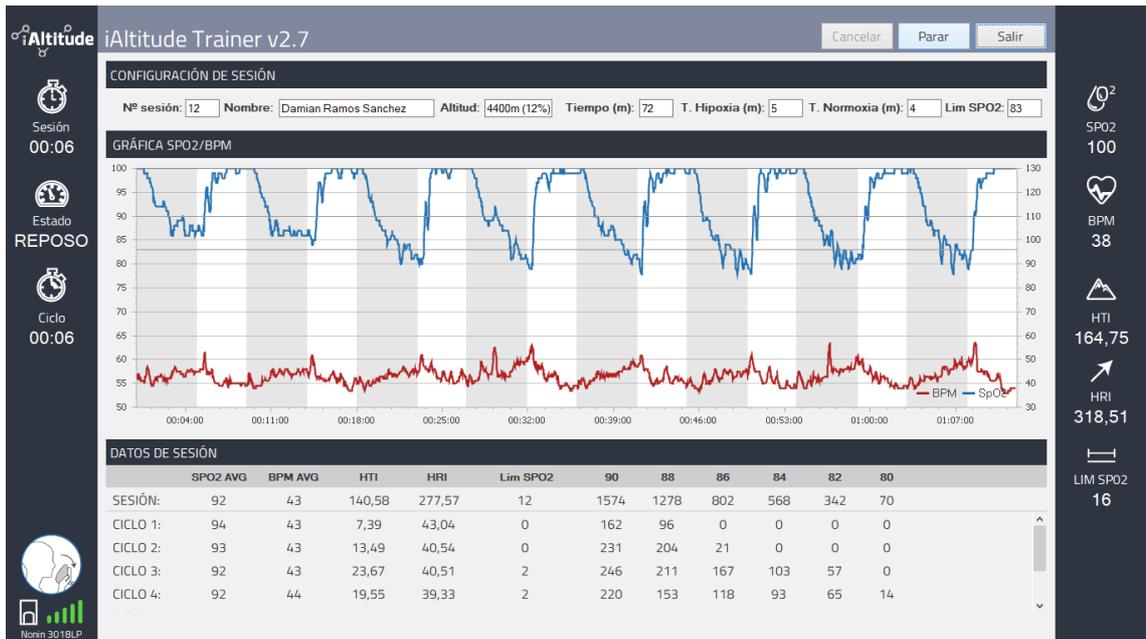


Fig. 33. Sesión 12. Elaboración propia.

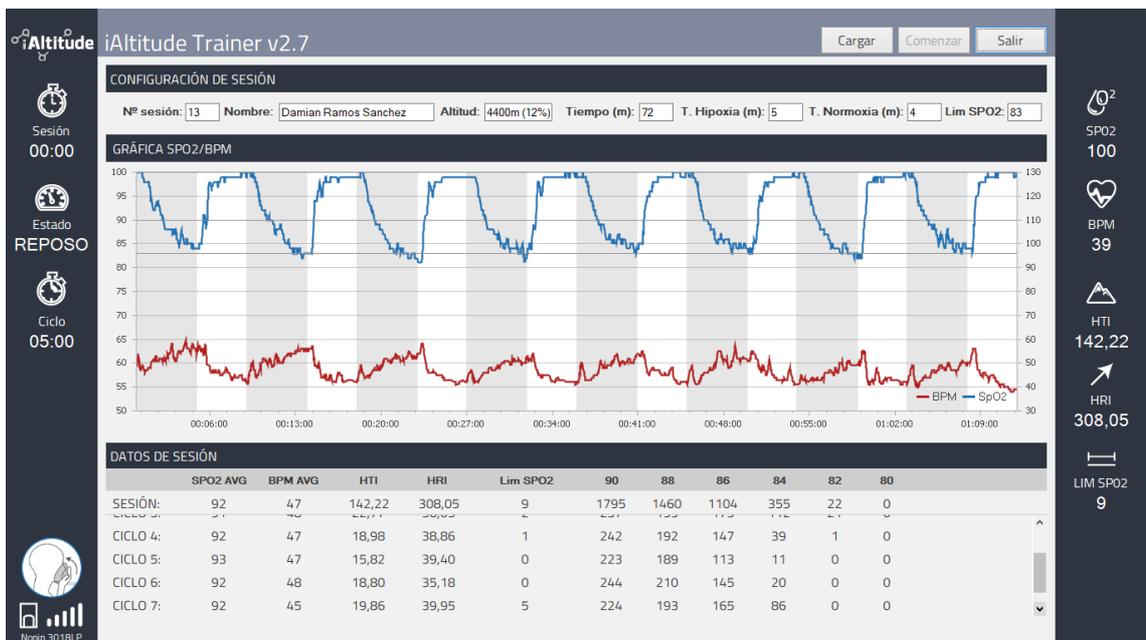


Fig. 34. Sesión 13. Elaboración propia.



Fig. 35. Sesión 14. Elaboración propia.



Fig. 36. Sesión 15. Elaboración propia.



Fig. 37. Sesión 16. Elaboración propia.



Fig. 38. Sesión 17. Elaboración propia.



Fig. 39. Sesión 18. Elaboración propia.



Fig. 40. Sesión 19. Elaboración propia.



Fig. 41. Sesión 20. Elaboración propia.



Fig. 42. Sesión 21. Elaboración propia.



Fig. 43. Sesión 22. Elaboración propia.



Fig. 44. Sesión 23. Elaboración propia.



Fig. 45. Sesión 24. Elaboración propia.



Fig. 46. Sesión 25. Elaboración propia.



Fig. 47. Sesión 26. Elaboración propia.

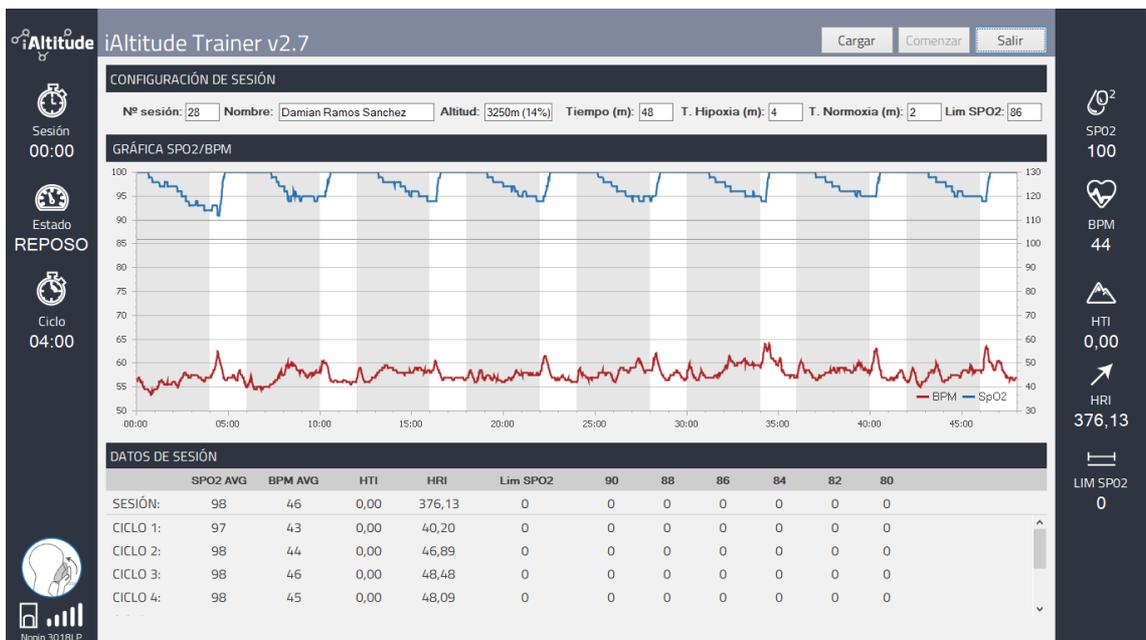


Fig. 48. Sesión 27. Elaboración propia.



Fig. 49. Sesión 28. Elaboración propia.



Fig. 50. Sesión 29. Elaboración propia.



Fig. 51. Sesión 30. Elaboración propia.

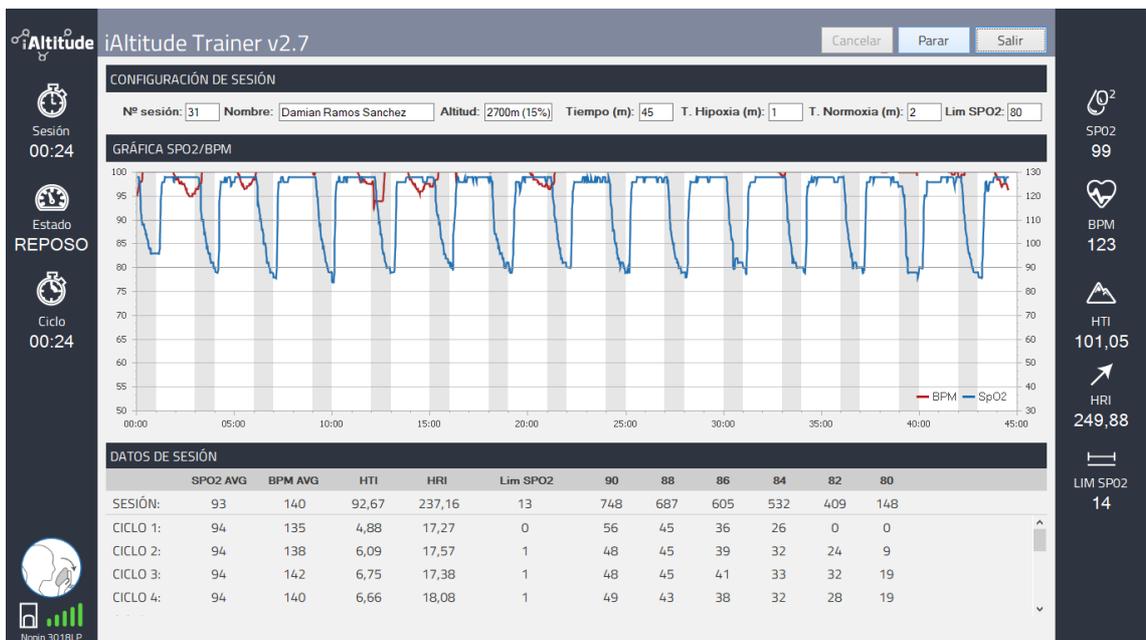


Fig. 52. Sesión 31. Elaboración propia.

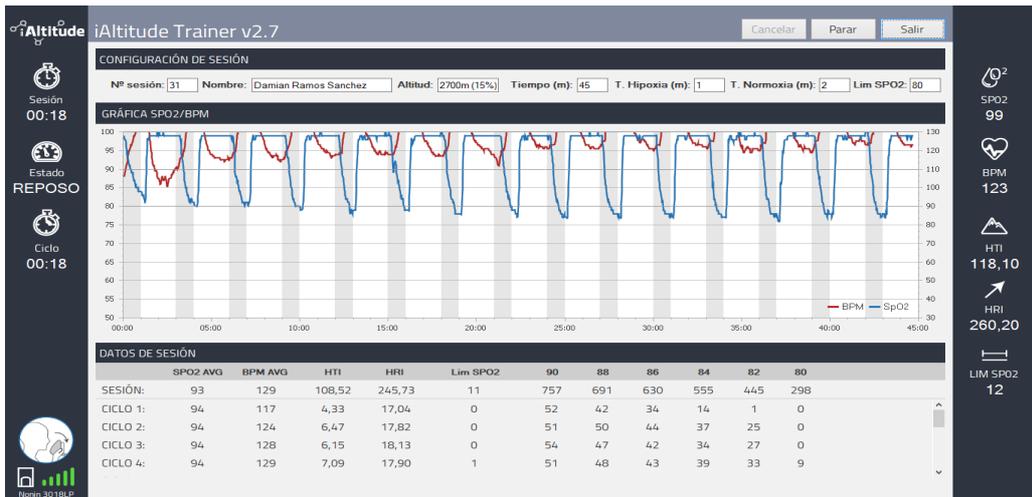


Fig. 53. Sesión 32. Elaboración propia.

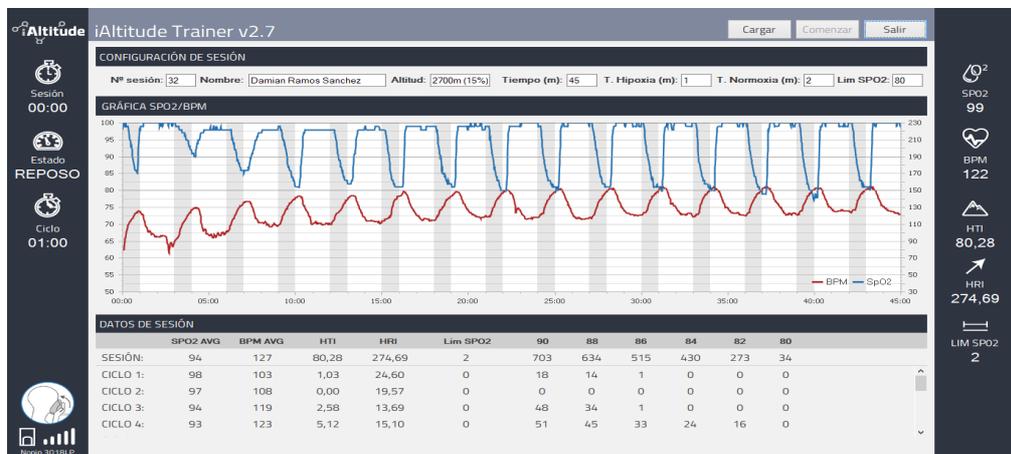


Fig. 54. Sesión 33. Elaboración propia.



Fig. 55. Sesión 34. Elaboración propia.

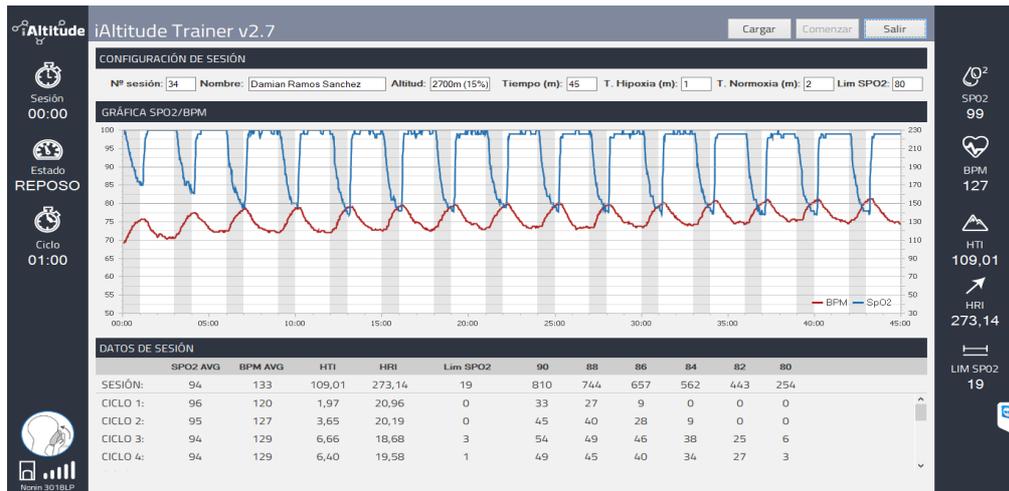


Fig. 56. Sesión 35. Elaboración propia.



Fig. 57. Sesión 36. Elaboración propia.

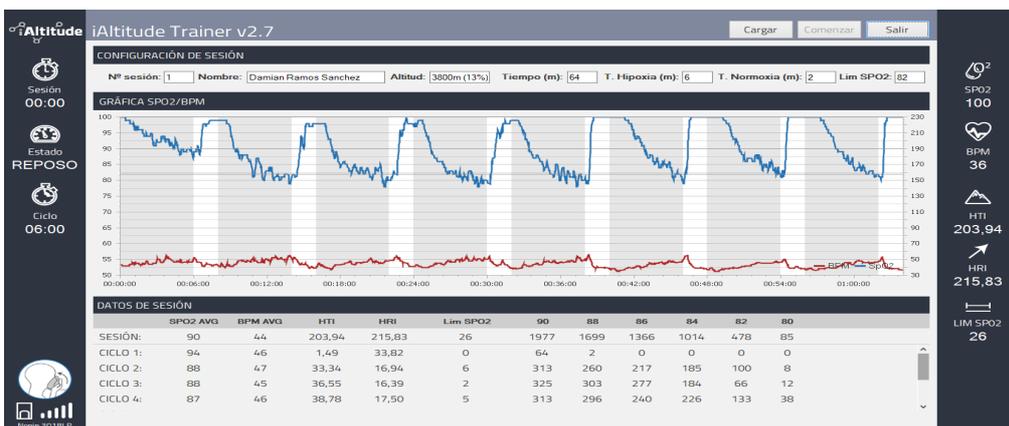


Fig. 58. Sesión 37. Elaboración propia.

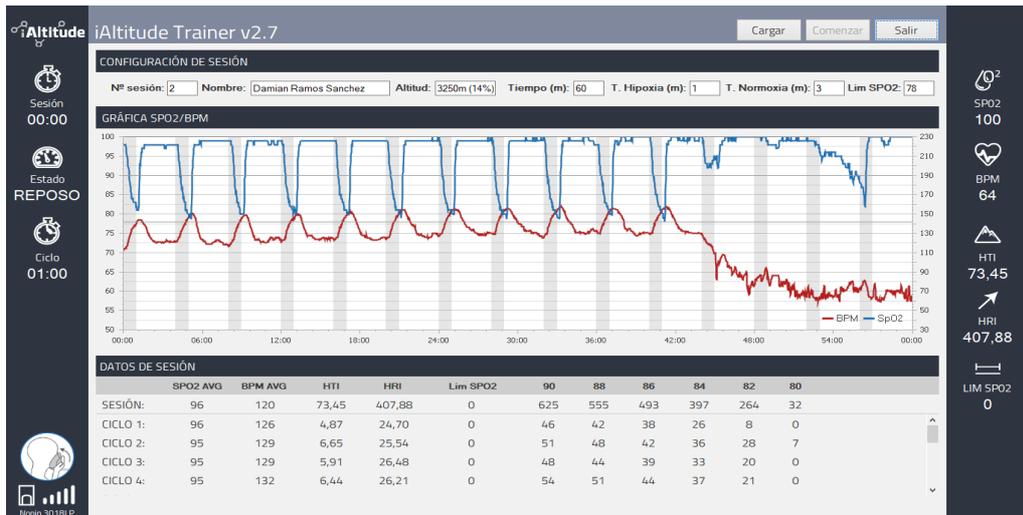


Fig. 59. Sesión 38. Elaboración propia.



Fig. 60. Sesión 39. Elaboración propia.

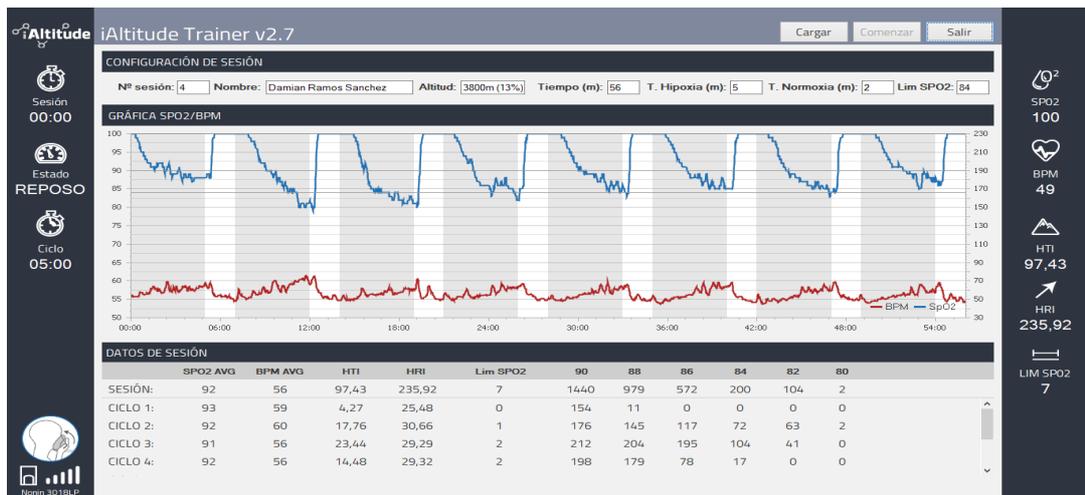


Fig. 61. Sesión 40. Elaboración propia.

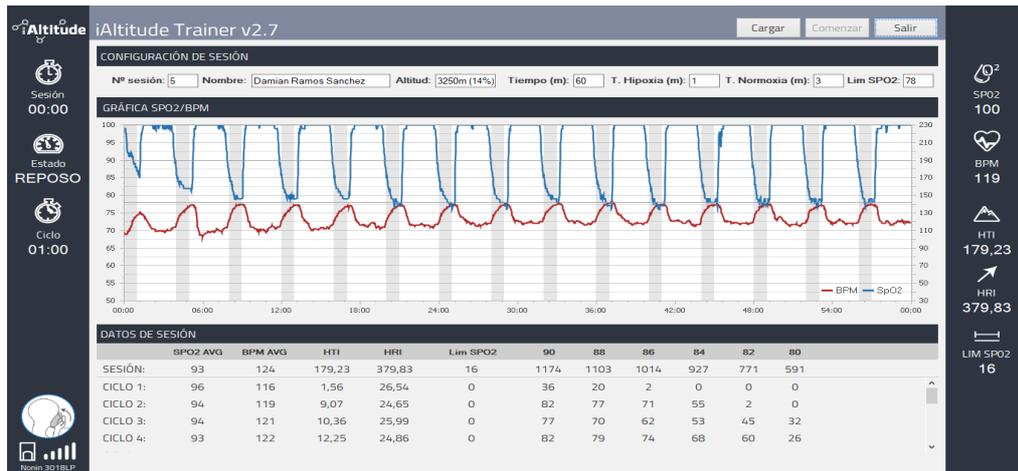


Fig. 62. Sesión 41. Elaboración propia.

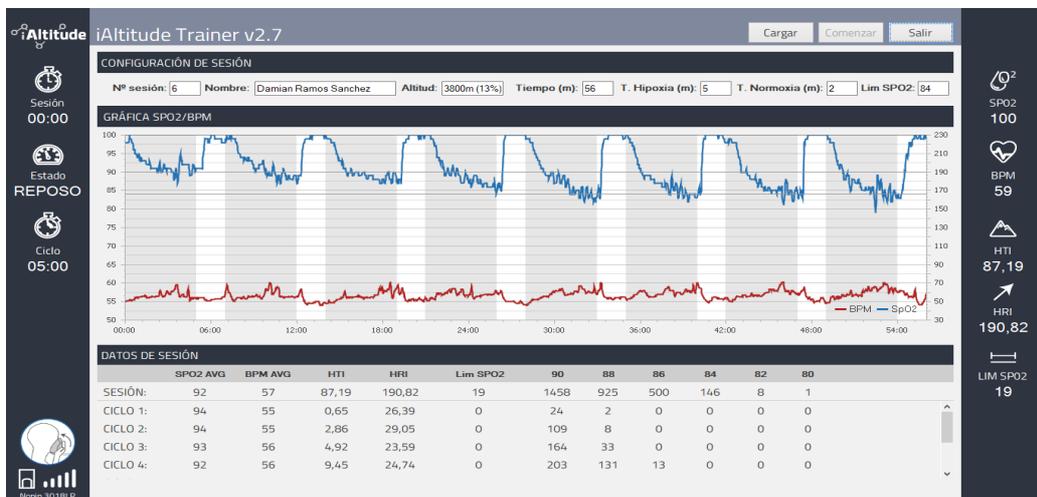


Fig. 63. Sesión 42. Elaboración propia.



Fig. 64. Sesión 43. Elaboración propia.