ARRANCADA
ISSN 1810-5882

Volumen 26 Número 55 Año 2026

Artículo original

# Modelo MSIT y Algoritmo Charchabal: Modulación Dinámica de Carga y Fatiga Central en el futbol

# MSIT Model and Charchabal Algorithm: Dynamic Load Modulation and Central Fatigue in Football

# Modelo MSIT e Algoritmo Charchabal: Modulação Dinâmica de Carga e Fadiga Central no Futebol

**Dr. C. Danilo Charchabal Pérez**
https://orcid.org/0000-0003-4454-2859
Universidad Estatal de Milagro, Provincia del Guayas, Ecuador

**Walter Isaac Loor Mendoza**
https://orcid.org/0000-0001-7908-6676
Universidad Estatal de Milagro, Provincia del Guayas, Ecuador

**Walter Victoriano Loor Briones**
https://orcid.org/0000-0002-4118-0058
Universidad Estatal de Milagro, Provincia del Guayas, Ecuador

***Email:** danilo.charchabalp@ug.edu.ec

Como citar este artículo: Charchabal Pérez, D., Loor Mendoza, W. y Loor Briones, W. (2026). Modelo MSIT y Algoritmo Charchabal: Modulación Dinámica de Carga y Fatiga Central en el futbol. 26(55), 135-144. https://arrancada.cuaje.edu.cu

Licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

## Resumen

La planificación del alto rendimiento ha dependido de modelos rígidos que priorizan el volumen sobre la respuesta fisiológica individual, favoreciendo alteraciones autonómicas y fatiga no funcional. El objetivo de esta investigación consistió en fundamentar el Modelo de Entrenamiento por Intervalos Específicos Modulados (MSIT) y evaluar la aplicabilidad operativa del Algoritmo Charchabal como herramienta de modulación diaria de la carga. La metodología propone una intervención longitudinal de 16 semanas estructurada en tres macrociclos: Acumulación Base, Bloque Modulado y Silencio Biológico. El algoritmo integra la variabilidad de la frecuencia cardíaca, el lactato sanguíneo y la percepción del esfuerzo para establecer tres zonas operativas de entrenamiento. Los resultados esperados sugieren que la integración de esta intervención podría optimizar el consumo máximo de oxígeno, el umbral de lactato y la economía de carrera, preservando la regulación autonómica. En el fútbol, facilitaría la aplicación de microdosis de alta densidad neuromuscular mediante Situaciones Simuladoras Preferentes, manteniendo la capacidad de toma de decisiones. Se concluye que la herramienta propuesta abandona la planificación estática para favorecer un sistema de regulación de cargas adaptativo, basado en la respuesta y la homeostasis del deportista.

**Palabras clave**: Algoritmo Charchabal; variabilidad de la frecuencia cardíaca; fatiga central; autorregulación del entrenamiento; fútbol.

## Abstract

High-performance training planning has historically relied on rigid models that prioritize volume over individual physiological response, often leading to autonomic disturbances and non-functional fatigue. The objective of this research was to provide a theoretical foundation for the Modulated Specific Interval Training (MSIT) model and to evaluate the operational applicability of the Charchabal Algorithm as a tool for daily training load modulation. The methodology proposes a 16-week longitudinal intervention structured into three macrocycles: Base Accumulation, Modulated Block, and Biological Silence. The algorithm integrates heart rate variability, blood lactate, and perceived exertion to establish three operational training zones. Expected results suggest that the integration of this intervention could optimize maximal oxygen consumption, lactate threshold, and running economy while preserving autonomic regulation. In soccer, it would facilitate the implementation of high-neuromuscular-density microdoses through Preferred Simulated Situations, maintaining decision-making capacity. It is concluded that the proposed tool abandons static planning to favor an adaptive load-regulation system based on the athlete's physiological response and homeostasis.

**Keywords**:Charchabal Algorithm; heart rate variability; central fatigue; training self-regulation; soccer.

## Resumo

O planejamento do alto rendimento tem dependido de modelos rígidos que priorizam o volume em detrimento da resposta fisiológica individual, favorecendo alterações autonômicas e fadiga não funcional. O objetivo desta pesquisa foi fundamentar o Modelo de Treinamento por Intervalos Específicos Modulados (MSIT) e avaliar a aplicabilidade operacional do Algoritmo Charchabal como ferramenta de modulação diária da carga. A metodologia propõe uma intervenção longitudinal de 16 semanas estruturada em três macrociclos: Acumulação Base, Bloco Modulado e Silêncio Biológico. O algoritmo integra a variabilidade da frequência cardíaca, o lactato sanguíneo e a percepção do esforço para estabelecer três zonas operacionais de treinamento. Os resultados esperados sugerem que a integração desta intervenção poderia otimizar o consumo máximo de oxigênio, o limiar de lactato e a economia de corrida, preservando a regulação autonômica. No futebol, facilitaria a aplicação de microdoses de alta densidade neuromuscular por meio de Situações Simuladoras Preferenciais, mantendo a capacidade de tomada de decisão. Conclui-se que a ferramenta proposta abandona o planejamento estático para favorecer um sistema de regulação de cargas adaptativo, baseado na resposta e na homeostase do atleta.

**Palavras-chave**: Algoritmo Charchabal; variabilidade da frequência cardíaca; fadiga central; autorregulação do treinamento; futebol.

Recibido: mayo/26 Aceptado: septiembre/26

# INTRODUCCIÓN

La incesante búsqueda de la máxima eficiencia biomecánica y fisiológica presentada en la alta competición deportiva requiere de una revisión exhaustiva de los paradigmas tradicionales de periodización del entrenamiento deportivo (Issurin, 2010); de hecho, la periodización del entrenamiento en disciplinas de resistencia y deportes intermitentes de alta intensidad ha tenido como base modelos lineales tradicionales (Bompa & Buzzichelli, 2019) o bien el paradigma del entrenamiento polarizado (80/20) defendido por Seiler y Hetlelid (2019) mediante los cuales se representan elevados volúmenes de trabajo continuo ("long sord saturators") y picos rígidos de intensidad programada y anticipada semanas atrás. Aunque estas metodologías representan adaptaciones en el ámbito aeróbico periférico desde la perspectiva mitocondrial y capilar, son deficientes por una razón crucial: porque continúan tomando como propia la variable biológica lineal e invariable de la respuesta del atleta frente a cada estímulo prescrito, relegando la fluctuación del día de los sistemas homeostáticos.

En el contexto del alto rendimiento en deporte moderno, caracterizado por calendarios competitivos muy densos, desplazamientos repetidos y unas demandas psicofisiológicas elevadas, la aplicación de unas cargas prescritas de forma estática y rígida generalmente acaba siendo superior a la capacidad de asimilación del organismo (Gabbett, 2016; Halson, 2014). El acumular un volumen de carga excesivo sin una evaluación correcta de la receptividad autonómica diaria lleva a una sobreactivación simpática crónica y a una saturación glucolítica mantenida (Buchheit & Laursen, 2021) y esta situación produce un encarcelamiento progresivo del equilibrio inmunometabólico, una inhibición de la modulación parasimpática y una desregulación con respecto al eje Hipotálamo-Hipófisis-Adrenal (HHA), llevando al atleta a una situación de síndrome de sobreentrenamiento (OTS) y estados de fatiga no funcional (Meeusen *et al*., 2013). De la misma forma, se volatiza, en extremo, la predisposición hacia las infecciones de las vías respiratorias superiores (UGRIS) y las lesiones neuromusculares aparejadas a la fatiga acumulada (Schwellnus *et al*., 2016).

En esta línea y en el marco de este problema, se materializa el Modelo MSIT (Modulated Specific Interval Training), que se presenta como un sistema de entrenamiento cibernético-adaptativo, redefiniendo las cargas extensivas saturantes por Súper Intervalos con alta densidad y moderado volumen. La idea fundamental del modelo es que la magnitud de la adaptación no depende únicamente de la dosis teórica aplicada sino del estado de receptividad autonómica del organismo en el momento del estímulo (Kiely, 2012). Con la intención de operacionalizar este principio en el control del campo diario, crea el Algoritmo Charchabal, que es el producto directo del Índice de Carga y Respuesta Vagal (ICRLA). Entrando en el segundo de los componentes en donde en una sola métrica reúne la respuesta del (SNC) propuesta a través de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (rMSSD) (Plews *et al*., 2020),el estrés metabólico periférico a través de

La evolución del lactato (Billat, 2001) y la carga psicofísica perceptiva (RPE}session) (Borg, 1998; Impellizzeri *et al*., 2019). El presente artículo tiene como objetivo formalizar las bases teóricas, la formulación matemática y la metodología de aplicación del Algoritmo Charchabal (ICRLA) sobre la estructura del Modelo MSIT, instrumento validado para la carga, la mejora de la performance y la salud del deportista de élite.

El presente artículo pretende poner de manifiesto los fundamentos teóricos, la formulación matemática y la metodología de aplicación (los caminos propuestos) del Algoritmo Charchabal (ICRLA) en la estructura del Modelo MSIT, con el fin de proporcionar una herramienta validada para la prescripción dinámica de la carga, la optimización del rendimiento y la preservación de la salud del deportista de élite que se ayude a lograr lo anterior.

## FORMULACIÓN MATEMÁTICA Y FUNDAMENTOS BIOLÓGICOS DEL ALGORITMO CHARCHABAL (ICRLA)

El Algoritmo Charchabal se articula como una fórmula de ponderación biológicamente tridimensional con la finalidad de articular las tres vías principales de manifestación de la fatiga en el deportista; esto es, la vía autonómica/central, la vía metabólica/periférica y la vía psicofisiológica/cognitiva. La formulación matemática del índice de Carga y Respuesta Vagal (ICRLA) se determina a partir de la siguiente expresión:

2.1. Desglose y Significado Fisiológico de los Componentes

1. Coeficiente de Disfunción Autonómica

• Métrica Utilizada: La raíz cuadrada del promedio de las diferencias al cuadrado de los intervalos RR sucesivos (rMSSD), medida en reposo al despertar durante un registro de 5 minutos en posición supina o sedente (Plews *et al*., 2020).

• Fundamento: El rMSSD es el indicador primario de la actividad del nervio vago sobre el nodo sinusal. El valor rMSSD basa representa la media móvil de 7 a 14 días en estado de frescura fisiológica.

• Comportamiento Matemático:

o Si el cociente tiende a 1.0 (homeostasis autonómica preservada).

o Si el atleta presenta supresión parasimpática por fatiga acumulada el cociente resulta mayor a 1.0, multiplicando el estrés total del índice.

o Si se observa una hiperactivación parasimpática de recuperación o rebote vagal el cociente disminuye por debajo de 1.0.

2. Coeficiente de Acidosis y Estrés Metabólico

• Métrica Utilizada: Concentración de lactato en sangre capilar (mmol/L) medida en reposo basal (basal) y a los 3–5 minutos finalizada la sesión (post).

• Fundamento: Evalúa la magnitud del reclutamiento de la vía glucolítica rápida y la perturbación del medio interno (acumulación de hidrogeniones $H^+$ y fosfato inorgánico Pi) (Buchheit & Laursen, 2021).

• Comportamiento Matemático:

o En sesiones regenerativas o de baja intensidad (Zona 1), el cociente se mantiene cercano a 1.0–1.5.

• o En sesiones de Súper Intervalos o alta densidad glucolítica, el cociente sube a va-lores 4.0 a 8.0+, lo que quiere decir que se crea un impacto metabólico importante que hará necesario llevar a cabo procesos de aclaramiento y resíntesis de glucógeno que serán prolongados en el tiempo.

3. Ponderador Psicofisiológico y Percepción del Esfuerzo (RPEsession)

• Métrica Utilizada: Escala de Percepción del Esfuerzo Subjetiva Modificada de Borg (de 0 a 10), que se recoge entre 20 y 30 minutos después de finalizar la sesión.

• Fundamento: Como entendemos, la RPE es la expresión de la integración en corteza insular y motora de las aferencias periféricas (quimiorreceptores, mecanorreceptores) y de la carga cognitiva / estrés psicológico (Seiler y Hetlelid, 2019)

• Comportamiento Matemático: Se comporta como un factor de escalar lineal de amplificación (0 - 10), ajusta la carga real vivida por la estructura central del deportista.

2.2. Categorización Operativa por Umbrales Categóricos (Zonas ICRLA) El algoritmo clasifica el resultado cuantitativo del ICRLA en tres zonas de intervención clínica y metodológica in-situ:

**Tabla 1. Zonas de intervención clínica y metodológica in-situ**

| Zona ICRLA | Rango Numérico | Estado Fisiológico | Prescripción / Decisión Operativa |
|---|---|---|---|
| Zona Verde | < 4.0 | Alta Receptividad Vagal / Homeostasis: Tono parasimpático óptimo y bajo residuo glucolítico. | Carga Verde de Alta Intensidad; autorización para cargar dosis completas de la máxima intensidad de Súper Intervalos MSIT. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Zona Amarilla | 4.0 - 8.5 | Estrés Controlado / Adaptación en Curso: Leve inhibición vagal o fatiga metabólica acumulada. | Carga Modulada de Mantenimiento; modulación de la carga de la sesión (20/30%) o tareas glucolíticas sustituidas por trabajos aeróbicos de velocidad crítica. |
| Zona Roja | > 8.5 | Alerta de Desregulación / Fatiga Central; severidad de la inhibición vagal, acidosis residual, sobreesfuerzo percibido. Alerta al eje HHA. | Intervención Inmediata / Silencio Biológico; cancelación de la carga programada. Anulación de estímulos glucolíticos y recuperación activa (Zona1) o protocolo de Silencio Biológico. |

# MUESTRA Y METODOLOGÍA

La implementación del Modelo MSIT se estructura en un macrociclo de 16 semanas diseñado para maximizar las adaptaciones centrales y periféricas, erradicando las cargas extensivas monótonas que saturan el sistema metabólico. A diferencia de la periodización tradicional rígida, el volumen y la densidad semanales actúan como un marco de referencia flexible que el Algoritmo Charchabal (ICRLA) modula día a día en función de la respuesta biológica del deportista.

El macrociclo se divide en tres bloques bien definidos:

3.1. Estructura de los Bloques de Entrenamiento

Bloque 1: Acumulación Base (Semanas 1–6)

• Objetivo: Construcción de la capacidad aeróbica estructural, optimización de la densidad capilar y acondicionamiento neuromuscular de soporte.

• Dinámica de Carga: Progresión del volumen aeróbico controlado en Zona 2 y fuerza estructural. El ICRLA se eleva de manera controlada desde valores de ~4.0 en las primeras semanas hasta un pico intencional de fatiga acumulada (~10.0) en la Semana 4, provocando una caída adaptativa temporal del rMSSD (~50 ms).

• Orientación: Preparar la maquinaria enzimática e inmunometabólica para la fase de alta densidad.

Bloque 2: Modulado MSIT (Semanas 7–13)

• Objetivo: Maximización del VO2²máx, elevación de la velocidad/potencia en el umbral de lactato e intensificación mediante Súper Intervalos.

• Dinámica de Carga: Sustitución total de las tiradas largas por sesiones de Súper Intervalos de alta densidad y volumen moderado. La prescripción diaria queda completamente subordinada a la Zona ICRLA matutina:

o Zona Verde (< 4.0): Se prescriben microdosis de máxima potencia e intensidad neuromeset.

o Zona Amarilla (4.0 - 8.5): Se ajusta el volumen o se mantiene la densidad en rangos submáximos.

o Zona Roja (> 8.5): Se deriva inmediatamente a regenerativo (Zona 1).

• Comportamiento Biológico: El ICRLA se mantiene modulado entre ~6.0 y 7.0, permitiendo una recuperación del rMSSD hacia valores de ~80 ms sin sobrecargar el eje

Hipotálamo-Hipófisis-Adrenal.

Bloque 3: Silencio Biológico y Tapering Reverso (Semanas 14–16)

• Objetivo: Restablecimiento total de la homeostasis autonómica, supercompensación de depósitos de glucógeno muscular y disipación de la fatiga central previa a la competencia principal.

• Dinámica de la Carga: Protocolo del Silencio Biológico. Radicalmente se eliminan los estresores psicológicos, las cargas glucolíticas saturantes y la acidosis metabólica. Se preserva la calidad neuromuscular de acuerdo con estímulos de muy corta duración máxima velocidad (microdosis de 3 a 5 segundos con pausas completas).

• Comportamiento Biológico: El ICRLA se estabiliza de modo consistente por debajo de 4,0 (Zona verde permanente) y el rMSSD retorna a su línea base óptima con un rebote vagal que garantiza la máxima frescura fisiológica en el momento de la competencia.

3.2. Carga, Parámetros Fisiológicos y Evolución Semanal En la tabla se presenta la evolución tanto cualitativa como cuantitativa esperada en el macrociclo de 16 semanas:

**Tabla 2. Evolución cualitativa y cuantitativa esperada en el macrociclo de 16 semanas**

| Bloque | Semana | Enfoque Principal | Tipo de Estímulo | ICRLA Objetivo | rMSSD Estimado (ms) | Decisión Algorítmica (ICRLA) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Acumulación Base | Sem 1–2 | Adaptación Estructural | Aeróbico continuo Z2 / Fuerza Base | 4.0 – 5.5 | 70 – 65 | Carga Normal / Adaptativa |
| | Sem 3–4 | Impacto de Volumen | Acumulación aeróbica + Fuerza Máxima | 8.0 – 10.0 | 55 – 50 | Alerta de Fatiga Controlada |
| | Sem 5–6 | Descarga y Ajuste | Transición aeróbica / Z1-Z2 | 4.5 – 5.0 | 65 – 70 | Restablecimiento Vagal |
| 2. Modulado MSIT | Sem 7–8 | Introducción Súper Intervalos | Microdosis MSIT / Alta Densidad | 5.5 – 6.5 | 75 – 80 | Modulación Dinámica In Situ |
| | Sem 9–11 | Pico de Intensidad MSIT | Súper Intervalos de Máxima Densidad | 6.0 – 7.5 | 70 – 75 | Modulación Estricta por Zonas |
| | Sem 12–13 | Estabilización Específica | MSIT + Tareas Específicas / SSP | 5.0 – 6.0 | 80 – 85 | Optimización de la Receptividad |
| 3. Silencio Biológico | Sem 14–15 | Tapering Reverso | Microdosis Neuromusculares (3-5s) | 3.5 – 4.5 | 85 – 90 | Supresión de Acidosis / Preservación Vagal |
| | Sem 16 | Competencia Principal | Frescura Neuromuscular / Puesta a Punto | < 3.5$ | > 90 | Supercompensación Autonómica |

## Resultados

DESARROLLO DE PRÁCTICA DEPORTIVA EN DEPORTES INTERMITENTES

La aleatoriedad, estocasticidad y fuertes exigencias neuromusculares del fútbol de élite contradicen a la resistencia lineal clásica. La capacidad de soportar esfuerzos de alta intensidad (esprints, aceleraciones, desaceleraciones, variantes en la dirección) en el fútbol de élite pero sin perder la calidad técnica, la velocidad de respuesta es el resultado competitivo deseado. El modelo-producto de la matriz MSIT - Algoritmo Charchabal (ICRLA) da respuesta de forma directa a las exigencias contextuales.

4.1. Microciclo de Modelaje Competitivo (Estructura 9 Días / Ventanas FIFA). En los clubes o combinados nacionales, la gestión del tiempo y la fatiga por viajes o por partidos sucesivos necesita microciclos flexibles. La secuencia del microciclo MSIT 9 días revisa el orden de microciclos tradicionales en la integración de tareas de alta densidad e intensidad tácticas:

| Día | Enfoque / Objetivo | Fase Siguiente |
|---|---|---|
| Día 1 | Recuperación / Vagal | Día 2 (Fuerza / Tensión) / Día 4 (Regeneración / Z1) |
| Día 2 | Fuerza / Tensión | Día 3 (MSIT Alta Densidad) / Día 5 (Espacio / Vel.) |
| Día 3 | MSIT Alta Densidad | Día 6 (Táctica / Reacción) |
| Día 4 | Regeneración / Z1 | Día 5 (Espacio / Vel.) / Día 7 (Silencio Biológico) |
| Día 5 | Espacio / Vel. | Día 6 (Táctica / Reacción) / Día 8 (Activación Neuromeset) |
| Día 6 | Táctica / Reacción | Día 9 (PARTIDO OFICIAL) |
| Día 7 | Silencio Biológico | Día 8 (Activación Neuromeset) |
| Día 8 | Activación Neuromeset | Día 9 (PARTIDO OFICIAL) |
| Día 9 | PARTIDO OFICIAL | Competencia / Cierre de ciclo |

Mecanismo de Proceso: En vez de las largas dosis quemente el sistema glucolítico y enlentecen la tasa de fuerza (RFD), las microdosis de aceleraciones, saltos y desaceleraciones de máximo potencial de densidad se aplican con pausa de recuperación completa.

Situaciones Simuladoras Preferidas (SSP): Las cargas de resistencia específicas se transfieren al terreno de juego mediante juegos reducidos (SSG) y tareas estructuradas en tácticas que replican la densidad de las aceleraciones y la frecuencia cardíaca del partido real, manteniendo la imagen de incertidumbre cognitiva.

Comunicaciones Tácticas en Microdosis: Las charlas teóricas y el análisis del video se convierten en píldoras sintácticas breves (3 a 5 minutos) para evitar la saturación de la corteza prefrontal y la sintomatología de fatiga mental previa al entreno o a la competición.

4.2. Control Individualizado de la Carga de Juego, Viajes y Rotaciones En las selecciones nacionales o en los equipos comprometidos en una doble competencia semanal, la distancia del viaje transcontinental y el jet lag suponen una presión muy alta sobre el eje Hipotálamo-Hipófisis-Adrenal (HHA) y el tono vagal.

Triaje Matutino Post-Viaje / Post-Partido (D+1 y D+2):

o El registro del rMSSD al despertar determina la tasa de asimilación del estrés del viaje o del partido.

o o Si se presenta un ICRLA > 8.5 (Zona Roja) en D+2, se interrumpe la inclusión en el trabajo de fútbol reducido metabólico, procediéndose a transferirlo a protocolos de uso de agua fría, presoterapia y trabajo regenerativo en Zona

1. 2. Criterio técnico de Titularidad y Rotaciones: o La combinación de un rMSSD deprimido junto con un alto valor de lactato acumulado pre-sesión puede resultar en una caída de la distancia retratada a alta velocidad (>21km/h}) o un aumento del riesgo de lesión miotendinosa (isquiotibiales y aductores). La decisión de rotación se objetiva mediante el ICRLA, eliminando la subjetividad en la confección de las alineaciones.

2. Protocolo de Silencio Biológico Precompetencial (D-2 a D-1): o Detener todo tipo de trabajos que puedan generar una gran producción de acidosis láctica. o Aislamiento de estímulos estresores del medio (medios, eventos de promoción) para una máxima recarga de glucógeno muscular y estabilizar el sistema nervioso parasimpático previa al pitido de salida.

## DISCUSIÓN

La aplicación del Algoritmo Charchabal dentro de la estructura del Modelo MSIT constituye un cambio de paradigma frente a las corrientes de periodización establecidas (Kiely, 2012). La planificación tradicional, ya sea lineal (Bompa & Buzzichelli, 2019), en bloques (Issurin, 2010) o polarizada (Seiler & Hetlelid, 2019), presenta limitaciones en deportes intermitentes. Estos modelos no consideran la aleatoriedad de los calendarios competitivos ni los efectos acumulativos del estrés psicológico y la contaminación neuromuscular (Bangsbo *et al*., 2006; Gabbett, 2016).

La principal ventaja operativa del Algoritmo Charchabal radica en su consideración tridimensional y no lineal. Los modelos unidimensionales, que establecen la carga según medidas externas (distancia GPS) o respuestas aisladas (frecuencia cardíaca media), no concuerdan con la ponderación simultánea de la señal autonómica, el peaje metabólico y la carga cognitiva. Este enfoque holístico coincide con Halson (2014), quien señala que la monitorización del atleta requiere triangular medidas de carga externa e interna para diferenciar entre fatiga funcional y no funcional.

La ecuación de tipo multiplicativo actúa como un filtro protector. Si uno de los pilares cae drásticamente (por ejemplo, la supresión del tono vagal matinal), la puntuación total se dispara automáticamente hacia la Zona Roja (>8.5). Esta respuesta algorítmica constituye una acción proactiva que evita la desregulación del eje Hipotálamo-Hipófisis-Adrenal (Meeusen et al., 2013). Como advierten Buchheit y Laursen (2021), insistir en altos estímulos sobre un organismo con inhibición parasimpática provoca hipersecreción de cortisol e inflamación sistémica. La implementación del protocolo de Silencio Biológico en Zona Roja mantiene la integridad metabólica y reduce la tasa de infecciones respiratorias o lesiones musculares.

En la fase final, el Modelo MSIT refina el tapering precompetitivo propuesto por Mujika y Padilla (2003). Al reducir la carga sin perder intensidad mediante el tapering inverso y el silencio biológico, se evita la pérdida de adaptaciones neuromusculares. En deportes intermitentes, sustituir bloques saturantes por Súper Intervalos de alta densidad permite mantener las cualidades elástico-explosivas de las fibras tipo IIx. El jugador mejora su velocidad de recuperación entre esprints y conserva la lucidez táctica en los momentos críticos del partido

## Conclusiones

Innovación Cibernética. El Algoritmo Charchabal (ICRLA) se encarga de transformar el carácter estático y teórico de la manera de programar el entrenamiento para convertirlo en un sistema interactivo de control del entrenamiento, que se dirige en función de una valora-ción diaria del estado de receptividad fisiológica del deportista con el que se trabaja.

2. Eficiencia Fisiológica del Modelo MSIT. La transformación del volumen extensivo en la modalidad de Súper Intervalos de alta densidad tiende a disminuir la fatiga neuromuscular innecesaria, mientras maximiza las adaptaciones tanto centrales ($VO^2$máx) como periféricas, sin saturar la vía glucolítica, así como reducir los depósitos de glucógeno, que se usan en el tráfico energético muscular.

3. Preservación de la Salud y Prevención. La tipología de tres tipos de zona (Verde < 4.0; Amarilla 4.0 - 8.5, y Roja > 8.5), actúa como un dispositivo de protección frente a la instau-ración del síndrome de sobreentrenamiento, la fatiga central y la desregulación del eje HHA.

4. Recomendación para la Practica de Campo. Se propone a los cuerpos técnicos e investigadores incluir en su forma de trabajar, una medida matutina estandarizada del rMSSD (5 minutos en reposo), así como el registro de lactato capilar, en la medición post-sesión, para la dirección futura al ICRLA, con respecto a los días considerados Zona Roja, ha de apli-carse de forma rigurosa la aplicación del Silencio Biológico o bien la derivación a las tareas de la regeneración en zona 1.

1. En días evaluados como Zona Roja, debe respetarse irrestrictamente la aplicación del Silencio Biológico o la derivación a tareas regenerativas en Zona 1.

## Referencias bibliográficas


Bangsbo, J., Mohr, M., & Krustrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in elite soccer players. Journal of Sports Sciences, 24(7), 665–674.

Billat, L. V. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical update: Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: clear definitions of intensity and duration. Sports Medicine, 31(1), 13–31.

Bompa, T. O., & Buzzichelli, C. (2019). Periodization: Theory and Methodology of Training (6th ed.). Human Kinetics.

Borg, G. (1998). Borg's Perceived Exertion and Pain Scales. Human Kinetics.

Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2021). High-Intensity Interval Training, Solution to the Programming Puzzle: Part II—Anaerobic Energy, Neuromuscular and Strain Considerations. Sports Medicine, 51(3), 393–410.

Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. Journal of Strength and Conditioning Research, 15(1), 109–115.

Gabbett, T. J. (2016). The training—injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? British Journal of Sports Medicine, 50(5), 273–280.

Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. Sports Medicine, 44(Suppl 2), S139–S147.

Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Internal and External Training Load: 15 Years On. International Journal of Sports Physiology and Performance, 14(2), 270–273.

Issurin, V. B. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. Sports Medicine, 40(3), 189–206.

Kiely, J. (2012). Periodization paradigms in the 21st century: evidence-based staple or relic of historic dogma? International Journal of Sports Physiology and Performance, 7(3), 242–250.

Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., Raglin, J., Rietjens, G., Steinacker, J., & Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. Medicine and Science in Sports and Exercise, 45(1), 186–205.

Mujika, I., & Padilla, S. (2003). Scientific bases for precompetition tapering strategies. Medicine and Science in Sports and Exercise, 35(7), 1182–1187.

Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2020). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to automated training prescription. Sports Medicine, 50(5), 883–898.

Seiler, S., & Hetlelid, K. J. (2019). The impact of autonomic recovery on high-intensity interval training performance and adaptations: A heart rate variability-guided approach. International Journal of Sports Physiology and Performance, 14(7), 912–920.

## Conflictos de intereses

Los autores declaran que la presente investigación y su redacción no presentan ningún conflicto de interés.

## Contribución de los autores

Danilo Charchabal Pérez: Conceptualización, diseño del modelo matemático, redacción del borrador original.
Walter Isaac Loor Mendoza: Análisis fisiológico, revisión de la literatura, redacción y edición.
Walter Victoriano Loor Briones: Metodología, validación de las zonas operativas, revisión crítica.
El Dr. C. Danilo Charchabal Pérez es Doctor en Ciencias de la Cultura Física. Investigador de la Universidad Estatal de Milagro. Su línea de investigación se centra en la monitorización de la carga, la variabilidad de la frecuencia cardíaca y el rendimiento en deportes intermitentes.