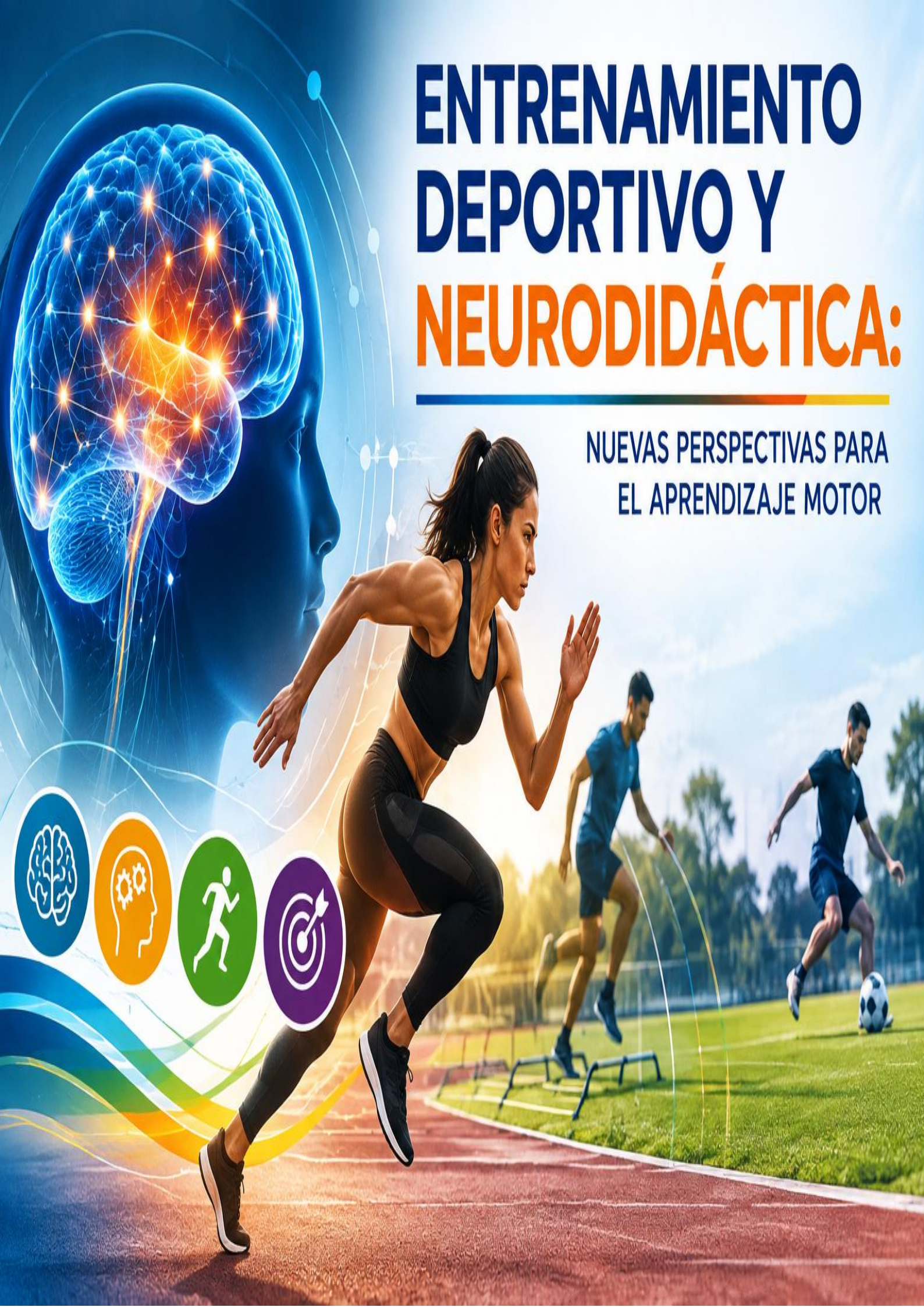
ENTRENAMIENTO DEPORTIVO Y NEURODIDÁCTICA:

NUEVAS PERSPECTIVAS PARA EL APRENDIZAJE MOTOR



El libro **ENTRENAMIENTO DEPORTIVO Y NEURODIDÁCTICA: NUEVAS PERSPECTIVAS PARA EL APRENDIZAJE MOTOR** está avalado por un sistema de evaluación por pares doble ciego, también conocido en inglés como sistemas “double-blind paper review” registrados en la base de datos de la **EDITORIAL CIENCIA DIGITAL** con registro en la Cámara Ecuatoriana del Libros No.663 para la revisión de libros, capítulos de libros o compilación.

Evaluadores:

•

ISBN_978-9942-595-14-0

Primera edición, octubre 2026

Edición con fines didácticos

Coeditado e impreso en Ambato - Ecuador

El libro que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Editorial Ciencia Digital.**

El libro queda en propiedad de la editorial y por tanto su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Editorial Ciencia Digital.**

Jardín Ambateño, Ambato, Ecuador

Teléfono: 0998235485 – 032-511262

Publicación:

w: www.cienciadigitaleditorial.com

w: http://libros.cienciadigital.org/index.php/CienciaDigitalEditorial

e: luisefrainvelastegui@cienciadigital.org

AUTORES

AUTORES

- **Fabian Andrés Contreras Jauregui**
(Universidad del Atlántico)
- **Mariano Jairo Salleg Cabarcas**
(Universidad de Córdoba)
- **Luis Efraín Velastegui López**
(Ciencia Digital Editorial)

ISBN: 978-9942-595-14-0

CIENCIA DIGITAL EDITORIAL

La **Editorial Ciencia Digital**, creada por Dr.C. Efraín Velasteguí López PhD. en 2017, está inscrita en la Cámara Ecuatoriana del Libro con registro editorial No. 663.

El **objetivo** fundamental de la **Editorial Ciencia Digital** es un observatorio y lugar de intercambio de referencia en relación con la investigación, la didáctica y la práctica artística de la escritura. Reivindica a un tiempo los espacios tradicionales para el texto y la experimentación con los nuevos lenguajes, haciendo de puente entre las distintas sensibilidades y concepciones de la literatura.

El acceso libre y universal a la cultura es un valor que promueve Editorial Ciencia Digital a las nuevas tecnologías esta difusión tiene un alcance global. Muchas de nuestras actividades están enfocadas en este sentido, como la biblioteca digital, las publicaciones digitales, a la investigación y el desarrollo.

Desde su creación, la Editorial Ciencia Digital ha venido desarrollando una intensa actividad abarcando las siguientes áreas:

- Edición de libros y capítulos de libros
- Memoria de congresos científicos
- Red de Investigación

Editorial de las revistas indexadas en Latindex 2.0 y en diferentes bases de datos y repositorios: **Ciencia Digital** (ISSN 2602-8085), **Visionario Digital** (ISSN 2602-8506), **Explorador Digital** (ISSN 2661-6831), **Conciencia Digital** (ISSN 2600-5859), **Anatomía Digital** (ISSN 2697-3391) & **Alfa Publicaciones** (ISSN 2773-7330).

ISBN: 978-9942-595-14-0

ISBN: 978-9942-595-14-0 Versión Electrónica

Los aportes para la publicación de esta obra, está constituido por la experiencia de los investigadores

EDITORIAL REVISTA CIENCIA DIGITAL

Efraín Velasteguí López[1]

Contacto: Ciencia Digital, Jardín Ambateño, Ambato- Ecuador

Teléfono: 0998235485 - 032511262

Publicación:

w: www.cienciadigitaleditorial.com

e: luisefrainvelastegui@cienciadigital.org

Editora Ejecutiva	Director General
Dr. Tatiana Carrasco R.	Dr.C. Efraín Velasteguí PhD.

[1] **Efraín Velasteguí López**: Magister en Tecnología de la Información y Multimedia Educativa, Magister en Docencia y Currículo para la Educación Superior, Doctor (**PhD**) en Ciencia Pedagógicas por la Universidad de Matanza Camilo Cien Fuegos Cuba, cuenta con más de 120 publicaciones en revista indexadas en Latindex y Scopus, 21 ponencias a nivel nacional e internacional, 16 libros con ISBN, en multimedia educativa registrada en la cámara ecuatoriano del libro, tres patente de la marca Ciencia Digital, Acreditación en la categorización de investigadores nacionales y extranjeros Registro REG-INV-18-02074, Director, editor de las revistas indexadas en Latindex Catalogo 2.0, Ciencia Digital, Visionario Digital, Explorador Digital, Conciencia Digital, Anatomía Digital, Alfa Publicaciones y editorial Ciencia Digital registro editorial No 663. Cámara Ecuatoriana del libro director de la Red de Investigación Ciencia Digital, emitido mediante Acuerdo Nro. SENESCYT-2018-040, con número de registro REG-RED-18-0063

EJEMPLAR GRATUITO
PROHIBIDA SU VENTA

El "copyright" y todos los derechos de propiedad intelectual y/o industrial sobre el contenido de esta edición son propiedad de CDE. No está permitida la reproducción total y/o parcial de esta obra, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, por fotocopia o por registro u otros medios, salvo cuando se realice confines académicos o científicos y estrictamente no comerciales y gratuitos, debiendo citar en todo caso a la editorial.

ISBN
978-9942-595-14-0

PRESENTACION

Este libro nace de una pregunta sencilla, pero poco atendida en la formación tradicional de los educadores físicos y los entrenadores deportivos: ¿qué ocurre realmente en el cerebro de una persona cuando aprende a moverse? Durante buena parte de la historia del entrenamiento deportivo, esa pregunta se ha respondido de manera intuitiva, apoyada en la tradición metodológica y en la repetición de esquemas heredados de generación en generación. Sin embargo, el vertiginoso desarrollo de la neurociencia cognitiva y afectiva de las últimas décadas ofrece hoy respuestas considerablemente más precisas, que este libro se propone poner al alcance de quienes forman, entrenan y acompañan a otros en el aprendizaje del movimiento humano.

Entrenamiento Deportivo y Neurodidáctica: Nuevas Perspectivas para el Aprendizaje Motor reúne, en once capítulos organizados en cinco partes, una revisión amplia y actualizada de los fundamentos científicos del entrenamiento deportivo, las bases neurofisiológicas del movimiento, los principios de la neurodidáctica aplicada al deporte, el papel de la cognición y la emoción en el rendimiento, y las metodologías más innovadoras que hoy integran la tecnología y el diseño instruccional al proceso de enseñanza motriz. Cada capítulo aborda un componente específico de este campo de conocimiento, pero el conjunto persigue un propósito unificado: mostrar que enseñar a moverse con eficacia no es un asunto exclusivamente técnico o físico, sino un proceso profundamente cognitivo, emocional y neurobiológico que merece ser comprendido con el mismo rigor con el que se comprende cualquier otro proceso de aprendizaje humano.

Esta obra está dirigida, en primer lugar, a los licenciados en educación física, recreación y deporte, y a los entrenadores deportivos que buscan fundamentar su práctica cotidiana en evidencia científica actualizada, más allá de la intuición o la tradición metodológica heredada. Está dirigida también a los estudiantes de pregrado y posgrado en ciencias del deporte, a los investigadores del comportamiento motor y la neurociencia aplicada, y a todo profesional de la actividad física interesado en comprender de manera integrada el cuerpo y la mente del deportista que acompaña.

Quien escribe estas líneas ha desarrollado su labor académica e investigativa en el campo de las ciencias del movimiento humano, convencido de que la brecha que con frecuencia separa a la investigación científica de la práctica pedagógica cotidiana del entrenamiento deportivo puede y debe reducirse. Este libro es un esfuerzo en esa dirección: una invitación a que docentes y entrenadores incorporen a su práctica los fundamentos de la neurodidáctica, no como una moda pasajera, sino como un marco conceptual sólido, verificable y en constante actualización, capaz de transformar la manera en que se diseña, se implementa y se evalúa el aprendizaje motor.

Espero que estas páginas resulten tan útiles para la reflexión como para la práctica, y que contribuyan a que cada sesión de entrenamiento, cada clase de educación física y cada proceso formativo deportivo se diseñe con una comprensión más profunda de cómo aprende, siente y decide el ser humano que se mueve.

Los autores

ISBN
978-9942-595-14-0

PROLOGO

Cuando se me pidió escribir estas líneas, acepté con el convencimiento de que el trabajo que el lector tiene entre sus manos representa un aporte genuinamente necesario para las ciencias del deporte y la educación física en nuestro contexto. No es frecuente encontrar una obra que logre articular, con la amplitud y el rigor con que lo hace este libro, los fundamentos de la neurociencia, la psicología cognitiva y afectiva, la pedagogía del movimiento y las metodologías contemporáneas de entrenamiento, dentro de un único proyecto editorial coherente y accesible.

El campo de la neurodidáctica aplicada al deporte se encuentra todavía, en buena parte de Latinoamérica, en una etapa de desarrollo incipiente, más presente en la formación de docentes de aula que en la formación de entrenadores y licenciados en educación física. Este libro contribuye a cerrar esa brecha, ofreciendo una síntesis rigurosa y actualizada de un cuerpo de conocimiento que, hasta ahora, se encontraba disperso en publicaciones especializadas de difícil acceso para el profesional de la actividad física de habla hispana.

Lo que distingue a esta obra no es solamente la amplitud de los temas abordados desde los fundamentos neurofisiológicos del movimiento hasta el diseño de sesiones de entrenamiento con enfoque neurodidáctico, pasando por la neuroplasticidad, la cognición, la emoción y la tecnología aplicada al deporte, sino la voluntad explícita de integrar todos estos componentes en una visión coherente del deportista como un sistema biológico, cognitivo, emocional y social indivisible. El lector encontrará, capítulo tras capítulo, un esfuerzo constante por traducir hallazgos de la neurociencia básica y de la psicología del deporte en principios pedagógicos concretos, aplicables a la planificación cotidiana del entrenamiento.

Conozco de cerca la trayectoria de los autores y la seriedad con que ha abordado, a lo largo de su carrera académica e investigativa, el estudio del comportamiento motor y su enseñanza. Este libro es el resultado natural de ese trabajo sostenido: una obra que no se limita a divulgar hallazgos ajenos, sino que los organiza, los contextualiza y los articula en un marco propio, pensado

deliberadamente para el entrenador y el docente que buscan fundamentar científicamente su labor formativa.

Recomiendo esta lectura a todo profesional de la educación física y el entrenamiento deportivo que aspire a comprender, con mayor profundidad, el fenómeno que constituye el centro de su labor cotidiana: el aprendizaje del movimiento humano. Estoy convencido de que estas páginas, lejos de agotar la discusión, la abrirán con la amplitud y el rigor que el tema merece, y de que se convertirán en una referencia obligada para quienes deseen incorporar los fundamentos de la neurodidáctica a su práctica pedagógica y deportiva.

Ms. C. Dimitri Jose Martinez Movilla

Universidad del Atlantico

ISBN
978-9942-595-14-0

Índice

INTRODUCCION 13

PARTE I. FUNDAMENTOS DEL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO 16

Capítulo 1. Fundamentos científicos del entrenamiento deportivo 17

Capítulo 2. Bases neurofisiológicas del movimiento deportivo 39

PARTE II. NEUROCIENCIA Y APRENDIZAJE MOTOR 57

Capítulo 3. Neurociencia aplicada al aprendizaje motor 58

Capítulo 4. Neuroplasticidad y entrenamiento deportivo 80

PARTE III. NEURODIDÁCTICA APLICADA AL DEPORTE 102

Capítulo 5. Fundamentos de la neurodidáctica 103

Capítulo 6. Estrategias neurodidácticas para el entrenamiento deportivo .. 125

PARTE IV. COGNICIÓN, EMOCIÓN Y RENDIMIENTO 147

Capítulo 7. Funciones cognitivas en el rendimiento deportivo 148

Capítulo 8. Emoción, motivación y aprendizaje deportivo 170

PARTE V. METODOLOGÍAS INNOVADORAS DE ENTRENAMIENTO 193

Capítulo 9. Nuevos modelos de entrenamiento desde la neurodidáctica.... 194

Capítulo 10. Tecnología, neurodidáctica y entrenamiento deportivo 216

Capítulo 11. Diseño de sesiones de entrenamiento con enfoque neurodidáctico 238

CONCLUSIONES 263

REFERENCIAS 264

INTRODUCCION

La formación de deportistas y la enseñanza de la educación física han estado tradicionalmente ancladas en modelos pedagógicos centrados en la repetición técnica, la instrucción directiva y la acumulación de volumen de práctica, con una atención comparativamente menor a los mecanismos neurobiológicos y cognitivos que efectivamente sustentan el aprendizaje motor. En las últimas tres décadas, sin embargo, el desarrollo acelerado de la neurociencia cognitiva y afectiva, de la psicología del deporte y de las ciencias del comportamiento motor ha generado un cuerpo de evidencia considerable que permite comprender, con un nivel de precisión antes inalcanzable, cómo el cerebro humano percibe, decide, se emociona y aprende a moverse. Este libro se propone reunir, sistematizar e integrar dicha evidencia en una obra única, pensada específicamente para el contexto de la educación física y el entrenamiento deportivo de habla hispana.

El propósito central de esta obra es doble. En primer lugar, busca ofrecer una revisión amplia, rigurosa y actualizada de los fundamentos científicos que sustentan el entrenamiento deportivo contemporáneo, desde sus bases fisiológicas y neuromusculares clásicas hasta los desarrollos más recientes de la neurociencia aplicada al aprendizaje motor. En segundo lugar, busca tender puentes explícitos entre estos fundamentos y la práctica pedagógica cotidiana del entrenador y del docente de educación física, traduciendo hallazgos de investigación en principios y estrategias directamente aplicables al diseño, la implementación y la evaluación de procesos formativos deportivos.

Para alcanzar este propósito, el libro se organiza en cinco partes y once capítulos, articulados de manera progresiva. La Parte I, Fundamentos del Entrenamiento Deportivo, sienta las bases conceptuales del entrenamiento contemporáneo y de sus mecanismos fisiológicos y neurales, a través de los capítulos dedicados a los fundamentos científicos del entrenamiento deportivo, las bases neurofisiológicas del movimiento, la neurociencia aplicada al aprendizaje motor, y la neuroplasticidad inducida por el entrenamiento. Estos capítulos iniciales ofrecen al lector el sustrato biológico indispensable para

ISBN
978-9942-595-14-0

comprender, en las partes siguientes, cómo dicho sustrato puede orientarse deliberadamente mediante principios pedagógicos específicos.

La Parte III, Neurodidáctica Aplicada al Deporte, introduce el concepto y la evolución histórica de este campo emergente, y desarrolla las estrategias neurodidácticas específicas que pueden emplearse para el diseño de metodologías de enseñanza más coherentes con el funcionamiento del cerebro humano. La Parte IV, Cognición, Emoción y Rendimiento, profundiza en el papel de las funciones ejecutivas atención, memoria de trabajo, flexibilidad cognitiva, control inhibitorio y de la dimensión emocional y motivacional del deportista, dos componentes que, como se argumenta a lo largo de estos capítulos, resultan tan determinantes para el rendimiento deportivo como la preparación física y técnica tradicionalmente enfatizada.

Finalmente, la Parte V, Metodologías Innovadoras de Entrenamiento, cierra el recorrido con una revisión de los modelos contemporáneos de entrenamiento cognitivo-motor, el papel de la tecnología realidad virtual y aumentada, videoanálisis, biofeedback y neurofeedback, inteligencia artificial en el entrenamiento deportivo actual, y culmina con un marco metodológico integrador para el diseño de sesiones de entrenamiento con enfoque neurodidáctico, que sintetiza y articula los fundamentos desarrollados a lo largo de toda la obra en un proceso práctico de ocho etapas, aplicable directamente a la planificación cotidiana del entrenador.

Cada uno de los once capítulos que componen este libro constituye, en sí mismo, una revisión narrativa independiente, sustentada en literatura académica especializada y documentada mediante citas en el texto y referencias bibliográficas completas, siguiendo las normas de la American Psychological Association en su séptima edición. Esta estructura permite al lector abordar la obra tanto de manera secuencial, siguiendo el recorrido progresivo propuesto por las cinco partes, como de manera selectiva, consultando aquellos capítulos que resulten más pertinentes para sus necesidades formativas o investigativas específicas en un momento determinado.

Este libro no pretende agotar un campo de conocimiento que se encuentra, por su propia naturaleza, en constante expansión y revisión, ni ofrecer recetas

metodológicas de aplicación mecánica y universal. Pretende, más bien, ofrecer un marco conceptual sólido y actualizado, capaz de orientar la reflexión y la toma de decisiones de los profesionales de la educación física y el entrenamiento deportivo, invitándolos a fundamentar su práctica cotidiana en una comprensión cada vez más profunda de cómo aprende, siente, decide y se mueve el ser humano.

FUNDAMENTOS DEL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO

- Principios del entrenamiento
- Planificación del entrenamiento
- Carga de entrenamiento
- Adaptaciones fisiológicas y neuromusculares
- Individualización del proceso
- Rendimiento deportivo

Capítulo 1. Fundamentos científicos del entrenamiento deportivo

El entrenamiento deportivo constituye un proceso sistemático de planificación, aplicación, control y ajuste de estímulos destinados a producir adaptaciones que permitan alcanzar objetivos de rendimiento. Su comprensión contemporánea exige superar una visión exclusivamente fisiológica e incorporar dimensiones neuromusculares, cognitivas, perceptivas, psicológicas, contextuales y tecnológicas. El presente paper desarrolla una revisión narrativa y crítica sobre siete ejes: conceptualización del entrenamiento deportivo; principios del entrenamiento; componentes de la carga; adaptaciones fisiológicas y neuromusculares; relación entre entrenamiento y rendimiento; individualización del proceso; y nuevos paradigmas de planificación deportiva. La literatura especializada muestra que el rendimiento emerge de la interacción entre estímulo, recuperación, adaptación y contexto, por lo que la carga no debe interpretarse como una cifra aislada sino como una exposición cuya respuesta depende del estado del deportista. La evidencia reciente también respalda el valor del entrenamiento de fuerza y neuromuscular para mejorar fuerza, potencia, equilibrio, velocidad y función física, mientras que el monitoreo multidimensional permite ajustar la prescripción con mayor precisión (Akbar et al., 2022; Currier et al., 2026). Asimismo, los modelos contemporáneos de periodización se orientan hacia estructuras flexibles y adaptativas, capaces de responder a calendarios competitivos, variabilidad individual y datos longitudinales. Se concluye que el entrenamiento deportivo debe entenderse como un sistema dinámico de toma de decisiones, donde la planificación constituye una hipótesis que se verifica mediante evaluación continua y se modifica según la respuesta individual. Esta perspectiva favorece una práctica basada en evidencia, individualizada y compatible con los principios de la neurodidáctica y del aprendizaje motor.

El entrenamiento deportivo ha evolucionado desde modelos centrados predominantemente en la repetición de ejercicios hacia concepciones que reconocen al deportista como un sistema biológico, psicológico, cognitivo y social que interactúa con un entorno específico. En esta perspectiva, entrenar no significa simplemente acumular sesiones, kilómetros, repeticiones o cargas externas; significa organizar estímulos con una intención adaptativa, observar la

ISBN
978-9942-595-14-0

respuesta del organismo y tomar decisiones que mantengan el equilibrio entre estímulo, recuperación y desempeño. La planificación deja de ser un calendario rígido y se convierte en un proceso de regulación continua.

La literatura sobre carga de entrenamiento ha mostrado la necesidad de distinguir entre carga externa e interna. La primera describe el trabajo realizado, mientras que la segunda representa la respuesta psicofisiológica que dicho trabajo genera. Esta distinción es esencial porque dos deportistas pueden realizar una misma tarea y experimentar respuestas diferentes. Bourdon et al. (2017) señalaron que el monitoreo de la carga debe integrar múltiples fuentes de información y estar orientado a decisiones prácticas. En deportes de equipo, las revisiones han identificado medidas basadas en frecuencia cardiaca, percepción del esfuerzo, distancia, aceleraciones, desaceleraciones y sistemas de posicionamiento como herramientas complementarias, no necesariamente intercambiables (Teixeira et al., 2021).

La adaptación también es multidimensional. El músculo esquelético presenta una notable plasticidad frente a diferentes formas de estímulo, y los cambios inducidos por el entrenamiento abarcan mecanismos morfológicos, funcionales, metabólicos y moleculares (Hawley et al., 2022). De manera paralela, el entrenamiento neuromuscular puede producir mejoras en equilibrio, agilidad, fuerza, velocidad y potencia, lo que refuerza la necesidad de integrar el control neural con el desarrollo de las capacidades físicas (Akbar et al., 2022). En consecuencia, el rendimiento no debe interpretarse únicamente como el resultado de una capacidad energética o muscular, sino como una expresión coordinada de múltiples sistemas.

Otro elemento central es la individualización. La respuesta al entrenamiento presenta variabilidad interindividual y depende del estado de entrenamiento, edad, sexo, maduración, historial de lesiones, sueño, nutrición, estrés, calendario competitivo y características de la tarea. En jóvenes deportistas, por ejemplo, la maduración biológica puede modificar la tolerancia a la carga y requiere estrategias dinámicas de individualización (Myer et al., 2021). Por ello, la prescripción de entrenamiento basada exclusivamente en promedios grupales puede ser insuficiente para orientar decisiones individuales.

Finalmente, los nuevos paradigmas de planificación deportiva incorporan tecnologías portátiles, análisis de datos, monitoreo de bienestar, evaluación neuromuscular y modelos de decisión. La tecnología no sustituye el razonamiento del entrenador; amplía la capacidad para observar tendencias y detectar cambios. La literatura reciente insiste en que el monitoreo debe convertirse en un proceso de decisión y no en una acumulación de indicadores sin propósito (Bourdon et al., 2017; Timmins et al., 2026).

El entrenamiento deportivo puede definirse como un proceso organizado y progresivo mediante el cual se aplican estímulos destinados a modificar capacidades y comportamientos relevantes para una disciplina. Esta definición contiene cuatro ideas esenciales: intencionalidad, sistematicidad, progresión y adaptación. La intencionalidad significa que cada tarea responde a un objetivo; la sistematicidad implica continuidad y organización; la progresión supone modificar gradualmente el estímulo; y la adaptación reconoce que el organismo cambia como consecuencia de la interacción entre carga y recuperación.

Desde una perspectiva de sistemas, el entrenamiento no es lineal. Una misma carga puede producir respuestas diferentes en momentos distintos, porque el estado del deportista cambia. La carga de una sesión depende de lo realizado, pero su efecto depende también de lo que ocurrió antes y de las condiciones presentes. Este enfoque permite comprender por qué la planificación debe incluir mecanismos de retroalimentación y ajuste.

La adaptación representa la modificación relativamente estable de la función o estructura como consecuencia de estímulos repetidos. Tradicionalmente, la teoría del entrenamiento ha utilizado el concepto de supercompensación para explicar la relación entre fatiga, recuperación y mejora. Sin embargo, la respuesta real es más compleja: distintos sistemas se recuperan a velocidades diferentes y las adaptaciones pueden acumularse, coexistir o incluso interferirse.

En el músculo esquelético, la plasticidad frente al entrenamiento de resistencia y fuerza incluye cambios en capacidad oxidativa, síntesis proteica, estructura muscular y función contráctil (Hawley et al., 2022). Por ello, el objetivo no es provocar fatiga máxima en cada sesión, sino generar un estímulo suficiente para

ISBN
978-9942-595-14-0

promover adaptaciones sin comprometer la capacidad de entrenar posteriormente.

Cuando se incorpora la dimensión neurodidáctica, el entrenamiento también puede entenderse como un proceso de aprendizaje. Las tareas deportivas exigen percibir información, seleccionar respuestas, ejecutar acciones y ajustar la conducta a partir de la retroalimentación. La práctica transforma no solo la capacidad física, sino también la eficiencia de los procesos perceptivos y motores. La evidencia sobre adaptaciones neurales asociadas al entrenamiento deportivo sugiere diferencias funcionales entre deportistas y personas no entrenadas, aunque su interpretación debe considerar la heterogeneidad de los métodos utilizados (Fang et al., 2022).

En consecuencia, el entrenador diseña experiencias de aprendizaje. La tarea, la información proporcionada, la dificultad, la variabilidad y el feedback constituyen herramientas que pueden facilitar la adquisición de habilidades. Este planteamiento es especialmente relevante en deportes donde la toma de decisiones y la adaptación al contexto son determinantes.

La especificidad sostiene que las adaptaciones dependen de la naturaleza del estímulo. Un entrenamiento para velocidad no genera exactamente las mismas respuestas que uno de resistencia, y una tarea cerrada de técnica no reproduce todas las demandas de una situación competitiva abierta. La especificidad debe analizarse en términos metabólicos, neuromusculares, biomecánicos, perceptivos y decisionales. La prescripción debe aproximarse a las demandas relevantes sin eliminar las bases generales necesarias para sostener el rendimiento.

La sobrecarga implica aplicar un estímulo superior al nivel habitual de demanda, de manera que el organismo deba responder mediante mecanismos adaptativos. La sobrecarga no equivale a entrenar siempre más fuerte; puede lograrse modificando volumen, intensidad, densidad, complejidad, frecuencia o condiciones de la tarea. La progresión debe ser suficiente para producir adaptación y suficientemente controlada para evitar acumulaciones innecesarias de fatiga.

La progresión exige incrementar o reorganizar el estímulo conforme aumenta la capacidad del deportista. En entrenamiento de fuerza, por ejemplo, la evidencia contemporánea respalda la utilización de cargas progresivas y la manipulación de variables según el objetivo, el nivel y la experiencia (Currier et al., 2026). La progresión puede ser cuantitativa o cualitativa: aumentar la carga externa es solo una de sus expresiones.

La individualización reconoce que una misma dosis no genera necesariamente el mismo efecto. El estado de entrenamiento, historial de carga, maduración, sueño, estrés y características biológicas modifican la respuesta. La individualización es, por tanto, una consecuencia lógica de la variabilidad interindividual y constituye uno de los pilares de la planificación contemporánea.

Las adaptaciones requieren exposición repetida. Interrupciones frecuentes pueden reducir la continuidad del estímulo y dificultar la progresión. Sin embargo, continuidad no significa ausencia de descanso. La recuperación forma parte del entrenamiento porque permite expresar las adaptaciones y preparar al deportista para nuevos estímulos.

La variabilidad evita que el organismo y el aprendizaje queden restringidos a un patrón excesivamente rígido. Variar ejercicios, velocidades, resistencias, situaciones tácticas o restricciones puede estimular la capacidad de adaptación. En habilidades deportivas complejas, la variabilidad funcional puede favorecer la transferencia a situaciones nuevas, siempre que conserve una relación razonable con las demandas competitivas.

La recuperación comprende los procesos mediante los cuales el organismo restablece y reorganiza sus funciones después del estímulo. Incluye sueño, nutrición, pausas, recuperación activa, gestión del estrés y distribución de las cargas. El Comité Olímpico Internacional ha destacado que una gestión inadecuada de la carga puede relacionarse con mayor riesgo de enfermedad y sobreentrenamiento, por lo que el seguimiento del bienestar debe integrarse a la planificación (Mountjoy et al., 2016).

Las adaptaciones pueden disminuir cuando desaparece o se reduce significativamente el estímulo. La magnitud y velocidad de la pérdida dependen

ISBN
978-9942-595-14-0

de la capacidad entrenada, el nivel previo y la duración del desentrenamiento. La planificación debe considerar periodos de transición, lesiones, viajes y pausas competitivas sin asumir que todas las capacidades se mantienen de manera idéntica.

La carga de entrenamiento puede entenderse como el conjunto de demandas aplicadas al deportista y su respuesta resultante. La distinción entre carga externa e interna permite separar el trabajo realizado de la reacción individual. Esta diferenciación es esencial para interpretar la respuesta y ajustar la prescripción (Bourdon et al., 2017).

El volumen representa la cantidad de trabajo. Puede expresarse como tiempo, distancia, número de repeticiones, series, sesiones, metros recorridos o acciones específicas. Su interpretación debe realizarse de acuerdo con la disciplina: cien metros de carrera, cien levantamientos o cien minutos de entrenamiento no son magnitudes directamente equivalentes. El volumen adquiere significado cuando se relaciona con intensidad, frecuencia y objetivo.

La intensidad expresa el nivel de exigencia de la tarea. Puede determinarse mediante velocidad, potencia, porcentaje de una repetición máxima, frecuencia cardiaca, concentración de lactato, percepción del esfuerzo o proximidad a la fatiga. La elección depende de la capacidad que se pretende desarrollar y de la posibilidad de medirla con fiabilidad.

La densidad relaciona trabajo y recuperación dentro de una sesión o ciclo corto; la frecuencia expresa cuántas veces se aplica un estímulo en un periodo. Ambas modifican el estrés fisiológico. Aumentar la frecuencia puede favorecer la distribución de la práctica, pero también puede reducir la recuperación si se acumulan estímulos similares.

La carga externa describe lo que el deportista hace. En deportes de equipo pueden incluirse distancia total, distancia a determinadas velocidades, aceleraciones, desaceleraciones, saltos y minutos de participación. Los sistemas de posicionamiento y sensores han ampliado la capacidad para registrar estas variables (Teixeira et al., 2021).

La carga interna representa la respuesta del organismo. La frecuencia cardiaca, percepción subjetiva del esfuerzo, respuestas metabólicas, variables neuromusculares y medidas de bienestar pueden aportar información. La relación entre carga externa e interna permite detectar situaciones en las que una misma tarea produce respuestas diferentes. Sin embargo, ningún indicador aislado representa de manera completa la carga.

La interpretación temporal es fundamental. La carga de una sesión tiene sentido cuando se integra con días y semanas anteriores. Las revisiones sobre fútbol muestran que el monitoreo acumulado combina medidas de entrenamiento y competencia y emplea tecnologías como GPS, sistemas de posicionamiento local, acelerometría y video (Teixeira et al., 2021). La principal utilidad no está en acumular datos, sino en identificar tendencias y apoyar decisiones.

La percepción del esfuerzo constituye una herramienta económica y útil cuando se aplica de forma sistemática. Su valor radica en que integra señales internas y experiencia subjetiva. Puede complementarse con frecuencia cardiaca, duración y variables externas para obtener una visión más completa. La triangulación de fuentes es preferible a la dependencia de una sola métrica.

Tabla 1. Principales componentes de la carga de entrenamiento

Componente	Definición operativa	Ejemplos	Uso para la decisión
Volumen	Cantidad total de trabajo	minutos, km, series, repeticiones	Control de dosis y progresión
Intensidad	Magnitud de exigencia	%1RM, velocidad, FC, RPE	Determinar estímulo y zona de trabajo
Densidad	Relación trabajo/recuperación	trabajo:pausa	Regular fatiga y calidad
Frecuencia	Número de exposiciones	sesiones/semana	Distribuir estímulos

ISBN
978-9942-595-14-0

Carga externa	Trabajo realizado	distancia, aceleraciones, potencia	Cuantificar exposición
Carga interna	Respuesta individual	RPE, FC, bienestar	Interpretar tolerancia

El entrenamiento sistemático de resistencia puede mejorar la capacidad de transporte y utilización de oxígeno mediante adaptaciones centrales y periféricas. La magnitud de los cambios depende del volumen, intensidad, frecuencia, modalidad y estado inicial. Las adaptaciones cardiovasculares contribuyen al rendimiento de resistencia, pero también condicionan la recuperación entre esfuerzos repetidos.

La exposición regular a demandas aeróbicas modifica la eficiencia del sistema cardiorrespiratorio y las vías metabólicas involucradas en la producción y utilización de energía. El rendimiento depende de la interacción entre disponibilidad de oxígeno, capacidad oxidativa muscular, economía del movimiento y regulación del esfuerzo.

El músculo esquelético responde al entrenamiento con cambios estructurales y funcionales. El entrenamiento de fuerza puede aumentar la capacidad para producir tensión, mientras que el entrenamiento de resistencia favorece adaptaciones relacionadas con la capacidad oxidativa. La revisión de Hawley et al. (2022) resalta la plasticidad muscular y la interacción entre mecanismos moleculares, características individuales y modalidad de ejercicio.

Las adaptaciones neuromusculares incluyen cambios en el reclutamiento de unidades motoras, coordinación intermuscular, tasa de desarrollo de fuerza y control del movimiento. El entrenamiento neuromuscular ha mostrado efectos favorables sobre equilibrio, agilidad, fuerza y velocidad en deportistas (Akbar et al., 2022). Estas adaptaciones son especialmente relevantes cuando el deporte exige acciones rápidas y precisas.

La práctica deportiva repetida puede modificar procesos relacionados con control motor y funcionamiento neural. La evidencia electroencefalográfica sintetizada por Fang et al. (2022) sugiere que el entrenamiento deportivo se asocia con

adaptaciones en el funcionamiento neural y el desempeño conductual. No obstante, la extrapolación de resultados de laboratorio a la práctica debe hacerse con cautela.

La fatiga neuromuscular puede reducir la capacidad para producir fuerza y potencia, alterar la coordinación y modificar la calidad técnica. En deportes de equipo, las estrategias de evaluación incluyen pruebas de salto, contracción voluntaria, velocidad de movimiento y medidas subjetivas, entre otras (Alba-Jiménez et al., 2022). La fatiga debe interpretarse en relación con la carga reciente, el sueño, el estrés y el calendario competitivo.

Una adaptación es útil cuando mejora una capacidad relevante para el desempeño. Por ello, la evaluación debe conectar cambios fisiológicos con indicadores funcionales y deportivos. Mejorar una variable aislada no garantiza una mejora competitiva si no existe transferencia a la tarea. La especificidad constituye el puente entre adaptación y rendimiento.

El rendimiento deportivo es el resultado observable de la interacción entre capacidades físicas, habilidades técnicas, decisiones tácticas, regulación emocional, recuperación y contexto competitivo. Esta concepción evita reducir el rendimiento a una sola prueba de laboratorio. La capacidad de repetir esfuerzos, decidir bajo presión y ejecutar una habilidad en condiciones variables puede ser tan importante como una mejora fisiológica.

La relación entre carga y rendimiento no es lineal. Una carga insuficiente puede no generar cambios relevantes, mientras que una carga excesiva sin recuperación puede reducir el desempeño. La evidencia reciente sobre deportes de equipo ha encontrado asociaciones entre determinados parámetros de carga y cambios en variables de rendimiento físico, aunque la heterogeneidad de métodos impide convertir una relación estadística en una regla universal (Zhang et al., 2025).

La evidencia contemporánea respalda el entrenamiento de fuerza progresivo como estrategia para mejorar fuerza, hipertrofia, potencia y múltiples componentes de la función física. El posicionamiento del ACSM de 2026, basado en una síntesis de 137 revisiones sistemáticas y más de 30.000 participantes,

ISBN
978-9942-595-14-0

señala que diferentes resultados responden a diferentes combinaciones de carga, volumen, rango de movimiento y velocidad (Currier et al., 2026). Aunque esta evidencia se refiere principalmente a adultos sanos, ofrece una base para comprender la manipulación de variables de fuerza en contextos deportivos.

La transferencia requiere que las adaptaciones desarrolladas en ejercicios de entrenamiento contribuyan a la ejecución competitiva. La fuerza máxima puede favorecer acciones explosivas, pero su expresión depende de coordinación, técnica, tiempo disponible y contexto. Por ello, el entrenamiento debe combinar capacidades generales con tareas específicas y, cuando sea pertinente, tareas perceptivo-decisionales.

Un deportista no puede expresar su potencial si llega a la competencia con fatiga excesiva. El objetivo de la planificación no es maximizar el entrenamiento, sino maximizar la adaptación útil y la disponibilidad para competir. La gestión de carga, recuperación y tapering adquiere especial importancia en periodos competitivos.

La variabilidad interindividual implica que personas con características aparentemente similares pueden responder de forma diferente a una misma dosis de entrenamiento. Las diferencias pueden estar asociadas con genética, historial de entrenamiento, estado nutricional, sueño, estrés, edad, sexo y características de la disciplina. Por ello, la prescripción debe partir de una evaluación individual y actualizarse con datos longitudinales.

Individualizar exige construir un perfil que integre antecedentes, capacidades físicas, habilidades técnicas, calendario, lesiones, disponibilidad, preferencias y objetivos. En lugar de utilizar un único valor normativo, es recomendable establecer referencias propias del deportista y observar cambios respecto a su línea base.

En deportistas jóvenes, la maduración biológica puede modificar la tolerancia al entrenamiento y la expresión del rendimiento. Los modelos de desarrollo recomiendan considerar maduración, especialización, déficits de coordinación y progresión de carga en conjunto (Myer et al., 2021). Esto evita interpretar el rendimiento únicamente por edad cronológica.

doi.org/10.33262/cde.65

El monitoreo individual requiere seleccionar pocas variables relevantes y medirlas de forma consistente. Un sistema útil puede integrar carga externa, carga interna, bienestar, sueño y una prueba neuromuscular sencilla. La utilidad aumenta cuando las medidas son repetibles y las decisiones están previamente definidas.

Los umbrales no deben convertirse en reglas rígidas. Un valor aislado puede reflejar error de medición, variación normal o una situación contextual. Los enfoques contemporáneos proponen utilizar líneas base individuales, cambios longitudinales y la mínima diferencia detectable cuando sea posible (Timmins et al., 2026).

La individualización no es una decisión tomada una sola vez. Es un ciclo: evaluar, prescribir, observar, interpretar, ajustar y reevaluar. Este ciclo permite que el plan se adapte al deportista y no que el deportista sea obligado a ajustarse a un plan inmutable.

La periodización tradicional continúa siendo útil como estructura para organizar objetivos y cargas, pero los modelos contemporáneos cuestionan la idea de que una única secuencia sea óptima para todos los deportistas. Revisiones en corredores y ciclistas muestran diversidad de distribuciones de intensidad y modelos de periodización, con diferencias según disciplina, nivel y objetivo (Casado et al., 2022; Galán-Rioja et al., 2023).

La periodización por bloques organiza concentraciones de estímulos dirigidos a objetivos concretos. Puede ser útil cuando el deportista posee alto nivel de entrenamiento y dispone de periodos suficientemente definidos. Sin embargo, su superioridad no puede asumirse de forma universal. La revisión de González-Ravé et al. (2022) encontró que la periodización inversa no fue superior a modelos tradicionales o por bloques en varias variables de rendimiento estudiadas.

En deportes de equipo, la planificación semanal debe responder a la fecha del partido, el tiempo de recuperación y el objetivo físico-táctico. Estudios de academias de fútbol muestran que la carga tiende a reducirse cerca de la competencia, mientras que las sesiones de mayor desarrollo físico se ubican en

ISBN
978-9942-595-14-0

momentos específicos del microciclo (Brink et al., 2023). La distribución debe, sin embargo, adaptarse a la realidad de cada equipo.

Las tecnologías permiten registrar grandes volúmenes de información, pero el reto es transformar datos en decisiones. La selección de indicadores debe partir de preguntas concretas: ¿qué capacidad se quiere controlar?, ¿qué cambio es relevante?, ¿qué acción se tomará si aparece? Sin estas preguntas, la tecnología puede producir una ilusión de precisión sin utilidad práctica.

Los modelos adaptativos consideran que la planificación debe cambiar cuando cambia la respuesta. La lógica es similar a un sistema de control: se define un objetivo, se aplica una entrada, se observa la salida y se ajusta la siguiente entrada. Esta lógica ha sido propuesta recientemente mediante marcos que conectan carga, respuesta del organismo, estado adaptativo, decisión y reevaluación (Timmins et al., 2026).

La inteligencia artificial puede apoyar la identificación de patrones, estimación de riesgos y personalización de recomendaciones. No obstante, los modelos predictivos dependen de la calidad de los datos y pueden reproducir errores de medición o asociaciones espurias. La IA debe utilizarse como herramienta de apoyo a la decisión, no como sustituto del conocimiento profesional y del contexto.

La incorporación de principios neurodidácticos permite planificar no solo cuánto entrenar, sino cómo aprende el deportista. Variar tareas, aumentar la representatividad, utilizar feedback adecuado y manipular restricciones puede favorecer el aprendizaje motor. El futuro de la planificación probablemente integrará progresivamente carga física, aprendizaje motor y demanda cognitiva.

La planificación comienza con el diagnóstico. Deben identificarse las demandas del deporte, las características del deportista y las condiciones del contexto. Las pruebas deben seleccionarse según su utilidad para tomar decisiones y no simplemente por disponibilidad.

Los objetivos deben ser específicos, medibles y temporalmente organizados. Conviene diferenciar objetivos de resultado, desempeño y proceso. Un objetivo de resultado puede ser competitivo; uno de desempeño se refiere a una

capacidad; y uno de proceso define la conducta de entrenamiento necesaria para progresar.

La prescripción integra volumen, intensidad, frecuencia, densidad, modalidad y recuperación. Debe contemplar progresiones y alternativas para responder a variaciones del estado del deportista.

El monitoreo recoge datos relevantes antes, durante y después de las sesiones. La combinación de carga externa, carga interna y estado del deportista permite interpretar mejor las respuestas. El consenso internacional ha destacado el valor de un enfoque multidisciplinario y orientado a objetivos (Bourdon et al., 2017).

El ajuste es el elemento que convierte una planificación estática en un proceso adaptativo. Puede implicar aumentar, mantener, reducir o cambiar el estímulo. También puede requerir modificar el orden de las sesiones o priorizar recuperación.

La evaluación debe verificar si el entrenamiento produjo cambios relevantes. No basta con registrar cumplimiento. Es necesario determinar si las capacidades objetivo mejoraron y si esas mejoras se transfirieron al desempeño deportivo.

Tabla 2. Ciclo de planificación adaptativa

Fase	Pregunta central	Información	Decisión
Diagnóstico	¿Dónde estamos?	perfil y demandas	prioridades
Objetivos	¿Adónde vamos?	metas y calendario	criterios de éxito
Prescripción	¿Qué estímulo aplicar?	carga y tareas	sesiones
Monitoreo	¿Cómo responde?	carga y estado	interpretación
Ajuste	¿Qué modificar?	tendencias y contexto	aumentar/mantener/reducir
Evaluación	¿Funcionó?	pruebas y rendimiento	retroalimentación

ISBN
978-9942-595-14-0

La revisión realizada permite sostener que el entrenamiento deportivo contemporáneo debe concebirse como un proceso de regulación y no como una simple aplicación de cargas. Los principios clásicos mantienen vigencia, pero su interpretación ha cambiado. La especificidad, por ejemplo, ya no se limita a reproducir movimientos; incluye demandas energéticas, neuromusculares, perceptivas y decisionales. La individualización tampoco significa crear un plan completamente diferente para cada deportista, sino ajustar la dosis y las tareas a las necesidades y respuestas relevantes.

Uno de los principales retos es interpretar correctamente la carga. La expansión de sensores, plataformas y dispositivos ha generado una gran cantidad de información. Sin embargo, más datos no equivalen automáticamente a mejores decisiones. El consenso de Bourdon et al. (2017) ya advertía la necesidad de un marco conceptual para orientar el monitoreo. La literatura más reciente profundiza en la importancia de seleccionar indicadores fiables, establecer líneas base y vincular cada métrica con una acción concreta (Timmins et al., 2026).

La relación entre carga y rendimiento también exige cautela. La búsqueda de una fórmula universal para predecir el rendimiento a partir de una variable de carga es poco compatible con la complejidad del sistema deportivo. La misma carga puede generar adaptaciones diferentes y un mismo nivel de rendimiento puede alcanzarse mediante estrategias diferentes. Las revisiones de periodización en corredores y ciclistas muestran precisamente una diversidad de modelos y distribuciones de intensidad (Casado et al., 2022; Galán-Rioja et al., 2023).

La adaptación neuromuscular constituye un puente especialmente importante entre entrenamiento y rendimiento. La fuerza, potencia, coordinación y capacidad de producir fuerza rápidamente dependen de la interacción entre sistema nervioso y tejido muscular. La evidencia sobre entrenamiento neuromuscular respalda efectos en varias capacidades relevantes, aunque los resultados dependen de la población, modalidad y duración de las intervenciones (Akbar et al., 2022).

La planificación futura debería integrar tres niveles. El primero es el nivel físico-fisiológico: energía, fuerza, velocidad, resistencia y recuperación. El segundo es

el nivel neuromotor-cognitivo: percepción, decisión, coordinación, aprendizaje y control. El tercero es el nivel contextual: calendario, competencia, viajes, estrés, disponibilidad y recursos. La calidad del entrenamiento dependerá de la capacidad para integrar estos niveles en decisiones coherentes.

En este sentido, el entrenador asume un papel de gestor de incertidumbre. No puede controlar todas las variables, pero sí puede construir un sistema que detecte cambios y responda oportunamente. La planificación es una hipótesis; el monitoreo aporta evidencia sobre esa hipótesis; y la reevaluación permite modificarla. Este ciclo es compatible con una práctica basada en evidencia y con la naturaleza dinámica del rendimiento.

Se recomienda definir objetivos claros antes de seleccionar indicadores. El entrenador debería utilizar un conjunto reducido de medidas consistentes, combinar información objetiva y subjetiva, y revisar tendencias más que valores aislados. La planificación debe incorporar alternativas para días de baja disponibilidad y mecanismos de reducción de carga cuando la respuesta lo justifique.

La manipulación de volumen, intensidad, frecuencia y densidad debe vincularse con el objetivo fisiológico. En fuerza, las decisiones deben considerar experiencia, capacidad y propósito; en deportes de resistencia, la distribución de intensidades debe corresponder a la disciplina y al calendario; y en deportes de equipo, las cargas físicas deben integrarse con las demandas técnico-tácticas.

Se requieren estudios que integren variables fisiológicas, neuromusculares, cognitivas y contextuales en diseños longitudinales. También es importante mejorar la validez ecológica de los estudios, de manera que los resultados puedan transferirse a contextos reales de entrenamiento y competencia.

La gestión del rendimiento requiere equipos interdisciplinarios capaces de compartir información. La tecnología debe implementarse con criterios de validez, confiabilidad, costo-beneficio y protección de datos. La cultura organizacional debe favorecer la comunicación entre entrenador, deportista, fisiología, medicina, nutrición y psicología.

ISBN
978-9942-595-14-0

Una transformación importante en la teoría contemporánea del entrenamiento consiste en pasar de pensar exclusivamente en ejercicios a pensar en estímulos. El ejercicio es el medio observable; el estímulo es la combinación de exigencias fisiológicas, neuromusculares, cognitivas y perceptivas que se pretende provocar. Dos ejercicios distintos pueden generar estímulos semejantes y, de forma inversa, un mismo ejercicio puede producir estímulos diferentes según la velocidad, la carga, el volumen, el descanso, el contexto y las instrucciones del entrenador. Esta distinción permite construir programas más flexibles y facilita la sustitución de tareas cuando existen limitaciones de equipamiento, calendario o disponibilidad del deportista.

Desde esta perspectiva, la selección de ejercicios debe responder a una pregunta previa: ¿qué adaptación se desea producir? Si el objetivo es incrementar fuerza máxima, la prescripción deberá priorizar una tensión elevada y una técnica estable. Si se pretende mejorar potencia, será necesario considerar velocidad de ejecución y capacidad para producir fuerza rápidamente. Si el objetivo es mejorar la toma de decisiones, un ejercicio aislado y predecible puede ser insuficiente y deberán incorporarse incertidumbre y restricciones representativas. El valor del ejercicio depende, por tanto, de su relación con el objetivo.

La evidencia sobre entrenamiento de fuerza ilustra esta lógica. El posicionamiento más reciente del ACSM muestra que diferentes objetivos responden a diferentes combinaciones de carga, volumen, rango de movimiento y velocidad, y que algunas variables tradicionalmente consideradas universales no producen efectos consistentes sobre todos los resultados (Currier et al., 2026). En términos prácticos, esto favorece una prescripción basada en la función de las variables y no en recetas rígidas.

La carga externa responde a lo que se hizo, mientras que la carga interna ayuda a comprender cómo fue experimentado y tolerado el estímulo. La misma distancia recorrida puede representar una exigencia muy diferente si el deportista se encuentra descansado o fatigado, si las condiciones ambientales cambian o si el esfuerzo se realiza después de una sesión intensa. Por esta razón, la interpretación de la carga exige integrar ambas dimensiones.

En deportes de equipo, la carga externa puede incluir distancia total, velocidad, aceleraciones, desaceleraciones, saltos y acciones específicas. La carga interna puede incorporar frecuencia cardiaca, percepción del esfuerzo y variables de bienestar. Teixeira et al. (2021) evidenciaron la diversidad de métodos utilizados para monitorizar carga en fútbol, mientras que Lima-Alves et al. (2022) señalaron la utilidad de estudiar la relación entre carga interna y externa para comprender el estado de condición física. La principal dificultad reside en que las relaciones no son constantes y dependen del individuo y del contexto.

Por ello, el entrenador debe evitar interpretar una sola métrica como equivalente al entrenamiento completo. Un incremento de distancia a alta velocidad puede ser importante, pero su significado cambia si simultáneamente aumenta la percepción de esfuerzo, disminuye el sueño o aparece deterioro neuromuscular. La integración de datos permite construir una interpretación más robusta y evita decisiones basadas en indicadores aislados.

Una cuestión central es determinar qué cantidad de estímulo necesita cada deportista. En lugar de asumir que existe una dosis óptima universal, la planificación puede trabajar con rangos y respuestas individuales. La dosis incluye no solo magnitud, sino también frecuencia, distribución y secuencia. El efecto final depende de la historia previa de exposición y de la capacidad de recuperación.

El establecimiento de líneas base individuales constituye una herramienta práctica. Si un deportista presenta habitualmente determinados valores de percepción de esfuerzo, salto, velocidad o bienestar, los cambios sostenidos pueden aportar más información que la comparación con una norma poblacional. Timmins et al. (2026) han propuesto enfoques que consideran la variabilidad individual, la mínima diferencia detectable y el contexto longitudinal para apoyar decisiones.

Sin embargo, los umbrales deben manejarse con prudencia. Una desviación aislada no implica necesariamente un problema. Las decisiones deberían considerar la magnitud del cambio, su persistencia, la calidad de la medición, el contexto y la convergencia con otros indicadores. Esta lógica reduce el riesgo de reaccionar exageradamente a fluctuaciones normales.

ISBN
978-9942-595-14-0

La adaptación fisiológica solo adquiere valor deportivo cuando contribuye a resolver demandas reales de la disciplina. Una mejora en el consumo máximo de oxígeno puede ser importante en resistencia, pero su relevancia será diferente en un deporte de esfuerzos intermitentes. De igual manera, una mejora de fuerza máxima puede necesitar convertirse en potencia, velocidad o capacidad de repetir acciones para influir sobre el rendimiento competitivo.

La especificidad debe entenderse como un continuo. En un extremo se encuentran ejercicios generales destinados a desarrollar capacidades básicas; en el otro, tareas altamente representativas de la competencia. El programa necesita desplazarse entre ambos extremos según el momento de la temporada y el nivel del deportista. La reducción de ejercicios generales durante periodos competitivos no significa que estos pierdan valor, sino que cambia su prioridad.

Las revisiones sobre periodización muestran que los deportistas de alto nivel utilizan combinaciones variadas de volumen e intensidad. Casado et al. (2022) describieron características diferenciadas en corredores de fondo, mientras que Galán-Rioja et al. (2023) encontraron diversidad en ciclistas entrenados. Estas diferencias apoyan una visión contextual de la periodización.

La adaptación neuromuscular comprende la interacción entre activación neural, producción de fuerza, coordinación y control del movimiento. En el deporte, la capacidad de producir una fuerza elevada es importante, pero también lo es producirla en el momento correcto y con una coordinación apropiada. Por ello, la calidad del movimiento constituye una dimensión relevante de la planificación.

Akbar et al. (2022) encontraron que las intervenciones de entrenamiento neuromuscular estudiadas se relacionaron principalmente con equilibrio, agilidad, fuerza y velocidad. Estos resultados respaldan la inclusión de tareas que desarrollen el control corporal además de la fuerza aislada. En deportes con cambios de dirección, saltos o aterrizajes, la capacidad de controlar el centro de masas y reorganizar la acción resulta determinante.

La fatiga modifica la calidad del movimiento. Una tarea técnicamente correcta al inicio de una sesión puede deteriorarse cuando se acumula fatiga. De ahí que la organización de pausas y la secuenciación de ejercicios tengan importancia

tanto para el estímulo fisiológico como para el aprendizaje técnico. Entrenar con fatiga puede ser útil en determinados contextos, pero debe ser una decisión intencional y no una consecuencia accidental de una mala distribución de cargas.

La recuperación no es una fase pasiva situada fuera del entrenamiento. Es parte del proceso adaptativo. El sueño, la nutrición, la hidratación, el manejo del estrés y la organización de las pausas influyen sobre la capacidad para responder a nuevos estímulos. En calendarios competitivos densos, la prioridad puede desplazarse desde el desarrollo hacia el mantenimiento y la recuperación.

El consenso del Comité Olímpico Internacional sobre carga y riesgo de enfermedad destacó que una gestión inadecuada de las cargas puede asociarse con problemas de salud y sobreentrenamiento, y recomendó monitorizar carga, bienestar e indicadores de enfermedad (Mountjoy et al., 2016). Esta perspectiva refuerza la necesidad de integrar información de rendimiento y salud en la planificación.

La recuperación debe individualizarse. Dos deportistas con igual carga externa pueden requerir estrategias diferentes. El objetivo no es eliminar toda fatiga, porque una parte de ella es consecuencia normal del estímulo, sino evitar que la fatiga residual comprometa la calidad del siguiente estímulo o la competencia.

La periodización organiza la relación temporal entre estímulo, recuperación y competencia. Su finalidad práctica es aumentar la probabilidad de que el deportista llegue a los eventos prioritarios con un nivel de preparación elevado y fatiga controlada. La planificación puede estructurarse en macrociclos, mesociclos y microciclos, pero estas unidades deben considerarse herramientas de organización y no entidades inmutables.

La revisión de González-Ravé et al. (2022) sobre periodización inversa muestra que un modelo alternativo no fue superior a modelos tradicionales o por bloques en las variables analizadas. Este resultado es relevante porque indica que la discusión no debería centrarse en encontrar el modelo universalmente superior, sino en determinar qué modelo resulta apropiado para una determinada población, disciplina, calendario y objetivo.

ISBN
978-9942-595-14-0

En deportes colectivos, el microciclo adquiere una importancia especial porque la competencia se repite con frecuencia. La organización de sesiones alrededor del día de partido debe equilibrar desarrollo, recuperación y preparación táctica. Las encuestas en academias de fútbol muestran que las decisiones reales de los entrenadores no siempre coinciden perfectamente con las intenciones declaradas, lo que demuestra la complejidad de convertir un modelo teórico en práctica cotidiana (Brink et al., 2023).

La puesta a punto o tapering busca reducir la fatiga acumulada sin perder adaptaciones importantes. En términos generales, la reducción del volumen cerca de la competencia puede favorecer la expresión del rendimiento, aunque la magnitud y duración deben adaptarse a la disciplina y al deportista. No se trata simplemente de descansar, sino de conservar estímulos de calidad mientras disminuye la carga total.

El tapering es un ejemplo claro de individualización. Algunos deportistas responden bien a reducciones marcadas del volumen, mientras otros necesitan mantener cierta frecuencia e intensidad para conservar sensaciones técnicas y neuromusculares. El monitoreo de percepción de esfuerzo, bienestar y desempeño puede ayudar a determinar la respuesta individual.

El crecimiento de dispositivos portátiles ha ampliado la capacidad para registrar carga, movimiento y recuperación. GPS, acelerometría, plataformas de fuerza, sensores inerciales, dinamometría y aplicaciones de bienestar permiten construir perfiles longitudinales. No obstante, la tecnología no elimina la incertidumbre. Cada instrumento posee error de medición, sensibilidad y condiciones de aplicación específicas.

La regla práctica debe ser utilizar una herramienta porque responde a una pregunta relevante. Si una métrica no cambia ninguna decisión, su registro puede representar una carga administrativa más que una ventaja. El enfoque Minimal, Adequate and Accurate propuesto en trabajos recientes sobre monitoreo enfatiza precisamente la selección de herramientas suficientes para objetivos claramente definidos (Timmins et al., 2026).

La tecnología también modifica el papel del entrenador. El profesional necesita alfabetización de datos para distinguir señal de ruido, reconocer cambios reales y comunicar la información al deportista. La competencia digital se convierte así en una extensión de la competencia metodológica.

La inteligencia artificial puede analizar múltiples variables simultáneamente y detectar patrones difíciles de observar manualmente. En teoría, podría ayudar a anticipar cambios de rendimiento, estimar respuestas a carga y personalizar sesiones. Sin embargo, la predicción depende de la calidad y representatividad de los datos utilizados para entrenar los modelos.

Un modelo que funciona en un equipo puede no generalizar a otro. Las diferencias de población, disciplina, instrumentos y condiciones de entrenamiento pueden alterar las asociaciones. Además, la predicción estadística no equivale a causalidad. Una correlación entre una métrica y el rendimiento no demuestra que modificar esa métrica produzca una mejora.

Por ello, la inteligencia artificial debe considerarse un sistema de apoyo a la decisión. La responsabilidad final continúa en el equipo profesional, que debe interpretar la información a la luz del contexto. La combinación de experiencia, evidencia científica y datos longitudinales puede ser más útil que la automatización completa del proceso.

La incorporación de la neurodidáctica amplía el concepto de entrenamiento porque reconoce que aprender una habilidad implica cambios en percepción, atención, memoria, decisión y control motor. Una sesión puede desarrollar una capacidad física y simultáneamente construir una representación motora. Esta integración es especialmente relevante en deportes donde la ejecución depende de la lectura del entorno.

Las tareas deben diseñarse considerando el nivel de experiencia del deportista. Una tarea demasiado sencilla puede no producir suficiente desafío; una tarea excesivamente compleja puede generar errores que impidan consolidar la habilidad. La progresión cognitivo-motora debe acompañar la progresión física.

La evidencia sobre adaptaciones neurales al entrenamiento deportivo apoya la relevancia de estudiar la relación entre práctica y funcionamiento cerebral,

aunque la investigación todavía presenta heterogeneidad metodológica (Fang et al., 2022). Esto abre una línea prometedora para conectar neurociencia, aprendizaje motor y planificación.

El modelo biopsicosocial permite integrar variables fisiológicas, psicológicas y sociales. El deportista no entrena en un vacío: estudia o trabaja, viaja, mantiene relaciones, experimenta estrés y enfrenta expectativas. Estas variables pueden modificar la percepción de esfuerzo y la capacidad de recuperación. Por ello, una planificación verdaderamente individualizada debe reconocer el contexto sin convertirlo en una colección infinita de variables.

La aplicación práctica requiere priorización. No es necesario medir todo. Es preferible identificar las variables que tienen mayor probabilidad de modificar una decisión y registrarlas con consistencia. Esta filosofía protege al deportista de un exceso de monitorización y al entrenador de una sobrecarga de información.

Capítulo 2. Bases neurofisiológicas del movimiento deportivo

El movimiento deportivo, entendido como la expresión más compleja y refinada de la conducta motora humana, no puede comprenderse cabalmente sin acudir a las estructuras y procesos del sistema nervioso que lo originan, lo regulan y lo perfeccionan a lo largo del tiempo. Toda acción deportiva desde un salto, un lanzamiento o un cambio de dirección, hasta la ejecución de una secuencia técnica de alta precisión es, en su esencia, el resultado observable de una intrincada cadena de eventos neurofisiológicos que involucra la generación de intenciones motoras, su traducción en programas de acción, la ejecución muscular propiamente dicha y el ajuste permanente de dicha ejecución a partir de la información sensorial que retorna desde la periferia corporal.

Desde una perspectiva histórica, el estudio del control motor ha oscilado entre dos grandes posiciones teóricas: una que concibe el movimiento como el resultado del encadenamiento de reflejos organizados en respuesta a estímulos sensoriales, y otra que lo entiende como la expresión de patrones motores centrales relativamente independientes de la retroalimentación periférica. La comprensión contemporánea de los mecanismos celulares y sistémicos que sustentan el control motor ha permitido superar esta dicotomía, reconociendo que el movimiento voluntario resulta de la interacción dinámica entre programas motores centralmente generados y mecanismos de retroalimentación sensorial que permiten su corrección en tiempo real (Machado et al., 2010).

En el campo de las ciencias del deporte y la Educación Física, el conocimiento de estas bases neurofisiológicas reviste una importancia particular, en la medida en que el entrenador, el docente y el profesional de la actividad física intervienen, muchas veces sin saberlo explícitamente, sobre los mismos sustratos neurales que la neurociencia describe: cuando se enseña una habilidad motriz nueva se está promoviendo la formación de nuevos programas motores en la corteza premotora y el cerebelo; cuando se trabaja el equilibrio y la propiocepción se está actuando directamente sobre los receptores sensoriales y las vías aferentes que informan al sistema nervioso central sobre la posición corporal; y cuando se diseña un programa de entrenamiento a largo plazo se está, en definitiva,

ISBN
978-9942-595-14-0

promoviendo procesos de neuroplasticidad estructural y funcional que explican la mejora sostenida del rendimiento motor (El-Sayes et al., 2019).

El control del movimiento humano constituye una de las funciones más elaboradas del sistema nervioso, en la medida en que exige la coordinación precisa y simultánea de múltiples niveles de organización neural, desde la médula espinal hasta las regiones corticales más elevadas. El sistema nervioso, entendido como una red de comunicación bidireccional entre el organismo y su entorno, cumple en este proceso una doble función: por un lado, genera los comandos motores que darán origen a la contracción muscular coordinada; por otro, recibe de manera continua la información sensorial proveniente de los receptores periféricos, la cual permite ajustar dichos comandos a las condiciones reales en que se ejecuta la acción (Restrepo, 2010).

Clásicamente, se ha entendido el control motor a partir de dos grandes modelos explicativos. El primero, de raíz reflexológica, sostiene que los movimientos complejos resultan del encadenamiento organizado de arcos reflejos, de modo que la aparición de la conducta motora dependería siempre de la presencia de estímulos sensoriales desencadenantes. El segundo modelo, de corte más central, propone la existencia de patrones motores relativamente fijos, generados internamente por el sistema nervioso central, cuya expresión no depende de manera estricta de la información sensorial externa. La evidencia neurofisiológica actual sugiere que ambos mecanismos coexisten y se complementan: existen patrones motores centrales capaces de generar secuencias de movimiento estereotipadas, pero dichos patrones son constantemente modulados y ajustados por la información aferente que llega desde la periferia (Machado et al., 2010).

El sistema nervioso organiza el control del movimiento en distintos niveles jerárquicos, que van desde la médula espinal, encargada de la ejecución de reflejos y patrones motores relativamente simples, hasta las áreas corticales superiores, responsables de la planificación e iniciación de movimientos voluntarios complejos. Entre ambos extremos se ubican estructuras subcorticales como el tronco encefálico, el cerebelo y los ganglios basales, cada una de las cuales aporta un tipo particular de procesamiento: el tronco encefálico

integra reflejos posturales y patrones locomotores básicos; el cerebelo compara el movimiento planeado con el movimiento efectivamente ejecutado y corrige el error resultante; y los ganglios basales participan en la selección, iniciación e inhibición de programas motores competidores (Restrepo, 2010).

Esta organización jerárquica no implica, sin embargo, una relación estrictamente unidireccional de mando y ejecución. Por el contrario, el control motor contemporáneo se entiende como un sistema distribuido y en red, en el cual las distintas estructuras neurales operan de manera simultánea y en paralelo, intercambiando información constante a través de circuitos de retroalimentación. Este funcionamiento en red explica, entre otros fenómenos, la capacidad del sistema nervioso para ejecutar tareas motoras redundantes, es decir, para alcanzar un mismo objetivo motor a través de combinaciones musculares distintas, lo cual constituye una característica adaptativa central de la motricidad humana y deportiva.

En el nivel más elemental, el movimiento se origina en la actividad de las neuronas motoras, células especializadas en transmitir la señal eléctrica generada en el sistema nervioso central hasta el músculo esquelético. Se distinguen las motoneuronas superiores, localizadas en la corteza cerebral y en núcleos del tronco encefálico, encargadas de iniciar y modular el movimiento voluntario, y las motoneuronas inferiores, situadas en el asta anterior de la médula espinal, cuyo axón se proyecta directamente hacia la fibra muscular. La unidad motora, definida como el conjunto formado por una motoneurona inferior y todas las fibras musculares que esta inerva, constituye la unidad funcional básica de la contracción muscular voluntaria.

La activación de la unidad motora se produce mediante la liberación de acetilcolina en la unión neuromuscular, neurotransmisor que provoca la despolarización de la membrana muscular y desencadena, a través del acoplamiento excitación-contracción, el deslizamiento de los filamentos de actina y miosina responsable del acortamiento muscular. Este proceso, aparentemente simple en su descripción, requiere en la práctica deportiva una precisión temporal extraordinaria, en la medida en que el reclutamiento secuencial de unidades motoras de distinto umbral y velocidad de contracción determina, en gran

ISBN
978-9942-595-14-0

medida, la fuerza, la velocidad y la coordinación con que se ejecuta un gesto técnico.

Buena parte de la actividad motora cotidiana y deportiva se sustenta en patrones reflejos y en secuencias motoras automatizadas que no requieren, en su ejecución, un control consciente permanente. Los reflejos espinales, como el reflejo miotático o de estiramiento, constituyen mecanismos de respuesta rápida ante cambios en la longitud muscular, y cumplen funciones de protección articular y de regulación del tono muscular durante la actividad física. La automatización de patrones motores más complejos, por su parte, resulta de un proceso de aprendizaje en el cual la ejecución del movimiento se traslada progresivamente desde estructuras corticales que exigen atención consciente hacia circuitos subcorticales capaces de generar la secuencia motora de manera más eficiente y con menor costo atencional, liberando así recursos cognitivos que el deportista puede destinar a la toma de decisiones tácticas y a la lectura del entorno competitivo.

La ejecución del movimiento voluntario depende de la actividad coordinada de múltiples regiones encefálicas que participan en distintas fases del proceso motor: la formación de la intención de movimiento, la elaboración del plan motor, la selección del programa más adecuado para las condiciones del entorno, la ejecución propiamente dicha y, finalmente, la evaluación del resultado obtenido en función del objetivo perseguido. Aunque la corteza motora primaria constituye la vía final común a través de la cual descienden la mayoría de los comandos motores hacia la médula espinal, la génesis del movimiento voluntario involucra una red mucho más amplia de estructuras corticales y subcorticales que operan de manera interdependiente.

La ejecución motora puede describirse, con fines analíticos, como un proceso secuencial compuesto por varias fases. En una primera fase, de carácter más cognitivo, se produce la formación de la intención de movimiento a partir de la integración de información contextual, motivacional y sensorial; en esta etapa participan de manera preponderante la corteza prefrontal y las áreas de asociación parietal, encargadas de transformar la información sensorial en representaciones espaciales útiles para la acción. En una segunda fase, de

planificación motora, se selecciona el programa motor más apropiado entre las distintas alternativas disponibles, proceso en el cual intervienen de manera decisiva la corteza premotora, el área motora suplementaria y los ganglios basales.

En una tercera fase, de ejecución propiamente dicha, la corteza motora primaria traduce el programa motor seleccionado en comandos específicos dirigidos a los grupos musculares implicados, comandos que descienden fundamentalmente a través del tracto corticoespinal hacia las motoneuronas medulares. Finalmente, en una cuarta fase, de monitorización y corrección, el cerebelo y las áreas sensoriales corticales comparan el movimiento ejecutado con el movimiento planificado, generando señales de error que permiten ajustar la acción en curso o mejorar la ejecución de movimientos futuros similares (Correa-Mesa & Álvarez-Peña, 2016).

Un rasgo distintivo de la organización motora del encéfalo humano es su carácter mayoritariamente contralateral: el hemisferio cerebral izquierdo controla predominantemente la musculatura del hemicuerpo derecho, y viceversa, como consecuencia de la decusación de las fibras corticoespinales a nivel del bulbo raquídeo. Esta organización contralateral coexiste, sin embargo, con mecanismos de cooperación interhemisférica mediados por el cuerpo calloso, particularmente relevantes en tareas deportivas que exigen la coordinación bimanual o la integración de información proveniente de ambos hemicampos visuales, como ocurre en deportes de conjunto o de raqueta.

Uno de los aspectos más relevantes de la ejecución motora en el contexto deportivo de alto rendimiento es la capacidad de anticipación, entendida como la habilidad del sistema nervioso para predecir el curso de una acción propia o ajena antes de que esta se complete plenamente. Esta capacidad se sustenta en mecanismos de copia eferente, mediante los cuales el sistema nervioso central genera, de manera simultánea al comando motor, una representación interna de las consecuencias sensoriales esperadas de dicho movimiento; la comparación entre esta predicción y la retroalimentación sensorial real permite tanto el ajuste fino del movimiento propio como la interpretación anticipada del movimiento de un adversario o compañero de juego (Correa-Mesa & Álvarez-

ISBN
978-9942-595-14-0

Peña, 2016). Estructuras como el núcleo anterior del tálamo, los núcleos subtalámicos y sus conexiones con la corteza sensoriomotora participan activamente en estos procesos de adaptación visomotora y de monitorización del error de movimiento.

La calidad de la información aferente, en particular la de origen visual, resulta determinante para la eficacia de estos mecanismos anticipatorios. El flujo óptico generado por el desplazamiento relativo entre el deportista y los objetos o personas de su entorno es procesado por la corteza temporal superior y la corteza intraparietal, estructuras que envían proyecciones hacia los núcleos vestibulares con el fin de generar comandos premotores ajustados a la dinámica del entorno competitivo. Este procesamiento predictivo explica por qué los deportistas expertos son capaces de anticipar el resultado de una acción a partir de la cinemática incipiente del movimiento de un oponente, mucho antes de que dicho movimiento se complete.

La corteza motora se localiza en el lóbulo frontal, inmediatamente anterior al surco central, y constituye la región cortical desde la cual se origina la mayor proporción de las fibras del tracto corticoespinal. Clásicamente se distinguen en ella tres subdivisiones funcionales: la corteza motora primaria, la corteza premotora y el área motora suplementaria, cada una de las cuales aporta una contribución particular y complementaria a la planificación y ejecución del movimiento voluntario.

La corteza motora primaria, localizada en el giro precentral, es la región responsable de la generación directa de los impulsos neuronales que determinan la ejecución del movimiento voluntario, y es la que requiere menor intensidad de estimulación eléctrica para provocar una respuesta motora observable. Su organización interna sigue un patrón somatotópico, representado clásicamente en la figura del homúnculo motor, en el cual las regiones corporales con mayor precisión de movimiento como la mano, los dedos y los músculos orofaciales ocupan una extensión cortical desproporcionadamente amplia en relación con su tamaño anatómico real. Esta organización no debe entenderse, sin embargo, como un mapa somático estático, sino como una representación computacional

dinámica, capaz de reorganizarse en función de la experiencia motora y del entrenamiento (Machado et al., 2010).

Situada inmediatamente anterior a la corteza motora primaria, en el área 6 de Brodmann, la corteza premotora cumple funciones de preparación y guía del movimiento, particularmente en lo relativo al control de la musculatura proximal y a la orientación del cuerpo en relación con estímulos externos. Esta región participa de manera decisiva en la selección del programa motor apropiado en función de las condiciones del entorno, integrando información visual y somatosensorial que permite ajustar la postura corporal antes de la ejecución de un gesto técnico específico, como la orientación del tronco y los miembros superiores previa a un lanzamiento o un golpeo.

El área motora suplementaria, localizada en la cara medial del lóbulo frontal, por delante de la representación de la pierna en la corteza motora primaria, desempeña un papel central en la planificación, secuenciación y coordinación de movimientos complejos, en especial de aquellos que requieren la participación coordinada de ambos hemicuerpos. Se ha documentado su implicación en la iniciación interna del movimiento es decir, en la generación de acciones motoras que no dependen directamente de un estímulo externo desencadenante así como en la preparación y monitorización de secuencias motoras aprendidas. Su conexión funcional con el sistema límbico y los ganglios basales explica, además, la relación existente entre los procesos motivacionales y la disposición a iniciar una acción motora determinada.

La corteza parietal posterior cumple una función de integración sensoriomotora de primer orden, en la medida en que transforma la información visual y somatosensorial recibida en instrucciones motoras utilizables por las áreas premotoras y motoras primarias. Esta región resulta particularmente relevante en disciplinas deportivas que exigen el ajuste continuo del movimiento en función de objetos en desplazamiento como ocurre en los deportes de balón, dado que permite calcular, de manera prácticamente instantánea, las coordenadas espaciales necesarias para interceptar, golpear o esquivar un objeto o a un oponente.

ISBN
978-9942-595-14-0

Un hallazgo relevante para la comprensión del entrenamiento deportivo es la evidencia de que los mapas corticales motores no permanecen fijos a lo largo de la vida, sino que se reorganizan en función de la práctica y el aprendizaje motor. La repetición sistemática de un gesto técnico específico se asocia con cambios en la extensión y en la excitabilidad de la representación cortical correspondiente a los grupos musculares implicados, fenómeno que constituye una de las bases neurofisiológicas de la especialización motriz deportiva y que será retomado con mayor detalle en el apartado dedicado a la neuroplasticidad (Machado et al., 2010).

El cerebelo constituye una estructura fundamental del sistema nervioso central, implicada de manera decisiva en la coordinación, precisión y sincronización temporal del movimiento. A diferencia de la corteza motora, el cerebelo no genera de manera directa el movimiento voluntario, sino que actúa como un sistema comparador que recibe, de forma simultánea, información sobre el movimiento planificado proveniente de la corteza cerebral e información sobre el movimiento efectivamente ejecutado proveniente de los receptores propioceptivos periféricos, con el fin de detectar y corregir posibles discrepancias entre ambos (García et al., 2009).

Desde el punto de vista anatómico, el cerebelo se compone de dos hemisferios laterales unidos por una región medial denominada vermis, y se conecta con el tronco encefálico a través de tres pares de pedúnculos cerebelosos, por los cuales transitan las principales vías aferentes y eferentes de esta estructura. En su interior se alojan los núcleos cerebelosos profundos dentado, interpósito y fastigial, encargados de proyectar la información procesada por la corteza cerebelosa hacia otras estructuras del sistema nervioso central, en particular hacia el tálamo y, a través de este, hacia la corteza motora.

La corteza cerebelosa presenta una organización celular extraordinariamente regular, en la cual las células de Purkinje constituyen la única vía de salida de la información procesada. Estas células reciben un doble tipo de aferencia: por un lado, las fibras paralelas, procedentes de las células granulares, que transmiten información sensorial y motora múltiple; por otro, las fibras trepadoras, procedentes de la oliva inferior, que actúan como una señal de enseñanza capaz

de modificar la eficacia sináptica de las fibras paralelas correspondientes. Este mecanismo, descrito en el modelo teórico de Marr y Albus, constituye la base celular propuesta para explicar la capacidad del cerebelo de participar en el aprendizaje motor (García et al., 2009).

El cerebelo interviene de manera directa en la regulación del tono muscular y en el mantenimiento del equilibrio postural, funciones esenciales para la ejecución de prácticamente cualquier gesto deportivo. A través de sus conexiones con el sistema vestibular y con la médula espinal, el cerebelo ajusta de manera continua la actividad de la musculatura antigravitatoria, permitiendo mantener la estabilidad corporal durante la ejecución de movimientos dinámicos como saltos, giros o desplazamientos rápidos. Las lesiones cerebelosas se manifiestan clínicamente, precisamente, por alteraciones en la coordinación (ataxia), en la precisión del movimiento (dismetría) y en el mantenimiento del equilibrio, lo cual evidencia de manera indirecta la relevancia de esta estructura para la motricidad deportiva.

Más allá de su papel en la coordinación del movimiento ya establecido, el cerebelo desempeña una función central en el aprendizaje de nuevas habilidades motrices. La evidencia experimental sugiere que el cerebelo reevalúa de manera dinámica su propia actividad a lo largo del proceso de aprendizaje, ajustando de forma continua la información de fase entre la señal motora y la retroalimentación sensorial, lo cual le permite actuar como un dispositivo modulador y reforzador de los movimientos que se están adquiriendo. Este mecanismo explica por qué, en las fases iniciales del aprendizaje de una habilidad deportiva, los movimientos suelen ser más lentos, menos precisos y requieren mayor control atencional, mientras que, tras un periodo de práctica sistemática, la ejecución se vuelve más fluida, rápida y automática, reflejo de la consolidación de nuevos patrones sinápticos en la corteza y en los núcleos profundos del cerebelo (García et al., 2009).

Asimismo, se ha documentado la participación del cerebelo en procesos cognitivos que trascienden el ámbito estrictamente motor, como la memoria de trabajo, la atención y determinados componentes de la planificación estratégica, lo cual sugiere que su contribución al rendimiento deportivo no se limita a la

ISBN
978-9942-595-14-0

ejecución motriz, sino que se extiende también a los procesos de toma de decisiones que caracterizan a la práctica deportiva de conjunto y de situación abierta.

Los ganglios basales constituyen un conjunto de núcleos subcorticales entre los que se encuentran el núcleo caudado, el putamen, el globo pálido, el núcleo subtalámico y la sustancia negra que, en conjunto, forman un circuito funcional de gran relevancia para el control del movimiento voluntario. A diferencia del cerebelo, cuya función principal es la corrección del error motor en tiempo real, los ganglios basales cumplen fundamentalmente una función de selección, facilitación e inhibición de los programas motores, actuando como un mecanismo de filtro que determina qué acción motora debe ejecutarse en un momento dado y con qué intensidad (Restrepo, 2010).

El funcionamiento de los ganglios basales se explica a través de circuitos corticoestriatales que conectan de manera recíproca la corteza cerebral, el cuerpo estriado, el globo pálido, el tálamo y nuevamente la corteza, formando un bucle de retroalimentación que permite refinar progresivamente el programa motor seleccionado. En términos funcionales, este circuito opera como un mecanismo de desinhibición selectiva: en condiciones de reposo, los ganglios basales ejercen una inhibición tónica sobre los circuitos motores talamocorticales, y la ejecución de un movimiento voluntario específico requiere la liberación selectiva de dicha inhibición sobre el programa motor deseado, mientras se mantiene o incluso se refuerza la inhibición sobre programas motores competidores (Restrepo, 2010).

Este mecanismo de selección resulta particularmente relevante en el contexto deportivo, en el cual el deportista debe, con frecuencia, seleccionar rápidamente una acción motora específica entre múltiples alternativas posibles, inhibiendo al mismo tiempo respuestas motoras alternativas que podrían resultar inadecuadas para la situación de juego. La eficiencia de este proceso de selección e inhibición constituye, en gran medida, la base neurofisiológica de lo que en el lenguaje del entrenamiento deportivo se conoce como toma de decisiones rápida y precisa bajo presión competitiva.

La sustancia negra, a través de sus proyecciones dopaminérgicas hacia el cuerpo estriado, desempeña un papel esencial en la modulación de la actividad de los ganglios basales. La dopamina facilita, en términos generales, la vía directa de los ganglios basales asociada a la iniciación y facilitación del movimiento e inhibe la vía indirecta asociada a la supresión de movimientos no deseados, contribuyendo así a que la ejecución motora resulte fluida, ajustada en su intensidad y libre de movimientos superfluos. Las alteraciones en esta regulación dopaminérgica, como las que se observan en la enfermedad de Parkinson, ilustran de manera clínica la relevancia de este sistema, manifestándose en bradicinesia, rigidez muscular y dificultad para iniciar el movimiento voluntario.

Además de su función en la selección de la acción motora en curso, los ganglios basales participan de manera decisiva en el aprendizaje procedimental, entendido como la adquisición progresiva de habilidades motoras mediante la práctica repetida, sin que dicho aprendizaje dependa necesariamente de un recuerdo consciente y explícito de cada repetición. Este tipo de aprendizaje resulta central en la formación técnica deportiva, en la medida en que explica cómo gestos técnicos inicialmente ejecutados de manera lenta, fragmentada y con alto control consciente, se transforman, tras un periodo prolongado de práctica sistemática, en secuencias motoras automatizadas, fluidas y ejecutadas con un mínimo requerimiento de atención consciente. Los ganglios basales colaboran, asimismo, con la corteza frontal y el cerebelo en la programación de secuencias motoras complejas, así como en la marcación del inicio y el final de una acción motora determinada.

La propiocepción se define como la capacidad del sistema nervioso para reconocer, de manera continua y en gran medida inconsciente, la posición relativa de los distintos segmentos corporales en el espacio, así como el estado de tensión, longitud y velocidad de contracción de la musculatura esquelética. Esta información resulta indispensable para el mantenimiento de la postura, la ejecución precisa del movimiento voluntario y la prevención de lesiones articulares durante la práctica deportiva (Fort Vanmeerhaeghe & Romero Rodríguez, 2013).

ISBN
978-9942-595-14-0

El sistema propioceptivo se sustenta en un conjunto diverso de mecanorreceptores distribuidos en el complejo músculo-tendinoso, en las cápsulas articulares y en los ligamentos. Entre los receptores musculares, el huso neuromuscular ocupa un lugar central, al informar de manera continua sobre la longitud del músculo y la velocidad de su cambio, constituyendo la base del reflejo miotático o de estiramiento. Los órganos tendinosos de Golgi, localizados en la unión miotendinosa, cumplen una función complementaria, al informar sobre el nivel de tensión generado durante la contracción muscular y al mediar el reflejo miotático inverso, mecanismo protector que previene una tensión excesiva sobre el tendón. Los receptores articulares, entre los que se encuentran los corpúsculos de Ruffini y los corpúsculos de Pacini, aportan información adicional sobre la posición articular, especialmente relevante en los extremos del recorrido articular y en condiciones de inestabilidad estructural.

En el ámbito de las ciencias de la actividad física y el deporte, se ha propuesto sustituir el concepto restringido de propiocepción por el de sistema sensoriomotor, entendido como la integración de los procesos neurosensorial y neuromuscular implicados en el mantenimiento de la estabilidad funcional de la articulación. Este sistema incorpora tres componentes fundamentales: los receptores periféricos, encargados de captar la información mecánica del entorno articular; los mecanismos de integración y procesamiento central, localizados en la médula espinal, el tronco encefálico y la corteza cerebral; y las respuestas motoras eferentes, que ajustan la actividad muscular en función de la información procesada (Fort Vanmeerhaeghe & Romero Rodríguez, 2013).

El adecuado funcionamiento de este sistema resulta determinante tanto para el rendimiento deportivo como para la prevención de lesiones. Cuando se produce una lesión en el tejido articular o ligamentoso, los mecanorreceptores implicados pueden sufrir un deterioro funcional, generando una alteración en la calidad de la información aferente que llega al sistema nervioso central. Esta alteración compromete, a su vez, el control neuromuscular normal y puede desencadenar lo que en la literatura especializada se denomina un círculo vicioso lesivo, en el cual el déficit propioceptivo incrementa el riesgo de nuevas lesiones articulares, especialmente en estructuras como el ligamento cruzado anterior de la rodilla o

el complejo ligamentoso del tobillo (Fort Vanmeerhaeghe & Romero Rodríguez, 2013).

El mantenimiento del equilibrio corporal durante la actividad deportiva depende de la integración continua de la información propioceptiva con la información proveniente de los sistemas visual y vestibular. A partir de esta integración, el sistema nervioso central genera tanto respuestas reactivas, orientadas a corregir una perturbación postural ya ocurrida, como ajustes posturales anticipatorios, que preceden a la ejecución de un movimiento voluntario con el fin de estabilizar el cuerpo antes de que dicho movimiento se produzca. Estos ajustes anticipatorios, generados en gran medida por la corteza premotora y el área motora suplementaria, resultan especialmente relevantes en gestos deportivos que implican el desplazamiento del centro de masa corporal, como el lanzamiento de un balón, un golpeo con el pie o un salto vertical, en los cuales la estabilidad de la base de sustentación debe garantizarse antes de que se inicie la fase de mayor exigencia mecánica del gesto técnico.

El reconocimiento de la relevancia funcional del sistema sensoriomotor ha derivado en el desarrollo de programas específicos de entrenamiento propioceptivo, orientados tanto a la mejora del rendimiento deportivo como a la prevención y readaptación de lesiones. Este tipo de entrenamiento, que incluye ejercicios en superficies inestables, tareas de equilibrio unipodal y actividades que exigen respuestas motoras rápidas ante perturbaciones externas, ha mostrado capacidad para mejorar los patrones de activación muscular y la estabilidad articular funcional, constituyendo en la actualidad un componente habitual de la preparación física en disciplinas deportivas de alto riesgo lesional.

La integración sensoriomotora puede definirse como la capacidad del sistema nervioso central para combinar información proveniente de distintas fuentes sensoriales y transformarla en una respuesta motora coherente y orientada a un objetivo específico. Este proceso constituye uno de los ejes centrales de la neurofisiología del movimiento deportivo, en la medida en que ninguna acción motora eficaz puede producirse al margen de la información sensorial que la contextualiza y la orienta (Machado et al., 2010).

ISBN
978-9942-595-14-0

El sistema nervioso central obtiene la información necesaria para el control del movimiento y la postura fundamentalmente a partir de tres subsistemas sensoriales: el sistema somatosensorial, que incluye la información propioceptiva, táctil y de presión proveniente de la piel, los músculos y las articulaciones; el sistema vestibular, localizado en el oído interno, que informa sobre la posición y el movimiento de la cabeza en el espacio; y el sistema visual, que aporta información sobre la posición y el desplazamiento de objetos y personas en el entorno. Aunque los tres subsistemas contribuyen de manera conjunta al control motor, su peso relativo varía en función de la tarea deportiva específica: en actividades de precisión manual predomina la información somatosensorial, mientras que en deportes de conjunto o de situación abierta la información visual adquiere una relevancia central para la anticipación y la toma de decisiones (Fort Vanmeerhaeghe & Romero Rodríguez, 2013).

La integración sensoriomotora se produce en múltiples niveles del sistema nervioso central, desde la médula espinal hasta la corteza cerebral, de manera simultánea y en paralelo. En el nivel medular se organizan los reflejos y los patrones motores más estereotipados, como los reflejos de retirada ante estímulos nocivos y los patrones locomotores básicos. En un nivel intermedio, el tronco encefálico integra la información vestibular y propioceptiva necesaria para la estabilización postural y para reacciones compensatorias más elaboradas que los reflejos medulares simples. Finalmente, en el nivel cortical, la información sensorial se integra con procesos cognitivos superiores atención, memoria de trabajo, toma de decisiones, permitiendo la generación de respuestas motoras conscientes, flexibles y adaptadas a objetivos complejos y cambiantes (Machado et al., 2010).

Dos principios organizativos resultan especialmente relevantes para comprender este proceso. El primero sostiene que cada área cerebral implicada en la producción del movimiento mantiene una representación somatotópica del cuerpo, es decir, una suerte de mapa funcional de los distintos segmentos corporales. El segundo propone la existencia de una jerarquía de al menos tres niveles organizacionales del control motor, desde los patrones más automáticos y estereotipados hasta las respuestas más elaboradas y dependientes del

contexto, jerarquía que resulta coherente con la organización jerárquica del control motor descrita en el primer apartado de este documento.

Un aspecto de particular interés para las ciencias del deporte es la evidencia de que el entrenamiento sensitivomotor sistemático es capaz de inducir procesos de reorganización cortical, entendidos como cambios en la extensión, la excitabilidad y la conectividad de las áreas cerebrales implicadas en la integración sensorial y la respuesta motora. Estos procesos de reorganización, documentados inicialmente en el contexto de la rehabilitación neurológica tras lesiones como el accidente cerebrovascular, aportan también un marco explicativo relevante para comprender cómo la práctica deportiva especializada y prolongada modifica progresivamente la manera en que el sistema nervioso central procesa la información sensorial relevante para cada disciplina deportiva (Machado et al., 2010).

La eficacia de la integración sensoriomotora se manifiesta, en el terreno deportivo, en variables como el tiempo de reacción simple y el tiempo de reacción de elección, entendidos como el intervalo transcurrido entre la aparición de un estímulo relevante y la iniciación de la respuesta motora correspondiente. Este intervalo depende de la velocidad de conducción de la señal a través de las distintas etapas del procesamiento sensoriomotor detección del estímulo, identificación, selección de la respuesta y programación motora y puede modificarse mediante el entrenamiento específico, en la medida en que la práctica repetida favorece una mayor eficiencia en cada una de estas etapas, así como una mejor anticipación de los estímulos relevantes propios de cada modalidad deportiva.

La neuroplasticidad se define como la capacidad del sistema nervioso para modificar su estructura y su función en respuesta a la experiencia, el aprendizaje y las demandas ambientales, incluyendo entre estas últimas la práctica física y deportiva sistemática. Este concepto resulta central para comprender por qué el entrenamiento deportivo produce, más allá de las adaptaciones estrictamente musculares y metabólicas ampliamente conocidas, cambios estructurales y funcionales significativos en el sistema nervioso central que explican, en última

ISBN
978-9942-595-14-0

instancia, la mejora sostenida en la ejecución técnica, la coordinación y la toma de decisiones del deportista (El-Sayes et al., 2019).

La evidencia científica actual señala que el ejercicio físico, en especial el ejercicio aeróbico realizado de manera regular, incrementa la disponibilidad de diversos factores neurotróficos, entre los que destaca el factor neurotrófico derivado del cerebro, así como el factor de crecimiento similar a la insulina tipo 1 y el factor de crecimiento endotelial vascular. Estos factores neurotróficos favorecen, en conjunto, procesos de neurogénesis, entendida como la formación de nuevas neuronas; sinaptogénesis, o formación de nuevas conexiones sinápticas; angiogénesis, relacionada con la formación de nuevos vasos sanguíneos que mejoran el aporte de oxígeno y nutrientes al tejido nervioso; y gliogénesis, referida a la formación de nuevas células gliales de soporte (El-Sayes et al., 2019).

Estos mecanismos moleculares se traducen, en el nivel estructural, en incrementos documentados del volumen de sustancia gris y de sustancia blanca en determinadas regiones encefálicas, así como en modificaciones del flujo sanguíneo cerebral, cambios que se asocian con mejoras en el rendimiento cognitivo y motor. Resulta relevante distinguir, en este sentido, entre los efectos de una sesión aislada de ejercicio neuroplasticidad aguda, generalmente transitoria y los efectos acumulados de un programa de entrenamiento sostenido en el tiempo neuroplasticidad crónica, asociada a cambios estructurales más estables y duraderos (El-Sayes et al., 2019).

El aprendizaje de una nueva habilidad motriz deportiva constituye, desde la perspectiva neurofisiológica, un proceso de neuroplasticidad en acción. La adquisición de un gesto técnico nuevo se acompaña de cambios en la representación cortical de los grupos musculares implicados, de un fortalecimiento de las conexiones sinápticas relevantes para dicho gesto y de una progresiva transferencia del control de la ejecución desde estructuras que exigen atención consciente corteza prefrontal y corteza motora primaria hacia circuitos subcorticales capaces de generar la secuencia motora de manera más automática y eficiente ganglios basales y cerebelo. Este proceso explica la conocida progresión, descrita en la literatura del aprendizaje motor, desde una

fase cognitiva inicial, caracterizada por movimientos lentos y poco coordinados, pasando por una fase asociativa de refinamiento progresivo, hasta una fase autónoma en la cual el gesto técnico se ejecuta de manera fluida y con mínimo requerimiento atencional.

Al igual que ocurre con las adaptaciones musculares y cardiovasculares al entrenamiento, la neuroplasticidad inducida por la práctica deportiva responde a principios de especificidad: los cambios estructurales y funcionales observados en el sistema nervioso central tienden a producirse, de manera preferente, en aquellas regiones y circuitos directamente implicados en la tarea motriz específicamente entrenada. Esta especificidad neural fundamenta la recomendación pedagógica y metodológica de diseñar procesos de enseñanza y entrenamiento que reproduzcan, en la mayor medida posible, las condiciones perceptivas y decisionales propias de la disciplina deportiva de que se trate.

Al mismo tiempo, la introducción de variabilidad, incertidumbre y novedad en los estímulos de entrenamiento ha sido señalada como un factor relevante para estimular procesos de neuroplasticidad más generalizables, en la medida en que exige al sistema nervioso central generar soluciones motoras nuevas y flexibles, en lugar de limitarse a la repetición mecánica de un patrón motor único. Este principio resulta particularmente relevante en la formación deportiva de base, en la cual la exposición a tareas motrices variadas y contextualmente ricas favorecería, según la evidencia disponible, un desarrollo neuromotor más completo que la especialización temprana y repetitiva en un único patrón técnico.

El conocimiento de los mecanismos de neuroplasticidad inducida por el ejercicio ofrece un fundamento científico sólido para orientar decisiones metodológicas en el ámbito de la Educación Física y el entrenamiento deportivo. Entre estas implicaciones cabe destacar: la importancia de la constancia y la progresión gradual en la carga de entrenamiento, condiciones necesarias para consolidar los cambios estructurales inducidos por el ejercicio; la conveniencia de combinar el trabajo físico con exigencias cognitivas atención dividida, toma de decisiones bajo presión, memoria de trabajo, en la medida en que dicha combinación parece favorecer una mayor cooperación funcional entre el sistema nervioso central y el sistema motor; y la necesidad de individualizar los procesos de enseñanza y

entrenamiento, reconociendo que la capacidad de adaptación neuroplástica puede variar de manera significativa entre distintos sujetos en función de factores genéticos, madurativos y de historia de práctica previa.

NEUROCIENCIA Y APRENDIZAJE MOTOR

ISBN
978-9942-595-14-0

Capítulo 3. Neurociencia aplicada al aprendizaje motor

Comprender cómo el ser humano aprende a moverse con eficacia, precisión y economía de esfuerzo ha sido una preocupación central de la kinesiología, la psicología del deporte y la pedagogía de la educación física desde mediados del siglo XX. Cada gesto deportivo, cada desplazamiento cotidiano y cada acción motriz compleja desde lanzar un balón hasta ejecutar una pirueta en gimnasia es el resultado de un proceso de aprendizaje en el que intervienen mecanismos perceptivos, cognitivos, atencionales y biomecánicos que se organizan de manera integrada (Schmidt et al., 2018).

El estudio del aprendizaje motor ha transitado por distintos paradigmas explicativos. Durante buena parte del siglo XX predominó una visión cognitivista, centrada en el procesamiento secuencial de información y en la existencia de representaciones internas o programas motores que guían la ejecución (Adams, 1971; Fitts & Posner, 1967). Posteriormente, los enfoques dinámicos y ecológicos, inspirados en los trabajos de Bernstein (1967) y en la psicología ecológica de Gibson (1979), propusieron entender el movimiento como el resultado de la autoorganización de un sistema complejo que se ajusta continuamente a las restricciones del organismo, la tarea y el entorno (Newell, 1986). Ambas tradiciones, lejos de ser excluyentes, aportan herramientas complementarias para comprender la adquisición de habilidades motrices en contextos deportivos, educativos y de rehabilitación.

El aprendizaje motor puede definirse como el conjunto de procesos internos asociados a la práctica y a la experiencia que conducen a cambios relativamente permanentes en la capacidad de un individuo para producir movimientos hábiles (Schmidt & Lee, 2020). Esta definición, ampliamente aceptada en la literatura del comportamiento motor, contiene tres elementos que conviene destacar. En primer lugar, se trata de un conjunto de procesos internos, no directamente observables, que solo pueden inferirse a partir de cambios en la ejecución; por ello, el aprendizaje motor se diferencia del rendimiento momentáneo, ya que este último puede fluctuar por factores transitorios como la fatiga, la motivación o el estado emocional, sin que ello implique necesariamente un cambio en el nivel de aprendizaje subyacente (Magill & Anderson, 2017). En segundo lugar, el

aprendizaje motor depende de la práctica y de la experiencia, lo que excluye del concepto a los cambios en el movimiento derivados exclusivamente de la maduración biológica o del crecimiento. En tercer lugar, el cambio debe ser relativamente permanente y estable en el tiempo, lo que lo distingue de mejoras efímeras o de simples adaptaciones fisiológicas de corto plazo.

Desde una perspectiva histórica, el estudio científico del aprendizaje motor se nutrió inicialmente de la psicología conductista y de la ingeniería de sistemas de control, lo que dio lugar a los primeros modelos de procesamiento de información aplicados al movimiento humano (Fitts & Posner, 1967). Bajo esta óptica, aprender una habilidad motriz implica desarrollar representaciones mentales programas motores generalizados, en términos de Schmidt (1975) capaces de especificar los parámetros espaciales, temporales y de fuerza necesarios para ejecutar una clase de movimientos con distintas variantes. La teoría del esquema motor de Schmidt (1975) resulta particularmente relevante porque explica cómo, a partir de un número limitado de experiencias de práctica variada, el sistema nervioso central construye reglas generales o esquemas que permiten producir respuestas motrices novedosas, no ensayadas previamente de forma idéntica, ante situaciones nuevas.

Una perspectiva complementaria, y en cierto sentido alternativa, es la que ofrecen los enfoques dinámicos y ecológicos del control motor. Bernstein (1967), a partir de sus estudios sobre la coordinación en tareas de herrería y mecanografía, identificó el llamado problema de los grados de libertad: dado que el sistema musculoesquelético humano cuenta con un número extraordinariamente elevado de articulaciones y músculos susceptibles de combinarse, el aprendizaje motor consiste, en buena medida, en aprender a reducir y organizar esos grados de libertad en sinergias funcionales que simplifiquen el control del movimiento. Newell (1986), por su parte, propuso el modelo de restricciones, según el cual el patrón de movimiento que emerge en cada momento resulta de la interacción dinámica entre restricciones propias del organismo (estructurales y funcionales), restricciones de la tarea (reglas, objetivos, implementos) y restricciones del entorno (superficie, condiciones climáticas, presencia de oponentes). Desde esta óptica, aprender no equivale únicamente a construir representaciones internas más precisas, sino también a

ISBN
978-9942-595-14-0

explorar activamente el espacio de posibilidades de movimiento hasta encontrar soluciones motrices funcionales y económicas para cada configuración particular de restricciones.

En el ámbito de la educación física y el entrenamiento deportivo, comprender el concepto de aprendizaje motor tiene implicaciones prácticas directas. Permite, por ejemplo, distinguir entre una mejora circunstancial del desempeño durante una sesión de entrenamiento y un aprendizaje genuino que se mantiene en el tiempo y se generaliza a nuevas situaciones; asimismo, orienta el diseño de tareas de práctica que favorezcan la construcción de representaciones motrices flexibles, en lugar de limitarse a la repetición mecánica de un único patrón de movimiento (Ruiz Pérez & Sánchez Bañuelos, 1997).

Resulta pertinente, además, diferenciar el aprendizaje motor de conceptos afines con los que suele confundirse en el lenguaje cotidiano de la práctica pedagógica, como el desarrollo motor y el control motor. El desarrollo motor alude al cambio progresivo en la capacidad de movimiento asociado al ciclo vital del individuo, particularmente a la maduración biológica durante la infancia y a los procesos de declive funcional propios del envejecimiento, y por tanto opera en una escala temporal mucho más amplia que la del aprendizaje motor propiamente dicho. El control motor, por su parte, se ocupa de los mecanismos neurales y biomecánicos que permiten regular un movimiento en el aquí y ahora de su ejecución, con independencia de si dicho movimiento ha sido o no aprendido recientemente. El aprendizaje motor, en cambio, se sitúa en un punto intermedio: estudia cómo esos mecanismos de control se modifican y se estabilizan como consecuencia de la práctica, de manera que, con el tiempo, un mismo sistema de control puede producir ejecuciones cada vez más eficaces (Magill & Anderson, 2017).

Conviene, asimismo, situar el aprendizaje motor dentro del campo más amplio del comportamiento motor humano, disciplina que integra tres subáreas estrechamente relacionadas pero conceptualmente diferenciadas: el control motor, el aprendizaje motor y el desarrollo motor. Mientras que el control motor se pregunta cómo el sistema nervioso organiza y regula la ejecución de un movimiento en un instante determinado, y el desarrollo motor estudia los cambios

asociados al curso de la vida, el aprendizaje motor se centra específicamente en el papel de la práctica y la experiencia como motores del cambio en la capacidad de movimiento. Esta delimitación conceptual, aunque pueda parecer meramente académica, tiene consecuencias metodológicas concretas, pues orienta al investigador o al docente hacia las variables que efectivamente resultan pertinentes de manipular y observar cuando el objetivo es promover o evaluar un aprendizaje motor genuino, en contraposición a variables que explican el desempeño momentáneo o el cambio madurativo.

En el contexto colombiano, la comprensión rigurosa del concepto de aprendizaje motor resulta particularmente relevante para los programas de formación de licenciados en educación física, recreación y deporte, en la medida en que constituye el fundamento teórico sobre el cual se sustentan las decisiones curriculares relacionadas con la secuenciación de contenidos, la selección de metodologías de enseñanza y los criterios de evaluación del desempeño motor de los estudiantes en distintos niveles educativos. Un docente que comprende con claridad la diferencia entre rendimiento y aprendizaje, por ejemplo, evitará sacar conclusiones apresuradas sobre el progreso de sus estudiantes a partir de una única sesión de clase, y privilegiará en cambio evaluaciones distribuidas en el tiempo que permitan estimar con mayor precisión el aprendizaje realmente consolidado.

En síntesis, el aprendizaje motor debe entenderse como un proceso complejo, multicausado y progresivo, en el que interactúan factores cognitivos, perceptivos, biomecánicos y contextuales, y cuya comprensión resulta indispensable para cualquier profesional que intervenga en procesos de enseñanza del movimiento humano.

Uno de los modelos más influyentes para describir el proceso de aprendizaje de una habilidad motriz es el propuesto por Fitts y Posner (1967), quienes identificaron tres etapas sucesivas aunque no estrictamente delimitadas por las que transita el aprendiz: la etapa cognitiva, la etapa asociativa y la etapa autónoma. En la etapa cognitiva, el aprendiz se enfrenta por primera vez a la tarea y su atención se concentra en comprender qué se espera de él, qué reglas debe seguir y cuáles son los componentes básicos del movimiento. El

ISBN
978-9942-595-14-0

desempeño en esta fase se caracteriza por ser inconsistente, con errores frecuentes y de magnitud considerable, y por requerir una elevada carga cognitiva y atencional, dado que casi ningún componente de la ejecución se ha automatizado todavía (Magill & Anderson, 2017).

En la etapa asociativa, el aprendiz ya ha comprendido los aspectos fundamentales de la tarea y comienza a refinar el patrón de movimiento, detectando y corrigiendo progresivamente los errores más groseros de la fase anterior. Los movimientos se vuelven más consistentes y la variabilidad en la ejecución disminuye de manera notable, aunque persisten errores más sutiles, relacionados con el ajuste fino de la temporalización, la fuerza o la trayectoria. Esta etapa suele ser la más prolongada en el tiempo y es en ella donde se produce la mayor parte del proceso de práctica deliberada característico del entrenamiento deportivo formal (Ericsson et al., 1993).

Finalmente, en la etapa autónoma, el movimiento se ejecuta con un alto grado de automatización, lo que libera recursos atencionales que el deportista puede destinar a otros aspectos de la tarea, como la lectura del juego, la toma de decisiones tácticas o la anticipación de las acciones del adversario. En esta fase, la ejecución motriz se vuelve resistente a la interferencia de tareas secundarias y a las condiciones de estrés competitivo, y el desempeño alcanza niveles de consistencia y eficiencia notablemente superiores a los de las etapas previas (Schmidt & Lee, 2020). Cabe señalar que no todas las habilidades motrices llegan a alcanzar esta etapa; muchas actividades recreativas o de práctica esporádica permanecen indefinidamente en la etapa asociativa.

Un modelo complementario, propuesto por Gentile (1972), enfatiza dos grandes etapas organizadas en torno a los objetivos del aprendiz más que a las características del movimiento en sí. En la primera etapa, denominada de comprensión de la idea del movimiento, el aprendiz debe identificar la estructura regulatoria de la tarea es decir, discriminar qué elementos del entorno son relevantes para guiar la acción y cuáles pueden ignorarse y desarrollar un patrón de movimiento básico y funcional. En la segunda etapa, de fijación y diversificación, el objetivo depende del tipo de habilidad: si se trata de una habilidad cerrada, ejecutada en un entorno estable y predecible como el

lanzamiento de dardos o un salto de trampolín, el énfasis se coloca en la fijación del patrón de movimiento para lograr consistencia; si, en cambio, se trata de una habilidad abierta, ejecutada en un entorno cambiante como el fútbol o el baloncesto, el énfasis se traslada hacia la diversificación, es decir, hacia la capacidad de adaptar el patrón básico de movimiento a las condiciones siempre variables de la situación de juego.

Desde la perspectiva de los sistemas dinámicos, Bernstein (1967) había descrito ya el tránsito del aprendizaje motor como un proceso de progresiva liberación y organización de los grados de libertad. En las fases iniciales, el aprendiz tiende a congelar o restringir artificialmente varias articulaciones para simplificar el control del movimiento por ejemplo, manteniendo el codo rígido al golpear una pelota; a medida que avanza el aprendizaje, esas articulaciones se liberan progresivamente y se incorporan a sinergias de movimiento más eficientes, que aprovechan las fuerzas de reacción y las propiedades elásticas del sistema musculoesquelético, permitiendo movimientos más fluidos, económicos y adaptables. Esta lectura complementa la propuesta cognitivista de Fitts y Posner, en la medida en que aporta una explicación biomecánica de lo que ocurre en el sistema motor durante el tránsito de la etapa cognitiva a la etapa autónoma.

Desde el punto de vista pedagógico, reconocer en qué etapa se encuentra un estudiante o deportista resulta fundamental para ajustar las estrategias de enseñanza: durante la etapa cognitiva conviene privilegiar instrucciones claras, demostraciones y retroalimentación frecuente sobre los aspectos esenciales de la tarea; en la etapa asociativa es pertinente incrementar gradualmente la variabilidad y la complejidad de la práctica; y en la etapa autónoma cobra sentido introducir condiciones de práctica más exigentes, que simulen la presión competitiva y demanden la integración de la ejecución motriz con la toma de decisiones tácticas (Ruiz Pérez, 1994).

La progresión entre etapas no debe entenderse como un tránsito automático que ocurra por el mero transcurso del tiempo o de la cantidad de repeticiones acumuladas, sino como el resultado de una práctica estructurada, significativa y acompañada de retroalimentación adecuada. Existen deportistas que, a pesar de acumular años de práctica, permanecen estancados en un nivel de ejecución

propio de la etapa asociativa, fenómeno que en la literatura sobre pericia deportiva se ha vinculado con la ausencia de práctica deliberada, entendida como aquella actividad de entrenamiento diseñada específicamente para mejorar aspectos concretos del desempeño, que exige un esfuerzo cognitivo considerable, que no resulta intrínsecamente placentera y que requiere de retroalimentación informativa inmediata sobre los errores cometidos (Ericsson et al., 1993). La sola exposición prolongada a una actividad, sin estas características, tiende a generar una meseta de aprendizaje de la cual resulta difícil salir sin una intervención pedagógica deliberada.

Adicionalmente, conviene distinguir entre las estrategias de práctica en bloque, en las que el aprendiz repite muchas veces consecutivas una misma variante de la tarea antes de pasar a la siguiente, y las estrategias de práctica en serie o aleatoria, en las que distintas variantes se alternan de manera impredecible. Si bien la práctica en bloque suele resultar más apropiada en las fases iniciales de la etapa cognitiva, cuando el aprendiz necesita todavía comprender la estructura básica del movimiento, la introducción progresiva de condiciones más variables e impredecibles a medida que se avanza hacia las etapas asociativa y autónoma favorece el desarrollo de esquemas motores más robustos y generalizables (Magill & Anderson, 2017), en línea con lo que se expondrá más adelante al abordar la memoria motora y la transferencia del aprendizaje.

La memoria motora hace referencia al conjunto de procesos mediante los cuales el sistema nervioso central codifica, almacena y recupera la información necesaria para planificar y ejecutar movimientos previamente aprendidos. Aunque coloquialmente suele hablarse de «memoria muscular», es importante precisar que los músculos no almacenan información por sí mismos: es el sistema nervioso, en sus distintos niveles corteza motora, ganglios basales, cerebelo y médula espinal, el que retiene los patrones de activación necesarios para reproducir un movimiento con eficacia (Willingham, 1998).

Dentro de los modelos clásicos de procesamiento de información, la memoria motora ha sido analizada en paralelo con el modelo de memoria de trabajo propuesto por Baddeley y Hitch (1974), que distingue un ejecutivo central encargado de coordinar y dirigir la atención, junto con sistemas subordinados

especializados, entre ellos la agenda visoespacial, responsable de mantener y manipular información sobre la posición y el movimiento de los objetos en el espacio. Este componente resulta especialmente relevante para el aprendizaje motor, ya que interviene en la representación temporal de la trayectoria de un implemento, en la ubicación de compañeros y adversarios, y en la planificación anticipada de la acción. Baddeley (2000) incorporó posteriormente el concepto de búfer episódico, un sistema que integra información proveniente de distintas modalidades sensoriales con los contenidos de la memoria a largo plazo, lo que permite explicar cómo el deportista combina información visual, propioceptiva y auditiva para construir una representación coherente y actualizada de la acción en curso.

La teoría del esquema motor de Schmidt (1975) ofrece, por su parte, una explicación específica del modo en que se organiza la memoria para el movimiento. Según esta teoría, tras cada ejecución motriz el sistema nervioso central almacena cuatro tipos de información: las condiciones iniciales en las que se produjo el movimiento, los parámetros específicos utilizados para generarlo, las consecuencias sensoriales resultantes de la ejecución y el resultado real obtenido en relación con el objetivo perseguido. A partir de la acumulación de múltiples experiencias de práctica variada, el sistema abstrae relaciones generales entre estos cuatro tipos de información, construyendo dos esquemas complementarios: un esquema de recuerdo, que permite seleccionar y especificar los parámetros necesarios para producir un movimiento deseado, y un esquema de reconocimiento, que permite evaluar, a partir de las consecuencias sensoriales percibidas, si la ejecución resultó correcta. Cuanto mayor y más variada sea la experiencia de práctica, más robustos y generalizables resultarán ambos esquemas, lo que explica por qué la práctica variable suele favorecer, a mediano y largo plazo, un aprendizaje más transferible que la práctica constante y repetitiva (Shea & Morgan, 1979).

Un fenómeno estrechamente vinculado con la memoria motora es el llamado efecto de interferencia contextual, descrito originalmente por Shea y Morgan (1979). Estos autores demostraron que cuando distintas variantes de una habilidad motriz se practican de manera aleatoria o mezclada en lugar de practicarlas en bloques separados y consecutivos, el desempeño durante la fase

ISBN
978-9942-595-14-0

de adquisición tiende a ser inferior, pero el aprendizaje resultante, evaluado en pruebas de retención y transferencia realizadas días después, resulta superior. Este hallazgo se ha interpretado como evidencia de que la práctica aleatoria obliga al aprendiz a reconstruir activamente el plan motor en cada intento, lo que produce trazos de memoria más elaborados y duraderos que los generados por la simple repetición consecutiva de un mismo patrón de movimiento.

Desde la neurociencia del comportamiento motor, se ha establecido que distintas estructuras cerebrales contribuyen de manera diferenciada a la memoria motora en función de la fase de aprendizaje y del tipo de tarea. Los ganglios basales parecen desempeñar un papel central en el aprendizaje de secuencias motrices basadas en la asociación entre estímulos y respuestas, mientras que el cerebelo resulta fundamental para el ajuste fino de la temporalización y para la actualización de los modelos internos que predicen las consecuencias sensoriales de una acción, especialmente cuando se requiere adaptación ante perturbaciones del entorno (Willingham, 1998).

Otro proceso íntimamente relacionado con la memoria motora es la consolidación, entendida como el conjunto de cambios neurales que estabilizan progresivamente un trazo de memoria recientemente adquirido, haciéndolo menos vulnerable a la interferencia de nuevos aprendizajes o al simple paso del tiempo. La investigación sobre consolidación motora ha mostrado que el sueño, y en particular determinadas fases del sueño no asociadas a los movimientos oculares rápidos, cumple un papel relevante en este proceso, lo que sugiere que el intervalo de descanso entre sesiones de práctica no debe entenderse como un periodo de inactividad para el aprendizaje, sino como una fase activa en la que el sistema nervioso central continúa procesando y estabilizando la información adquirida durante la práctica (Schmidt et al., 2018). Este hallazgo tiene implicaciones prácticas directas para la planificación de microciclos de entrenamiento y para la programación de las sesiones de educación física a lo largo de la semana escolar.

Finalmente, es preciso señalar que la memoria motora no opera de manera aislada, sino en estrecha interacción con la memoria declarativa o explícita, especialmente durante las primeras etapas del aprendizaje, cuando el aprendiz

recurre conscientemente a instrucciones verbales, reglas y puntos clave para guiar su ejecución. A medida que la habilidad se automatiza, el control del movimiento se desplaza progresivamente hacia sistemas de memoria procedimental, de carácter más implícito, lo que explica por qué los deportistas expertos frecuentemente encuentran dificultades para verbalizar con precisión cómo ejecutan un gesto que dominan a la perfección, fenómeno conocido en la literatura como la paradoja de la pericia explícita (Willingham, 1998). Comprender estos mecanismos permite a los profesionales de la actividad física diseñar estructuras de práctica más eficaces, alternando adecuadamente condiciones de repetición y variabilidad, y espaciando la práctica en el tiempo para favorecer la consolidación de los trazos de memoria motora.

La atención puede definirse como el conjunto de procesos mediante los cuales el sistema cognitivo selecciona, prioriza y asigna recursos limitados de procesamiento a determinados estímulos o tareas, en detrimento de otros que quedan relegados a un procesamiento más superficial o son directamente ignorados (Abernethy, 2001). En el contexto del aprendizaje motor y del rendimiento deportivo, la atención cumple funciones críticas: permite seleccionar la información relevante del entorno, sostener el foco sobre los aspectos críticos de la tarea durante periodos prolongados y distribuir recursos entre múltiples demandas simultáneas, como ocurre cuando un jugador debe controlar el balón, vigilar la posición de sus compañeros y anticipar el movimiento de sus rivales al mismo tiempo.

Uno de los modelos más utilizados para analizar la atención en el deporte es el propuesto por Nideffer (1976), quien describió el foco atencional a partir de dos dimensiones independientes: la amplitud, que puede ser amplia o estrecha, y la dirección, que puede ser interna o externa. La combinación de ambas dimensiones da lugar a cuatro estilos atencionales: amplio-externo, útil para evaluar rápidamente una situación de juego cambiante y compleja; amplio-interno, empleado para analizar y planificar estrategias a partir de la información disponible; estrecho-externo, necesario para concentrarse en un estímulo específico del entorno, como la trayectoria de un balón; y estrecho-interno, utilizado para ensayar mentalmente una acción o regular el propio estado emocional. Un desempeño deportivo eficaz exige la capacidad de desplazar el

ISBN
978-9942-595-14-0

foco atencional de manera flexible entre estos cuatro estilos según las demandas cambiantes de cada momento de la competencia.

La capacidad atencional es, además, un recurso limitado, lo que ha dado lugar al estudio de las llamadas tareas duales o de doble tarea, mediante las cuales se evalúa cuánta atención consciente demanda todavía la ejecución de una habilidad motriz. En las etapas iniciales del aprendizaje, la ejecución motriz consume una proporción muy elevada de los recursos atencionales disponibles, lo que explica por qué los principiantes tienen serias dificultades para realizar simultáneamente otra actividad cognitiva o motriz; a medida que la habilidad se automatiza, en cambio, su ejecución demanda cada vez menos atención consciente, liberando recursos que pueden destinarse a otras funciones, como la lectura táctica del juego o la comunicación con los compañeros de equipo (Schmidt & Lee, 2020).

La concentración, entendida como la capacidad de mantener la atención centrada en los estímulos relevantes durante un periodo prolongado, resistiendo la interferencia de distractores internos pensamientos, preocupaciones, sensaciones de fatiga y externos ruido del público, condiciones climáticas, comentarios de rivales, resulta especialmente crítica en los momentos decisivos de la competencia deportiva. La investigación en psicología del deporte ha mostrado que un exceso de atención dirigida hacia el propio proceso de ejecución motriz, fenómeno conocido como atención interna focalizada en el movimiento, puede resultar contraproducente en deportistas expertos, ya que interfiere con la ejecución automatizada del movimiento; por el contrario, dirigir la atención hacia el efecto que la acción produce en el entorno lo que se denomina foco atencional externo tiende a favorecer un desempeño más fluido y preciso, especialmente en tareas ya automatizadas (Abernethy, 2001).

Desde el punto de vista pedagógico, el entrenamiento de la atención y la concentración debe adaptarse al nivel de experiencia del aprendiz y a las características de la tarea. Con principiantes, conviene reducir la cantidad de información a la que deben atender simultáneamente, simplificando las condiciones de práctica y ofreciendo instrucciones breves y centradas en uno o dos aspectos críticos del movimiento; con deportistas más avanzados, en

cambio, resulta pertinente diseñar tareas que exijan la distribución flexible del foco atencional entre distintos estímulos relevantes, de manera progresiva y controlada, simulando las condiciones de incertidumbre propias de la competencia real.

La literatura sobre el foco atencional externo e interno, iniciada por los trabajos experimentales que compararon instrucciones centradas en el efecto del movimiento sobre el entorno frente a instrucciones centradas en el propio cuerpo, ha encontrado de manera consistente que adoptar un foco externo tiende a mejorar tanto la precisión como la eficiencia biomecánica del movimiento en comparación con un foco interno, un efecto que se ha replicado en tareas tan diversas como el lanzamiento, el salto, el equilibrio y el golpeo de objetos (Schmidt et al., 2018). Este hallazgo tiene implicaciones directas para el lenguaje que emplean los docentes de educación física y los entrenadores al dar instrucciones: formulaciones del tipo «empuja el suelo con fuerza» tienden a resultar más efectivas que instrucciones equivalentes centradas en la activación muscular interna, como «extiende con fuerza la rodilla».

Adicionalmente, la fatiga mental entendida como un estado psicobiológico producido por periodos prolongados de exigencia cognitiva puede deteriorar de manera significativa la capacidad de sostener la atención y la concentración durante la práctica y la competencia, incluso en ausencia de fatiga física apreciable. Este fenómeno resulta especialmente relevante en el contexto escolar, en el que las clases de educación física frecuentemente se ubican después de varias horas de actividades académicas que ya han demandado un considerable esfuerzo atencional por parte de los estudiantes, lo que sugiere la conveniencia de incorporar momentos de activación y recuperación atencional al inicio de la sesión antes de introducir tareas de aprendizaje motor que exijan un alto grado de concentración.

La percepción constituye el proceso mediante el cual el sistema nervioso organiza e interpreta la información sensorial proveniente del entorno, con el fin de guiar la acción de manera adaptativa. En el contexto deportivo, la percepción no se limita a un registro pasivo de estímulos visuales, auditivos o propioceptivos, sino que constituye un proceso activo, selectivo y estrechamente acoplado a la

ISBN
978-9942-595-14-0

acción motriz que se pretende ejecutar (Gibson, 1979). Desde la psicología ecológica de Gibson (1979), el entorno ofrece al organismo determinadas posibilidades de acción, denominadas affordances, que son percibidas directamente en función de las capacidades del propio ejecutante; así, un balón que se aproxima puede ser percibido como «golpeable», «atrapable» o «esquivable» dependiendo de la relación entre las propiedades del objeto y las capacidades motrices del deportista, sin que sea necesario un proceso deliberado de cálculo o representación simbólica previa.

En paralelo a esta perspectiva ecológica, los modelos clásicos de procesamiento de información conciben la percepción como la primera de una serie de etapas secuenciales por las que atraviesa la información antes de traducirse en una respuesta motriz. Según estos modelos, tras la detección del estímulo se produce una etapa de identificación y discriminación de la información sensorial relevante, seguida de una etapa de selección de la respuesta más adecuada, y finalmente una etapa de programación y ejecución del movimiento (Fitts & Posner, 1967). Cada una de estas etapas demanda tiempo de procesamiento, lo que explica, en buena medida, la existencia de un tiempo de reacción mensurable entre la aparición de un estímulo y el inicio de la respuesta motriz correspondiente.

Un aspecto especialmente relevante en el estudio de la percepción deportiva es la diferencia sistemática que se observa entre deportistas expertos y novatos en su capacidad para extraer información relevante del entorno de manera rápida y eficiente. La investigación sobre pericia perceptivo-cognitiva ha demostrado que los deportistas expertos son capaces de anticipar las acciones de sus oponentes a partir de indicios posturales y cinemáticos sutiles la orientación de la cadera, la posición del brazo previo al golpeo, la dirección de la mirada del rival, lo que les permite iniciar su respuesta motriz antes incluso de que el evento crítico haya ocurrido por completo (Williams & Ward, 2007). Esta capacidad anticipatoria no depende de una mayor velocidad de procesamiento general, sino de patrones de búsqueda visual más eficientes y de bases de conocimiento perceptivo más ricas y organizadas, construidas a lo largo de miles de horas de práctica y de exposición a situaciones de juego representativas del deporte específico.

El procesamiento de información deportiva se ve además condicionado por la capacidad limitada del sistema cognitivo para atender simultáneamente a múltiples fuentes de estimulación. En situaciones de juego complejas y cambiantes, como las que caracterizan a los deportes de conjunto, el deportista debe seleccionar, entre una gran cantidad de información disponible en el campo visual, aquella que resulta verdaderamente relevante para la acción que va a ejecutar, descartando activamente la información redundante o irrelevante. Esta capacidad de selección perceptiva se perfecciona notablemente con la práctica y la experiencia específica en el deporte, y constituye uno de los componentes de la denominada inteligencia de juego o comprensión táctica (Williams & Ward, 2007).

Finalmente, es importante señalar que percepción y acción no constituyen procesos independientes ni secuenciales de manera estricta, sino que se encuentran estrechamente acoplados en un ciclo continuo de retroalimentación: la información perceptiva guía la acción en curso, mientras que la propia ejecución del movimiento genera nueva información sensorial visual, propioceptiva, táctil que actualiza permanentemente la percepción del entorno y de la propia posición corporal. Este acoplamiento perceptivo-motor resulta particularmente evidente en tareas de interceptación, como recibir un pase o golpear un objeto en movimiento, en las cuales el deportista debe ajustar continuamente su trayectoria y temporalización en función de la información óptica disponible hasta el instante mismo del contacto (Araújo et al., 2006).

Las técnicas de seguimiento ocular, empleadas ampliamente en la investigación sobre pericia perceptivo-cognitiva, han permitido documentar con precisión que los deportistas expertos exhiben patrones de búsqueda visual más selectivos y eficientes que los novatos: fijan la mirada durante periodos más prolongados en un número más reducido de puntos de interés, generalmente ubicados en las regiones corporales del oponente que anticipan con mayor fiabilidad la dirección de una acción, en lugar de desplazar constantemente la mirada de manera dispersa por todo el campo visual (Williams & Ward, 2007). Este hallazgo tiene implicaciones pedagógicas relevantes, en la medida en que sugiere que una parte del entrenamiento perceptivo puede orientarse deliberadamente a enseñar a los aprendices dónde dirigir su atención visual, en lugar de asumir que dicha

ISBN
978-9942-595-14-0

habilidad se desarrollará exclusivamente como subproducto incidental de la acumulación de horas de práctica general.

En el ámbito de la educación física escolar, el desarrollo de la percepción y del procesamiento de información suele descuidarse en favor de un énfasis casi exclusivo en la ejecución técnica del movimiento. Sin embargo, la incorporación deliberada de tareas que exijan a los estudiantes leer, anticipar y responder a información variable del entorno juegos modificados, situaciones de superioridad o inferioridad numérica, tareas con restricciones perceptivas manipuladas resulta pedagógicamente valiosa no solo para el desempeño deportivo específico, sino también para el desarrollo de capacidades cognitivas más generales de atención selectiva y toma rápida de decisiones, transferibles a otros ámbitos de la vida cotidiana del estudiante.

La toma de decisiones en el deporte se refiere al proceso mediante el cual un deportista selecciona, entre un conjunto de opciones de acción posibles, aquella que considera más apropiada para alcanzar un objetivo determinado, en condiciones frecuentemente marcadas por la incertidumbre, la presión temporal y la presencia de oponentes que actúan de manera intencional para dificultar dicha selección. Los enfoques clásicos, derivados de los modelos de procesamiento de información, han descrito la toma de decisiones como una etapa intermedia entre la percepción del estímulo y la ejecución de la respuesta motriz, en la cual el sistema cognitivo compara la información disponible con el repertorio de respuestas almacenadas en la memoria y selecciona la opción que maximiza la probabilidad de éxito (Fitts & Posner, 1967).

Uno de los principios mejor documentados en este campo es la denominada ley de Hick, según la cual el tiempo de reacción ante una elección tiende a incrementarse de manera proporcional al logaritmo del número de alternativas de respuesta disponibles: cuantas más opciones debe considerar un deportista, mayor es, en principio, el tiempo que requiere para decidir. Sin embargo, la experiencia deportiva modula sustancialmente este efecto, ya que los deportistas expertos han automatizado, mediante la práctica extensa en situaciones representativas de su deporte, asociaciones muy eficientes entre patrones de información perceptiva y respuestas motrices apropiadas, lo que les permite

decidir con mayor rapidez y precisión que los novatos, incluso ante un número elevado de alternativas (Williams & Ward, 2007).

Los enfoques ecológicos y dinámicos han propuesto una lectura alternativa de la toma de decisiones deportivas, entendida no como un proceso de cómputo simbólico y secuencial, sino como la emergencia autoorganizada de un curso de acción a partir del acoplamiento continuo entre la información perceptiva disponible y las posibilidades de acción del propio deportista (Araújo et al., 2006). Desde esta perspectiva, denominada de la dinámica ecológica, decidir «qué hacer» y «cómo moverse» no son procesos separables ni secuenciales, sino aspectos de un mismo proceso perceptivo-motor continuo, en el cual las affordances del entorno por ejemplo, un espacio libre entre dos defensores se perciben y se aprovechan de manera directa, sin necesidad de una deliberación consciente y explícita en cada instante.

La calidad de la toma de decisiones deportivas depende, además, de la representatividad de las condiciones de práctica utilizadas durante el proceso de enseñanza y entrenamiento. Cuando los ejercicios de entrenamiento reproducen fielmente las fuentes de información y las restricciones temporales y espaciales propias de la competencia real, se favorece el desarrollo de patrones perceptivo-decisionales que resultan efectivamente transferibles al contexto competitivo; por el contrario, la práctica de decisiones en condiciones artificiales, descontextualizadas o excesivamente simplificadas, tiende a generar aprendizajes de escasa aplicabilidad en la situación real de juego (Araújo et al., 2006). Este principio ha derivado en el diseño pedagógico de tareas basadas en tareas representativas y en modelos como la enseñanza comprensiva del deporte, que priorizan la toma de decisiones táctica desde las primeras fases del proceso formativo, en lugar de posponerla hasta que el aprendiz domine técnicamente el gesto motor de manera aislada.

Asimismo, la toma de decisiones deportivas se ve afectada por factores emocionales y motivacionales que pueden alterar tanto la velocidad como la precisión del proceso decisional. La presión competitiva, el temor al fracaso o la fatiga acumulada pueden estrechar el foco atencional del deportista de manera disfuncional, reducir la cantidad de información considerada antes de decidir, o

ISBN
978-9942-595-14-0

inducir sesgos hacia opciones de acción más conservadoras y menos arriesgadas, incluso cuando estas no resultan las más adecuadas desde un punto de vista estrictamente táctico (Tenenbaum & Eklund, 2007).

En los deportes de conjunto, la toma de decisiones individual se encuentra además condicionada por la dimensión colectiva del juego, de manera que la calidad de una decisión no depende únicamente de la lectura que cada jugador hace de la situación, sino también de la coordinación interpersonal con sus compañeros de equipo, quienes deben anticipar y sincronizar sus propias acciones con las decisiones ajenas para que la solución táctica resulte efectiva. Este carácter distribuido de la decisión deportiva ha llevado a algunos autores a proponer que, en los deportes colectivos, conviene hablar más propiamente de sincronización colectiva de decisiones que de decisiones puramente individuales, lo que justifica pedagógicamente el uso de tareas de entrenamiento que involucren a varios jugadores interactuando simultáneamente, en lugar de limitarse a ejercicios de decisión aislados frente a un único estímulo (Araújo et al., 2006).

Por ello, el entrenamiento de la toma de decisiones debe contemplar no solo el desarrollo de la pericia perceptivo-cognitiva específica del deporte, sino también estrategias de regulación emocional y atencional que permitan al deportista decidir con claridad en condiciones de alta exigencia competitiva.

El control motor estudia los mecanismos neurales, biomecánicos y conductuales que subyacen a la producción y regulación del movimiento humano. Dos grandes familias de modelos han intentado explicar cómo el sistema nervioso central controla la ejecución de acciones motrices: los modelos de control por lazo cerrado, o retroalimentado, y los modelos de control por lazo abierto, o de programa motor. Según la teoría del lazo cerrado propuesta por Adams (1971), la ejecución y, especialmente, el aprendizaje de movimientos relativamente lentos dependen en gran medida de la retroalimentación sensorial continua que el sistema nervioso recibe durante la propia ejecución, la cual se compara constantemente con una traza perceptiva de referencia construida a partir de la experiencia previa, permitiendo detectar y corregir errores en tiempo real.

Sin embargo, la teoría del lazo cerrado resulta insuficiente para explicar la ejecución de movimientos rápidos y balísticos como un golpe de tenis o un lanzamiento de jabalina, cuya duración es demasiado breve como para permitir el procesamiento completo de la retroalimentación sensorial y la corrección del movimiento mientras este se encuentra en curso. Para dar cuenta de este tipo de acciones, Schmidt (1975) propuso el concepto de programa motor generalizado, entendido como una estructura de control abstracta, almacenada en la memoria, que especifica de antemano la secuencia y la estructura temporal relativa de la acción, mientras que parámetros específicos como la velocidad global, la fuerza o la amplitud del movimiento pueden ajustarse en el momento de la ejecución en función de las demandas particulares de la tarea. Esta flexibilidad explica por qué un mismo patrón fundamental de movimiento por ejemplo, el gesto de lanzar puede adaptarse para lanzar objetos de distinto peso, a distintas distancias y con distintas velocidades, sin necesidad de aprender un programa motor completamente nuevo para cada variante.

La automatización del movimiento constituye uno de los resultados más importantes del proceso de aprendizaje motor prolongado y se caracteriza por una reducción progresiva de la demanda de recursos atencionales y cognitivos conscientes necesarios para ejecutar una habilidad con eficacia (Willingham, 1998). A medida que una habilidad se automatiza, su ejecución se vuelve más consistente, más resistente a la interferencia de tareas concurrentes y menos vulnerable a la desorganización que suele producirse bajo condiciones de estrés o presión competitiva elevada, fenómeno que en la literatura psicológica se conoce como choking o «atragantamiento», y que suele explicarse precisamente por un retorno disfuncional de la atención consciente hacia componentes del movimiento que ya se encontraban automatizados.

Desde la perspectiva de los sistemas dinámicos, el control motor experto se caracteriza, además, por la explotación eficiente de las propiedades mecánicas del propio sistema musculoesquelético elasticidad tendinosa, inercia de los segmentos corporales, fuerzas de reacción articular, de modo que buena parte de la coordinación del movimiento se «delega» en las propiedades físicas del aparato locomotor, reduciendo la necesidad de un control neural minucioso y constante sobre cada grado de libertad implicado (Bernstein, 1967). Este

ISBN
978-9942-595-14-0

principio explica, por ejemplo, por qué los movimientos de deportistas expertos suelen percibirse como más fluidos, económicos y armónicos que los de los principiantes, quienes tienden a generar patrones de movimiento más rígidos, segmentados y energéticamente costosos como estrategia inicial para simplificar el control de un sistema corporal con múltiples grados de libertad.

Finalmente, cabe destacar que el control motor experto no equivale a un funcionamiento completamente rígido o invariable; por el contrario, se caracteriza por una notable capacidad de adaptación funcional ante perturbaciones del entorno, manteniendo estable el objetivo general de la acción por ejemplo, driblar hacia el aro mientras varían de manera flexible los detalles específicos de la ejecución en función de las condiciones cambiantes de cada instante, principio que en la literatura se conoce como estabilidad funcional o variabilidad compensatoria del movimiento experto (Newell, 1986).

En las últimas décadas, el estudio del control motor se ha visto enriquecido por la incorporación de herramientas tecnológicas que permiten registrar el movimiento humano con un nivel de detalle antes inalcanzable, entre ellas los sistemas de captura de movimiento tridimensional, la electromiografía de superficie, las plataformas de fuerza y, más recientemente, los sensores inerciales portátiles que pueden emplearse fuera del laboratorio, en el propio escenario deportivo o escolar. Estas herramientas han permitido documentar con precisión creciente cómo se modifica la coordinación intersegmentaria a lo largo del proceso de aprendizaje, aportando evidencia empírica robusta a los principios teóricos formulados originalmente por Bernstein (1967) sobre la progresiva liberación y organización de los grados de libertad del sistema musculoesquelético, y abriendo la posibilidad de que, en un futuro cercano, los procesos de retroalimentación aumentada en el entrenamiento deportivo y la educación física escolar se apoyen de manera creciente en información biomecánica cuantitativa y objetiva.

Un aspecto adicional del control y la automatización del movimiento que merece atención particular en el ámbito pedagógico es el de la retroalimentación aumentada, es decir, la información sobre la ejecución que se proporciona al aprendiz desde una fuente externa el docente, el entrenador, un dispositivo de

video o un sensor biomecánico, en contraste con la retroalimentación intrínseca que el propio sistema sensorial del ejecutante genera de manera natural durante el movimiento. La retroalimentación aumentada puede clasificarse en conocimiento de los resultados, referido al éxito obtenido en relación con el objetivo de la tarea, y conocimiento de la ejecución, referido a las características cualitativas del patrón de movimiento producido. Durante las primeras etapas del aprendizaje, ambos tipos de retroalimentación resultan altamente informativos y benefician la adquisición de la habilidad; sin embargo, su suministro excesivamente frecuente puede generar en el aprendiz una dependencia perjudicial para la automatización, motivo por el cual se recomienda reducir progresivamente su frecuencia a medida que avanza el proceso de aprendizaje, permitiendo que el propio deportista desarrolle mecanismos internos de detección de errores (Schmidt et al., 2018).

La transferencia del aprendizaje motor se refiere a la influencia que el aprendizaje o la práctica de una habilidad motriz ejerce sobre el aprendizaje o la ejecución de otra habilidad, o sobre la ejecución de la misma habilidad en un contexto distinto de aquel en el que fue originalmente aprendida (Schmidt & Lee, 2020). La transferencia puede ser positiva, cuando la práctica previa facilita el aprendizaje posterior; negativa, cuando lo dificulta; o nula, cuando no produce ningún efecto apreciable. En términos generales, la magnitud y el sentido de la transferencia dependen del grado de similitud estructural entre las tareas involucradas, particularmente en lo referido a los componentes perceptivos y a la organización temporal del movimiento, más que a la simple semejanza superficial de los gestos observados.

La retención, por su parte, hace referencia a la capacidad de mantener en el tiempo un nivel de ejecución de una habilidad motriz previamente aprendida, tras un periodo sin práctica. Mientras que el rendimiento observado durante la fase de adquisición puede verse afectado por factores transitorios como la fatiga o la novedad de la tarea, las pruebas de retención, aplicadas normalmente después de un intervalo de tiempo sin práctica, constituyen uno de los indicadores más fiables de que efectivamente se ha producido un aprendizaje motor estable y duradero (Magill & Anderson, 2017).

ISBN
978-9942-595-14-0

Diversas variables relacionadas con la organización de la práctica han demostrado tener un impacto significativo sobre la retención y la transferencia del aprendizaje motor. Ya se mencionó el efecto de la interferencia contextual descrito por Shea y Morgan (1979), según el cual una práctica organizada de manera aleatoria, aunque resulte más difícil y produzca un desempeño aparentemente inferior durante la fase de adquisición, tiende a generar niveles superiores de retención y transferencia en comparación con una práctica organizada en bloques constantes. Un principio complementario es el de la especificidad de la práctica, según el cual el aprendizaje resulta más efectivo cuando las condiciones de práctica perceptivas, motrices, contextuales se asemejan estrechamente a las condiciones en las que la habilidad deberá finalmente ejecutarse, lo que respalda el diseño de tareas de entrenamiento representativas de la situación de competencia real (Araújo et al., 2006).

La cantidad y la distribución temporal de la práctica constituyen otras dos variables relevantes para la retención del aprendizaje motor. La práctica distribuida, en la que los periodos de entrenamiento se intercalan con pausas de descanso relativamente amplias, suele favorecer una mejor retención a largo plazo que la práctica masiva o concentrada, especialmente en tareas de naturaleza compleja o de elevada exigencia cognitiva, en parte porque permite procesos de consolidación de la memoria motora entre las sesiones de práctica (Schmidt et al., 2018). Asimismo, la disminución progresiva en la frecuencia y precisión de la retroalimentación aumentada proporcionada por el docente o entrenador en lugar de ofrecer información correctiva después de cada intento tiende a favorecer un aprendizaje más autónomo y una retención superior, ya que obliga al aprendiz a desarrollar sus propios mecanismos internos de detección y corrección de errores, en lugar de depender permanentemente de una fuente externa de información.

Otro factor que incide de manera importante en la transferencia del aprendizaje es la organización global o fragmentada de la práctica, es decir, la decisión pedagógica de enseñar una habilidad motriz compleja como un todo integrado o de descomponerla en partes más simples que se practican por separado antes de integrarse nuevamente. La evidencia disponible sugiere que esta decisión depende en gran medida de la complejidad de la tarea y del grado de

interdependencia temporal entre sus componentes: cuando los distintos elementos de una habilidad están fuertemente interconectados en el tiempo, como ocurre en un salto con giro, la práctica fragmentada tiende a ser menos efectiva que la práctica global, mientras que en tareas compuestas por elementos relativamente independientes entre sí, la práctica por partes puede facilitar el aprendizaje inicial sin comprometer significativamente la transferencia posterior a la ejecución integrada (Magill & Anderson, 2017).

En síntesis, comprender los principios que rigen la transferencia y la retención de las habilidades motoras resulta fundamental para el diseño pedagógico de programas de educación física, entrenamiento deportivo y rehabilitación funcional, en la medida en que orienta decisiones prácticas relacionadas con la organización de la práctica, la programación de la retroalimentación y la selección de tareas representativas, todo ello con el objetivo último de que los aprendizajes logrados se mantengan en el tiempo y resulten efectivamente aplicables a los contextos reales de desempeño para los cuales fueron originalmente concebidos.

ISBN
978-9942-595-14-0

Capítulo 4. Neuroplasticidad y entrenamiento deportivo

La neuroplasticidad, entendida como la capacidad del sistema nervioso central para modificar su estructura y su funcionamiento en respuesta a la experiencia, constituye en la actualidad uno de los conceptos más relevantes para comprender cómo el ejercicio físico y el entrenamiento deportivo transforman el cerebro humano a lo largo de la vida. El presente trabajo desarrolla, mediante una revisión narrativa sustentada en literatura especializada, siete ejes temáticos estrechamente articulados entre sí: los principios de la neuroplasticidad, la plasticidad cerebral inducida por el ejercicio, las adaptaciones neuronales al entrenamiento, el papel de la repetición y la variabilidad en el aprendizaje, la estimulación cognitiva y motora, la relación entre neuroplasticidad y adquisición de habilidades deportivas, y las implicaciones que todo ello tiene para el diseño del entrenamiento. Se parte de los principios clásicos formulados por Hebb y de los desarrollos contemporáneos sobre plasticidad experiencia-dependiente, para luego analizar la evidencia acumulada sobre los efectos neurotróficos, angiogénicos y estructurales del ejercicio aeróbico y del entrenamiento motor especializado. El análisis evidencia que el cerebro humano conserva a lo largo de toda la vida una notable capacidad de reorganización funcional y estructural, la cual puede potenciarse deliberadamente mediante estrategias pedagógicas y de entrenamiento fundamentadas científicamente. Se concluye que el diseño de programas de educación física, entrenamiento deportivo y rehabilitación debe incorporar explícitamente los principios de la neuroplasticidad, con el fin de optimizar la adquisición, la consolidación y la transferencia de las habilidades motoras y cognitivas.

Durante gran parte del siglo XX, la neurociencia sostuvo la idea de que el sistema nervioso central de los mamíferos adultos era una estructura esencialmente fija, incapaz de generar nuevas neuronas o de modificar de manera sustancial su organización una vez concluido el periodo crítico del desarrollo. Esta concepción, hoy ampliamente superada, ha sido reemplazada por una comprensión del cerebro como un órgano dinámico, capaz de reorganizar continuamente sus conexiones sinápticas, su microestructura e incluso, en determinadas regiones, de generar nuevas neuronas en respuesta a la experiencia, al aprendizaje y a la actividad física (Kolb & Whishaw, 1998; Pascual-Leone et al., 2005). Este

fenómeno, denominado neuroplasticidad, constituye en la actualidad uno de los conceptos más fecundos para comprender cómo el entrenamiento deportivo y la práctica motora sistemática transforman no solo el rendimiento observable de un individuo, sino la propia arquitectura de su sistema nervioso.

El interés por la neuroplasticidad inducida por el ejercicio se ha incrementado notablemente en las últimas dos décadas, impulsado por estudios que demuestran que la actividad física regular incrementa la disponibilidad de factores neurotróficos, estimula la formación de nuevos vasos sanguíneos cerebrales, favorece la neurogénesis en determinadas estructuras y mejora el desempeño en tareas cognitivas y motoras a lo largo de todo el ciclo vital (Cotman & Berchtold, 2002; Voss et al., 2013). Estos hallazgos han tenido un impacto considerable no solo en la neurociencia básica, sino también en campos aplicados como la educación física escolar, el entrenamiento deportivo de alto rendimiento y la rehabilitación neurológica, en los cuales cada vez resulta más frecuente fundamentar las decisiones pedagógicas en principios derivados directamente de la investigación sobre plasticidad cerebral.

La neuroplasticidad puede definirse como la capacidad del sistema nervioso central para modificar su estructura, su organización funcional y sus patrones de conectividad en respuesta a la experiencia, al aprendizaje, a la lesión o a cambios en las demandas del entorno (Pascual-Leone et al., 2005). Esta capacidad se manifiesta en múltiples niveles de análisis, que van desde cambios moleculares y sinápticos hasta modificaciones observables en la macroestructura cerebral mediante técnicas de neuroimagen, y opera a lo largo de toda la vida del individuo, aunque con una magnitud y unas características que varían considerablemente entre la infancia, la adultez y la vejez.

El fundamento conceptual más influyente de la neuroplasticidad contemporánea se remonta a los postulados formulados por Hebb (1949), quien propuso que cuando dos neuronas se activan de manera repetida y simultánea, la eficacia de la conexión sináptica entre ambas tiende a fortalecerse, de modo que la actividad de una facilita cada vez con mayor probabilidad la activación de la otra. Este principio, resumido habitualmente en la fórmula según la cual las neuronas que se activan juntas tienden a conectarse entre sí, constituye la base teórica de

ISBN
978-9942-595-14-0

buena parte de los modelos contemporáneos de aprendizaje sináptico y explica, a nivel celular, por qué la práctica repetida de una habilidad motriz o cognitiva tiende a fortalecer los circuitos neuronales específicamente involucrados en su ejecución.

A partir de los postulados hebbianos, la investigación en neurociencia ha identificado diversos mecanismos concretos a través de los cuales se materializa la plasticidad cerebral, entre ellos la plasticidad sináptica funcional, que implica cambios en la eficacia de las conexiones ya existentes sin necesariamente alterar su número; la sinaptogénesis, es decir, la formación de nuevas conexiones sinápticas entre neuronas previamente no conectadas o débilmente conectadas; los cambios en la mielinización de los axones, que modifican la velocidad de conducción de los impulsos nerviosos a lo largo de determinadas vías; y, en ciertas regiones específicas como el hipocampo, la neurogénesis, entendida como la generación de nuevas neuronas funcionales a partir de células progenitoras neurales presentes en el cerebro adulto (Kolb & Whishaw, 1998).

Un principio central en el estudio de la neuroplasticidad es el de la especificidad experiencia-dependiente, según el cual los cambios plásticos que se producen en el sistema nervioso central no son genéricos ni uniformes, sino que se localizan preferentemente en aquellas regiones cerebrales directamente implicadas en el procesamiento de la experiencia o de la tarea que originó dichos cambios. El estudio de Draganski et al. (2004), en el cual se documentaron cambios estructurales transitorios en regiones cerebrales asociadas al procesamiento visual del movimiento en un grupo de adultos que aprendieron a hacer malabares durante tres meses, ilustra con claridad este principio, al demostrar que incluso el cerebro humano adulto es capaz de modificar su propia macroestructura anatómica en respuesta a una experiencia de aprendizaje relativamente breve y específica, en contra de la visión tradicional que asociaba la plasticidad cortical exclusivamente a cambios funcionales y no anatómicos.

Otro principio ampliamente documentado en la literatura es el de la plasticidad dependiente del uso, según el cual la representación cortical de una determinada función tiende a expandirse cuando dicha función se ejercita de manera intensiva

y sistemática, y tiende a reducirse o a ser invadida por representaciones vecinas cuando la función correspondiente deja de utilizarse durante periodos prolongados (Nudo, 2003). Este principio tiene implicaciones directas para el entrenamiento deportivo y la rehabilitación, en la medida en que sugiere que tanto la adquisición de nuevas habilidades como la pérdida de habilidades previamente dominadas por desuso son, en gran medida, expresiones de un mismo mecanismo subyacente de plasticidad cortical sensible a la actividad.

Finalmente, cabe señalar que la plasticidad cerebral no siempre resulta beneficiosa desde el punto de vista funcional; existen formas de plasticidad desadaptativa, en las cuales la reorganización del sistema nervioso central, aunque genuina, produce consecuencias funcionales indeseables, como ocurre en ciertos cuadros de dolor crónico o en compensaciones motoras disfuncionales que se consolidan tras una lesión. Este matiz resulta importante para los profesionales de la actividad física, pues recuerda que el objetivo del entrenamiento no es simplemente maximizar la cantidad de cambio plástico inducido, sino orientar dicho cambio hacia patrones de organización neuronal funcionalmente adaptativos y transferibles a los contextos reales de desempeño.

Otro principio que conviene destacar es el de la existencia de periodos sensibles o ventanas temporales durante las cuales el sistema nervioso central muestra una receptividad particularmente elevada a determinados tipos de experiencia. Aunque el concepto clásico de periodo crítico, originalmente formulado a partir de estudios sobre el desarrollo del sistema visual, describía ventanas temporales estrictamente delimitadas y no reabribles una vez cerradas, la investigación contemporánea ha matizado esta idea al mostrar que buena parte de estas ventanas de sensibilidad se comportan, más que como periodos críticos absolutos, como periodos sensibles de mayor plasticidad relativa, que se extienden a lo largo de la infancia y la adolescencia, y que pueden, en determinadas condiciones, reactivarse parcialmente en la vida adulta mediante intervenciones específicas (Kolb & Whishaw, 1998). Este matiz resulta relevante para la educación física escolar, dado que sugiere que la niñez y la adolescencia constituyen etapas especialmente propicias para el desarrollo de un repertorio motor amplio y diverso, sin que ello implique que el aprendizaje motor en la vida adulta resulte imposible o carente de valor.

ISBN
978-9942-595-14-0

Desde el punto de vista de la fisiología celular, resulta pertinente mencionar que buena parte de los mecanismos de plasticidad sináptica descritos en la literatura se apoyan en fenómenos como la potenciación a largo plazo y la depresión a largo plazo, procesos mediante los cuales la eficacia de una sinapsis se incrementa o disminuye de manera duradera en función del patrón temporal de actividad presináptica y postsináptica que la ha precedido. Estos mecanismos, ampliamente estudiados en estructuras como el hipocampo y la corteza motora, constituyen el correlato molecular más aceptado de los principios hebbianos descritos anteriormente, y ofrecen una explicación mecanicista de por qué determinados patrones de práctica caracterizados por una activación repetida, temporalmente próxima y funcionalmente relevante de circuitos neuronales específicos resultan más eficaces que otros para inducir aprendizajes duraderos (Kolb & Whishaw, 1998).

Es pertinente, además, distinguir entre la plasticidad reactiva, que se activa como respuesta a una lesión o a un déficit funcional con el fin de compensar la pérdida de una función, y la plasticidad adaptativa asociada al aprendizaje en condiciones de integridad neurológica, que es la que resulta de mayor interés directo para el diseño de programas de educación física y entrenamiento deportivo en poblaciones sanas. Si bien ambas formas de plasticidad comparten mecanismos celulares y moleculares comunes, sus disparadores, su curso temporal y sus implicaciones prácticas difieren considerablemente, lo que exige al profesional de las ciencias del movimiento humano precisar con claridad a cuál de estas dos formas de plasticidad se refiere cuando fundamenta sus decisiones pedagógicas en la evidencia neurocientífica disponible.

El ejercicio físico, particularmente el de naturaleza aeróbica, se ha consolidado en las últimas dos décadas como una de las intervenciones conductuales más potentes para promover la plasticidad cerebral a lo largo de todo el ciclo vital. La revisión seminal de Cotman y Berchtold (2002) documentó que el ejercicio voluntario incrementa de manera consistente los niveles cerebrales del factor neurotrófico derivado del cerebro, conocido por sus siglas en inglés como BDNF, una proteína que favorece la supervivencia neuronal, estimula la formación de nuevas sinapsis y facilita los procesos de aprendizaje y memoria. Según estos autores, el ejercicio actúa como una suerte de fertilizante molecular para el

cerebro, movilizando además otros factores de crecimiento y perfiles completos de expresión génica asociados a la plasticidad sináptica.

Uno de los hallazgos más citados en este campo es el estudio longitudinal de Erickson et al. (2011), en el cual se demostró que un programa de entrenamiento aeróbico de un año de duración incrementó el volumen del hipocampo anterior en adultos mayores, una estructura cerebral críticamente implicada en la memoria episódica y espacial, y cuyo volumen tiende a disminuir progresivamente con el envejecimiento. Este incremento estructural, además, se asoció con mejoras significativas en el desempeño de pruebas de memoria espacial, lo que sugiere una relación directa entre los cambios estructurales inducidos por el ejercicio y sus beneficios funcionales sobre la cognición. Este hallazgo resultó particularmente relevante porque contradijo la visión tradicional según la cual el volumen del hipocampo humano adulto sería esencialmente inmodificable mediante intervenciones conductuales de duración relativamente breve.

Además de sus efectos neurotróficos, el ejercicio físico regular promueve la angiogénesis cerebral, es decir, la formación de nuevos vasos sanguíneos que incrementan el flujo sanguíneo disponible hacia el tejido nervioso, lo cual favorece un mejor aporte de oxígeno y nutrientes a las regiones cerebrales metabólicamente más activas durante el aprendizaje. Asimismo, se ha documentado que el ejercicio estimula la neurogénesis en el giro dentado del hipocampo, un fenómeno inicialmente demostrado en modelos animales y posteriormente respaldado por evidencia indirecta en humanos, que contribuye a explicar por qué el ejercicio favorece particularmente el desempeño en tareas que exigen la formación de nuevas memorias (Voss et al., 2013).

Cabe destacar que los efectos neuroplásticos del ejercicio no se restringen al hipocampo, aunque esta estructura haya concentrado buena parte del interés investigativo por su papel central en la memoria y por su particular sensibilidad a la neurogénesis adulta. Otras regiones cerebrales, entre ellas la corteza prefrontal, implicada en las funciones ejecutivas, y determinadas áreas motoras y premotoras, implicadas en la planificación y ejecución del movimiento, también muestran cambios estructurales y funcionales mensurables en respuesta al

ISBN
978-9942-595-14-0

ejercicio físico regular, lo que sugiere que sus beneficios se extienden a un conjunto amplio y diverso de dominios cognitivos y motores, y no se limitan exclusivamente a la capacidad de formar nuevas memorias (Kramer & Erickson, 2007).

Los efectos de la plasticidad inducida por el ejercicio no se limitan al ámbito de la memoria; también se han documentado beneficios consistentes sobre las funciones ejecutivas, entendidas como el conjunto de procesos cognitivos de orden superior que permiten planificar, inhibir respuestas inapropiadas, actualizar información en la memoria de trabajo y flexibilizar el pensamiento ante demandas cambiantes (Diamond, 2013). La revisión de Hillman et al. (2008) sintetizó evidencia proveniente de estudios en niños, adultos jóvenes y adultos mayores, mostrando que la actividad física aeróbica se asocia de manera consistente con un mejor desempeño en tareas que exigen control inhibitorio y flexibilidad cognitiva, efectos que se explican, al menos parcialmente, por los cambios neuroplásticos descritos anteriormente en estructuras prefrontales y temporales.

Es importante señalar que la magnitud de los efectos neuroplásticos del ejercicio depende de múltiples variables, entre ellas la intensidad, la duración, la frecuencia y la modalidad del ejercicio realizado, así como de características individuales como la edad, el nivel de condición física previo y el estado de salud general del practicante. La investigación disponible sugiere que tanto el ejercicio aeróbico continuo como determinadas formas de entrenamiento interválico de alta intensidad son capaces de inducir cambios neuroplásticos beneficiosos, aunque los mecanismos moleculares implicados y la magnitud relativa de los efectos pueden variar entre ambas modalidades, lo que constituye todavía un campo activo de investigación (Hötting & Röder, 2013).

Un aspecto adicional que merece atención es la comparación entre los efectos neuroplásticos del ejercicio de naturaleza predominantemente aeróbica y los del entrenamiento de fuerza o resistencia muscular. Si bien la mayor parte de la evidencia sobre neuroplasticidad inducida por el ejercicio se ha generado a partir de protocolos de ejercicio aeróbico, un cuerpo creciente de investigación sugiere que el entrenamiento de fuerza, especialmente cuando se practica de manera

regular en poblaciones de edad avanzada, también produce beneficios cognitivos apreciables, posiblemente a través de mecanismos parcialmente distintos, relacionados con la liberación de factores de crecimiento de tipo insulínico y con mejoras en la eficiencia cardiovascular y metabólica general del organismo (Voss et al., 2013). Esta evidencia sugiere que los programas de actividad física orientados a potenciar la salud cerebral no deberían limitarse exclusivamente al ejercicio aeróbico, sino contemplar una combinación de modalidades de entrenamiento.

Asimismo, conviene señalar que los efectos neuroplásticos del ejercicio no se limitan a la etapa adulta o a la vejez, sino que resultan igualmente relevantes durante la infancia y la adolescencia, periodos en los cuales el cerebro se encuentra en pleno proceso de maduración estructural y funcional. La evidencia disponible sugiere que los niños y adolescentes físicamente activos tienden a mostrar un mejor desempeño académico y cognitivo en comparación con sus pares sedentarios, efecto que se ha vinculado con una mayor disponibilidad de factores neurotróficos, una mejor perfusión cerebral y un desarrollo más favorable de las estructuras prefrontales implicadas en las funciones ejecutivas (Hillman et al., 2008), lo que otorga a la educación física escolar una relevancia que trasciende ampliamente el desarrollo de las capacidades físicas condicionales.

El entrenamiento motor sistemático, entendido como la práctica deliberada y repetida de una habilidad específica, produce un conjunto de adaptaciones neuronales que se extienden más allá de los efectos generales del ejercicio aeróbico sobre la salud cerebral, y que resultan específicas del tipo de movimiento practicado. Estas adaptaciones ocurren en múltiples niveles del sistema nervioso, desde la corteza motora primaria hasta estructuras subcorticales como el cerebelo y los ganglios basales, y se manifiestan tanto en cambios funcionales, observables mediante técnicas de neuroimagen funcional, como en cambios estructurales, detectables mediante técnicas de neuroimagen anatómica (Dayan & Cohen, 2011).

Una de las adaptaciones neuronales mejor documentadas es la reorganización de los mapas corticales motores, fenómeno inicialmente descrito en

ISBN
978-9942-595-14-0

investigaciones con modelos animales y posteriormente confirmado en humanos mediante técnicas de estimulación magnética transcraneal y neuroimagen funcional. Nudo (2003) demostró que la práctica intensiva de una habilidad motriz específica produce una expansión de la representación cortical de los músculos y las articulaciones directamente implicados en dicha habilidad, en detrimento relativo de las representaciones corticales de músculos vecinos menos utilizados. Esta reorganización, que puede observarse tanto en sujetos sanos que aprenden nuevas habilidades como en pacientes que se recuperan de lesiones neurológicas mediante programas de rehabilitación intensiva, ilustra con claridad el principio de plasticidad dependiente del uso mencionado anteriormente.

A nivel de las conexiones cerebelosas, el entrenamiento motor prolongado favorece la refinación de los modelos internos que el sistema nervioso central utiliza para predecir las consecuencias sensoriales de una acción motriz y para corregir de manera anticipada los errores de ejecución antes incluso de que la retroalimentación sensorial completa esté disponible. Esta adaptación resulta particularmente relevante para la ejecución de movimientos rápidos y balísticos, en los cuales, como se ha señalado en la literatura sobre control motor, el tiempo disponible para procesar la retroalimentación sensorial durante la propia ejecución resulta insuficiente, de modo que la precisión del movimiento depende en gran medida de la calidad de estos modelos internos previamente entrenados (Dayan & Cohen, 2011).

Las adaptaciones neuronales al entrenamiento no se limitan a la sustancia gris cortical y subcortical, sino que también involucran cambios en la sustancia blanca, es decir, en los haces de fibras nerviosas mielinizadas que conectan distintas regiones cerebrales entre sí. La investigación disponible ha documentado incrementos en la integridad y en la organización de determinados tractos de sustancia blanca en personas con amplia experiencia en la práctica de habilidades motoras complejas, lo que sugiere que el entrenamiento prolongado no solo modifica la actividad de regiones cerebrales específicas, sino también la eficiencia con la que dichas regiones se comunican entre sí a través de las vías de conducción nerviosa correspondientes (Voss et al., 2013).

Resulta relevante señalar, además, que las adaptaciones neuronales al entrenamiento tienden a mostrar una relación de especificidad considerable con respecto al tipo de práctica realizada: el entrenamiento de habilidades predominantemente perceptivo-motoras, como el manejo de un balón, tiende a producir adaptaciones preferentes en circuitos sensoriomotores y visuomotores, mientras que el entrenamiento de habilidades con un componente cognitivo-táctico más marcado, como la lectura de situaciones de juego complejas, involucra adicionalmente adaptaciones en regiones prefrontales y parietales asociadas a la atención y a la toma de decisiones (Williams & Ward, 2007). Esta especificidad refuerza la necesidad de diseñar programas de entrenamiento que reproduzcan fielmente las demandas perceptivas, cognitivas y motrices de la habilidad que se pretende desarrollar.

Un fenómeno adicional documentado en el estudio de las adaptaciones neuronales al entrenamiento es el de la transferencia interhemisférica del aprendizaje motor, según el cual la práctica intensiva de una habilidad con una extremidad puede producir mejoras mensurables, aunque de menor magnitud, en el desempeño de la extremidad contralateral no entrenada directamente. Este fenómeno, que se explica por la existencia de representaciones corticales parcialmente compartidas y por la comunicación interhemisférica a través del cuerpo calloso, tiene aplicaciones prácticas relevantes en contextos de rehabilitación tras lesiones deportivas que impiden el entrenamiento directo de una extremidad, en los cuales el entrenamiento de la extremidad sana puede contribuir, de manera complementaria, a mantener parcialmente activa la representación cortical de la extremidad lesionada (Nudo, 2003).

Las adaptaciones neuronales al entrenamiento también se manifiestan en cambios en la excitabilidad cortical, medibles mediante técnicas de estimulación magnética transcraneal, que reflejan modificaciones en el balance entre procesos excitatorios e inhibitorios dentro de las redes neuronales implicadas en la ejecución motriz. La investigación en este campo ha mostrado que, a medida que una habilidad motriz se automatiza, se produce típicamente una reducción de la excitabilidad cortical asociada a su ejecución, lo que se interpreta como un correlato neurofisiológico de la mayor eficiencia y del menor costo atencional que caracteriza a la ejecución experta, en comparación con la ejecución más costosa

ISBN
978-9942-595-14-0

y menos eficiente propia de las primeras etapas del aprendizaje (Dayan & Cohen, 2011).

La repetición constituye una condición necesaria, aunque no suficiente, para inducir cambios neuroplásticos duraderos asociados al aprendizaje motor. De acuerdo con los principios hebbianos descritos anteriormente, la activación repetida de un mismo circuito neuronal fortalece progresivamente las conexiones sinápticas involucradas, lo que explica por qué la práctica reiterada de un movimiento tiende a producir una ejecución cada vez más consistente y automatizada (Hebb, 1949). Sin embargo, la sola repetición mecánica de un mismo patrón de movimiento, sin variación alguna en las condiciones de ejecución, tiende a generar aprendizajes relativamente rígidos y poco transferibles a contextos distintos de aquel en el que se practicó originalmente la habilidad.

Frente a la repetición pura, la investigación sobre variabilidad de la práctica ha documentado de manera consistente que introducir variaciones sistemáticas en las condiciones de ejecución de una habilidad motriz modificando, por ejemplo, la distancia, la velocidad, el tipo de implemento o las características del entorno favorece la construcción de representaciones motoras más flexibles y generalizables, capaces de adaptarse con mayor eficacia a situaciones novedosas no ensayadas previamente de forma idéntica (Schmidt & Lee, 2020). Este principio se articula estrechamente con el fenómeno de la interferencia contextual descrito por Shea y Morgan (1979), según el cual la práctica organizada de manera aleatoria, que mezcla distintas variantes de una tarea en lugar de practicarlas en bloques separados, produce un desempeño aparentemente inferior durante la fase de adquisición, pero conduce a niveles superiores de retención y transferencia una vez transcurrido un periodo sin práctica.

Desde la perspectiva de la neuroplasticidad, la práctica variable parece favorecer un reclutamiento neuronal más amplio y distribuido que la práctica constante, en la medida en que exige al sistema nervioso central resolver de manera activa, en cada intento, un problema motor ligeramente distinto, en lugar de limitarse a reproducir automáticamente una solución motriz ya consolidada. Este

procesamiento más activo y elaborado se ha asociado con una mayor implicación de regiones prefrontales relacionadas con la resolución de problemas y con procesos de consolidación de memoria más robustos durante los periodos de descanso posteriores a la práctica (Dayan & Cohen, 2011), lo que explicaría, a nivel neural, la superioridad de la práctica variable observada conductualmente en numerosos estudios.

El equilibrio adecuado entre repetición y variabilidad depende, en gran medida, de la etapa de aprendizaje en la que se encuentre el ejecutante y de la naturaleza de la tarea que se pretende dominar. Durante las fases iniciales del aprendizaje, cuando el aprendiz aún no ha comprendido la estructura básica del movimiento, un cierto grado de repetición relativamente constante puede resultar necesario para consolidar un patrón fundamental de ejecución; a medida que dicho patrón se estabiliza, la introducción progresiva de variabilidad resulta cada vez más beneficiosa para desarrollar esquemas motores flexibles y transferibles (Magill & Anderson, 2017). Un entrenamiento que se limite indefinidamente a la repetición constante de un único patrón corre el riesgo de producir una automatización precoz y rígida, poco adaptable a las condiciones cambiantes que caracterizan a la mayoría de los contextos deportivos y de la vida cotidiana.

Adicionalmente, la práctica deliberada, entendida como aquella actividad de entrenamiento diseñada específicamente para mejorar aspectos concretos del desempeño, que exige un esfuerzo cognitivo considerable y que se acompaña de retroalimentación informativa inmediata sobre los errores cometidos, constituye una forma particularmente eficaz de organizar la repetición y la variabilidad de la práctica con fines de optimización del aprendizaje (Ericsson et al., 1993). A diferencia de la simple acumulación de horas de exposición a una actividad, la práctica deliberada mantiene al sistema nervioso central en un estado de demanda cognitiva elevada y sostenida, condición que, de acuerdo con la evidencia revisada, favorece de manera más consistente la inducción de cambios neuroplásticos duraderos.

Conviene, asimismo, diferenciar entre la variabilidad estructural de la práctica, que se refiere a la manera en que se organiza temporalmente la secuencia de intentos dentro de una sesión de entrenamiento bloques constantes frente a

series aleatorias, y la variabilidad de la tarea, que se refiere a la magnitud de las diferencias entre las distintas versiones de la habilidad que se practican. Ambas dimensiones de la variabilidad pueden manipularse de manera relativamente independiente en el diseño de un programa de entrenamiento, y la evidencia disponible sugiere que sus efectos sobre la plasticidad cerebral y el aprendizaje, aunque convergentes en términos generales, no son necesariamente idénticos, lo que representa una vía interesante para el diseño experimental de futuros estudios en el ámbito del comportamiento motor aplicado al deporte (Schmidt & Lee, 2020).

El equilibrio entre repetición y variabilidad también debe considerar el tipo de retroalimentación proporcionada durante la práctica. Una retroalimentación demasiado frecuente y detallada, ofrecida después de cada intento, puede interferir con los procesos naturales de exploración y autocorrección que subyacen a la construcción de representaciones motoras robustas, mientras que una retroalimentación programada de manera más espaciada, o resumida tras un conjunto de varios intentos, tiende a fomentar un procesamiento cognitivo más profundo por parte del aprendiz, quien debe recurrir a sus propios mecanismos internos de evaluación del error antes de recibir la información externa correspondiente (Schmidt & Lee, 2020). Esta interacción entre la estructura de la práctica y la programación de la retroalimentación constituye otro ejemplo de cómo distintas variables pedagógicas convergen en la modulación de los procesos neuroplásticos subyacentes al aprendizaje motor.

Un factor adicional que interactúa estrechamente con la repetición y la variabilidad de la práctica es la especificidad del contexto de entrenamiento. Cuando las condiciones de práctica reproducen fielmente las características perceptivas, emocionales y decisionales del contexto de aplicación final de la habilidad por ejemplo, entrenando bajo niveles de fatiga, ruido ambiental o presión temporal similares a los de la competencia, los cambios neuroplásticos inducidos tienden a resultar más directamente transferibles al desempeño en dicho contexto, en comparación con una práctica realizada en condiciones artificialmente simplificadas y descontextualizadas (Araújo et al., 2006). Este principio refuerza la importancia de diseñar tareas de entrenamiento

representativas, que integren simultáneamente los componentes de repetición, variabilidad y especificidad contextual revisados en este apartado.

La estimulación cognitiva y motora hace referencia al conjunto de estrategias pedagógicas y de entrenamiento diseñadas deliberadamente para exponer al sistema nervioso central a demandas variadas, novedosas y progresivamente exigentes, con el propósito explícito de potenciar los procesos de plasticidad cerebral asociados al aprendizaje. A diferencia de la práctica motora rutinaria, centrada casi exclusivamente en la repetición de gestos técnicos específicos, la estimulación cognitivo-motora integra deliberadamente componentes de procesamiento perceptivo, atencional y decisional junto con la ejecución del movimiento, reproduciendo de manera más fiel la complejidad de las situaciones reales de desempeño deportivo y cotidiano.

La evidencia acumulada sobre los efectos del enriquecimiento ambiental en modelos animales, y sus correlatos en investigaciones con humanos, sugiere que la exposición a entornos cognitiva y sensorialmente enriquecidos, que combinan oportunidades de actividad física con demandas de aprendizaje, exploración y resolución de problemas, produce efectos neuroplásticos superiores a los que se obtienen mediante la actividad física aislada o mediante la estimulación cognitiva desprovista de componente motor (Cotman & Berchtold, 2002). Este hallazgo respalda el diseño de programas de educación física y entrenamiento deportivo que combinen intencionalmente exigencias motrices con exigencias cognitivas, en lugar de tratar ambos dominios como si fueran completamente independientes entre sí.

En el ámbito escolar y del entrenamiento con niños y adolescentes, la estimulación cognitivo-motora reviste una importancia particular, dado que el sistema nervioso central se encuentra todavía en un periodo de intenso desarrollo y maduración, caracterizado por una capacidad de plasticidad experiencia-dependiente especialmente elevada. Diamond (2013) ha señalado que las actividades físicas que integran componentes de control inhibitorio, memoria de trabajo y flexibilidad cognitiva como ocurre en numerosos juegos deportivos que exigen tomar decisiones rápidas bajo condiciones cambiantes tienden a producir beneficios más consistentes sobre el desarrollo de las

ISBN
978-9942-595-14-0

funciones ejecutivas infantiles que las actividades físicas de naturaleza puramente repetitiva y predecible, en las cuales las demandas cognitivas resultan mínimas una vez que el patrón motor se ha automatizado.

En poblaciones adultas y de personas mayores, la estimulación cognitivo-motora ha mostrado también resultados prometedores en el mantenimiento y, en determinados casos, en la recuperación parcial de funciones cognitivas asociadas al envejecimiento, particularmente cuando se combinan de manera sistemática tareas de ejercicio aeróbico con tareas de naturaleza cognitiva, como ocurre en los programas de entrenamiento de doble tarea, en los cuales el individuo debe ejecutar simultáneamente una actividad motriz y una actividad cognitiva de dificultad creciente (Kramer & Erickson, 2007). Estos programas capitalizan directamente sobre el principio de plasticidad dependiente del uso, al exigir de manera conjunta y sostenida los sistemas neuronales implicados tanto en el control motor como en el procesamiento cognitivo de orden superior.

Desde una perspectiva práctica, la estimulación cognitiva y motora efectiva debe cumplir con determinadas condiciones: debe suponer un nivel de exigencia adecuado a las capacidades actuales del individuo, ni tan sencillo que no represente un desafío genuino para el sistema nervioso, ni tan complejo que resulte frustrante o inalcanzable; debe incorporar progresivamente mayor variabilidad y complejidad a medida que el desempeño mejora; y debe mantenerse en el tiempo de manera sistemática, dado que los efectos neuroplásticos del entrenamiento tienden a revertirse parcialmente cuando la estimulación se interrumpe de manera prolongada, fenómeno que subraya la importancia de la continuidad y la regularidad en cualquier programa orientado a potenciar la plasticidad cerebral (Hötting & Röder, 2013).

La literatura sobre estimulación cognitivo-motora ha explorado también el potencial de los denominados exergames, es decir, videojuegos que exigen la ejecución de movimientos corporales reales para su interacción, como herramienta capaz de combinar de manera atractiva y motivante la actividad física con la demanda cognitiva propia de la resolución de retos virtuales progresivamente más complejos. Si bien la evidencia sobre los efectos neuroplásticos específicos de este tipo de herramientas se encuentra todavía en

desarrollo, los estudios preliminares sugieren que su capacidad de integrar componentes motores y cognitivos de manera simultánea y graduada los convierte en un recurso pedagógico de interés, particularmente en contextos escolares y en programas dirigidos a poblaciones con acceso limitado a espacios deportivos convencionales (Kramer & Erickson, 2007).

Finalmente, es importante advertir que la estimulación cognitiva y motora no debe entenderse como un simple incremento indiscriminado de la cantidad de estímulos presentados al aprendiz, sino como un proceso cuidadosamente calibrado que respeta los principios de sobrecarga progresiva y de especificidad revisados en apartados anteriores. Una estimulación excesivamente heterogénea o desorganizada, que no permita al sistema nervioso central consolidar aprendizajes intermedios antes de introducir nuevas demandas, puede resultar tan poco efectiva para la inducción de cambios neuroplásticos duraderos como una estimulación insuficiente o monótona, lo que exige del docente y del entrenador un ejercicio constante de observación y ajuste de la dificultad de las tareas propuestas.

La adquisición de habilidades deportivas de alto nivel constituye, desde la perspectiva de la neurociencia del comportamiento, uno de los ejemplos más elocuentes de la capacidad plástica del sistema nervioso humano. Los deportistas de élite exhiben, en comparación con practicantes recreativos o con individuos no entrenados en la disciplina correspondiente, diferencias estructurales y funcionales mensurables en regiones cerebrales directamente relacionadas con las demandas específicas de su deporte, diferencias que la evidencia disponible atribuye, al menos en buena medida, a los efectos acumulados de miles de horas de práctica deliberada y especializada, más que a diferencias innatas preexistentes (Dayan & Cohen, 2011).

Estudios comparativos entre deportistas expertos y novatos han documentado, por ejemplo, una mayor eficiencia en la activación de las redes neuronales implicadas en la ejecución de su gesto deportivo específico, lo que se traduce en una activación cerebral más focalizada y de menor magnitud absoluta para producir un desempeño motor equivalente o superior, fenómeno que se ha interpretado como un indicador de automatización neuronal eficiente. Asimismo,

ISBN
978-9942-595-14-0

se han documentado diferencias en la conectividad funcional entre regiones cerebrales implicadas en la anticipación perceptiva y la toma de decisiones deportivas, congruentes con la superior capacidad de los deportistas expertos para leer y anticipar situaciones de juego complejas descrita previamente en la literatura sobre pericia perceptivo-cognitiva (Williams & Ward, 2007).

Resulta ilustrativo, en este sentido, considerar los hallazgos derivados de estudios comparativos entre practicantes de disciplinas deportivas con demandas motrices y cognitivas marcadamente distintas. Por ejemplo, la práctica prolongada de disciplinas que exigen un control postural y un equilibrio extremadamente refinados, como la gimnasia o el clavado, se ha asociado con adaptaciones estructurales específicas en regiones cerebelosas y vestibulares implicadas en el control del equilibrio, mientras que la práctica prolongada de disciplinas de resistencia cardiovascular, como el atletismo de fondo, se ha vinculado de manera más consistente con adaptaciones en regiones asociadas a la regulación autonómica y a la tolerancia al esfuerzo prolongado. Estos hallazgos refuerzan, una vez más, el principio de especificidad experiencia-dependiente descrito en apartados anteriores, y sugieren que la neuroplasticidad inducida por la práctica deportiva especializada tiende a reflejar, de manera relativamente fiel, las demandas particulares de cada disciplina.

La relación entre neuroplasticidad y adquisición de habilidades deportivas no es unidireccional ni estática, sino que se despliega a lo largo de un proceso temporal prolongado que comparte importantes puntos de contacto con las etapas del aprendizaje motor descritas por la literatura clásica del comportamiento motor. En las fases iniciales del aprendizaje de una habilidad deportiva, la plasticidad cerebral se manifiesta principalmente como cambios funcionales relativamente rápidos, asociados a un reclutamiento amplio y poco eficiente de recursos corticales, congruente con la elevada demanda atencional que caracteriza a la etapa cognitiva del aprendizaje motor; a medida que la práctica se prolonga y la habilidad se automatiza, los cambios plásticos tienden a consolidarse en forma de modificaciones estructurales más estables y de una activación neuronal más eficiente y focalizada, congruente con las características de la etapa autónoma (Dayan & Cohen, 2011; Magill & Anderson, 2017).

Un aspecto particularmente relevante para la adquisición de habilidades deportivas de naturaleza abierta, es decir, aquellas ejecutadas en entornos cambiantes e impredecibles como los deportes de conjunto, es que la plasticidad cerebral inducida por su práctica parece involucrar de manera especialmente marcada regiones cerebrales asociadas a la integración perceptivo-motora y a la toma de decisiones bajo incertidumbre, en comparación con lo que ocurre en la práctica de habilidades cerradas, ejecutadas en entornos estables y predecibles, en las cuales el componente decisional resulta comparativamente menor (Williams & Ward, 2007). Esta distinción sugiere que los programas de formación deportiva orientados a disciplinas de naturaleza abierta deben incorporar, desde etapas tempranas, tareas que estimulen deliberadamente estos circuitos perceptivo-decisionales, y no limitarse exclusivamente al perfeccionamiento técnico aislado del gesto motor.

Finalmente, cabe señalar que existe una considerable variabilidad interindividual en la magnitud y en la velocidad con que se manifiestan los cambios neuroplásticos asociados a la adquisición de una habilidad deportiva, variabilidad que depende de factores como la edad de inicio en la práctica deportiva, la calidad y la sistematicidad del entrenamiento recibido, y determinadas características genéticas relacionadas con la disponibilidad de factores neurotróficos como el BDNF (Voss et al., 2013). Esta variabilidad interindividual resulta relevante para los procesos de detección y desarrollo de talentos deportivos, en la medida en que sugiere que el potencial de aprendizaje de un deportista joven no puede evaluarse adecuadamente a partir de una única observación de su desempeño actual, sino que debe considerar también la trayectoria y la calidad de la práctica a la que ha sido expuesto.

La edad de inicio en la práctica deportiva especializada merece una consideración particular dentro de la relación entre neuroplasticidad y adquisición de habilidades deportivas. Diversos estudios comparativos entre deportistas que comenzaron su especialización durante la infancia y aquellos que lo hicieron en etapas posteriores han sugerido que un inicio temprano puede asociarse con adaptaciones neuroplásticas de mayor magnitud en determinadas estructuras cerebrales, congruente con la mayor plasticidad experiencia-dependiente propia de los periodos sensibles del desarrollo descritos

ISBN
978-9942-595-14-0

anteriormente; sin embargo, esta ventaja potencial debe sopesarse cuidadosamente frente a los riesgos asociados a la especialización deportiva precoz, entre ellos el sobreentrenamiento, el agotamiento psicológico y la limitación del desarrollo de un repertorio motor amplio y diversificado, lo que ha llevado a numerosos especialistas en pedagogía deportiva a recomendar una diversificación motriz amplia durante la infancia, seguida de una especialización progresiva durante la adolescencia (Magill & Anderson, 2017).

La investigación sobre neuroplasticidad y pericia deportiva ha comenzado también a explorar el papel de la práctica mental o imaginería motora, es decir, el ensayo cognitivo deliberado de una acción motriz sin su ejecución física real, como estrategia complementaria capaz de inducir cambios neuroplásticos parcialmente superpuestos a los producidos por la práctica física efectiva. Diversos estudios de neuroimagen han mostrado que la imaginería motora activa, en gran medida, las mismas regiones corticales implicadas en la planificación y ejecución real del movimiento correspondiente, lo que sugiere que su incorporación sistemática, en combinación con la práctica física y no como sustituto de esta, puede contribuir a consolidar las representaciones motoras necesarias para la adquisición de habilidades deportivas complejas, particularmente en contextos en los que la práctica física se encuentra temporalmente limitada, como ocurre durante determinados procesos de recuperación de lesiones (Dayan & Cohen, 2011).

La incorporación explícita de los principios de la neuroplasticidad al diseño del entrenamiento deportivo y de la educación física supone un cambio de perspectiva relevante con respecto a las prácticas pedagógicas tradicionales, centradas casi exclusivamente en la repetición técnica y en la acumulación de volumen de práctica. Una primera implicación práctica consiste en diseñar programas de entrenamiento que incorporen sistemáticamente variabilidad en las condiciones de práctica, alternando distintas variantes de una habilidad y organizando la práctica de manera progresivamente más aleatoria a medida que el aprendiz avanza en su proceso formativo, con el fin de favorecer la construcción de representaciones motoras flexibles y neuroplásticamente más robustas, en línea con la evidencia revisada sobre interferencia contextual y variabilidad de la práctica (Shea & Morgan, 1979).

Una segunda implicación relevante consiste en integrar deliberadamente componentes cognitivos y decisionales dentro de las tareas de entrenamiento motor, en lugar de reservar el desarrollo de estas capacidades para momentos separados del proceso formativo. Dado que la evidencia revisada sugiere que la estimulación cognitivo-motora combinada produce efectos neuroplásticos superiores a la estimulación puramente motora o puramente cognitiva por separado, el diseño de tareas de entrenamiento representativas, que exijan simultáneamente ejecución motriz, procesamiento perceptivo y toma de decisiones, resulta pedagógicamente preferible a la práctica descontextualizada de gestos técnicos aislados (Araújo et al., 2006).

Una implicación adicional, transversal a las anteriores, tiene que ver con la formación de los propios docentes de educación física y entrenadores deportivos en los fundamentos de la neuroplasticidad. La incorporación efectiva de estos principios al diseño pedagógico cotidiano exige que el profesional comprenda, más allá de un nivel meramente divulgativo, los mecanismos básicos que sustentan las recomendaciones prácticas que aplica, de manera que pueda adaptar creativamente dichos principios a las características específicas de su contexto institucional, a los recursos disponibles y a las particularidades de la población con la que trabaja, en lugar de aplicar de manera acrítica fórmulas metodológicas genéricas. Esto sugiere la conveniencia de que los programas de formación de licenciados en educación física incorporen contenidos actualizados sobre neurociencia del comportamiento motor dentro de su plan curricular, estableciendo puentes explícitos entre la fundamentación biológica y la práctica pedagógica.

Una tercera implicación se relaciona con la programación temporal del entrenamiento. Dado que los procesos de consolidación neuroplástica requieren tiempo y se ven favorecidos por periodos adecuados de descanso y recuperación, particularmente durante el sueño, la planificación de microciclos y macrociclos de entrenamiento debe contemplar explícitamente intervalos de recuperación suficientes entre sesiones de práctica intensiva, evitando tanto la subestimulación, que no llega a inducir cambios plásticos significativos, como la sobreestimulación crónica, que puede interferir con los procesos de consolidación e incluso derivar en fenómenos de sobreentrenamiento con

ISBN
978-9942-595-14-0

efectos contraproducentes sobre el sistema nervioso central (Hötting & Röder, 2013).

Una cuarta implicación tiene que ver con la incorporación sistemática del ejercicio aeróbico como complemento del entrenamiento técnico-táctico específico, no solo por sus beneficios sobre la condición física general, sino por su contribución demostrada a la creación de un ambiente neuroquímico favorable para el aprendizaje, mediante el incremento de factores neurotróficos como el BDNF y la promoción de la angiogénesis y la neurogénesis hipocampal (Cotman & Berchtold, 2002; Erickson et al., 2011). Esta consideración resulta particularmente relevante para el diseño de sesiones de educación física escolar, en las cuales conviene evitar prolongados periodos de inactividad y explicación teórica que no aprovechen el potencial neuroplástico que genera la propia actividad física.

Una quinta implicación concierne a la individualización del entrenamiento en función de la etapa de desarrollo y del nivel de pericia del aprendiz, reconociendo que la capacidad y las características de la plasticidad cerebral varían considerablemente entre la niñez, caracterizada por una elevada plasticidad experiencia-dependiente asociada a la maduración; la adultez, en la cual la plasticidad, aunque menor, se mantiene funcionalmente relevante y modificable mediante práctica sistemática; y la vejez, en la cual el ejercicio físico y la estimulación cognitivo-motora combinada parecen desempeñar un papel particularmente protector frente al declive cognitivo asociado a la edad (Voss et al., 2013).

Una implicación adicional se refiere a la evaluación del proceso formativo. Si el objetivo del entrenamiento fundamentado en neuroplasticidad es promover cambios neuronales duraderos y funcionalmente relevantes, los criterios de evaluación del aprendizaje motor deberían privilegiar medidas de retención y de transferencia a contextos representativos de la competencia real, por encima de indicadores exclusivamente centrados en el rendimiento inmediato durante la sesión de entrenamiento. Esta orientación evaluativa resulta coherente con los principios revisados sobre variabilidad de la práctica y especificidad contextual, y exige de los docentes y entrenadores diseñar instrumentos de valoración que

se apliquen tras periodos de retención adecuados y en condiciones que se aproximen, en la medida de lo posible, a las exigencias reales del deporte o de la actividad motriz que se pretende dominar.

Finalmente, resulta pertinente subrayar que el diseño del entrenamiento fundamentado en principios de neuroplasticidad no debe entenderse como la aplicación mecánica de un conjunto fijo de recetas metodológicas, sino como un marco conceptual que orienta la toma de decisiones pedagógicas hacia la maximización de las condiciones que la evidencia científica ha asociado consistentemente con un aprendizaje neuronalmente robusto, duradero y transferible: variabilidad significativa, exigencia cognitiva genuina, retroalimentación informativa, recuperación adecuada y continuidad sostenida en el tiempo (Ratey & Hagerman, 2008). La apropiación de estos principios por parte de los licenciados en educación física, los entrenadores deportivos y los profesionales de la rehabilitación constituye, en definitiva, una vía privilegiada para fundamentar científicamente su práctica pedagógica cotidiana.

NEURODIDÁCTICA APLICADA AL DEPORTE

Capítulo 5. Fundamentos de la neurodidáctica

La neurodidáctica constituye un campo de conocimiento emergente que busca tender puentes entre los hallazgos de la neurociencia cognitiva y afectiva y las decisiones pedagógicas que docentes y entrenadores toman cotidianamente en sus procesos de enseñanza. El presente trabajo desarrolla, mediante una revisión narrativa sustentada en literatura especializada, ocho ejes temáticos estrechamente articulados entre sí: el concepto y la evolución histórica de la neurodidáctica, la relación entre neurociencia, educación y aprendizaje, los principios neurodidácticos fundamentales, el papel de la emoción y la motivación en el aprendizaje, la atención y las funciones ejecutivas, la memoria y la consolidación del aprendizaje, la experiencia, el movimiento y el aprendizaje significativo, y finalmente las implicaciones neurodidácticas específicas para la labor del entrenador deportivo. Se parte de los desarrollos iniciales que dieron origen al campo de la mente, el cerebro y la educación, para luego analizar la evidencia acumulada sobre la interdependencia entre emoción y cognición, el papel regulador de las funciones ejecutivas y los mecanismos neurobiológicos de la consolidación mnémica. El análisis evidencia que el aprendizaje humano, lejos de ser un proceso exclusivamente racional y desligado del cuerpo, se encuentra profundamente enraizado en la emoción, el movimiento y la experiencia corporal, lo que otorga a los entrenadores y docentes de educación física una posición privilegiada para aplicar los principios neurodidácticos en su práctica cotidiana. Se concluye que fundamentar el entrenamiento deportivo y la enseñanza motriz en principios neurodidácticos permite diseñar experiencias de aprendizaje más significativas, emocionalmente relevantes y neurobiológicamente coherentes con el modo en que efectivamente aprende el cerebro humano.

Durante buena parte de la historia de la pedagogía, las decisiones sobre cómo enseñar se han fundamentado principalmente en la tradición metodológica, en la experiencia acumulada de los docentes y en modelos psicológicos del aprendizaje que, aunque valiosos, no siempre contaron con un correlato explícito en el funcionamiento biológico del cerebro humano. En las últimas tres décadas, sin embargo, el vertiginoso desarrollo de las técnicas de neuroimagen y de la neurociencia cognitiva y afectiva ha abierto la posibilidad de observar, con un

ISBN
978-9942-595-14-0

nivel de detalle antes inalcanzable, qué ocurre en el cerebro mientras una persona aprende, recuerda, se emociona o toma una decisión, lo que ha dado origen a un campo de conocimiento interdisciplinario conocido como neurodidáctica o neuroeducación (Mora, 2013; Tokuhama-Espinosa, 2011).

Este campo emergente no pretende convertir al docente en un neurocientífico, ni reducir la complejidad de los procesos educativos a la mera activación de determinadas estructuras cerebrales; su propósito es más bien el de ofrecer a los profesionales de la educación y del entrenamiento deportivo un conjunto de principios generales, fundamentados en evidencia científica, que permitan diseñar experiencias de enseñanza más coherentes con la manera en que efectivamente funciona y aprende el cerebro humano (OECD, 2007). En este sentido, la neurodidáctica se distingue claramente de los llamados neuromitos, es decir, de creencias populares sobre el cerebro y el aprendizaje que, pese a carecer de respaldo científico riguroso, han logrado una notable difusión en el ámbito educativo, como la idea de que las personas aprenden exclusivamente a través de un único estilo de aprendizaje predominante o que solo se utiliza el diez por ciento de la capacidad cerebral (Howard-Jones, 2014).

La neurodidáctica puede definirse como el campo interdisciplinario que estudia la aplicación de los conocimientos generados por la neurociencia sobre el funcionamiento y el desarrollo del cerebro humano al diseño de estrategias, metodologías y ambientes de enseñanza que resulten más coherentes con los mecanismos biológicos que sustentan el aprendizaje (Mora, 2013). Aunque en ocasiones se utiliza como sinónimo de neuroeducación, algunos autores prefieren reservar este último término para el campo interdisciplinario más amplio que integra la neurociencia, la psicología y la pedagogía, mientras que la neurodidáctica se centraría más específicamente en la traducción de dichos hallazgos hacia estrategias y métodos de enseñanza concretos y aplicables en el aula o en el entorno de entrenamiento.

El origen de este campo puede rastrearse hasta finales del siglo XX, cuando el notable incremento en la disponibilidad y la resolución de las técnicas de neuroimagen funcional y estructural entre ellas la resonancia magnética funcional y la tomografía por emisión de positrones permitió, por primera vez en

la historia, observar de manera relativamente directa la actividad cerebral asociada a procesos cognitivos complejos como la lectura, el cálculo o la toma de decisiones, en sujetos vivos y en condiciones experimentales controladas. Este desarrollo tecnológico coincidió con un renovado interés, tanto en la comunidad neurocientífica como en la educativa, por explorar las implicaciones pedagógicas de estos hallazgos, lo que dio lugar a la conformación progresiva de un campo de estudio formal, respaldado por publicaciones especializadas, programas de posgrado y organismos internacionales dedicados específicamente a su desarrollo (Tokuhama-Espinosa, 2011).

Un hito particularmente relevante en la consolidación institucional de este campo fue la publicación, por parte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, del informe Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science, que sistematizó buena parte de la evidencia disponible hasta ese momento sobre neurociencia y aprendizaje, y que contribuyó decisivamente a situar la neuroeducación como un área legítima de política e investigación educativa a nivel internacional (OECD, 2007). Paralelamente, en el ámbito académico se consolidó la revista especializada Mind, Brain, and Education, fundada a mediados de la primera década del siglo XXI, que se convirtió en un espacio central de publicación y debate para la comunidad de investigadores dedicados a este campo emergente.

La evolución de la neurodidáctica no ha estado exenta de tensiones y debates internos. Algunos autores han advertido sobre el riesgo de una aplicación superficial o excesivamente entusiasta de los hallazgos neurocientíficos al ámbito educativo, señalando que buena parte de la investigación en neurociencia se ha desarrollado en condiciones experimentales de laboratorio que distan considerablemente de la complejidad y la variabilidad propias del aula real, y que la traducción directa de hallazgos neurocientíficos hacia recomendaciones pedagógicas concretas debe realizarse con prudencia metodológica (Howard-Jones, 2014). Esta tensión ha dado lugar, precisamente, a la proliferación de los llamados neuromitos, creencias pseudocientíficas sobre el cerebro que se han popularizado en el ámbito educativo a pesar de carecer

ISBN
978-9942-595-14-0

de respaldo empírico riguroso, y cuya identificación y desmitificación constituye en la actualidad una de las tareas más relevantes del campo.

Pese a estas tensiones, la neurodidáctica ha logrado consolidarse progresivamente como un campo de estudio maduro, caracterizado por un creciente rigor metodológico y por un diálogo cada vez más fluido entre neurocientíficos, psicólogos educativos y profesionales de la enseñanza. Goswami (2006) ha señalado que, para que este diálogo resulte genuinamente productivo, resulta indispensable que los hallazgos de la neurociencia básica sean sometidos a un proceso de validación pedagógica específica antes de traducirse en recomendaciones para el aula, evitando extrapolaciones apresuradas desde estudios realizados en contextos experimentales muy distintos a los del aprendizaje escolar o deportivo cotidiano.

Resulta pertinente, asimismo, diferenciar la neurodidáctica de otras corrientes pedagógicas contemporáneas con las que en ocasiones se confunde, como el llamado aprendizaje basado en el cerebro o brain-based learning, término popularizado especialmente en el ámbito anglosajón durante la década de 1990, que en sus primeras formulaciones tendió a ofrecer recomendaciones pedagógicas con un respaldo científico menos riguroso que el que caracteriza a la neurodidáctica contemporánea. Con el paso del tiempo, ambas corrientes han tendido a converger, en la medida en que el campo en su conjunto ha ido incorporando estándares metodológicos cada vez más exigentes para la validación de sus recomendaciones prácticas, lo que ha contribuido a distanciar progresivamente a la neurodidáctica rigurosa de las versiones más divulgativas y comercialmente orientadas que en ocasiones circulan bajo etiquetas similares en el mercado editorial y en la oferta de formación docente (Howard-Jones, 2014).

En el contexto de la educación física y el entrenamiento deportivo, la neurodidáctica ofrece un marco conceptual particularmente fértil, dado que las prácticas corporales y motrices constituyen, como se desarrollará en apartados posteriores, un terreno privilegiado para la integración natural entre emoción, movimiento y cognición.

La relación entre neurociencia y educación se fundamenta en la premisa de que todo aprendizaje humano, independientemente de su contenido específico, constituye en última instancia un proceso biológico que involucra cambios en la estructura y en el funcionamiento del sistema nervioso central. Comprender los mecanismos generales mediante los cuales el cerebro adquiere, procesa, almacena y recupera información resulta, por tanto, relevante para cualquier profesional cuya labor consista en diseñar experiencias que favorezcan dicho aprendizaje, ya sea en el contexto del aula escolar, del entrenamiento deportivo o de la rehabilitación funcional (Goswami, 2006).

Uno de los aportes más significativos de la neurociencia a la comprensión del aprendizaje ha sido la confirmación empírica de la capacidad plástica del cerebro humano a lo largo de toda la vida, capacidad que, como se ha señalado en la literatura sobre neuroplasticidad, permite que la experiencia y la práctica modifiquen de manera duradera tanto la estructura como el funcionamiento de las redes neuronales implicadas en el aprendizaje (Kolb & Whishaw, 1998). Esta evidencia ha contribuido a desplazar definitivamente las concepciones educativas que asumían capacidades cognitivas fijas e inmodificables, reforzando en cambio una visión del aprendizaje como un proceso potencialmente transformador de la propia biología del aprendiz, lo que tiene implicaciones motivacionales y pedagógicas de primer orden, particularmente para estudiantes que enfrentan dificultades de aprendizaje o que han interiorizado creencias limitantes sobre su propia capacidad.

La neurociencia también ha contribuido a matizar y enriquecer modelos educativos previos, al mostrar, por ejemplo, que el aprendizaje no constituye un proceso unitario ni homogéneo, sino que involucra sistemas de memoria y de procesamiento diferenciados, con sustratos neuroanatómicos parcialmente distintos, según se trate de aprendizajes de naturaleza declarativa, explícita y consciente, o de aprendizajes de naturaleza procedimental, implícita y automatizada (Squire & Kandel, 2009). Esta distinción, que se desarrollará con mayor detalle en el apartado dedicado a la memoria, resulta especialmente relevante para el diseño de estrategias de enseñanza en el ámbito del movimiento humano, en el cual conviven de manera constante aprendizajes de

ISBN
978-9942-595-14-0

tipo declarativo reglas, conceptos tácticos y aprendizajes de tipo procedimental ejecución técnica automatizada de un gesto motor.

Resulta importante señalar que la relación entre neurociencia y educación no debe entenderse en un único sentido, como si la primera simplemente proveyera hallazgos que la segunda debiera aplicar de manera pasiva. Por el contrario, la investigación educativa y la práctica pedagógica cotidiana constituyen, en sí mismas, una fuente valiosa de preguntas e hipótesis que pueden orientar la agenda de investigación neurocientífica, en un diálogo genuinamente bidireccional entre ambos campos (OECD, 2007). Este carácter bidireccional resulta particularmente pertinente en el ámbito del entrenamiento deportivo, en el que la observación sistemática y prolongada del proceso de aprendizaje de habilidades motrices complejas por parte de entrenadores experimentados constituye una fuente de conocimiento práctico que puede, a su vez, enriquecer y orientar la investigación neurocientífica sobre el aprendizaje motor.

Finalmente, cabe destacar que la integración entre neurociencia y educación exige superar la fragmentación disciplinaria tradicional entre quienes estudian el cerebro y quienes diseñan e implementan procesos de enseñanza, favoreciendo espacios formativos y de investigación genuinamente interdisciplinarios. En el contexto de la formación de licenciados en educación física, entrenadores deportivos y demás profesionales de las ciencias del movimiento humano, esta integración adquiere una relevancia particular, en la medida en que estos profesionales se encuentran en una posición privilegiada para tender puentes prácticos entre el conocimiento neurocientífico y el diseño cotidiano de experiencias de aprendizaje corporal, emocional y cognitivamente significativas.

Conviene, además, advertir sobre uno de los riesgos metodológicos más frecuentes en la aplicación apresurada de la neurociencia a la educación: la denominada falacia de la neurocientificación, consistente en atribuir un supuesto respaldo neurocientífico a recomendaciones pedagógicas que, en realidad, carecen de evidencia empírica específica que las sustente, apelando simplemente a la mención genérica de estructuras o procesos cerebrales para conferir una apariencia de rigor científico a prácticas que no han sido validadas de manera rigurosa. Evitar esta falacia exige que los profesionales de la

educación física y el entrenamiento deportivo desarrollen una capacidad crítica suficiente para distinguir entre recomendaciones neurodidácticas genuinamente fundamentadas en evidencia sólida y aquellas que simplemente revisten de lenguaje neurocientífico prácticas pedagógicas preexistentes, sin que exista una relación causal demostrada entre ambas (Howard-Jones, 2014).

A partir de la síntesis de la evidencia disponible en neurociencia cognitiva y afectiva, distintos autores han propuesto conjuntos de principios generales que orientan la aplicación pedagógica de estos hallazgos. Aunque las formulaciones específicas varían según el autor, existe un consenso relativamente amplio en torno a determinados principios centrales que resultan especialmente pertinentes para el diseño de experiencias de enseñanza en el ámbito de la educación física y el entrenamiento deportivo (Tokuhama-Espinosa, 2011).

Un primer principio, ya mencionado, es el de la plasticidad cerebral como fundamento biológico de todo aprendizaje: el cerebro humano conserva, a lo largo de toda la vida, la capacidad de modificar su estructura y su funcionamiento en respuesta a la experiencia, lo que implica que las capacidades cognitivas y motrices de una persona no deben considerarse como atributos fijos, sino como el resultado dinámico de la interacción entre predisposiciones biológicas y experiencias de aprendizaje (Kolb & Whishaw, 1998). Un segundo principio, estrechamente relacionado con el anterior, es el de la individualidad del aprendizaje: dado que cada cerebro se desarrolla a partir de una combinación única de factores genéticos y experienciales, los procesos de aprendizaje presentan una variabilidad interindividual considerable, lo que exige diseñar estrategias pedagógicas flexibles, capaces de adaptarse a los distintos ritmos, estilos e intereses de los aprendices, sin caer por ello en la simplificación excesiva de los llamados estilos de aprendizaje sensoriales, cuya validez científica ha sido cuestionada por la investigación especializada (Howard-Jones, 2014).

Un tercer principio central es el de la indisociabilidad entre emoción y cognición, según el cual los procesos emocionales no constituyen un obstáculo o una distracción para el aprendizaje racional, como sugería la tradición dualista clásica, sino que resultan condición necesaria para que la información adquiera

ISBN
978-9942-595-14-0

relevancia, se procese profundamente y se consolide de manera duradera en la memoria (Immordino-Yang & Damasio, 2007). Este principio, que se desarrollará con mayor detalle en el apartado siguiente, tiene implicaciones directas para el diseño de ambientes de enseñanza que resulten emocionalmente seguros, significativos y motivantes para el aprendiz.

Un cuarto principio neurodidáctico relevante es el de la necesidad de contextos de aprendizaje activos, exploratorios y significativos, en contraposición a modelos de enseñanza centrados exclusivamente en la transmisión pasiva de información. La evidencia neurocientífica sugiere que el cerebro humano procesa y retiene con mayor eficacia la información que se relaciona de manera significativa con conocimientos y experiencias previas, y que se adquiere mediante la participación activa del aprendiz en la construcción de dicho conocimiento, más que mediante la simple recepción pasiva de contenidos transmitidos verbalmente (Zull, 2002). Un quinto principio, particularmente relevante para el ámbito del movimiento humano, es el de la implicación corporal en el aprendizaje, según el cual el movimiento y la acción física no constituyen elementos periféricos o accesorios del proceso de aprendizaje, sino componentes que pueden potenciar directamente el procesamiento cognitivo y la consolidación de la memoria, principio que se desarrollará con mayor profundidad en el apartado dedicado a la experiencia, el movimiento y el aprendizaje significativo.

Finalmente, un sexto principio ampliamente reconocido en la literatura neurodidáctica es el de la importancia de la retroalimentación oportuna y del error como parte constitutiva del proceso de aprendizaje, más que como un resultado indeseable que deba evitarse a toda costa. Desde la perspectiva neurodidáctica, el error activa mecanismos cerebrales de detección de discrepancias entre el resultado esperado y el resultado obtenido, que resultan fundamentales para el ajuste y el refinamiento progresivo de las representaciones cognitivas y motoras del aprendiz, siempre que dicho error se procese en un ambiente emocional que no genere ansiedad o amenaza excesivas, condiciones que, como se verá en el siguiente apartado, pueden interferir significativamente con el propio proceso de aprendizaje (Mora, 2013).

Un séptimo principio, complementario de los anteriores, es el de la importancia de la novedad y de la variabilidad controlada de los estímulos para sostener el interés y la atención del aprendiz a lo largo del tiempo. El cerebro humano tiende a habituarse progresivamente a los estímulos repetidos y predecibles, reduciendo gradualmente los recursos atencionales y de procesamiento que les destina, fenómeno conocido como habituación neuronal; por ello, la introducción periódica de variaciones significativas en las tareas de enseñanza nuevos contextos, nuevos retos, nuevas formas de presentar un mismo contenido contribuye a mantener sostenido el interés del aprendiz y a favorecer un procesamiento más profundo de la información, en línea con los principios revisados previamente sobre la variabilidad de la práctica en el aprendizaje motor (Tokuhama-Espinosa, 2011).

Un octavo principio, de particular relevancia para el diseño curricular y la planificación de largo plazo, es el de la progresividad y la construcción acumulativa del aprendizaje sobre bases previamente consolidadas. Dado que las nuevas redes neuronales tienden a construirse aprovechando conexiones y representaciones ya existentes, la introducción de contenidos o habilidades que carecen de conexión con el conocimiento previo del aprendiz, o que exigen un salto de complejidad excesivo respecto de lo ya dominado, tiende a generar aprendizajes frágiles y de escasa consolidación. Este principio respalda la conveniencia de diseñar secuencias didácticas y de entrenamiento cuidadosamente progresivas, que permitan a cada nuevo aprendizaje apoyarse de manera explícita en aquello que el aprendiz ya domina con suficiente solidez (Tokuhama-Espinosa, 2011).

Uno de los aportes más significativos de la neurociencia afectiva a la comprensión del aprendizaje humano ha sido la demostración de que emoción y cognición no constituyen sistemas mentales independientes y opuestos entre sí, como sugería la tradición filosófica y psicológica clásica que privilegiaba la razón por encima del afecto, sino sistemas profundamente interconectados a nivel neuroanatómico y funcional. Immordino-Yang y Damasio (2007) han argumentado de manera influyente que los procesos cognitivos que la escuela moviliza con mayor frecuencia el aprendizaje, la atención, la memoria, la toma de decisiones y el funcionamiento social se encuentran profunda y

ISBN
978-9942-595-14-0

constitutivamente afectados por los procesos emocionales, hasta el punto de que ambos autores proponen hablar de pensamiento emocional como una categoría unificada, más que de dos procesos separados que meramente interactúan entre sí.

Esta perspectiva encuentra respaldo en la investigación neuroanatómica sobre las estructuras cerebrales implicadas en la regulación emocional, particularmente el sistema límbico y sus conexiones bidireccionales con la corteza prefrontal, región crítica para funciones cognitivas de orden superior como la planificación, la toma de decisiones y el control inhibitorio. Estas conexiones bidireccionales explican por qué los estados emocionales pueden modular de manera significativa el funcionamiento cognitivo, tanto de manera facilitadora como de manera perjudicial, dependiendo de su naturaleza e intensidad: estados emocionales moderados y positivos tienden a favorecer la atención, la motivación y la consolidación de la memoria, mientras que estados de ansiedad, miedo o estrés excesivo tienden a estrechar el foco atencional, a interferir con el funcionamiento de la memoria de trabajo y a dificultar el acceso a información previamente consolidada (Mora, 2013).

La motivación, entendida como el conjunto de procesos que activan, dirigen y sostienen la conducta orientada hacia una meta, se encuentra estrechamente vinculada con los circuitos neuronales de recompensa, particularmente aquellos que involucran la liberación de dopamina en respuesta a estímulos anticipados como placenteros o valiosos. Desde la perspectiva neurodidáctica, comprender estos mecanismos permite diseñar experiencias de aprendizaje que capitalicen sobre la motivación intrínseca del aprendiz vinculada a la curiosidad, al interés genuino y a la sensación de progreso y dominio personal en lugar de depender exclusivamente de sistemas de motivación extrínseca basados en recompensas o castigos externos, cuya efectividad para sostener el aprendizaje a largo plazo resulta considerablemente más limitada (Mora, 2013).

En el contexto específico del entrenamiento deportivo y la educación física, la relación entre emoción, motivación y aprendizaje adquiere una relevancia particular, dado que la práctica motriz suele ir acompañada de una intensa activación emocional, ya sea vinculada al disfrute del movimiento, a la

satisfacción del logro, a la frustración ante el error, o a la ansiedad asociada a la evaluación del desempeño frente a otros. Un entrenador o docente que comprende estos mecanismos puede diseñar deliberadamente ambientes de práctica que generen emociones positivas asociadas al aprendizaje motor, evitando climas excesivamente punitivos o competitivos que, aunque puedan producir mejoras de rendimiento a corto plazo, tienden a asociarse con niveles de ansiedad que dificultan la consolidación duradera del aprendizaje y que, en muchos casos, terminan generando una asociación emocional negativa con la práctica deportiva que favorece el abandono a mediano y largo plazo.

La investigación sobre motivación en contextos deportivos ha distinguido, además, entre orientaciones motivacionales centradas en la tarea, en las cuales el deportista evalúa su propio progreso y competencia en función de criterios internos de dominio y mejora personal, y orientaciones motivacionales centradas en el ego, en las cuales dicha evaluación se realiza fundamentalmente en comparación con el desempeño de otros. La evidencia disponible sugiere que una orientación predominantemente centrada en la tarea favorece patrones motivacionales más adaptativos y sostenibles en el tiempo, asociados a una mayor persistencia ante la dificultad y a una experiencia emocional más positiva de la práctica deportiva, en comparación con una orientación predominantemente centrada en el ego, que tiende a generar mayor vulnerabilidad emocional ante el fracaso y ante la comparación social desfavorable (Mora, 2013). Esta distinción ofrece a los entrenadores un criterio práctico relevante para orientar el tipo de retroalimentación y de criterios de éxito que comunican a sus deportistas.

Resulta pertinente señalar, además, que la relación entre emoción y aprendizaje no se limita a determinar si una experiencia resulta agradable o desagradable, sino que también determina, en buena medida, qué información resulta relevante y merecedora de ser consolidada en la memoria a largo plazo. Dado que el cerebro humano se encuentra expuesto de manera constante a una cantidad de información muy superior a la que puede procesar y almacenar de manera detallada, los marcadores emocionales cumplen una función de etiquetado y priorización, dirigiendo los recursos de consolidación mnémica preferentemente hacia aquellas experiencias que el sistema nervioso central ha evaluado, de

ISBN
978-9942-595-14-0

manera consciente o inconsciente, como significativas para la supervivencia, el bienestar o los objetivos del individuo (Immordino-Yang & Damasio, 2007). Esta función de etiquetado emocional explica, en gran medida, por qué las experiencias de aprendizaje motor que se acompañan de una carga emocional significativa positiva o negativa tienden a recordarse con mayor viveza y durante más tiempo que aquellas que transcurren en un registro emocional neutro.

Conviene, finalmente, distinguir entre la activación emocional moderada, que como se ha señalado favorece la atención y la consolidación del aprendizaje, y la activación emocional excesiva o crónica, característica de ambientes marcados por la presión competitiva sostenida, el temor al error o la comparación social constante, cuyos efectos sobre el aprendizaje resultan marcadamente distintos. La investigación en neuroendocrinología del estrés ha mostrado que la exposición prolongada a niveles elevados de cortisol, la hormona característicamente asociada a la respuesta de estrés, puede tener efectos perjudiciales sobre estructuras cerebrales críticas para el aprendizaje, particularmente el hipocampo, lo que subraya la importancia de que entrenadores y docentes gestionen cuidadosamente el nivel de exigencia y de presión emocional al que someten a sus estudiantes y deportistas, buscando un punto de activación óptima que estimule sin desbordar la capacidad de autorregulación emocional del aprendiz (Mora, 2013).

Las funciones ejecutivas constituyen un conjunto de procesos cognitivos de orden superior, dependientes en gran medida de la corteza prefrontal, que permiten al individuo regular su propio pensamiento y su propia conducta de manera flexible y orientada a metas. Diamond (2013) ha propuesto que estas funciones se organizan en torno a tres componentes centrales: el control inhibitorio, que permite suprimir respuestas automáticas o impulsivas en favor de respuestas más deliberadas y ajustadas a las demandas de la tarea; la memoria de trabajo, que permite mantener y manipular activamente información durante periodos breves de tiempo mientras se realiza una tarea cognitiva; y la flexibilidad cognitiva, que permite ajustar el pensamiento y la conducta ante cambios en las reglas, los objetivos o las condiciones de una tarea determinada.

La atención, entendida en un sentido amplio como la capacidad de seleccionar y priorizar determinada información en detrimento de otra, se encuentra estrechamente vinculada con el funcionamiento de las funciones ejecutivas, en la medida en que sostener la atención sobre una tarea determinada, resistiendo la interferencia de distractores internos y externos, exige precisamente el ejercicio del control inhibitorio y de la memoria de trabajo descritos anteriormente. Desde la perspectiva neurodidáctica, comprender esta relación resulta fundamental para el diseño de tareas de enseñanza que no sobrecarguen innecesariamente la capacidad atencional y ejecutiva limitada del aprendiz, particularmente en el caso de niños y adolescentes, cuyas estructuras prefrontales se encuentran todavía en pleno proceso de maduración y presentan, por tanto, una capacidad de autorregulación cognitiva comparativamente menor que la de los adultos (Diamond & Lee, 2011).

La investigación sobre el desarrollo y el entrenamiento de las funciones ejecutivas ha mostrado que estas capacidades, lejos de ser completamente fijas, pueden mejorarse mediante determinadas intervenciones sistemáticas, entre ellas ciertos programas de actividad física estructurada que exigen simultáneamente control inhibitorio, memoria de trabajo y flexibilidad cognitiva, como ocurre en numerosos juegos deportivos que requieren tomar decisiones rápidas y cambiantes bajo condiciones de incertidumbre (Diamond & Lee, 2011). Este hallazgo resulta particularmente relevante para los profesionales de la educación física y el entrenamiento deportivo, en la medida en que sugiere que la práctica deportiva bien diseñada no solo desarrolla capacidades motrices específicas, sino que puede contribuir directamente al desarrollo de capacidades cognitivas ejecutivas transferibles a otros ámbitos del desempeño académico y vital del estudiante o deportista.

Un aspecto adicional relevante para la práctica pedagógica es el reconocimiento de que la capacidad atencional y ejecutiva del ser humano es limitada y se agota progresivamente con el esfuerzo cognitivo sostenido, fenómeno que se ha denominado fatiga atencional o fatiga ejecutiva. Esta limitación tiene implicaciones prácticas directas para la organización temporal de las sesiones de enseñanza y entrenamiento, sugiriendo la conveniencia de alternar periodos de alta exigencia cognitiva y atencional con periodos de menor demanda, así

ISBN
978-9942-595-14-0

como de evitar sesiones excesivamente prolongadas de instrucción verbal o de tareas cognitivamente exigentes sin las pausas adecuadas para la recuperación de estos recursos limitados (Mora, 2013).

Finalmente, cabe destacar que el desarrollo de las funciones ejecutivas se ve favorecido por ambientes de aprendizaje que ofrecen al aprendiz oportunidades genuinas de autorregulación y de toma de decisiones, en contraposición a ambientes excesivamente dirigidos y controlados por el adulto, en los cuales el aprendiz dispone de escasas oportunidades para ejercitar su propia capacidad de planificación, inhibición y ajuste flexible de la conducta. En el contexto del entrenamiento deportivo, esto sugiere la conveniencia de diseñar progresivamente tareas que otorguen al deportista mayores grados de autonomía decisional, en lugar de limitarse a la ejecución de instrucciones estrictamente prescritas por el entrenador en cada momento de la práctica.

Un aspecto adicional que merece atención particular es la relación entre las funciones ejecutivas y la regulación de las emociones durante la competencia deportiva. El control inhibitorio, en particular, desempeña un papel central en la capacidad del deportista para regular respuestas emocionales impulsivas ante situaciones de frustración, provocación o presión competitiva, evitando reacciones desproporcionadas que puedan perjudicar tanto su propio desempeño como la dinámica del equipo. Los entrenadores que comprenden esta relación pueden diseñar deliberadamente situaciones de práctica que ejerciten progresivamente esta capacidad de autorregulación emocional bajo presión, en un entorno controlado y pedagógicamente acompañado, en lugar de esperar que dicha capacidad se desarrolle exclusivamente como subproducto incidental de la experiencia competitiva no planificada (Diamond, 2013).

La memoria constituye el conjunto de procesos mediante los cuales el sistema nervioso central codifica, almacena y recupera información derivada de la experiencia, y representa, desde la perspectiva neurodidáctica, uno de los sustratos biológicos más directamente relevantes para comprender qué significa efectivamente que un aprendizaje se haya consolidado. La investigación en neurociencia cognitiva ha establecido con claridad que la memoria no constituye un sistema unitario, sino que se organiza en múltiples subsistemas parcialmente

diferenciados a nivel neuroanatómico, entre ellos la memoria declarativa o explícita, dependiente en gran medida del hipocampo y de estructuras temporales mediales, y la memoria procedimental o implícita, dependiente de estructuras como los ganglios basales y el cerebelo (Squire & Kandel, 2009).

Un proceso central para la comprensión neurodidáctica de la memoria es el de la consolidación, entendido como el conjunto de cambios neurales progresivos mediante los cuales un trazo de memoria recientemente adquirido, inicialmente frágil y vulnerable a la interferencia, se estabiliza y se integra de manera más duradera en las redes de conocimiento previamente existentes. La investigación disponible ha documentado que este proceso de consolidación no ocurre de manera instantánea en el momento de la adquisición inicial de la información, sino que se extiende a lo largo de periodos considerables de tiempo, y que el sueño desempeña un papel particularmente relevante en su desarrollo, al favorecer la reactivación y la reorganización de los trazos de memoria adquiridos durante la vigilia (Squire & Kandel, 2009). Esta evidencia tiene implicaciones prácticas directas para la organización temporal del aprendizaje escolar y deportivo, sugiriendo la conveniencia de espaciar adecuadamente la práctica y de garantizar periodos de descanso y sueño suficientes entre sesiones de aprendizaje intensivo.

Otro principio central en el estudio neurodidáctico de la memoria es el de la importancia de la elaboración y de las conexiones significativas con conocimientos previos para favorecer una consolidación robusta. La investigación disponible sugiere que la información que se procesa de manera superficial, sin establecer relaciones significativas con el conocimiento previo del aprendiz, tiende a consolidarse de manera más débil y a resultar más vulnerable al olvido, en comparación con la información que se procesa de manera profunda y elaborada, estableciendo conexiones explícitas con experiencias, conceptos o habilidades previamente dominadas (Zull, 2002). Este principio respalda pedagógicamente la conveniencia de diseñar experiencias de enseñanza que inviten activamente al aprendiz a relacionar los nuevos contenidos o habilidades con su propio repertorio previo de conocimiento y experiencia.

ISBN
978-9942-595-14-0

La práctica espaciada en el tiempo, en contraposición a la práctica masiva y concentrada en un único periodo, constituye otra de las estrategias que la investigación neurocientífica ha identificado consistentemente como favorecedora de una consolidación más robusta y duradera del aprendizaje, tanto en el dominio cognitivo como en el dominio motor. Este hallazgo, coherente con la evidencia revisada previamente en la literatura sobre aprendizaje motor y sobre neuroplasticidad inducida por el entrenamiento, sugiere que la planificación de las sesiones de enseñanza y de entrenamiento deportivo debería distribuir la práctica de una determinada habilidad o contenido a lo largo de varias sesiones espaciadas, en lugar de concentrarla en una única sesión de práctica intensiva, incluso cuando la cantidad total de tiempo de práctica resulte equivalente en ambos casos (Ericsson et al., 1993; Schmidt & Lee, 2020).

Finalmente, resulta pertinente señalar que la recuperación activa de la información previamente aprendida, mediante ejercicios de evocación o de autoevaluación, constituye en sí misma una estrategia poderosa para fortalecer la consolidación de la memoria, en un fenómeno que la literatura especializada ha denominado el efecto de la práctica de recuperación. A diferencia de la simple relectura o repaso pasivo de un contenido ya estudiado, el esfuerzo activo de recuperar información desde la memoria fortalece directamente los circuitos neuronales implicados en su almacenamiento, lo que sugiere que las estrategias pedagógicas centradas en la evaluación formativa frecuente y en la práctica activa de recuperación más que en la simple exposición repetida a la información resultan particularmente efectivas para promover una consolidación duradera del aprendizaje, tanto en contenidos declarativos como en habilidades motoras (Squire & Kandel, 2009).

Un aspecto adicional relevante para la práctica pedagógica es la distinción entre el olvido como fenómeno meramente deficitario y el olvido como componente funcional y adaptativo del sistema de memoria. Contrariamente a la intuición común que asocia el olvido exclusivamente con un fracaso del sistema de memoria, la investigación contemporánea sugiere que cierto grado de olvido de la información menos relevante o menos utilizada cumple una función adaptativa,

al permitir que los recursos limitados de la memoria se concentren preferentemente en la información que resulta funcionalmente más útil para el individuo. Desde esta perspectiva, la repetición y el repaso periódico no deben entenderse simplemente como estrategias para evitar el olvido, sino como mecanismos que señalan al sistema nervioso central la relevancia funcional continuada de una determinada información o habilidad, favoreciendo su mantenimiento activo frente a otros contenidos que compiten por los mismos recursos de consolidación (Squire & Kandel, 2009).

Resulta también relevante para el entrenador deportivo comprender la distinción entre la memoria a corto plazo o memoria de trabajo, de capacidad y duración muy limitadas, y la memoria a largo plazo, cuya capacidad de almacenamiento resulta considerablemente mayor y cuya persistencia puede extenderse durante toda la vida del individuo una vez que la información ha sido adecuadamente consolidada. Buena parte de la instrucción verbal que se imparte durante una sesión de entrenamiento se procesa inicialmente en la memoria de trabajo, cuya capacidad limitada implica que instrucciones excesivamente extensas o numerosas corren el riesgo de sobrecargar este sistema, con la consecuencia de que buena parte de la información proporcionada se pierda antes de alcanzar una consolidación efectiva en la memoria a largo plazo. Esta consideración respalda la recomendación práctica, ya extendida entre los especialistas en pedagogía deportiva, de comunicar las instrucciones técnicas de manera breve, concreta y centrada en un número reducido de puntos clave por sesión (Squire & Kandel, 2009).

Uno de los aportes más relevantes de la neurodidáctica para el campo específico de la educación física y el entrenamiento deportivo es la reivindicación del papel del cuerpo y del movimiento como componentes activos y constitutivos del aprendizaje, en contraposición a la tradición educativa que tradicionalmente ha situado el aprendizaje cognitivo y el aprendizaje motor como dominios separados y jerárquicamente diferenciados, con una clara primacía del primero sobre el segundo. Zull (2002) ha argumentado de manera influyente que el aprendizaje, entendido desde una perspectiva biológica, constituye en esencia un ciclo que involucra la experiencia concreta, la observación reflexiva, la conceptualización abstracta y la experimentación activa, ciclo que encuentra un correlato directo en

ISBN
978-9942-595-14-0

la organización funcional del cerebro humano y que otorga a la experiencia corporal y motriz un papel central, y no meramente accesorio, en la construcción del conocimiento.

La evidencia revisada previamente sobre los efectos neuroplásticos del ejercicio físico, entre ellos el incremento de factores neurotróficos, la promoción de la neurogénesis hipocampal y la mejora del funcionamiento de las redes prefrontales implicadas en las funciones ejecutivas, respalda directamente la idea de que el movimiento corporal no constituye un simple contexto en el que ocurre el aprendizaje cognitivo, sino un facilitador biológico activo de dicho aprendizaje (Cotman & Berchtold, 2002). Esta perspectiva resulta coherente, además, con los enfoques de cognición corporeizada o embodied cognition, que sostienen que los procesos cognitivos humanos se encuentran fundamentalmente moldeados por las características del cuerpo y por las interacciones sensoriomotoras del organismo con su entorno, en lugar de constituir procesos abstractos y desligados de la experiencia corporal concreta.

El concepto de aprendizaje significativo, entendido como aquel en el cual la nueva información o habilidad se relaciona de manera sustantiva y no arbitraria con el conocimiento y la experiencia previa del aprendiz, encuentra en la experiencia motriz un terreno particularmente propicio para su desarrollo. A diferencia del aprendizaje memorístico y descontextualizado, el aprendizaje que se construye a partir de la experiencia corporal directa explorar, manipular, ejecutar, corregir y volver a intentar un movimiento involucra de manera simultánea múltiples sistemas sensoriales, motores, emocionales y cognitivos, lo que favorece la creación de representaciones mentales más ricas, mejor conectadas con el conocimiento previo, y por tanto más resistentes al olvido que aquellas que se construyen a partir de la simple transmisión verbal de información abstracta (Zull, 2002).

En el contexto de la educación física escolar y del entrenamiento deportivo formativo, estos principios respaldan pedagógicamente el diseño de metodologías de enseñanza centradas en la exploración activa, el juego y la resolución de problemas motrices, en contraposición a metodologías centradas exclusivamente en la instrucción directiva y en la repetición mecánica de

patrones técnicos prescritos de antemano por el docente o entrenador. Un ambiente de aprendizaje que permite al estudiante o deportista explorar activamente distintas soluciones motrices ante un problema planteado, experimentar las consecuencias de sus propias decisiones de movimiento y construir progresivamente su propio conocimiento a partir de dicha experiencia, resulta, desde la perspectiva neurodidáctica, más coherente con los mecanismos biológicos del aprendizaje significativo que un ambiente centrado exclusivamente en la reproducción de modelos técnicos impuestos externamente.

Resulta pertinente señalar, finalmente, que la relación entre experiencia, movimiento y aprendizaje significativo no se limita al dominio específicamente motor, sino que se extiende también al aprendizaje de contenidos conceptuales y académicos, en la medida en que la incorporación de componentes de movimiento corporal a la enseñanza de contenidos tradicionalmente abordados de manera sedentaria por ejemplo, mediante estrategias de aprendizaje activo que combinan actividad física con contenidos curriculares de otras áreas ha mostrado, en investigaciones recientes, efectos beneficiosos tanto sobre el aprendizaje de dichos contenidos como sobre el desarrollo de las funciones ejecutivas asociadas a su procesamiento (Diamond & Lee, 2011). Esta evidencia amplía considerablemente el alcance práctico de la neurodidáctica, al sugerir que la integración del movimiento en los procesos de enseñanza puede beneficiar el aprendizaje escolar mucho más allá del dominio estrictamente motriz.

Un aspecto adicional que merece atención es la relación entre la experiencia motriz variada durante la infancia y el desarrollo de una base perceptivo-motora amplia y flexible sobre la cual se asientan aprendizajes posteriores más especializados. La literatura sobre desarrollo motor ha señalado que una experiencia motriz diversificada, que exponga al niño a una amplia variedad de patrones de movimiento, entornos y desafíos coordinativos, favorece la construcción de un repertorio motor rico que facilita, a mediano y largo plazo, la adquisición de habilidades deportivas más específicas y complejas, en comparación con una especialización motriz precoz y restringida a un único patrón de movimiento o disciplina deportiva. Desde la perspectiva

neurodidáctica, esta diversidad experiencial temprana puede interpretarse como una forma de enriquecimiento ambiental que favorece la construcción de conexiones neuronales amplias y flexibles, sobre las cuales resulta más sencillo edificar aprendizajes motores especializados posteriores (Magill & Anderson, 2017, como referente clásico del comportamiento motor aplicado a esta discusión).

La incorporación explícita de los principios neurodidácticos revisados a lo largo de este trabajo al ejercicio cotidiano de la labor del entrenador deportivo supone un conjunto de implicaciones prácticas concretas, que trascienden ampliamente el diseño técnico-táctico tradicional del entrenamiento. Una primera implicación consiste en el diseño deliberado de ambientes de práctica emocionalmente seguros y positivos, en los que el error se conciba y se comunique como una parte constitutiva y valiosa del proceso de aprendizaje, y no como un motivo de reprimenda o de humillación pública, dado que climas emocionales marcados por el temor o la ansiedad excesiva interfieren directamente con los mecanismos neurobiológicos de atención, memoria de trabajo y consolidación de la memoria descritos en apartados anteriores (Immordino-Yang & Damasio, 2007).

Una segunda implicación relevante consiste en diseñar tareas de entrenamiento que integren deliberadamente demandas cognitivas y decisionales junto con la exigencia motriz, en lugar de limitarse a la repetición técnica descontextualizada, con el fin de estimular simultáneamente el desarrollo de las funciones ejecutivas y de las habilidades motrices específicas del deporte practicado. Esta recomendación resulta coherente tanto con la evidencia revisada sobre neuroplasticidad inducida por la estimulación cognitivo-motora combinada, como con los principios neurodidácticos relativos a la implicación corporal activa en la construcción del aprendizaje significativo (Diamond, 2013).

Una tercera implicación se relaciona con la programación temporal del entrenamiento, en coherencia con la evidencia revisada sobre consolidación de la memoria y práctica espaciada: el entrenador debe procurar distribuir la práctica de nuevas habilidades a lo largo de varias sesiones adecuadamente espaciadas, evitar la concentración excesiva de contenidos nuevos en una única sesión, y garantizar que los deportistas, particularmente los más jóvenes, dispongan de

periodos de descanso y sueño suficientes para favorecer los procesos de consolidación neuronal del aprendizaje adquirido durante el entrenamiento (Squire & Kandel, 2009).

Una cuarta implicación tiene que ver con el fomento deliberado de la motivación intrínseca del deportista, mediante estrategias que promuevan la autonomía, la percepción de progreso y dominio personal, y la conexión emocional genuina con la práctica deportiva, en lugar de depender exclusivamente de sistemas de recompensas y castigos externos cuya efectividad, como se ha señalado, resulta considerablemente más limitada para sostener el compromiso y el aprendizaje a largo plazo. Esto implica, en la práctica, otorgar progresivamente a los deportistas mayores oportunidades de toma de decisiones dentro del proceso de entrenamiento, así como comunicar de manera explícita y frecuente el progreso individual logrado, más allá de la comparación constante con el desempeño de otros compañeros de equipo (Mora, 2013).

Una quinta implicación consiste en reconocer y respetar la variabilidad interindividual en los ritmos y estilos de aprendizaje de los deportistas, evitando la aplicación mecánica de un único método de enseñanza para todo el grupo, y favoreciendo en cambio estrategias pedagógicas suficientemente flexibles como para adaptarse a las particularidades madurativas, cognitivas y emocionales de cada deportista, especialmente en el trabajo con poblaciones infantiles y juveniles, cuyas estructuras prefrontales, como se ha señalado, se encuentran todavía en pleno proceso de desarrollo (Diamond & Lee, 2011).

Finalmente, una sexta implicación, de carácter transversal a todas las anteriores, consiste en que el propio entrenador asuma una actitud de aprendizaje continuo y de actualización permanente respecto a los hallazgos de la neurociencia aplicada al deporte y a la educación, evitando tanto la adopción acrítica de neuromitos populares como el rechazo igualmente acrítico de la evidencia científica disponible por falta de familiaridad con ella. La apropiación genuina de los principios neurodidácticos revisados a lo largo de este trabajo constituye, en definitiva, una vía privilegiada para que los entrenadores deportivos y los docentes de educación física fundamenten científicamente su práctica

pedagógica cotidiana, superando la dependencia exclusiva de la tradición metodológica o de la intuición personal como únicas fuentes de orientación para su labor formativa.

Una séptima implicación, de naturaleza institucional, atañe a los clubes deportivos, federaciones y centros educativos responsables de la formación continua de sus entrenadores y docentes: la apropiación efectiva de los principios neurodidácticos revisados en este trabajo se ve considerablemente favorecida cuando estas instituciones incorporan contenidos de neurociencia aplicada al deporte dentro de sus procesos de capacitación y actualización profesional, y cuando promueven espacios de reflexión colectiva entre entrenadores para el intercambio de experiencias sobre la aplicación práctica de estos principios en sus contextos específicos de trabajo, evitando que la actualización en esta materia dependa exclusivamente de la iniciativa individual de cada profesional (Tokuhama-Espinosa, 2011).

Capítulo 6. Estrategias neurodidácticas para el entrenamiento deportivo

El diseño de metodologías eficaces de enseñanza en el ámbito del deporte y la educación física exige comprender un conjunto de principios y estrategias pedagógicas que la investigación en comportamiento motor y en ciencias cognitivas ha validado a lo largo de varias décadas. El presente trabajo desarrolla, mediante una revisión narrativa sustentada en literatura especializada, diez ejes temáticos estrechamente relacionados entre sí: el aprendizaje basado en retos deportivos, la resolución de problemas motores, la variabilidad de la práctica, el aprendizaje mediante descubrimiento, la práctica deliberada, la retroalimentación y el feedback, la estimulación multisensorial, la visualización y la representación mental, los juegos cognitivo-motores, y el entrenamiento dual que integra cognición y movimiento. Se parte del marco del punto de desafío óptimo y de los principios ecológicos de la resolución de problemas motores, para luego analizar la evidencia acumulada sobre variabilidad de la práctica, aprendizaje por descubrimiento guiado, práctica deliberada, retroalimentación aumentada, estimulación sensorial múltiple, imaginería motora y entrenamiento cognitivo-motor combinado. El análisis evidencia que las metodologías de enseñanza más efectivas comparten un rasgo común: sitúan al aprendiz en una posición activa, exploratoria y cognitivamente comprometida frente a la tarea motriz, en lugar de reducirlo a un simple reproductor pasivo de modelos técnicos prescritos externamente. Se concluye que la integración articulada de estas diez estrategias, ajustadas al nivel de pericia y a las características individuales de cada aprendiz, constituye una vía privilegiada para optimizar los procesos de enseñanza y aprendizaje en el deporte y la educación física contemporáneos.

El diseño de estrategias pedagógicas efectivas para la enseñanza de habilidades motrices y deportivas ha experimentado, en las últimas décadas, una transformación considerable, impulsada tanto por los avances de la investigación en comportamiento motor como por los aportes de la psicología cognitiva y la neurociencia aplicada al aprendizaje. Frente a los modelos tradicionales de enseñanza, centrados fundamentalmente en la repetición técnica prescrita y en la corrección directiva del gesto motor por parte del docente o entrenador, ha emergido un conjunto de metodologías alternativas que sitúan al aprendiz en un

ISBN
978-9942-595-14-0

papel considerablemente más activo, exploratorio y cognitivamente comprometido frente a la tarea de aprendizaje (Araújo et al., 2006).

Este cambio de paradigma no implica el abandono de los principios clásicos del aprendizaje motor revisados en la literatura especializada, sino más bien su enriquecimiento y su articulación con estrategias pedagógicas específicas que han demostrado, mediante investigación empírica rigurosa, favorecer una adquisición más robusta, duradera y transferible de las habilidades motrices. El marco del punto de desafío óptimo propuesto por Guadagnoli y Lee (2004), por ejemplo, ha aportado una base teórica sólida para comprender por qué determinadas condiciones de práctica, aunque generen un desempeño aparentemente inferior durante la fase de adquisición, producen aprendizajes más sólidos y duraderos a mediano y largo plazo.

El aprendizaje basado en retos deportivos parte de la premisa de que el desafío que representa una tarea motriz, ajustado adecuadamente al nivel de habilidad del aprendiz, constituye un ingrediente central para maximizar el aprendizaje, más que un obstáculo que deba minimizarse sistemáticamente. Esta idea encuentra su formulación teórica más influyente en el marco del punto de desafío óptimo propuesto por Guadagnoli y Lee (2004), según el cual la dificultad funcional de una tarea resultante de la interacción entre la dificultad nominal de la tarea, el nivel de habilidad del ejecutante y las condiciones específicas de práctica determina la cantidad de información interpretable que el sistema nervioso central puede extraer de cada intento, y por tanto el potencial de aprendizaje de dicha práctica.

Según este marco, existe una relación paradójica entre dificultad, desempeño y aprendizaje: incrementar la dificultad funcional de una tarea tiende a deteriorar el desempeño inmediato durante la práctica, pero puede simultáneamente incrementar el potencial de aprendizaje, siempre que dicha dificultad no supere un umbral que sobrepase por completo la capacidad del aprendiz para procesar la información disponible. El punto de desafío óptimo representa, precisamente, el nivel de dificultad funcional que maximiza el aprendizaje para un aprendiz de una habilidad determinada, y que varía de manera individual en función de su nivel de pericia (Guadagnoli & Lee, 2004).

En el ámbito específico del deporte, el aprendizaje basado en retos se traduce pedagógicamente en el diseño de tareas que plantean al deportista problemas motrices genuinos, con un nivel de dificultad calibrado y progresivamente ajustado a su nivel de competencia, en lugar de tareas excesivamente simplificadas que garantizan el éxito inmediato pero que ofrecen escaso potencial de aprendizaje, o tareas excesivamente complejas que generan frustración y fracaso sistemático. La teoría OPTIMAL de Wulf y Lewthwaite (2016) complementa este marco al señalar que la percepción subjetiva de competencia y de progreso ante el reto planteado desempeña, además, un papel motivacional relevante, favoreciendo el compromiso sostenido del aprendiz con tareas desafiantes cuando estas se comunican y se estructuran de manera que refuercen su expectativa de éxito futuro.

La aplicación práctica de este principio exige del entrenador una observación cuidadosa y continua del desempeño de cada deportista, con el fin de ajustar dinámicamente el nivel de dificultad de las tareas propuestas a medida que su competencia evoluciona, evitando tanto la monotonía de retos ya superados como la frustración de exigencias inalcanzables. Este ajuste dinámico resulta especialmente relevante en contextos de enseñanza grupal, en los que conviene diseñar variantes de una misma tarea con distintos niveles de dificultad funcional, de modo que cada deportista pueda trabajar en su propio punto de desafío óptimo dentro de una misma sesión de entrenamiento colectivo.

Resulta pertinente distinguir, dentro de este marco, entre la dificultad nominal de una tarea, es decir, sus características objetivas consideradas con independencia de quién la ejecute, y su dificultad funcional, que resulta de la interacción entre dicha dificultad nominal y el nivel de habilidad específico del ejecutante en un momento determinado. Una misma tarea, por tanto, puede representar un desafío óptimo para un deportista principiante y resultar trivialmente sencilla, o incluso aburrida, para un deportista experto, lo que explica por qué la sola clasificación de los ejercicios de entrenamiento según su complejidad nominal resulta insuficiente para garantizar que efectivamente se sitúen en el punto de desafío óptimo de cada aprendiz particular (Guadagnoli & Lee, 2004).

ISBN
978-9942-595-14-0

La resolución de problemas motores concibe el aprendizaje de una habilidad deportiva como un proceso activo de búsqueda y descubrimiento de soluciones de movimiento funcionales ante un problema planteado por la tarea, más que como la simple reproducción de un modelo técnico prescrito de antemano por el docente o entrenador. Esta perspectiva encuentra respaldo tanto en el modelo de restricciones de Newell (1986), según el cual el patrón de movimiento que emerge en cada momento resulta de la interacción dinámica entre las restricciones del organismo, la tarea y el entorno, como en los enfoques de dinámica ecológica aplicados al deporte, que conciben la adquisición de habilidades motrices como un proceso de autoorganización perceptivo-motora ante las demandas específicas de cada situación (Araújo et al., 2006).

Desde esta perspectiva, el papel del docente o entrenador no consiste primordialmente en prescribir de manera exhaustiva la forma exacta que debe adoptar el movimiento, sino en manipular deliberadamente las restricciones de la tarea y del entorno el espacio disponible, el número de jugadores, las reglas específicas, el tipo de implemento con el fin de que el aprendiz explore activamente distintas soluciones de movimiento y descubra, a través de dicha exploración, patrones funcionales y eficaces para resolver el problema motor planteado. Este enfoque, conocido en la literatura especializada como pedagogía no lineal, contrasta con los modelos de instrucción directa centrados en la corrección constante y detallada de cada componente técnico del movimiento.

La resolución de problemas motores tiene, además, implicaciones relevantes para el desarrollo de la capacidad de transferencia del aprendizaje, en la medida en que un aprendiz que ha construido activamente su propia solución motriz ante un problema determinado, en lugar de limitarse a reproducir un modelo externo, tiende a desarrollar una comprensión más profunda y flexible de la estructura del problema, lo que facilita la adaptación de dicha solución ante variaciones futuras del mismo problema motor. Bruner (1961), aunque formulando sus argumentos originalmente en el ámbito del aprendizaje cognitivo general, ya había señalado que el descubrimiento activo de una solución favorece una retención y una capacidad de transferencia superiores a las que produce la simple recepción pasiva de dicha solución ya elaborada.

En la práctica pedagógica, la resolución de problemas motores se traduce en el diseño de tareas y juegos modificados que plantean deliberadamente un desafío táctico o técnico específico por ejemplo, superar en número a un equipo rival en un espacio reducido, o encontrar la manera de anotar contra una defensa organizada de una forma particular, permitiendo que los propios deportistas exploren y descubran, mediante ensayo, error y retroalimentación de las consecuencias de sus acciones, las soluciones motrices y tácticas más efectivas, en lugar de recibir dichas soluciones ya prescritas por el entrenador antes de comenzar la tarea.

Un componente adicional relevante de este enfoque es la manipulación deliberada de las llamadas restricciones de tarea con fines pedagógicos específicos, estrategia que en la literatura especializada se conoce como diseño de tareas representativas. Modificar el tamaño del espacio de juego, el número de participantes, las reglas de puntuación o las características del implemento empleado permite al entrenador dirigir sutilmente, sin instrucción verbal explícita, la atención y la exploración del deportista hacia determinadas soluciones motrices o tácticas, preservando al mismo tiempo el carácter genuinamente exploratorio y autodirigido del proceso de aprendizaje, en contraste con la instrucción verbal directa, que tiende a limitar prematuramente el espacio de soluciones que el aprendiz llega a explorar por sí mismo (Araújo et al., 2006).

La manipulación de restricciones de tarea puede, asimismo, orientarse deliberadamente hacia la exageración temporal de determinadas restricciones con el fin de resaltar ante el aprendiz una relación causal específica entre su acción y sus consecuencias, estrategia conocida en la literatura de dinámica ecológica como amplificación de restricciones. Por ejemplo, reducir temporalmente el tamaño de la portería en una tarea de finalización puede resaltar ante el deportista la importancia de la precisión sobre la potencia del disparo, favoreciendo el descubrimiento de dicha relación de manera más evidente que si se practicara directamente en condiciones reglamentarias estándar.

La variabilidad de la práctica, entendida como la introducción deliberada de variaciones sistemáticas en las condiciones de ejecución de una habilidad motriz

ISBN
978-9942-595-14-0

durante el proceso de entrenamiento, constituye uno de los principios metodológicos más sólidamente respaldados por la investigación en comportamiento motor. Como se ha señalado en la literatura clásica sobre esquemas motores, la práctica de distintas variantes de una misma clase de movimiento favorece la construcción de representaciones motoras más generales y flexibles, capaces de adaptarse a situaciones novedosas no ensayadas previamente de forma idéntica (Schmidt & Lee, 2020).

El fenómeno de la interferencia contextual, documentado originalmente por Shea y Morgan (1979), constituye uno de los hallazgos centrales en este campo: la práctica organizada de manera aleatoria, que alterna distintas variantes de una tarea en lugar de practicarlas en bloques separados y consecutivos, produce un desempeño aparentemente inferior durante la fase de adquisición, pero conduce a niveles superiores de retención y transferencia una vez transcurrido un periodo sin práctica. Este hallazgo, replicado en numerosos estudios posteriores con distintas habilidades motrices, respalda la conveniencia de organizar la práctica deportiva de manera progresivamente más aleatoria a medida que el aprendiz avanza en su proceso formativo.

Conviene, además, distinguir entre la variabilidad estructural de la práctica, referida a la secuenciación temporal de los intentos dentro de una sesión, y la variabilidad de la tarea propiamente dicha, referida a la magnitud de las diferencias entre las distintas versiones de la habilidad que se practican. Ambas dimensiones pueden manipularse de manera relativamente independiente en el diseño de un programa de entrenamiento, y su combinación adecuada, ajustada al nivel de pericia del deportista, constituye una herramienta pedagógica poderosa para optimizar tanto la adquisición inicial como la retención y la transferencia a largo plazo de las habilidades motrices (Magill & Anderson, 2017).

La aplicación de la variabilidad de la práctica debe, sin embargo, calibrarse cuidadosamente en función de la etapa de aprendizaje del deportista: durante las fases iniciales, cuando el aprendiz aún no ha comprendido la estructura básica del movimiento, un cierto grado de constancia relativa puede resultar necesario para consolidar un patrón fundamental de ejecución, mientras que la

introducción progresiva de variabilidad resulta cada vez más beneficiosa a medida que dicho patrón se estabiliza, en coherencia con el principio del punto de desafío óptimo revisado en el primer apartado de este trabajo.

Desde el punto de vista explicativo, se ha propuesto que la superioridad de la práctica variable, y en particular de la práctica aleatoria frente a la práctica en bloques, se debe a que esta última permite al aprendiz recurrir a una estrategia relativamente pasiva de repetición mecánica de un plan de acción ya elaborado en el intento anterior, mientras que la práctica aleatoria exige reconstruir activamente dicho plan en cada intento, dado que la tarea cambia de manera impredecible de un ensayo a otro. Este procesamiento más activo y demandante, aunque resulta más costoso y menos placentero durante la propia práctica, produce huellas de memoria más elaboradas y distintivas, lo que facilita su posterior recuperación en condiciones de retención y de transferencia (Schmidt & Lee, 2020).

Resulta pertinente señalar, finalmente, que la magnitud óptima de variabilidad a introducir en la práctica no es fija ni universal, sino que depende de la similitud estructural entre las distintas variantes practicadas: variantes que comparten una misma estructura temporal subyacente, aunque difieran en parámetros como la fuerza o la amplitud del movimiento, tienden a beneficiarse especialmente de una práctica variable e incluso aleatoria, mientras que tareas que exigen patrones de coordinación fundamentalmente distintos entre sí pueden requerir un tratamiento pedagógico más progresivo y menos aleatorizado en las etapas iniciales de su enseñanza (Magill & Anderson, 2017).

La variabilidad de la práctica se relaciona, además, estrechamente con el principio de especificidad contextual revisado en apartados anteriores de este trabajo: una práctica variable resulta más beneficiosa cuando las distintas variantes practicadas guardan una relación representativa con la diversidad de situaciones que el deportista efectivamente enfrentará en la competencia real, y no cuando dicha variabilidad se introduce de manera arbitraria o desconectada de las demandas reales del deporte practicado. Esta consideración refuerza la importancia de que los entrenadores diseñen la variabilidad de sus sesiones de

ISBN
978-9942-595-14-0

práctica a partir de un análisis cuidadoso de las situaciones representativas de la competencia específica para la cual están preparando a sus deportistas.

El aprendizaje mediante descubrimiento, formulado originalmente en el ámbito de la psicología educativa general por Bruner (1961), postula que los aprendices construyen un conocimiento más profundo, mejor retenido y más transferible cuando descubren por sí mismos, mediante la exploración activa y la resolución de problemas, los principios y las soluciones relevantes de una tarea, en comparación con el aprendizaje que resulta de la simple recepción pasiva de dicha información ya elaborada y transmitida por un instructor. Aplicado al ámbito del movimiento humano, este principio ha dado lugar a metodologías de enseñanza deportiva que priorizan la exploración guiada por encima de la instrucción directiva y prescriptiva.

En el contexto de la educación física y el entrenamiento deportivo, el aprendizaje por descubrimiento no implica la ausencia total de guía por parte del docente o entrenador, sino más bien un cambio en la naturaleza de dicha guía: en lugar de prescribir de manera explícita y detallada la solución técnica o táctica correcta, el profesional diseña cuidadosamente las condiciones de la tarea mediante la manipulación de restricciones, como se ha señalado en el apartado sobre resolución de problemas motores de modo que el propio proceso de exploración conduzca al aprendiz, con relativa probabilidad, hacia soluciones funcionalmente efectivas, interviniendo con preguntas orientadoras o con retroalimentación estratégica cuando resulta pertinente, en lugar de proporcionar la respuesta de manera directa e inmediata.

La evidencia disponible sugiere que el aprendizaje mediante descubrimiento resulta particularmente efectivo para el desarrollo de la comprensión táctica y de la capacidad de toma de decisiones en los deportes de naturaleza abierta, en los cuales el deportista debe aprender a leer y a responder de manera flexible ante situaciones de juego variables e impredecibles, más que a reproducir un patrón técnico fijo e invariable (Williams & Ward, 2007). Un deportista que ha descubierto por sí mismo, mediante la exploración activa de distintas soluciones tácticas, cuáles resultan efectivas ante una determinada configuración defensiva, tiende a comprender de manera más profunda los principios subyacentes que

explican dicha efectividad, en comparación con un deportista que simplemente ha memorizado una solución prescrita externamente.

Resulta importante señalar que el aprendizaje por descubrimiento puro y sin ninguna estructura pedagógica no siempre resulta la estrategia más eficiente, particularmente con aprendices principiantes que carecen del conocimiento previo necesario para orientar productivamente su propia exploración; por ello, la literatura especializada contemporánea tiende a recomendar formas de descubrimiento guiado, en las cuales el docente o entrenador estructura cuidadosamente el problema y las condiciones de la tarea, y ofrece apoyos estratégicos puntuales, sin llegar a prescribir directamente la solución completa, buscando un equilibrio entre la exploración autónoma del aprendiz y la eficiencia del proceso formativo.

Un recurso pedagógico frecuentemente empleado dentro de las metodologías de descubrimiento guiado es el uso de preguntas orientadoras, formuladas por el entrenador durante o después de la ejecución de la tarea, con el propósito de dirigir la atención y la reflexión del deportista hacia aspectos relevantes de la situación, sin proporcionar directamente la respuesta correcta. Preguntas como «¿qué espacio se abrió cuando tu compañero se desmarcó?» o «¿qué ocurrió con tu equilibrio cuando adelantaste el apoyo?» invitan al aprendiz a analizar activamente las consecuencias de sus propias acciones, favoreciendo la construcción de un conocimiento más profundo y mejor conectado con su propia experiencia motriz, en comparación con la simple transmisión verbal de la respuesta correcta por parte del entrenador.

El aprendizaje por descubrimiento se articula, además, de manera natural con el uso de preguntas de reflexión posterior a la tarea, mediante las cuales el entrenador invita al deportista a verbalizar explícitamente lo que ha aprendido y las razones por las cuales una determinada solución motriz resultó efectiva. Esta verbalización reflexiva, lejos de ser un ejercicio meramente retórico, contribuye a consolidar en la memoria declarativa del deportista los principios subyacentes descubiertos durante la exploración motriz, favoreciendo su aplicación consciente y deliberada en situaciones futuras similares (Bruner, 1961).

ISBN
978-9942-595-14-0

La práctica deliberada, concepto formulado de manera influyente por Ericsson et al. (1993) a partir de sus estudios sobre la adquisición de pericia experta en distintos dominios, se define como aquella actividad de entrenamiento diseñada específicamente para mejorar aspectos concretos del desempeño, que exige del ejecutante un esfuerzo cognitivo considerable y sostenido, que no resulta intrínsecamente placentera en sí misma, y que se acompaña de retroalimentación informativa inmediata sobre los errores cometidos y las áreas susceptibles de mejora. Este concepto se distingue explícitamente de la simple acumulación de horas de exposición a una actividad, que puede producir cierta mejora del desempeño pero que no garantiza, por sí sola, el desarrollo de una pericia genuinamente experta.

La investigación sobre práctica deliberada ha documentado de manera consistente que los deportistas que alcanzan niveles de pericia excepcionales no se limitan a acumular una gran cantidad de horas de práctica general, sino que dedican una proporción sustancial de dicha práctica a actividades específicamente diseñadas para atacar sus debilidades particulares, bajo la supervisión de un entrenador cualificado capaz de identificar dichas debilidades y de proporcionar retroalimentación precisa y oportuna sobre cómo corregirlas. Esta característica distingue a la práctica deliberada de la práctica recreativa o de la simple competencia, en las cuales el deportista rara vez recibe retroalimentación específica y sistemática sobre los aspectos concretos que requieren mejora.

Un componente central de la práctica deliberada es su carácter progresivo y cuidadosamente estructurado: las tareas de práctica se diseñan de manera que exijan al deportista operar consistentemente cerca del límite superior de su capacidad actual, en un nivel de dificultad que resulta exigente pero alcanzable, lo que conecta directamente este principio con el marco del punto de desafío óptimo revisado en el primer apartado de este trabajo. Esta exigencia sostenida explica, en parte, por qué la práctica deliberada tiende a resultar demandante y poco placentera en el corto plazo, lo que subraya la importancia de sostener la motivación del deportista a través de otros mecanismos, como el fomento de la motivación intrínseca y la percepción de progreso personal, revisados en la literatura sobre neurodidáctica aplicada al deporte.

La aplicación pedagógica de la práctica deliberada exige del entrenador una capacidad considerable de observación analítica, de diagnóstico preciso de las áreas específicas de mejora de cada deportista, y de diseño de tareas de entrenamiento individualizadas que ataquen dichas áreas de manera sistemática y progresiva, en contraposición a programas de entrenamiento genéricos que aplican los mismos ejercicios y la misma progresión a todos los integrantes de un equipo, independientemente de sus fortalezas y debilidades particulares.

Conviene, finalmente, señalar que la investigación posterior a la formulación original del concepto de práctica deliberada ha matizado algunas de sus afirmaciones más categóricas, mostrando que la cantidad de práctica deliberada acumulada explica una proporción sustancial, pero no la totalidad, de la varianza en el nivel de pericia alcanzado por distintos individuos en un dominio determinado, y que factores adicionales, entre ellos las condiciones de entrenamiento recibidas durante la infancia, el acceso a entrenadores cualificados y determinadas características individuales, también contribuyen a explicar las diferencias en el desarrollo de la pericia deportiva. Esta matización no resta relevancia práctica al concepto, pero invita a los entrenadores a considerarlo como un factor central, aunque no exclusivo, dentro de un conjunto más amplio de condiciones que favorecen el desarrollo del talento deportivo.

Un aspecto adicional que merece consideración es la relación entre la práctica deliberada y el riesgo de sobreentrenamiento y agotamiento psicológico, particularmente en deportistas jóvenes sometidos a programas de especialización temprana especialmente intensivos. Dado que la práctica deliberada exige, por definición, un esfuerzo cognitivo sostenido y no resulta intrínsecamente placentera, su aplicación excesiva o mal calibrada, sin los debidos periodos de descanso y sin atención a la motivación intrínseca del deportista, puede derivar en fatiga psicológica crónica y en un mayor riesgo de abandono deportivo prematuro, lo que subraya la importancia de equilibrar cuidadosamente la cantidad de práctica deliberada con otras formas de práctica más lúdicas y recreativas, especialmente durante las etapas formativas iniciales (Ericsson et al., 1993).

ISBN
978-9942-595-14-0

La retroalimentación o feedback constituye uno de los factores más ampliamente investigados en la literatura sobre aprendizaje motor, dada su relevancia directa para el diseño pedagógico cotidiano de la enseñanza deportiva. Conviene distinguir entre la retroalimentación intrínseca, generada naturalmente por el propio sistema sensorial del ejecutante durante y después de la ejecución del movimiento, y la retroalimentación aumentada, proporcionada por una fuente externa el entrenador, un compañero, un dispositivo tecnológico con el propósito explícito de complementar dicha información intrínseca (Schmidt & Lee, 2020).

La revisión seminal de Salmoni et al. (1984) sobre el conocimiento de los resultados, una de las formas más estudiadas de retroalimentación aumentada, estableció un hallazgo que resultó inicialmente contraintuitivo para buena parte de la comunidad pedagógica: aunque la retroalimentación frecuente e inmediata favorece el desempeño durante la propia fase de práctica, actuando como una suerte de guía que facilita la ejecución correcta, su suministro excesivamente frecuente puede resultar perjudicial para el aprendizaje a largo plazo, al generar en el aprendiz una dependencia de dicha información externa que le impide desarrollar sus propios mecanismos internos de detección y corrección de errores. Este hallazgo, conocido como la hipótesis de la guía, ha dado lugar a la recomendación pedagógica de reducir progresivamente la frecuencia de la retroalimentación aumentada a medida que avanza el proceso de aprendizaje.

La teoría OPTIMAL de Wulf y Lewthwaite (2016) ha aportado, además, una dimensión motivacional relevante a la comprensión de la retroalimentación, al mostrar que el contenido informativo de esta no constituye su única función relevante para el aprendizaje: la manera en que se comunica dicha retroalimentación por ejemplo, enfatizando el progreso logrado y estableciendo criterios de éxito alcanzables, en lugar de centrarse exclusivamente en los errores cometidos puede modular significativamente la motivación y la expectativa de éxito futuro del aprendiz, con efectos mensurables sobre el aprendizaje motor resultante, independientemente del contenido estrictamente informativo de dicha retroalimentación.

En la práctica pedagógica cotidiana, estos hallazgos respaldan un conjunto de recomendaciones concretas: proporcionar retroalimentación aumentada de

manera relativamente frecuente durante las etapas iniciales del aprendizaje, reduciendo progresivamente su frecuencia a medida que la habilidad se consolida; privilegiar la retroalimentación centrada en el resultado funcional de la acción o en un pequeño número de aspectos críticos, evitando sobrecargar al aprendiz con información excesivamente detallada; y comunicar dicha retroalimentación de manera que refuerce la percepción de competencia y de progreso del deportista, en lugar de centrarse exclusivamente en un registro correctivo y deficitario.

Un aspecto adicional relevante, revisado en la literatura sobre atención y aprendizaje motor, es la distinción entre la retroalimentación que dirige la atención del aprendiz hacia el propio cuerpo y la ejecución del movimiento, denominada foco interno, y aquella que la dirige hacia el efecto que dicho movimiento produce sobre el entorno o sobre un implemento, denominada foco externo. La evidencia disponible sugiere de manera consistente que la retroalimentación y las instrucciones formuladas con un foco atencional externo favorecen un aprendizaje más eficiente y una ejecución más automatizada que aquellas formuladas con un foco interno, posiblemente porque este último interfiere con los procesos naturales de control motor automatizado, obligando al sistema nervioso central a intervenir conscientemente en aspectos del movimiento que funcionan de manera más eficaz cuando se regulan de forma implícita (Wulf & Lewthwaite, 2016).

Resulta también relevante considerar el momento en que se proporciona la retroalimentación en relación con la ejecución del movimiento, distinguiendo entre la retroalimentación concurrente, ofrecida mientras el movimiento se está ejecutando, y la retroalimentación terminal, ofrecida una vez concluida la ejecución. Si bien la retroalimentación concurrente puede resultar útil en las etapas muy iniciales del aprendizaje de tareas especialmente complejas, la evidencia disponible sugiere que, en la generalidad de los casos, la retroalimentación terminal favorece un procesamiento más activo por parte del aprendiz y una menor dependencia de la guía externa, en coherencia con los principios revisados sobre la hipótesis de la guía (Salmoni et al., 1984).

ISBN
978-9942-595-14-0

Otra dimensión relevante de la retroalimentación es su precisión o granularidad, es decir, el nivel de detalle con que se comunica la información sobre el error cometido. La investigación disponible sugiere que una retroalimentación excesivamente precisa no siempre resulta más beneficiosa que una retroalimentación más general, particularmente en las etapas iniciales del aprendizaje, dado que un exceso de precisión puede sobrecargar la capacidad de procesamiento del aprendiz; por ello, se ha propuesto el uso de esquemas de retroalimentación por bandas de tolerancia, en los cuales solo se informa al deportista cuando su error excede un margen predeterminado, permitiendo que pequeñas variaciones dentro de un rango aceptable no generen retroalimentación correctiva innecesaria (Schmidt & Lee, 2020).

La estimulación multisensorial hace referencia al diseño deliberado de tareas de enseñanza que involucran simultáneamente múltiples canales sensoriales visual, auditivo, propioceptivo, táctil, vestibular con el propósito de enriquecer la calidad de la información disponible para el aprendiz durante el proceso de adquisición de una habilidad motriz. Esta estrategia se fundamenta en el reconocimiento de que la ejecución motriz eficaz depende de la integración coordinada de información proveniente de múltiples sistemas sensoriales, y que un entrenamiento que privilegia exclusivamente un único canal sensorial típicamente el visual, mediante demostraciones o instrucciones verbales puede resultar en representaciones motoras incompletas o insuficientemente robustas (Magill & Anderson, 2017).

En el aprendizaje de habilidades deportivas, la información propioceptiva, referida a la percepción de la posición, el movimiento y la tensión de las distintas partes del cuerpo, desempeña un papel particularmente relevante que en ocasiones resulta subestimado en comparación con la información visual. El desarrollo deliberado de la conciencia propioceptiva del deportista, mediante tareas que restrinjan temporalmente otros canales sensoriales por ejemplo, ejercicios técnicos ejecutados con los ojos cerrados, o en condiciones de iluminación reducida, puede contribuir a fortalecer la calidad de las representaciones motoras internas, al obligar al sistema nervioso central a apoyarse de manera más intensa en la información propioceptiva y vestibular disponible.

La estimulación multisensorial resulta particularmente relevante, además, en el trabajo con poblaciones infantiles, en las cuales la exposición a experiencias motrices ricas y variadas en términos sensoriales favorece el desarrollo de un repertorio perceptivo-motor amplio, que constituye una base valiosa sobre la cual se asientan aprendizajes deportivos más especializados en etapas posteriores. Actividades que combinan distintos tipos de superficies, texturas, sonidos y condiciones ambientales contribuyen a esta diversificación sensorial temprana, en coherencia con los principios revisados previamente sobre la variabilidad de la práctica y la diversificación motriz durante la infancia.

Desde una perspectiva pedagógica práctica, la estimulación multisensorial invita a los entrenadores y docentes de educación física a diseñar tareas que combinen deliberadamente distintos tipos de estímulos sensoriales relevantes para la habilidad que se pretende enseñar, en lugar de depender exclusivamente de la demostración visual y la instrucción verbal como únicos vehículos de enseñanza, ampliando así el conjunto de recursos pedagógicos disponibles para adaptarse a las características perceptivas particulares de cada aprendiz.

La estimulación auditiva merece, asimismo, una mención particular dentro de este apartado, dado que determinados ritmos, señales sonoras o patrones musicales pueden emplearse deliberadamente como recurso pedagógico para favorecer la temporalización adecuada de un movimiento, especialmente en habilidades cíclicas o rítmicas, en las cuales la coordinación temporal precisa constituye un componente crítico del desempeño. El uso de metrónomos, señales sonoras sincronizadas con momentos clave del movimiento, o acompañamiento musical con un tempo específico, constituye una estrategia relativamente sencilla de implementar y que puede complementar de manera efectiva la información visual y propioceptiva disponible durante la práctica.

Un principio adicional relevante para el diseño de tareas multisensoriales es el de la especificidad sensorial de cada disciplina deportiva: determinados deportes dependen en mayor medida de la información visual periférica, como ocurre en muchos deportes de conjunto, mientras que otros dependen más intensamente de la información propioceptiva y vestibular, como ocurre en la gimnasia o el patinaje artístico. Reconocer esta especificidad permite al entrenador priorizar,

ISBN
978-9942-595-14-0

dentro de un programa de estimulación multisensorial, aquellos canales sensoriales que resultan más directamente relevantes para el rendimiento en la disciplina deportiva específica que se pretende desarrollar.

Los avances tecnológicos recientes han ampliado, además, las posibilidades de la estimulación multisensorial en el entrenamiento deportivo, mediante la incorporación de dispositivos de realidad virtual y aumentada capaces de generar entornos de práctica enriquecidos que combinan estímulos visuales, auditivos y, en algunos casos, hápticos, de manera controlada y progresivamente ajustable. Si bien la investigación sobre la efectividad comparativa de estas tecnologías frente a métodos de estimulación multisensorial más tradicionales se encuentra todavía en desarrollo, su creciente disponibilidad ofrece a los entrenadores nuevas posibilidades para diversificar y enriquecer las condiciones sensoriales de la práctica deportiva (Magill & Anderson, 2017).

La visualización o imaginería motora, entendida como el ensayo cognitivo deliberado de una acción motriz sin su ejecución física real, constituye una estrategia pedagógica y de entrenamiento respaldada por un cuerpo considerable de investigación en psicología del deporte y en neurociencia del comportamiento motor. La evidencia acumulada sugiere que la imaginería motora activa, en gran medida, las mismas regiones corticales implicadas en la planificación y en la ejecución real del movimiento correspondiente, lo que explica por qué su práctica sistemática, combinada con la práctica física efectiva, puede contribuir a consolidar las representaciones motoras necesarias para la adquisición y el perfeccionamiento de habilidades deportivas complejas.

El modelo PETTLEP, propuesto por Holmes y Collins (2001), constituye uno de los marcos más influyentes para el diseño de intervenciones de imaginería motora efectivas en el deporte, al proponer que la eficacia de dicha imaginería depende de su equivalencia funcional con la experiencia real de ejecución en siete dimensiones: los aspectos físicos de la postura corporal adoptada durante el ejercicio de imaginería, el entorno en que este se realiza, la naturaleza específica de la tarea imaginada, la temporalización realista del movimiento, la incorporación progresiva de los aprendizajes logrados en la práctica física

reciente, la activación emocional correspondiente a la situación real, y la perspectiva en primera o en tercera persona desde la cual se realiza la imaginería.

La aplicación pedagógica de la visualización en el ámbito deportivo se extiende más allá del simple ensayo técnico de un gesto motor específico, abarcando también el ensayo mental de situaciones tácticas complejas, la preparación psicológica previa a la competencia, y la recuperación funcional durante periodos de lesión en los cuales la práctica física efectiva se encuentra temporalmente restringida, situación en la cual la imaginería motora puede contribuir a mantener parcialmente activas las representaciones neuronales asociadas a la habilidad, favoreciendo una recuperación más eficiente del desempeño una vez que la práctica física puede reanudarse.

Resulta importante señalar que la visualización constituye una estrategia complementaria a la práctica física, y no un sustituto de esta: la evidencia disponible sugiere que la combinación de práctica física y práctica mental produce, en la generalidad de los casos, mejores resultados que cualquiera de ambas modalidades de manera aislada, lo que respalda su incorporación sistemática, aunque no exclusiva, dentro de los programas de entrenamiento deportivo, particularmente en las etapas de perfeccionamiento técnico y de preparación psicológica competitiva.

La eficacia de la imaginería motora depende, además, de la capacidad individual del deportista para generar representaciones mentales vívidas y controlables, capacidad que varía considerablemente entre individuos y que, al igual que otras habilidades cognitivas, puede desarrollarse y perfeccionarse mediante la práctica sistemática. Por esta razón, los programas de entrenamiento en imaginería motora suelen incorporar, en sus etapas iniciales, ejercicios progresivos orientados específicamente a desarrollar la viveza y el control de las imágenes mentales generadas por el deportista, antes de aplicar dicha capacidad al ensayo mental de habilidades deportivas específicas o de situaciones competitivas complejas (Holmes & Collins, 2001).

Conviene, además, distinguir entre la imaginería motora realizada desde una perspectiva interna, en la cual el deportista se imagina a sí mismo ejecutando la

ISBN
978-9942-595-14-0

acción desde su propio punto de vista corporal, y la imaginería realizada desde una perspectiva externa, en la cual se visualiza a sí mismo como un observador externo que contempla su propia ejecución. La evidencia disponible sugiere que ambas perspectivas pueden resultar beneficiosas, aunque su efectividad relativa parece depender de las características específicas de la tarea: la perspectiva interna tendería a favorecer preferentemente el componente cinestésico y propioceptivo del movimiento, mientras que la perspectiva externa favorecería más directamente los aspectos relacionados con la forma y la configuración espacial visible de la acción (Holmes & Collins, 2001).

Los juegos cognitivo-motores constituyen actividades lúdicas de naturaleza motriz que integran deliberadamente demandas cognitivas explícitas de atención, memoria de trabajo, flexibilidad o toma de decisiones junto con la exigencia física y coordinativa propia de la tarea motriz, con el propósito de estimular simultáneamente el desarrollo de capacidades cognitivas y motrices. Pesce (2012) ha argumentado de manera influyente que, para maximizar los beneficios cognitivos del ejercicio físico, conviene desplazar el foco de atención desde las características meramente cuantitativas de dicho ejercicio su intensidad, su duración, su frecuencia hacia sus características cualitativas, entre ellas la novedad, la complejidad coordinativa y el grado de compromiso mental que exige la tarea.

La evidencia disponible sugiere que los juegos que exigen al participante tomar decisiones rápidas y cambiantes, adaptar su comportamiento motor ante reglas variables, o coordinar su acción con la de otros compañeros en tiempo real, producen beneficios más consistentes sobre el desarrollo de las funciones ejecutivas infantiles que las actividades físicas de naturaleza puramente repetitiva y predecible, en las cuales las demandas cognitivas resultan mínimas una vez que el patrón motor se ha automatizado (Best, 2010; Diamond, 2013). Este hallazgo resulta especialmente relevante para el diseño curricular de la educación física escolar, dado que sugiere que no toda actividad física resulta igualmente beneficiosa para el desarrollo cognitivo, y que las características cualitativas de dicha actividad importan tanto como su cantidad total.

En el contexto del entrenamiento deportivo formativo, los juegos cognitivo-motores ofrecen, además, un vehículo pedagógico particularmente adecuado para desarrollar simultáneamente la técnica, la táctica y las capacidades cognitivas de los deportistas jóvenes, en coherencia con los principios de resolución de problemas motores y aprendizaje por descubrimiento revisados en apartados anteriores de este trabajo. Juegos modificados que combinan objetivos técnico-tácticos específicos con reglas que exigen procesamiento cognitivo activo por ejemplo, cambios de reglas señalizados que exigen inhibición de una respuesta previamente automatizada, o tareas que exigen recordar y aplicar una secuencia específica de acciones constituyen ejemplos concretos de esta integración pedagógica.

Un aspecto relevante para el diseño de estos juegos es el ajuste cuidadoso de su nivel de exigencia cognitiva y motriz al nivel de desarrollo y de pericia de los participantes, evitando tanto una demanda excesivamente simple, que no representa un desafío cognitivo genuino, como una demanda excesivamente compleja, que puede saturar la capacidad de procesamiento del aprendiz e interferir tanto con el aprendizaje cognitivo como con el aprendizaje motor pretendidos, en coherencia con el principio del punto de desafío óptimo revisado en el primer apartado de este documento (Guadagnoli & Lee, 2004).

Los juegos cognitivo-motores ofrecen, además, un contexto particularmente propicio para el desarrollo de habilidades sociales y emocionales, dado que buena parte de ellos involucra la interacción cooperativa o competitiva con otros participantes, lo que exige, junto con las demandas estrictamente cognitivas y motrices, capacidades de comunicación, negociación y regulación emocional ante la frustración o el éxito compartido. Esta dimensión socioemocional, aunque no constituye el foco central de este apartado, refuerza el valor pedagógico integral de los juegos cognitivo-motores como herramienta formativa que trasciende el desarrollo aislado de capacidades cognitivas o motrices específicas.

Un aspecto adicional que enriquece el diseño de los juegos cognitivo-motores es la posibilidad de graduar de manera independiente la exigencia física y la exigencia cognitiva de una misma tarea, permitiendo así aislar y potenciar

ISBN
978-9942-595-14-0

selectivamente cada una de estas dos dimensiones según los objetivos específicos de una sesión determinada. Un mismo juego de persecución, por ejemplo, puede modificarse para incrementar predominantemente su exigencia física ampliando el espacio disponible o su exigencia cognitiva incorporando reglas de cambio de rol señalizadas de manera impredecible, lo que otorga al entrenador un control pedagógico considerable sobre el tipo específico de estimulación que predomina en cada actividad propuesta (Pesce, 2012).

Resulta pertinente señalar, finalmente, que la investigación sobre juegos cognitivo-motores ha explorado también su aplicación en poblaciones adultas mayores, con el propósito de prevenir o retrasar el declive cognitivo asociado al envejecimiento. Los programas que combinan actividad física moderada con demandas cognitivas específicas de atención dividida y toma de decisiones rápida han mostrado, en esta población, beneficios superiores a los que produce el ejercicio físico aislado, lo que sugiere que el valor pedagógico de este tipo de juegos trasciende ampliamente el contexto de la formación deportiva infantil y juvenil, extendiéndose a lo largo de todo el ciclo vital.

El entrenamiento dual, entendido como la práctica sistemática de tareas que exigen la ejecución simultánea de una actividad motriz y una actividad cognitiva de dificultad graduada, constituye una extensión y una aplicación más estructurada de los principios revisados en el apartado anterior sobre juegos cognitivo-motores, orientada particularmente al desarrollo específico y deliberado de las funciones ejecutivas mediante la manipulación sistemática de las demandas de doble tarea. A diferencia de los juegos cognitivo-motores, de naturaleza más lúdica y menos controlada experimentalmente, los programas de entrenamiento dual suelen estructurarse como protocolos más sistemáticos, en los cuales la dificultad de ambos componentes motor y cognitivo se ajusta de manera progresiva y cuantificable a lo largo del programa de intervención.

La investigación sobre entrenamiento dual ha documentado beneficios en poblaciones tan diversas como niños en edad escolar, adultos mayores y deportistas de alto rendimiento, aunque los mecanismos y la magnitud de dichos beneficios pueden variar considerablemente entre estas poblaciones y en función del diseño específico del protocolo empleado (Diamond, 2013). En el

caso de los niños, el entrenamiento dual mediante juegos y actividades físicas cognitivamente exigentes se ha asociado con mejoras en el control inhibitorio, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva, capacidades que, como se ha señalado en la literatura sobre neurodidáctica revisada previamente, resultan además transferibles al desempeño académico general del estudiante.

En el ámbito específico del deporte de alto rendimiento, el entrenamiento dual adquiere una relevancia particular para las disciplinas de naturaleza abierta, en las cuales el deportista debe ejecutar habilidades motrices técnicamente exigentes mientras procesa simultáneamente información perceptiva compleja y toma decisiones tácticas bajo presión temporal, como ocurre de manera constante en los deportes de conjunto. El diseño de tareas de entrenamiento que reproduzcan deliberadamente esta doble exigencia por ejemplo, ejecutar una habilidad técnica específica mientras se procesa simultáneamente una señal visual o auditiva que exige una respuesta decisional determinada constituye una vía privilegiada para preparar al deportista ante las condiciones reales de competencia, en las cuales rara vez la ejecución motriz ocurre de manera aislada del procesamiento cognitivo y decisional concurrente (Williams & Ward, 2007).

Un aspecto metodológico importante en el diseño de protocolos de entrenamiento dual es la decisión sobre cómo estructurar la relación temporal entre ambos componentes de la tarea: mientras que algunos protocolos presentan la demanda motriz y la demanda cognitiva de manera estrictamente simultánea, exigiendo al ejecutante distribuir su atención entre ambas en tiempo real, otros protocolos las presentan de manera secuencial o alternada, permitiendo dedicar recursos atencionales completos a cada componente por separado durante breves intervalos. La evidencia disponible sugiere que ambas modalidades pueden resultar beneficiosas, aunque probablemente inciden sobre mecanismos cognitivos parcialmente distintos, lo que sugiere la conveniencia de que los entrenadores incorporen ambos tipos de estructura dentro de un programa de entrenamiento dual integral, en función de los objetivos específicos que se pretenda desarrollar en cada fase del proceso formativo (Diamond, 2013).

Finalmente, conviene señalar que la integración articulada de las diez estrategias revisadas a lo largo de este trabajo el aprendizaje basado en retos, la resolución

de problemas motores, la variabilidad de la práctica, el aprendizaje por descubrimiento, la práctica deliberada, la retroalimentación efectiva, la estimulación multisensorial, la visualización, los juegos cognitivo-motores y el entrenamiento dual configura un enfoque pedagógico coherente y mutuamente reforzante, en el que cada estrategia potencia y complementa a las demás, y cuya aplicación conjunta y bien fundamentada constituye, en definitiva, una de las vías más prometedoras para optimizar los procesos de enseñanza y aprendizaje en el deporte y la educación física contemporáneos.

COGNICIÓN, EMOCIÓN Y RENDIMIENTO

COGNICIÓN

- Atención
- Concentración
- Toma de decisiones
- Planificación
- Control inhibitorio

EMOCIÓN

- Motivación
- Regulación emocional
- Manejo del estrés
- Autoconfianza
- Bienestar psicológico

RENDIMIENTO

La mente también entrena

UNA MENTE ENFOCADA + EMOCIONES EQUILIBRADAS = **MAYOR RENDIMIENTO**

ISBN
978-9942-595-14-0

Capítulo 7. Funciones cognitivas en el rendimiento deportivo

El rendimiento deportivo de alto nivel no depende únicamente de las capacidades físicas y técnicas del deportista, sino también de un conjunto de procesos cognitivos que determinan su capacidad para percibir, procesar, decidir y actuar de manera eficaz en contextos de incertidumbre, presión temporal y complejidad perceptiva elevada. El presente trabajo desarrolla, mediante una revisión narrativa sustentada en literatura especializada, ocho ejes temáticos estrechamente relacionados entre sí: la atención selectiva y sostenida, la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva, el control inhibitorio, la velocidad de procesamiento, la anticipación y la toma de decisiones, la inteligencia deportiva, y la relación entre las funciones ejecutivas y el rendimiento. Se parte del modelo de redes atencionales de Posner y Petersen, del modelo multicomponente de la memoria de trabajo de Baddeley, y del modelo de unidad y diversidad de las funciones ejecutivas de Miyake y colaboradores, para luego analizar la evidencia acumulada sobre pericia perceptivo-cognitiva, anticipación experta y su relación con el desempeño deportivo. El análisis evidencia que los deportistas de alto rendimiento no se distinguen de los deportistas menos expertos por poseer capacidades cognitivas genéricas superiores, sino por haber desarrollado, a través de una práctica extensa y específica, mecanismos de procesamiento de información particularmente eficientes y ajustados a las demandas perceptivas y decisionales de su disciplina. Se concluye que la comprensión de estos procesos cognitivos resulta indispensable para el diseño de programas de entrenamiento que integren, de manera deliberada y sistemática, el desarrollo de la dimensión cognitiva del rendimiento deportivo.

Durante buena parte de la historia del entrenamiento deportivo, la preparación de los deportistas se ha centrado predominantemente en el desarrollo de las capacidades físicas condicionales y en el perfeccionamiento técnico del gesto motor, relegando a un plano secundario el estudio sistemático de los procesos cognitivos que subyacen a la percepción, la anticipación y la toma de decisiones en el contexto competitivo. Sin embargo, la investigación en psicología cognitiva y en ciencias del deporte de las últimas décadas ha documentado de manera creciente que buena parte de lo que distingue a un deportista de élite de un deportista de nivel intermedio no reside exclusivamente en sus atributos físicos,

sino en un conjunto de procesos cognitivos especializados que le permiten extraer información relevante del entorno, mantenerla activa en su mente, adaptarse flexiblemente a situaciones cambiantes y decidir con rapidez y precisión bajo condiciones de presión (Mann et al., 2007).

Estos procesos cognitivos, agrupados en la literatura especializada bajo la denominación general de funciones ejecutivas, incluyen capacidades como la atención, la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva y el control inhibitorio, cuya organización neuroanatómica y funcional ha sido objeto de una investigación considerable en las últimas tres décadas (Miyake et al., 2000; Diamond, 2013). Comprender el funcionamiento de estos procesos, y su relación específica con el rendimiento deportivo, resulta indispensable para los entrenadores y profesionales de las ciencias del deporte que buscan fundamentar científicamente el diseño de sus programas de entrenamiento, particularmente en disciplinas de naturaleza abierta, en las cuales el deportista debe procesar constantemente información perceptiva cambiante y tomar decisiones tácticas bajo una presión temporal considerable.

La atención selectiva se refiere a la capacidad del sistema cognitivo para priorizar el procesamiento de determinados estímulos del entorno en detrimento de otros que resultan, en un momento dado, menos relevantes para la tarea que se está ejecutando. La atención sostenida, por su parte, se refiere a la capacidad de mantener dicho enfoque atencional de manera estable a lo largo de periodos prolongados de tiempo, resistiendo la interferencia de distractores internos y externos que compiten constantemente por los recursos limitados de procesamiento del sistema nervioso central. Ambas capacidades resultan fundamentales para el desempeño deportivo, en el cual el atleta debe extraer, de un campo perceptivo con frecuencia saturado de información, aquellos estímulos que resultan verdaderamente relevantes para la acción que va a ejecutar.

El modelo de redes atencionales propuesto por Posner y Petersen (1990) ha resultado particularmente influyente para comprender la organización neurocognitiva de la atención, al proponer la existencia de tres redes parcialmente independientes: una red de alerta, encargada de mantener y

regular el estado general de vigilancia del sistema; una red de orientación, encargada de dirigir selectivamente los recursos atencionales hacia una ubicación o un estímulo específico del espacio; y una red ejecutiva o de control, encargada de resolver conflictos entre respuestas competidoras y de regular voluntariamente el foco atencional en función de los objetivos de la tarea. Estas tres redes, aunque interrelacionadas, dependen de sustratos neuroanatómicos parcialmente diferenciados, lo que ha permitido a la investigación posterior explorar de manera más precisa cómo cada una de ellas contribuye específicamente al desempeño en distintas tareas cognitivas y motrices.

En el contexto deportivo, la atención selectiva se manifiesta, por ejemplo, en la capacidad de un portero de fútbol para concentrarse en la trayectoria del balón mientras ignora el movimiento de los jugadores circundantes, o en la capacidad de un tenista para mantener su foco en la pelota mientras filtra el ruido y los movimientos del público. La atención sostenida, por su parte, resulta crítica en disciplinas de larga duración, en las cuales el deportista debe mantener un nivel de vigilancia constante a lo largo de periodos extensos de competencia, sin permitir que la fatiga cognitiva acumulada erosione progresivamente la calidad de su procesamiento perceptivo.

La investigación sobre pericia deportiva ha mostrado, además, que los deportistas expertos desarrollan patrones de atención selectiva particularmente eficientes, caracterizados por una capacidad superior para identificar rápidamente, entre la totalidad de la información visual disponible, aquellos indicios específicos que resultan más informativos para anticipar el desarrollo de una jugada, en comparación con deportistas de menor nivel, que tienden a distribuir su atención de manera más dispersa e indiferenciada sobre el conjunto de la escena (Mann et al., 2007). Esta capacidad de selección atencional eficiente no parece ser una característica innata, sino el resultado de un proceso de aprendizaje perceptivo desarrollado a lo largo de miles de horas de práctica y exposición específica a la disciplina deportiva correspondiente.

Desde una perspectiva pedagógica, el entrenamiento de la atención selectiva y sostenida puede abordarse mediante tareas que exijan progresivamente al deportista discriminar información relevante en condiciones de creciente

complejidad y distracción, así como mediante el uso de video y de situaciones de juego simuladas que permitan entrenar específicamente la capacidad de identificar, entre múltiples fuentes de información visual, aquellas que resultan más predictivas del desarrollo posterior de una jugada, en coherencia con los principios de especificidad de la práctica revisados en la literatura sobre aprendizaje motor.

Conviene señalar, además, que la atención sostenida se ve afectada de manera significativa por la fatiga acumulada a lo largo de una competencia, fenómeno que se ha documentado de manera consistente en disciplinas de larga duración, en las cuales el número de errores perceptivos y decisionales tiende a incrementarse en los tramos finales del encuentro. Este hallazgo subraya la relevancia de entrenar específicamente la capacidad de sostener el rendimiento atencional bajo condiciones de fatiga progresiva, mediante tareas de práctica que incorporen deliberadamente cargas de fatiga física y cognitiva crecientes a lo largo de su desarrollo (Posner & Petersen, 1990).

Un principio adicional relevante para el entrenamiento de la atención selectiva es el de la orientación anticipatoria, mediante la cual el sistema atencional se prepara para procesar con mayor eficiencia un estímulo esperado en una ubicación o un momento determinado, incluso antes de que dicho estímulo aparezca efectivamente. Esta capacidad de orientación anticipatoria, estrechamente vinculada a la red de orientación descrita por Posner y Petersen (1990), puede entrenarse deliberadamente mediante tareas que exijan al deportista predecir, a partir de indicios contextuales tempranos, dónde y cuándo es probable que aparezca un estímulo relevante, fortaleciendo así los mecanismos neuronales de anticipación atencional que sustentan buena parte del desempeño perceptivo experto en el deporte.

Resulta pertinente señalar, finalmente, que la atención selectiva en el deporte no opera exclusivamente sobre información visual, sino que integra también información auditiva y propioceptiva relevante, como el sonido característico del golpeo de un balón o la sensación cinestésica del propio cuerpo en relación con el entorno, fuentes de información que un deportista experto aprende a ponderar e integrar de manera eficiente junto con la información visual disponible, en

ISBN
978-9942-595-14-0

coherencia con los principios de estimulación multisensorial revisados en la literatura especializada sobre metodologías activas de enseñanza deportiva.

El entrenamiento de la atención en el deporte contemporáneo se ha visto, además, enriquecido por la incorporación de tecnologías de seguimiento ocular, que permiten a los entrenadores identificar con precisión los patrones de búsqueda visual de sus deportistas durante la ejecución de tareas específicas, y diseñar intervenciones dirigidas a modificar patrones de búsqueda visual poco eficientes, aproximándolos progresivamente a los patrones más selectivos y económicos característicos de los deportistas expertos documentados en la literatura especializada (Mann et al., 2007).

La memoria de trabajo constituye el sistema cognitivo responsable de mantener y manipular activamente una cantidad limitada de información durante periodos breves de tiempo, mientras dicha información se utiliza para guiar el pensamiento y la acción en curso. El modelo multicomponente propuesto originalmente por Baddeley y Hitch (1974), y refinado posteriormente por Baddeley (2000), describe la memoria de trabajo como un sistema compuesto por un ejecutivo central, encargado de coordinar y de dirigir la atención entre distintas fuentes de información, junto con sistemas subordinados especializados: el bucle fonológico, responsable del procesamiento temporal de la información verbal y auditiva, la agenda visoespacial, responsable de mantener y manipular información sobre la posición y el movimiento de los objetos en el espacio, y el búfer episódico, un sistema que integra información proveniente de distintas modalidades sensoriales con los contenidos de la memoria a largo plazo.

En el contexto deportivo, la memoria de trabajo desempeña un papel central en tareas que exigen mantener activa una representación de la posición de compañeros y adversarios en el campo de juego, recordar instrucciones tácticas recientemente comunicadas por el entrenador, o mantener el conteo de eventos relevantes durante el desarrollo de una jugada, como el número de pases realizados o el tiempo restante de posesión. La agenda visoespacial resulta particularmente relevante para el desempeño en deportes de naturaleza abierta, dado que interviene directamente en la representación dinámica y actualizada de las posiciones y trayectorias de los distintos elementos del juego.

La capacidad de la memoria de trabajo es, sin embargo, marcadamente limitada, lo que impone restricciones importantes sobre la cantidad de información que un deportista puede procesar de manera simultánea y consciente en un momento dado. Esta limitación explica, en parte, por qué la automatización de la ejecución técnica, revisada en la literatura sobre aprendizaje motor, resulta tan relevante para el desempeño deportivo experto: al liberar recursos de la memoria de trabajo que de otro modo se destinarían al control consciente de la ejecución motriz, la automatización permite que dichos recursos se redirijan hacia el procesamiento de información táctica y decisional de mayor complejidad.

La investigación sobre diferencias entre deportistas expertos y novatos en su capacidad de memoria de trabajo ha arrojado resultados matizados: si bien no existe evidencia consistente de que los deportistas expertos posean una capacidad de memoria de trabajo genéricamente superior a la de la población general, sí se ha documentado que muestran una capacidad superior para recordar y reconstruir configuraciones específicas de su disciplina deportiva la disposición de los jugadores en una jugada de baloncesto, por ejemplo, lo que sugiere que su ventaja no reside en una mayor capacidad de almacenamiento genérica, sino en representaciones de conocimiento más ricas y organizadas que les permiten codificar de manera más eficiente la información específica de su dominio (Williams & Ward, 2007).

Desde una perspectiva pedagógica, el entrenamiento orientado a optimizar el uso de la memoria de trabajo durante la competencia debe considerar tanto estrategias de automatización técnica que liberen recursos cognitivos, como estrategias específicas de organización y estructuración de la información táctica que se comunica a los deportistas, evitando sobrecargar su capacidad limitada de procesamiento simultáneo mediante instrucciones excesivamente numerosas o complejas durante los momentos de mayor exigencia competitiva.

Resulta pertinente señalar, además, que la memoria de trabajo interactúa de manera estrecha con la memoria a largo plazo durante la ejecución deportiva: buena parte de la información que un deportista experto mantiene activa en su memoria de trabajo durante el juego no se procesa desde cero en cada situación, sino que se apoya en representaciones de conocimiento previamente

ISBN
978-9942-595-14-0

consolidadas en la memoria a largo plazo, que le permiten reconocer rápidamente patrones familiares y anticipar su desarrollo probable, reduciendo así la carga que dicha información impone sobre la capacidad limitada de la memoria de trabajo (Baddeley, 2000).

Un aspecto adicional relevante para el entrenamiento de la memoria de trabajo en el deporte es la consideración de las diferencias individuales en su capacidad, que varían de manera considerable entre distintos deportistas y que pueden condicionar la cantidad óptima de información táctica que un entrenador puede comunicar de manera efectiva a cada uno de ellos en un momento determinado. Reconocer estas diferencias individuales permite ajustar de manera más precisa la comunicación técnico-táctica durante las sesiones de entrenamiento y durante la propia competencia, evitando sobrecargar a aquellos deportistas cuya capacidad de memoria de trabajo resulte comparativamente más limitada en un momento dado, por ejemplo, debido a la fatiga acumulada (Baddeley & Hitch, 1974).

Finalmente, resulta pertinente señalar que la agenda visoespacial, componente de la memoria de trabajo particularmente relevante para el deporte, puede entrenarse de manera relativamente específica mediante tareas que exijan al deportista mantener y actualizar mentalmente la posición de múltiples elementos móviles simultáneamente, como ocurre en ejercicios de seguimiento de objetos múltiples empleados con frecuencia en programas de entrenamiento perceptivo-cognitivo para deportes de conjunto, cuya efectividad para mejorar específicamente el desempeño competitivo, sin embargo, continúa siendo objeto de investigación activa dentro de la literatura especializada (Baddeley, 2000).

Un último aspecto relevante en relación con la memoria de trabajo deportiva es su vulnerabilidad particular a la interferencia de pensamientos ansiosos o autorreferenciales durante momentos de alta presión competitiva, fenómeno que la investigación en psicología del deporte ha vinculado con el deterioro del rendimiento bajo presión: cuando la capacidad limitada de la memoria de trabajo se ve parcialmente ocupada por preocupaciones sobre el resultado o por la autoevaluación del propio desempeño, se reduce proporcionalmente la capacidad disponible para procesar la información táctica relevante de la

situación de juego, lo que puede explicar, en parte, por qué algunos deportistas técnicamente competentes experimentan decrementos notables de su desempeño en las situaciones de mayor exigencia competitiva (Baddeley & Hitch, 1974).

La flexibilidad cognitiva, identificada por Miyake et al. (2000) como uno de los tres componentes centrales de las funciones ejecutivas, se define como la capacidad de ajustar de manera eficiente el pensamiento y la conducta ante cambios en las reglas, los objetivos o las demandas de una tarea, alternando entre distintos conjuntos mentales o esquemas de respuesta según lo exija la situación. Esta capacidad resulta especialmente relevante en contextos de alta variabilidad e imprevisibilidad, como los que caracterizan a la mayoría de los deportes de naturaleza abierta, en los cuales el deportista debe abandonar rápidamente un plan de acción que ha dejado de ser viable y adoptar una alternativa más adecuada a la nueva configuración de la situación de juego.

En el ámbito deportivo, la flexibilidad cognitiva se manifiesta, por ejemplo, en la capacidad de un jugador de baloncesto para abandonar una jugada previamente planificada al detectar que la defensa rival ha cerrado el espacio disponible, adoptando de manera fluida una solución alternativa más apropiada a la nueva configuración defensiva. Esta capacidad de reajuste rápido resulta particularmente exigente desde el punto de vista cognitivo, dado que implica inhibir simultáneamente la respuesta previamente planificada y activar una respuesta alternativa, en un proceso que debe completarse en fracciones de segundo bajo condiciones de presión competitiva considerable.

La investigación sobre flexibilidad cognitiva y deporte ha documentado que los deportistas de disciplinas de naturaleza abierta, que exigen adaptaciones tácticas constantes durante el desarrollo del juego, tienden a mostrar un desempeño superior en tareas experimentales de flexibilidad cognitiva de laboratorio, en comparación tanto con la población general como con deportistas de disciplinas cerradas, cuyo entorno de ejecución resulta comparativamente más estable y predecible. Este hallazgo sugiere que la práctica extensa y sistemática en un contexto que exige adaptación constante puede contribuir al desarrollo de una flexibilidad cognitiva superior, generalizable, en cierta medida,

ISBN
978-9942-595-14-0

más allá del dominio deportivo específico en el que dicha flexibilidad fue originalmente entrenada (Diamond, 2013).

Desde una perspectiva pedagógica, el desarrollo deliberado de la flexibilidad cognitiva en el entrenamiento deportivo puede abordarse mediante tareas y juegos que introduzcan cambios impredecibles en las reglas o en los objetivos durante la propia ejecución de la actividad, exigiendo al deportista abandonar rápidamente un curso de acción previamente iniciado y adoptar uno alternativo, en coherencia con los principios de variabilidad de la práctica y de juegos cognitivo-motores revisados en la literatura especializada sobre metodologías activas de enseñanza deportiva.

La flexibilidad cognitiva se relaciona, además, estrechamente con la capacidad de un deportista para adaptarse a distintos roles o funciones tácticas dentro de un mismo equipo, exigencia cada vez más frecuente en el deporte de conjunto contemporáneo, en el cual la polivalencia posicional constituye una ventaja competitiva relevante. Un deportista con una flexibilidad cognitiva bien desarrollada tiende a mostrar una capacidad superior para reconfigurar rápidamente su comprensión táctica de la situación al desempeñar una función distinta a la habitual, en comparación con deportistas cuya flexibilidad cognitiva resulta comparativamente más limitada (Diamond, 2013).

La investigación en neurociencia cognitiva ha señalado, asimismo, que la flexibilidad cognitiva se relaciona estrechamente con la capacidad de mantener representada simultáneamente más de una interpretación posible de una misma situación ambigua, lo que permite al deportista prepararse para más de un curso de acción alternativo antes de que la situación se resuelva por completo. Esta capacidad de mantener abiertas múltiples hipótesis interpretativas, en lugar de comprometerse prematuramente con una única lectura de la jugada, constituye un componente sofisticado de la flexibilidad cognitiva que distingue a los deportistas de mayor nivel táctico (Miyake et al., 2000).

Desde el punto de vista del desarrollo, conviene señalar que la flexibilidad cognitiva presenta una trayectoria de maduración relativamente tardía en comparación con otras funciones ejecutivas, alcanzando niveles comparables a los del adulto solo hacia el final de la adolescencia, lo que explica por qué los

deportistas jóvenes tienden a mostrar mayores dificultades para adaptarse con fluidez a cambios tácticos repentinos en comparación con deportistas adultos de nivel de pericia técnica comparable, y sugiere la conveniencia de calibrar las expectativas y las exigencias de flexibilidad táctica impuestas a los deportistas en formación de acuerdo con su nivel específico de maduración cognitiva (Diamond & Lee, 2011).

El control inhibitorio, segundo componente central identificado por Miyake et al. (2000) dentro del modelo de unidad y diversidad de las funciones ejecutivas, se refiere a la capacidad de suprimir deliberadamente una respuesta automática, impulsiva o previamente dominante, en favor de una respuesta más deliberada y ajustada a las demandas específicas de la tarea en curso. Esta capacidad resulta fundamental tanto para la regulación de la conducta motriz como para la regulación de las respuestas emocionales y sociales del deportista durante la competencia.

En el plano motor, el control inhibitorio se manifiesta en la capacidad del deportista para suprimir un movimiento previamente iniciado o planificado cuando la situación cambia repentinamente, como ocurre cuando un jugador debe frenar un desplazamiento ya iniciado al detectar un cambio inesperado en la trayectoria de un compañero o de un adversario. Esta capacidad de frenado motor voluntario, estudiada extensamente en la literatura sobre control de la acción mediante paradigmas experimentales de señal de parada, depende de circuitos neuronales prefrontales que permiten interrumpir de manera rápida y eficiente una secuencia motriz en curso, y su eficiencia varía considerablemente entre individuos y se relaciona con el nivel de pericia deportiva alcanzado.

En el plano emocional y conductual, el control inhibitorio permite al deportista regular respuestas impulsivas ante situaciones de frustración, provocación o presión competitiva intensa, evitando reacciones desproporcionadas una falta innecesaria, un comentario agresivo hacia un árbitro o un rival que puedan perjudicar tanto su propio desempeño como el de su equipo. Esta dimensión del control inhibitorio se relaciona estrechamente con los procesos de regulación emocional revisados en la literatura sobre neurodidáctica aplicada al deporte, y

su desarrollo deliberado constituye un componente relevante de la preparación psicológica integral del deportista.

La investigación disponible sugiere que el control inhibitorio, al igual que otras funciones ejecutivas, puede desarrollarse mediante la práctica sistemática de tareas específicamente diseñadas para exigir su ejercicio repetido, entre ellas determinados juegos deportivos que incorporan señales de cambio de regla impredecibles que exigen al participante suprimir una respuesta previamente automatizada (Diamond & Lee, 2011). Esta evidencia respalda la incorporación deliberada de tareas de esta naturaleza dentro de los programas de formación deportiva, particularmente durante la infancia y la adolescencia, periodos en los cuales las estructuras prefrontales responsables del control inhibitorio se encuentran todavía en pleno proceso de maduración.

Un aspecto adicional relevante del control inhibitorio en el deporte es su estrecha relación con la prevención de lesiones: numerosos estudios han documentado que los deportistas con un control inhibitorio comparativamente más débil, medido mediante tareas cognitivas específicas, presentan una mayor incidencia de lesiones deportivas, posiblemente debido a una menor capacidad para suprimir movimientos impulsivos o para ajustar oportunamente su conducta motriz ante situaciones de riesgo súbitamente detectadas en el entorno de juego. Esta línea de evidencia ha motivado la incorporación de evaluaciones cognitivas específicas dentro de los protocolos de detección de riesgo de lesión empleados por algunos equipos deportivos de alto rendimiento.

Resulta pertinente, además, señalar que el control inhibitorio no debe confundirse con una supresión generalizada e indiscriminada de la actividad motriz, sino que constituye un proceso selectivo y finamente regulado, que permite inhibir específicamente aquellos componentes de una respuesta que resultan inapropiados para la situación actual, mientras se preservan y se ejecutan aquellos otros componentes que continúan siendo pertinentes. Esta naturaleza selectiva del control inhibitorio explica por qué los deportistas expertos son capaces de corregir rápidamente un movimiento en curso sin necesidad de detener por completo su acción, ajustando de manera fluida y

parcial su trayectoria motriz en respuesta a un cambio súbito en las condiciones del entorno.

El desarrollo del control inhibitorio en el deporte se beneficia, además, de un entorno pedagógico que module adecuadamente la presión y las consecuencias asociadas al error durante las tareas de entrenamiento diseñadas para ejercitarlo, dado que un ambiente excesivamente punitivo ante los fallos inhibitorios puede paradójicamente incrementar la ansiedad del deportista y deteriorar, en lugar de fortalecer, su capacidad de autorregulación conductual, en coherencia con los principios revisados en la literatura sobre neurodidáctica aplicada al deporte respecto al papel constructivo del error dentro del proceso de aprendizaje.

La velocidad de procesamiento se refiere a la rapidez con la cual el sistema cognitivo es capaz de ejecutar operaciones mentales básicas, desde la simple detección de un estímulo hasta operaciones más complejas de comparación, discriminación y toma de decisiones. Salthouse (1996) ha propuesto, en su teoría de la velocidad de procesamiento aplicada originalmente al estudio de las diferencias cognitivas asociadas a la edad, que dicha velocidad constituye un factor limitante fundamental para el desempeño en una amplia variedad de tareas cognitivas, a través de dos mecanismos complementarios: el mecanismo del tiempo limitado, según el cual un procesamiento lento reduce la cantidad de operaciones mentales relevantes que pueden completarse dentro del tiempo disponible para responder, y el mecanismo de la simultaneidad, según el cual los productos de un procesamiento inicial lento pueden dejar de estar disponibles para su integración con procesamientos posteriores cuando estos finalmente se completan.

En el contexto deportivo, la velocidad de procesamiento resulta crítica en disciplinas que exigen respuestas motrices rápidas ante estímulos que aparecen y se modifican con gran celeridad, como ocurre en los deportes de raqueta, en el boxeo o en las fases de contraataque de los deportes de conjunto, en los cuales el margen de tiempo disponible para percibir la situación, decidir la respuesta apropiada y ejecutar dicha respuesta resulta extremadamente reducido. La investigación sobre tiempo de reacción en el deporte ha

ISBN
978-9942-595-14-0

documentado consistentemente que los deportistas expertos tienden a responder con mayor rapidez que los novatos ante estímulos específicos de su disciplina, aunque esta ventaja no siempre se generaliza a tareas de tiempo de reacción genéricas y descontextualizadas.

Esta observación resulta particularmente relevante para comprender la naturaleza de la ventaja que exhiben los deportistas expertos: la evidencia disponible sugiere que dicha ventaja no reside primordialmente en una velocidad de procesamiento neural genéricamente superior, sino en la capacidad de anticipar, a partir de indicios perceptivos tempranos, el desarrollo de una acción antes de que esta se complete por entero, lo que efectivamente reduce el tiempo de respuesta observable sin que ello implique necesariamente una mayor velocidad de procesamiento en sentido estricto (Mann et al., 2007). Este matiz distingue la velocidad de procesamiento propiamente dicha de la capacidad anticipatoria que se abordará con mayor detalle en el apartado siguiente.

Desde una perspectiva pedagógica, el entrenamiento orientado a mejorar la velocidad de respuesta del deportista debe considerar, por tanto, tanto ejercicios genéricos de tiempo de reacción como, de manera prioritaria, tareas específicas que entrenen la capacidad de anticipación perceptiva propia de la disciplina practicada, dado que esta última parece aportar una contribución más sustancial y transferible al desempeño competitivo real que la simple mejora de la velocidad de procesamiento general.

Conviene señalar, además, que la velocidad de procesamiento, aunque relativamente estable en la adultez temprana, no resulta completamente inmodificable: la evidencia disponible sugiere que la práctica sistemática y prolongada en tareas específicas de una disciplina deportiva puede producir mejoras mensurables en la velocidad de respuesta ante estímulos propios de dicha disciplina, mediante la automatización progresiva de los procesos de detección y clasificación perceptiva implicados, aun cuando la velocidad de procesamiento general del individuo, medida mediante tareas cognitivas genéricas y descontextualizadas, permanezca comparativamente estable a lo largo de dicho proceso de especialización deportiva (Salthouse, 1996).

La distinción entre velocidad de procesamiento general y velocidad de respuesta específica de dominio tiene, además, implicaciones relevantes para la detección de talentos deportivos: evaluar el potencial de un deportista joven exclusivamente mediante pruebas genéricas de tiempo de reacción puede resultar engañoso, dado que dichas pruebas no capturan adecuadamente la capacidad anticipatoria específica que, como se ha señalado, constituye el componente más determinante de la ventaja temporal que exhiben los deportistas expertos en su disciplina particular (Guadagnoli & Lee, 2004).

Resulta pertinente señalar, finalmente, que la velocidad de procesamiento guarda una relación compleja con la edad del deportista, dado que, si bien tiende a disminuir progresivamente a partir de la adultez media en tareas cognitivas genéricas, la velocidad de respuesta específica de dominio en deportistas veteranos con amplia experiencia puede mantenerse notablemente preservada durante bastante más tiempo, gracias a la compensación que ofrece su base de conocimiento perceptivo-táctico extensamente desarrollada, lo que explica por qué numerosos deportistas de disciplinas tácticamente complejas logran mantener un alto nivel de rendimiento decisional incluso cuando su velocidad de procesamiento genérica ha comenzado a declinar (Salthouse, 1996).

La anticipación, entendida como la capacidad de predecir el desarrollo futuro de una situación deportiva a partir de la información disponible en sus fases iniciales, constituye uno de los componentes cognitivos más ampliamente estudiados en la literatura sobre pericia deportiva, dado que representa una de las diferencias más consistentes y de mayor magnitud entre deportistas expertos y novatos documentadas por la investigación especializada. La meta-análisis de Mann et al. (2007), que sintetizó los resultados de cuarenta y dos estudios sobre pericia perceptivo-cognitiva en el deporte, confirmó que los deportistas expertos superan de manera sistemática a los novatos tanto en la precisión como en la velocidad de sus respuestas anticipatorias, y que estas diferencias se acompañan de patrones de búsqueda visual sistemáticamente distintos, caracterizados por un menor número de fijaciones oculares de mayor duración.

Esta capacidad anticipatoria se sustenta en la explotación eficiente de indicios posturales y cinemáticos tempranos la orientación de la cadera de un lanzador,

la posición del brazo antes de un golpeo, la dirección de la mirada de un rival que permiten al deportista experto iniciar su respuesta motriz antes incluso de que el evento crítico haya ocurrido por completo, lo que le otorga una ventaja temporal decisiva en disciplinas de alta velocidad (Williams & Ward, 2007). Esta capacidad no depende de una mayor velocidad de procesamiento genérica, como se señaló en el apartado anterior, sino de bases de conocimiento perceptivo específicas y ricamente organizadas, construidas a lo largo de miles de horas de práctica y de exposición a situaciones representativas del deporte correspondiente.

La toma de decisiones deportiva, estrechamente vinculada a la capacidad anticipatoria, involucra la selección, entre un conjunto de opciones de acción posibles, de aquella que se considera más apropiada para alcanzar un objetivo determinado, en condiciones frecuentemente marcadas por la incertidumbre y la presión temporal. Los enfoques ecológicos y dinámicos aplicados al estudio de la decisión deportiva han propuesto entender este proceso no como un cómputo simbólico secuencial, sino como la emergencia autoorganizada de un curso de acción a partir del acoplamiento continuo entre la información perceptiva disponible y las posibilidades de acción del propio deportista (Araújo et al., 2006).

La calidad de la anticipación y de la toma de decisiones deportivas depende, en gran medida, de la representatividad de las condiciones de entrenamiento empleadas para su desarrollo: cuando los ejercicios reproducen fielmente las fuentes de información y las restricciones temporales propias de la competencia real, se favorece el desarrollo de patrones perceptivo-decisionales efectivamente transferibles, mientras que la práctica de decisiones en condiciones artificiales y descontextualizadas tiende a generar aprendizajes de escasa aplicabilidad competitiva, principio que ha derivado en el diseño de metodologías de entrenamiento basadas en tareas representativas de la situación real de juego.

Conviene, finalmente, distinguir entre la toma de decisiones explícita y deliberada, que involucra un procesamiento consciente y relativamente lento de las opciones disponibles, y la toma de decisiones implícita o intuitiva, característica del desempeño experto automatizado, en la cual la respuesta apropiada emerge de manera rápida y aparentemente no deliberada a partir del

reconocimiento directo de patrones familiares de la situación. Si bien esta segunda forma de decisión resulta característica del deportista experto en condiciones de práctica habituales, la investigación ha mostrado que, bajo determinadas condiciones de presión competitiva extrema, algunos deportistas pueden regresar involuntariamente a un procesamiento más deliberado y consciente de la decisión, un fenómeno que se ha asociado con el deterioro del desempeño bajo presión, conocido en la literatura de psicología del deporte como choking (Wulf & Lewthwaite, 2016).

Un factor adicional que interactúa con la calidad de la toma de decisiones deportivas es la experiencia previa específica ante situaciones similares, almacenada en la memoria a largo plazo del deportista en forma de un extenso repertorio de configuraciones de juego reconocibles. Cuanto mayor es este repertorio, mayor es la probabilidad de que el deportista reconozca rápidamente una situación como perteneciente a una categoría familiar, lo que le permite acceder de manera casi inmediata a un curso de acción previamente asociado con dicha categoría, en lugar de tener que generar y evaluar deliberadamente el espacio completo de opciones disponibles, proceso considerablemente más lento y demandante desde el punto de vista cognitivo (Ericsson et al., 1993).

La calidad de la toma de decisiones deportivas se ve, asimismo, modulada por factores motivacionales y emocionales que pueden alterar tanto la velocidad como la precisión del proceso decisional, en coherencia con lo señalado en la literatura sobre neurodidáctica aplicada al deporte: la ansiedad competitiva excesiva tiende a estrechar el foco atencional de manera disfuncional y a inducir sesgos hacia opciones de acción más conservadoras, incluso cuando estas no resultan las más adecuadas desde un punto de vista estrictamente táctico, lo que subraya la importancia de que el entrenamiento de la toma de decisiones incorpore también estrategias de regulación emocional que permitan al deportista decidir con claridad en condiciones de alta exigencia competitiva.

Finalmente, conviene señalar que la investigación sobre toma de decisiones deportivas ha comenzado a explorar el papel de las emociones no solo como fuente de interferencia potencial, sino también como fuente legítima de información relevante para la decisión, en línea con la investigación sobre

ISBN
978-9942-595-14-0

marcadores somáticos que documenta cómo las señales corporales asociadas a experiencias emocionales previas contribuyen a orientar de manera rápida y eficiente la evaluación intuitiva de distintas opciones de acción, incluso antes de que dicha evaluación se complete de manera consciente y deliberada, lo que sugiere que la regulación emocional óptima en el deporte no equivale a la supresión completa del componente afectivo de la decisión, sino a su integración funcional dentro de un proceso decisional equilibrado y eficaz.

La noción de inteligencia deportiva, empleada con frecuencia en el lenguaje coloquial del deporte para describir a aquellos jugadores capaces de leer el juego, anticipar situaciones y tomar decisiones acertadas de manera consistente, ha encontrado en la investigación sobre pericia perceptivo-cognitiva un fundamento teórico y empírico considerablemente más preciso que la vaga intuición popular que originalmente inspiró el término. Desde esta perspectiva, la inteligencia deportiva no constituye una capacidad general y unitaria equiparable a la inteligencia genérica medida por los tests psicométricos tradicionales, sino un conjunto específico y especializado de conocimientos, patrones perceptivos y estrategias de procesamiento de información, desarrollado a través de la práctica extensa en un dominio deportivo particular (Williams & Ward, 2007).

Esta conclusión encuentra respaldo en la investigación que ha comparado sistemáticamente el desempeño de deportistas expertos en tareas cognitivas genéricas de laboratorio frente a tareas específicas de su disciplina deportiva: mientras que la ventaja de los expertos sobre los novatos resulta considerable y consistente en las tareas específicas de su dominio reconocimiento de patrones tácticos, anticipación de jugadas, toma de decisiones ante situaciones representativas de su deporte, dicha ventaja se reduce considerablemente o incluso desaparece por completo en tareas cognitivas genéricas y descontextualizadas, lo que respalda la interpretación de la inteligencia deportiva como una forma de pericia específica de dominio, análoga a la que se observa en otros campos de especialización experta, como el ajedrez o la música (Mann et al., 2007).

La inteligencia deportiva, entendida de esta manera, se construye sobre una base de conocimiento declarativo y procedimental extensa y ricamente

organizada sobre la estructura táctica y estratégica de la disciplina practicada, que permite al deportista experto reconocer con rapidez patrones de juego familiares, anticipar su desarrollo probable y seleccionar respuestas tácticas apropiadas, de manera análoga a como un maestro de ajedrez reconoce configuraciones familiares del tablero y anticipa las consecuencias probables de distintas secuencias de movimientos. Esta analogía con la investigación clásica sobre pericia en el ajedrez ha resultado particularmente fructífera para comprender la naturaleza específica y no genérica de la inteligencia deportiva.

Desde una perspectiva pedagógica, el desarrollo de la inteligencia deportiva exige, por tanto, una exposición extensa, sistemática y deliberada a situaciones representativas de la disciplina practicada, que permitan al deportista construir progresivamente esa base de conocimiento perceptivo-táctico especializada, en coherencia con los principios de práctica deliberada, resolución de problemas motores y aprendizaje por descubrimiento revisados en la literatura especializada sobre metodologías activas de enseñanza deportiva, más que mediante el entrenamiento aislado de capacidades cognitivas genéricas desconectadas del contexto específico del deporte practicado.

Resulta pertinente señalar, además, que la inteligencia deportiva, entendida como pericia específica de dominio, presenta habitualmente una transferencia limitada entre distintas disciplinas deportivas, incluso cuando estas comparten ciertas similitudes superficiales: un jugador de baloncesto con una notable capacidad de lectura del juego no necesariamente mostrará un desempeño decisional igualmente sobresaliente al practicar balonmano, a pesar de las semejanzas tácticas generales entre ambos deportes, dado que las configuraciones perceptivas específicas, las reglas y los patrones de juego característicos de cada disciplina exigen bases de conocimiento perceptivo-táctico parcialmente distintas y específicamente entrenadas (Williams & Ward, 2007).

Resulta relevante, además, distinguir entre la inteligencia deportiva general de una disciplina y la inteligencia deportiva posicional o específica de un rol determinado dentro de un mismo deporte de conjunto: un defensor central y un extremo ofensivo en el fútbol, por ejemplo, deben leer el juego a partir de

ISBN
978-9942-595-14-0

configuraciones perceptivas parcialmente distintas y priorizar tipos de información diferentes, lo que sugiere que el desarrollo pedagógico de la inteligencia deportiva debería considerar, en las etapas de especialización, las demandas perceptivo-decisionales específicas de cada posición o rol táctico, y no limitarse a un entrenamiento genérico e indiferenciado de la comprensión táctica global del deporte practicado (Mann et al., 2007).

Cabe agregar que la evaluación formal de la inteligencia deportiva plantea desafíos metodológicos considerables, dado que los instrumentos tradicionalmente empleados para medir la inteligencia general resultan, como se ha señalado, poco predictivos del desempeño perceptivo-decisional específico del deporte; por ello, la investigación especializada ha desarrollado instrumentos de evaluación específicos del dominio, basados con frecuencia en la presentación de secuencias de video de situaciones reales de juego, ante las cuales se solicita al deportista anticipar el desenlace o seleccionar la respuesta táctica más apropiada, en condiciones de presión temporal comparables a las de la competencia real, lo que ofrece una medida considerablemente más válida y ecológica de la inteligencia deportiva que las pruebas psicométricas genéricas tradicionales (Williams & Ward, 2007).

Un aspecto adicional que enriquece la comprensión de la inteligencia deportiva es su relación con la capacidad de comunicación y de coordinación táctica implícita entre compañeros de equipo, quienes, a partir de una base de conocimiento táctico compartida, logran anticipar mutuamente sus respectivas acciones sin necesidad de una comunicación verbal explícita y constante. Esta forma de inteligencia deportiva colectiva, que trasciende la capacidad cognitiva individual de cada jugador considerado de manera aislada, resulta particularmente relevante en los deportes de conjunto de alto nivel, y sugiere que el entrenamiento de la inteligencia deportiva no debe limitarse a tareas individuales, sino incorporar también tareas que exijan explícitamente la coordinación decisional entre varios compañeros simultáneamente (Araújo et al., 2006).

La relación entre las funciones ejecutivas atención, memoria de trabajo, flexibilidad cognitiva y control inhibitorio, junto con procesos estrechamente

relacionados como la velocidad de procesamiento, la anticipación y la toma de decisiones y el rendimiento deportivo ha sido objeto de una investigación creciente en las últimas dos décadas, motivada por el reconocimiento de que el desempeño deportivo de alto nivel exige una integración eficiente de capacidades físicas, técnicas y cognitivas, y no puede explicarse satisfactoriamente atendiendo exclusivamente a los primeros dos componentes.

La evidencia disponible sugiere que los deportistas de élite tienden a superar a los deportistas de nivel inferior en pruebas de funciones ejecutivas, particularmente en aquellas que involucran algún grado de especificidad con las demandas cognitivas propias de su disciplina deportiva, aunque, como se ha señalado en el apartado sobre inteligencia deportiva, dicha superioridad tiende a ser más pronunciada y consistente en tareas específicas del dominio que en tareas genéricas de laboratorio completamente descontextualizadas. Esta observación ha dado lugar a un debate relevante dentro de la literatura especializada sobre si la práctica deportiva extensa efectivamente desarrolla las funciones ejecutivas de manera generalizable, transferible a otros dominios de la vida del deportista, o si simplemente selecciona y perfecciona capacidades cognitivas ya especializadas en el contexto específico de la disciplina practicada (Diamond, 2013).

La investigación sobre entrenamiento cognitivo-motor combinado, revisada en la literatura especializada sobre metodologías activas de enseñanza deportiva, ha aportado evidencia relevante a este debate, al mostrar que los programas de actividad física que integran deliberadamente demandas cognitivas explícitas juegos que exigen inhibición, actualización de memoria de trabajo o cambios flexibles de estrategia producen beneficios más consistentes sobre el desarrollo de las funciones ejecutivas que la práctica deportiva convencional centrada exclusivamente en el perfeccionamiento técnico-táctico, lo que sugiere que la mejora de las funciones ejecutivas mediante el deporte no resulta automática, sino que depende de las características cualitativas específicas de la práctica realizada (Diamond & Lee, 2011).

Un modelo conceptual útil para sintetizar la relación entre funciones ejecutivas y rendimiento deportivo es el que distingue entre capacidades ejecutivas de base,

ISBN
978-9942-595-14-0

relativamente estables y generales, y su aplicación específica y entrenada dentro del dominio deportivo particular practicado por cada individuo, de manera análoga a la distinción revisada previamente entre velocidad de procesamiento genérica y velocidad de respuesta específica de dominio. Bajo esta perspectiva, el entrenamiento deportivo eficaz no pretende primordialmente incrementar las capacidades ejecutivas de base del deportista, objetivo cuya viabilidad y magnitud de transferencia continúan siendo objeto de debate científico activo, sino desarrollar aplicaciones específicas y altamente eficientes de dichas capacidades dentro del contexto perceptivo-decisional particular de la disciplina practicada, lo que constituye un objetivo pedagógico considerablemente más alcanzable y mejor respaldado por la evidencia disponible (Diamond, 2013).

Para los entrenadores y profesionales de las ciencias del deporte, estos hallazgos tienen implicaciones prácticas relevantes: el desarrollo deliberado de las funciones ejecutivas de los deportistas exige incorporar, de manera sistemática y no incidental, tareas de entrenamiento que exijan explícitamente su ejercicio, integradas de manera coherente con el desarrollo técnico-táctico específico de la disciplina practicada, en lugar de asumir que dicho desarrollo cognitivo ocurrirá automáticamente como subproducto de la práctica deportiva general. Asimismo, la evaluación periódica de estas capacidades cognitivas, mediante instrumentos apropiados y específicos del dominio deportivo correspondiente, puede constituir una herramienta valiosa para el diagnóstico individualizado y la planificación del proceso formativo de cada deportista, complementando las evaluaciones físicas y técnicas tradicionalmente empleadas en el contexto del entrenamiento deportivo.

Un aspecto adicional relevante para comprender la relación entre funciones ejecutivas y rendimiento es la influencia de la fatiga física y mental sobre estas capacidades durante la competencia prolongada. La evidencia disponible sugiere que, a medida que avanza una competencia de larga duración, la calidad del desempeño en tareas que exigen atención, control inhibitorio y toma de decisiones tiende a deteriorarse, incluso en deportistas de alto nivel, lo que explica en parte por qué buena parte de los errores decisionales y de las infracciones disciplinarias en el deporte de conjunto tienden a concentrarse en los tramos finales de los encuentros. Este hallazgo subraya la importancia de

que los programas de preparación física integren también el entrenamiento específico de la resistencia a la fatiga cognitiva, y no exclusivamente el desarrollo de la resistencia física condicional (Diamond, 2013).

Finalmente, conviene señalar que la relación entre funciones ejecutivas y rendimiento deportivo no es unidireccional: así como unas funciones ejecutivas bien desarrolladas favorecen el rendimiento deportivo, también existe evidencia consistente de que la práctica deportiva regular, especialmente cuando incorpora las características cualitativas de exigencia cognitiva revisadas en este trabajo, contribuye recíprocamente al desarrollo y al mantenimiento de dichas funciones ejecutivas a lo largo del ciclo vital, configurando una relación de retroalimentación positiva entre la práctica deportiva bien diseñada y el desarrollo cognitivo del practicante, relevante tanto para el deporte de alto rendimiento como para la educación física escolar y la actividad física orientada al envejecimiento saludable (Best, 2010).

Cabe destacar, en este sentido, que la investigación sobre entrenamiento cognitivo en el deporte se encuentra todavía en una etapa de desarrollo relativamente temprana en comparación con la investigación sobre entrenamiento físico y técnico, lo que exige de los profesionales que deseen incorporar estos principios a su práctica cotidiana una actitud de prudencia y de actualización permanente, evaluando críticamente la evidencia disponible para cada estrategia específica antes de adoptarla de manera generalizada, y evitando la adopción acrítica de programas comerciales de entrenamiento cognitivo cuya efectividad no siempre cuenta con un respaldo científico riguroso y específico para el contexto deportivo en el que se pretenden aplicar.

ISBN
978-9942-595-14-0

Capítulo 8. Emoción, motivación y aprendizaje deportivo

Durante mucho tiempo, la preparación psicológica del deportista ha sido tratada como un componente secundario o complementario dentro de los programas de entrenamiento deportivo, subordinado a la preparación física, técnica y táctica, y abordado con frecuencia de manera intuitiva o improvisada, sin un fundamento sistemático en la investigación científica disponible. Sin embargo, la evidencia acumulada por la psicología del deporte y por la neurociencia afectiva en las últimas décadas ha documentado de manera creciente que la dimensión emocional del deportista no constituye un aspecto periférico de su desempeño, sino un componente constitutivo y determinante de su capacidad para aprender, ejecutar y competir de manera efectiva (Immordino-Yang & Damasio, 2007).

Las emociones que experimenta un deportista antes, durante y después de la competencia el entusiasmo previo a una final, la ansiedad ante un penalti decisivo, la frustración tras un error técnico, la euforia de la victoria no son epifenómenos irrelevantes para el análisis del rendimiento, sino procesos que modulan directamente la calidad de su atención, la eficiencia de su memoria de trabajo, la precisión de su toma de decisiones y la fluidez de su ejecución motriz. Comprender estos mecanismos resulta, por tanto, indispensable para cualquier entrenador o profesional de las ciencias del deporte que aspire a diseñar procesos de preparación verdaderamente integrales, que atiendan tanto al cuerpo como a la mente del deportista.

El estudio contemporáneo de la emoción desde la neurociencia afectiva ha desplazado decisivamente la visión tradicional que consideraba a las emociones como perturbaciones irracionales que interfieren con el funcionamiento cognitivo racional del individuo. Immordino-Yang y Damasio (2007) han argumentado de manera influyente que los procesos cognitivos que sustentan el aprendizaje, la atención, la memoria y la toma de decisiones se encuentran profunda y constitutivamente entrelazados con los procesos emocionales, hasta el punto de que resulta más preciso hablar de pensamiento emocional como una categoría unificada que de dos sistemas mentales separados que meramente interactúan entre sí.

Esta perspectiva encuentra respaldo en la investigación neuroanatómica sobre las estructuras cerebrales implicadas en la regulación emocional, particularmente el sistema límbico y sus conexiones bidireccionales con la corteza prefrontal, región crítica para funciones cognitivas de orden superior como la planificación, la toma de decisiones y el control inhibitorio revisadas en la literatura sobre funciones ejecutivas y rendimiento deportivo. Estas conexiones bidireccionales explican por qué los estados emocionales del deportista pueden modular de manera significativa su funcionamiento cognitivo y motor, tanto de manera facilitadora como perjudicial, dependiendo de su naturaleza, intensidad y del significado que dicho estado emocional adquiere para el desempeño de la tarea específica que se está ejecutando.

En el contexto deportivo, el cerebro emocional interviene de manera constante en la interpretación que el deportista realiza de las situaciones competitivas a las que se enfrenta: un mismo estímulo externo el marcador adverso, la presencia de un público numeroso, la proximidad de un rival de mayor jerarquía puede desencadenar respuestas emocionales marcadamente distintas entre diferentes deportistas, e incluso en un mismo deportista en distintos momentos de su carrera, en función de la valoración cognitiva y emocional que dicho estímulo recibe, valoración que a su vez depende de la experiencia previa, las expectativas y el estado motivacional del individuo en ese momento particular (Mora, 2013).

La investigación sobre el papel de las emociones en la memoria y el aprendizaje resulta particularmente relevante para el ámbito deportivo, dado que los estados emocionales cumplen una función de etiquetado y priorización de la información que el sistema nervioso central considera relevante para su consolidación duradera: las experiencias deportivas que se acompañan de una carga emocional significativa, ya sea positiva o negativa, tienden a recordarse con mayor viveza y durante más tiempo que aquellas que transcurren en un registro emocional relativamente neutro, lo que explica por qué determinados momentos competitivos intensamente vividos una victoria decisiva, un error costoso permanecen grabados con particular nitidez en la memoria autobiográfica del deportista durante años.

ISBN
978-9942-595-14-0

Comprender el funcionamiento del cerebro emocional permite, en definitiva, a los entrenadores y profesionales de la psicología del deporte abandonar la concepción tradicional que consideraba a la emoción como un factor externo y perturbador que debía suprimirse o controlarse para permitir un rendimiento óptimo, adoptando en su lugar una perspectiva que reconoce a la emoción como un componente activo, funcional y potencialmente aprovechable del propio proceso de preparación y ejecución deportiva, siempre que se comprendan adecuadamente sus mecanismos y se gestione oportunamente su intensidad y su valencia.

Un aspecto adicional relevante para comprender el papel del cerebro emocional en el rendimiento deportivo es la existencia de vías neuronales relativamente rápidas y automáticas de procesamiento emocional, que permiten al organismo generar una respuesta afectiva ante un estímulo relevante antes incluso de que dicho estímulo haya sido procesado de manera completa y consciente por las estructuras corticales superiores. Estas vías rápidas de procesamiento emocional, que operan con una latencia considerablemente menor que la del procesamiento cognitivo deliberado, resultan particularmente relevantes en disciplinas deportivas que exigen respuestas prácticamente inmediatas ante estímulos de alta relevancia emocional, como una amenaza súbita a la propia integridad física, y explican por qué determinadas reacciones emocionales del deportista preceden, en términos estrictamente temporales, a su propia comprensión consciente y deliberada de la situación que las provocó.

La comprensión del cerebro emocional resulta, además, relevante para explicar fenómenos de contagio emocional dentro de los equipos deportivos, mediante los cuales el estado afectivo de un jugador o de un grupo de jugadores tiende a propagarse, al menos parcialmente, hacia el resto del equipo, a través de mecanismos que involucran la observación de expresiones faciales, posturas corporales y patrones vocales asociados a distintos estados emocionales. Este fenómeno explica, en parte, por qué el estado de ánimo colectivo de un equipo puede modificarse con relativa rapidez tras un evento emocionalmente significativo durante la competencia, como un gol inesperado o una lesión de un jugador clave, con consecuencias apreciables sobre el rendimiento colectivo posterior del equipo en su conjunto.

Resulta pertinente, finalmente, señalar que las técnicas de neuroimagen funcional han permitido documentar, en deportistas de disciplinas de alto riesgo físico, patrones de activación cerebral distintivos ante estímulos amenazantes específicos de su disciplina, en comparación con individuos no familiarizados con dicho riesgo, lo que sugiere que la experiencia deportiva prolongada puede modular, hasta cierto punto, la reactividad del cerebro emocional ante determinadas categorías de estímulos, en un proceso de habituación adaptativa que permite a estos deportistas mantener un funcionamiento cognitivo y motor más estable ante situaciones que resultarían abrumadoras para un individuo sin dicha experiencia previa.

La motivación deportiva se refiere al conjunto de procesos internos que activan, dirigen y sostienen la conducta del deportista hacia el logro de determinados objetivos relacionados con su práctica deportiva. Uno de los marcos teóricos más influyentes para comprender la motivación humana en general, y su aplicación al ámbito deportivo en particular, es la teoría de la autodeterminación propuesta por Deci y Ryan (2000), que distingue entre la motivación intrínseca, caracterizada por la realización de una actividad por el interés y el disfrute inherentes a ella misma, y la motivación extrínseca, caracterizada por la realización de dicha actividad con el fin de obtener una recompensa externa o de evitar una consecuencia negativa.

Según esta teoría, la motivación intrínseca del deportista se ve favorecida cuando se satisfacen tres necesidades psicológicas básicas: la necesidad de autonomía, referida a la percepción de que la propia conducta responde a una elección genuina y no a una imposición externa; la necesidad de competencia, referida a la percepción de progreso y de dominio efectivo sobre los desafíos que plantea la práctica deportiva; y la necesidad de relación, referida al sentido de pertenencia y de conexión significativa con otras personas, como compañeros de equipo o entrenadores, dentro del contexto de dicha práctica. Cuando estas tres necesidades se satisfacen adecuadamente, la motivación del deportista tiende a ser más autónoma, sostenible en el tiempo y resistente a las dificultades y contratiempos propios de la competencia deportiva.

ISBN
978-9942-595-14-0

La teoría OPTIMAL de Wulf y Lewthwaite (2016), revisada previamente en el contexto del aprendizaje motor, aporta una dimensión motivacional complementaria a esta comprensión, al mostrar que las condiciones de práctica que favorecen las expectativas de éxito futuro del deportista y que respaldan su percepción de autonomía tienden a producir, además de beneficios motivacionales, mejoras mensurables en el propio aprendizaje motor, lo que sugiere una interacción estrecha entre los procesos motivacionales y los procesos estrictamente cognitivos y motores implicados en la adquisición de habilidades deportivas.

En el contexto del entrenamiento deportivo formativo, particularmente con niños y adolescentes, la investigación disponible sugiere que un ambiente que privilegia sistemáticamente la motivación extrínseca premios, castigos, comparación constante con el desempeño de otros compañeros tiende a producir, a mediano y largo plazo, un compromiso más frágil y vulnerable al abandono deportivo, en comparación con un ambiente que favorece deliberadamente la satisfacción de las necesidades psicológicas básicas de autonomía, competencia y relación descritas por la teoría de la autodeterminación. Este hallazgo tiene implicaciones prácticas relevantes para el diseño de las estrategias de comunicación, retroalimentación y estructuración de la práctica que emplean cotidianamente los entrenadores deportivos.

Resulta pertinente señalar, finalmente, que la motivación deportiva no permanece estática a lo largo de la carrera de un deportista, sino que se ve influida por factores contextuales cambiantes, entre ellos las lesiones, los cambios de entrenador o de equipo, las presiones académicas o laborales concurrentes, y las transiciones propias del ciclo vital deportivo, lo que exige de los profesionales de la psicología del deporte una atención continua y contextualizada a la evolución motivacional de cada deportista, más que la aplicación de un diagnóstico motivacional estático realizado en un único momento del proceso formativo.

Resulta pertinente, además, señalar que la investigación sobre motivación deportiva ha documentado que los climas motivacionales creados por entrenadores, padres y compañeros de equipo ejercen una influencia

considerable sobre la orientación motivacional que desarrolla progresivamente cada deportista: un clima que enfatiza sistemáticamente el esfuerzo, la mejora personal y el aprendizaje tiende a favorecer el desarrollo de una orientación motivacional más adaptativa y sostenible, mientras que un clima que enfatiza predominantemente el resultado, la comparación social y la victoria a toda costa tiende a favorecer patrones motivacionales más frágiles y vulnerables ante el fracaso o la adversidad competitiva (Deci & Ryan, 2000).

Resulta pertinente, finalmente, señalar que la motivación deportiva también se relaciona estrechamente con el fenómeno del compromiso deportivo a largo plazo, entendido como la decisión sostenida de un individuo de continuar participando en una disciplina deportiva a pesar de las dificultades, los costos y las alternativas disponibles. La investigación sobre abandono deportivo, particularmente relevante en poblaciones infantiles y juveniles, ha identificado la insatisfacción de las necesidades psicológicas básicas descritas por la teoría de la autodeterminación como uno de los factores más consistentemente asociados con el abandono prematuro de la práctica deportiva, lo que subraya la relevancia práctica de estos principios más allá del ámbito estrictamente competitivo (Deci & Ryan, 2000).

La investigación sobre motivación deportiva ha explorado, además, la relación entre la orientación motivacional del deportista y su respuesta emocional específica ante el error o el fracaso: los deportistas con una orientación motivacional predominantemente centrada en la tarea y en el dominio personal tienden a interpretar el fracaso como información útil para el aprendizaje y la mejora futura, mientras que aquellos con una orientación predominantemente centrada en el ego y en la comparación social tienden a experimentar el fracaso como una amenaza directa a su valía personal, lo que se asocia con respuestas emocionales considerablemente más intensas y disruptivas ante los reveses competitivos (Deci & Ryan, 2000).

La regulación emocional, definida por Gross (1998) como el conjunto de procesos mediante los cuales los individuos influyen sobre qué emociones experimentan, cuándo las experimentan, y cómo las experimentan y las expresan, constituye una capacidad fundamental para el desempeño deportivo,

ISBN
978-9942-595-14-0

particularmente en contextos competitivos caracterizados por una intensidad emocional considerable. El modelo procesual propuesto por Gross (1998) identifica cinco puntos distintos en los que puede intervenir la regulación emocional a lo largo del proceso generativo de una emoción: la selección de la situación, que implica aproximarse o evitar deliberadamente determinadas situaciones en función de su probable impacto emocional; la modificación de la situación, que implica alterar activamente las características de una situación ya presente para modular su impacto emocional; el despliegue atencional, que implica dirigir selectivamente la atención hacia o en contra de determinados aspectos de una situación; el cambio cognitivo, que implica reinterpretar el significado de una situación con el fin de modificar su impacto emocional; y la modulación de la respuesta, que implica influir directamente sobre las manifestaciones fisiológicas, expresivas o conductuales de una emoción ya generada.

Entre estas estrategias, la reevaluación cognitiva, perteneciente a la categoría del cambio cognitivo, ha sido identificada de manera consistente por la investigación como una de las estrategias de regulación emocional más efectivas y menos costosas desde el punto de vista de los recursos cognitivos que exige su aplicación: un deportista que reinterpreta la activación fisiológica que experimenta antes de una competencia importante el aumento de la frecuencia cardíaca, la tensión muscular no como un signo de temor o de incapacidad, sino como una señal funcional de preparación y de disposición energética para el esfuerzo que está por realizar, tiende a experimentar dicha activación de manera considerablemente menos disruptiva para su desempeño que un deportista que interpreta esos mismos signos fisiológicos como evidencia de que algo anda mal.

En contraste, la supresión expresiva, perteneciente a la categoría de la modulación de la respuesta, aunque puede resultar útil en determinados contextos sociales específicos, como evitar mostrar frustración visible ante un árbitro tras una decisión desfavorable, ha sido documentada como una estrategia de regulación emocional considerablemente menos eficaz para modificar la experiencia subjetiva de la emoción, y que además puede acarrear un costo cognitivo apreciable, al exigir del deportista un esfuerzo de control

constante que puede detraer recursos atencionales de la propia tarea competitiva que está ejecutando.

El desarrollo de la capacidad de regulación emocional en el deporte constituye, por tanto, un objetivo formativo relevante que debe abordarse de manera deliberada y sistemática, mediante estrategias como el entrenamiento en reevaluación cognitiva, la práctica de rutinas preestablecidas que anticipan y estructuran la respuesta del deportista ante situaciones emocionalmente intensas previamente identificadas, y la exposición progresiva y controlada a situaciones de creciente exigencia emocional dentro de un contexto de entrenamiento seguro y acompañado, que permita al deportista desarrollar y consolidar estrategias de regulación efectivas antes de enfrentarse a las condiciones de máxima exigencia emocional propias de la competencia real.

Resulta pertinente señalar, además, que la capacidad de regulación emocional no debe entenderse como una habilidad genérica y uniforme, sino que su eficacia depende de la selección apropiada de la estrategia específica en función de las características particulares de cada situación: mientras que la reevaluación cognitiva resulta especialmente útil ante situaciones que el deportista puede anticipar y sobre las que dispone de tiempo suficiente para reinterpretar su significado, la modulación de la respuesta y las técnicas de control atencional pueden resultar más apropiadas ante situaciones súbitas e imprevistas que exigen una regulación emocional prácticamente inmediata durante la propia ejecución de la tarea competitiva (Gross, 1998).

La investigación sobre regulación emocional en el deporte ha explorado, además, el papel de las denominadas estrategias de regulación interpersonal, mediante las cuales un deportista recurre deliberadamente al apoyo emocional de compañeros de equipo, entrenadores o familiares para regular su propio estado afectivo, en contraste con las estrategias de regulación intrapersonal revisadas anteriormente, que el individuo ejecuta de manera autónoma. Ambos tipos de estrategias resultan complementarios, y la evidencia disponible sugiere que los equipos deportivos que cultivan explícitamente una cultura de apoyo mutuo y de comunicación emocional abierta entre sus integrantes tienden a

ISBN
978-9942-595-14-0

mostrar una mayor capacidad colectiva de recuperación ante situaciones de adversidad competitiva compartida.

El estrés, entendido según el modelo transaccional propuesto por Lazarus y Folkman (1984) como el resultado de una relación particular entre el individuo y su entorno, valorada por dicho individuo como excedente de sus recursos disponibles y amenazante para su bienestar, constituye una experiencia prácticamente inevitable dentro del contexto de la competencia deportiva de alto nivel. Según este modelo transaccional, el estrés no depende exclusivamente de las características objetivas de una situación, sino de la valoración cognitiva que el individuo realiza tanto de las demandas planteadas por dicha situación la valoración primaria como de los recursos personales y contextuales que percibe disponibles para afrontarlas la valoración secundaria, lo que explica por qué una misma situación competitiva puede resultar altamente estresante para un deportista y relativamente manejable para otro con distintos recursos percibidos de afrontamiento.

La relación entre estrés, entendido en términos de activación o arousal fisiológico, y el rendimiento ha sido descrita clásicamente por la ley de Yerkes y Dodson (1908), formulada originalmente a partir de experimentos con animales, según la cual el desempeño en una tarea determinada tiende a mejorar a medida que se incrementa el nivel de activación fisiológica, hasta alcanzar un punto óptimo a partir del cual incrementos adicionales de dicha activación comienzan a deteriorar progresivamente el desempeño, dando lugar a una relación descrita gráficamente como una curva en forma de U invertida. Investigaciones posteriores han matizado esta ley original, señalando que el nivel óptimo de activación varía considerablemente en función de la complejidad de la tarea siendo menor para tareas cognitivamente complejas y mayor para tareas relativamente simples y de naturaleza predominantemente física y en función de las diferencias individuales entre distintos deportistas.

El modelo de las zonas individuales de funcionamiento óptimo propuesto por Hanin (2000), que se abordará con mayor detalle en el apartado siguiente sobre ansiedad competitiva, ha enriquecido considerablemente esta comprensión al proponer que cada deportista posee una zona idiosincrática de activación

emocional dentro de la cual su rendimiento tiende a ser óptimo, zona que puede diferir sustancialmente entre distintos individuos y que no necesariamente corresponde a un nivel de activación moderado o intermedio, como sugería la formulación clásica de la ley de Yerkes y Dodson, sino que puede situarse, para determinados deportistas, en niveles relativamente altos o relativamente bajos de activación, dependiendo de sus características individuales y de las demandas específicas de su disciplina deportiva.

El estrés crónico, distinto del estrés agudo y transitorio propio de la situación competitiva puntual, plantea además preocupaciones específicas relacionadas con el fenómeno del sobreentrenamiento y el síndrome de agotamiento deportivo, caracterizado por una exposición prolongada a demandas físicas y psicológicas que exceden sistemáticamente los recursos de afrontamiento disponibles del deportista, sin periodos de recuperación adecuados, lo que puede derivar en un deterioro sostenido tanto del rendimiento como del bienestar psicológico general del individuo. La prevención de este fenómeno exige una planificación cuidadosa de las cargas de entrenamiento y de competencia, así como una atención sistemática a los indicadores tempranos de fatiga psicológica acumulada.

Desde una perspectiva pedagógica, la gestión efectiva del estrés en el deporte exige, por tanto, tanto estrategias orientadas a modificar la valoración cognitiva que el deportista realiza de las situaciones competitivas exigentes fortaleciendo su percepción de recursos disponibles de afrontamiento, como estrategias orientadas a regular directamente su nivel de activación fisiológica hacia la zona individual de funcionamiento óptimo que resulta más favorable para su desempeño específico, en coherencia con los principios revisados en este y en el apartado siguiente de este trabajo.

Un aspecto adicional relevante en la relación entre estrés y rendimiento es la distinción entre los denominados estresores de desafío, percibidos por el deportista como demandas superables que ofrecen una oportunidad de crecimiento y de logro personal, y los estresores de amenaza, percibidos como demandas que exceden los recursos disponibles y que ponen en riesgo el bienestar o la reputación del individuo. La evidencia disponible sugiere que una

ISBN
978-9942-595-14-0

misma demanda objetiva una final de campeonato, por ejemplo puede valorarse como desafío o como amenaza en función de factores individuales y contextuales, y que esta valoración diferencial predice de manera consistente patrones fisiológicos y conductuales de respuesta marcadamente distintos, con la valoración de desafío asociada generalmente a un mejor desempeño competitivo (Lazarus & Folkman, 1984).

Conviene señalar, asimismo, que las estrategias de afrontamiento que emplea un deportista ante una fuente de estrés determinada pueden clasificarse, siguiendo la propuesta clásica de Lazarus y Folkman (1984), en estrategias centradas en el problema, orientadas a modificar directamente la fuente del estrés o la relación del individuo con dicha fuente, y estrategias centradas en la emoción, orientadas a regular la respuesta emocional generada por el estrés sin necesariamente modificar la situación que lo origina. Ambos tipos de estrategias pueden resultar adaptativos dependiendo de las características de la situación: las estrategias centradas en el problema tienden a resultar más efectivas ante situaciones que el deportista puede efectivamente controlar o modificar, mientras que las estrategias centradas en la emoción resultan más apropiadas ante situaciones que escapan a su control directo, como una decisión arbitral desfavorable o una lesión de un compañero de equipo.

Un aspecto adicional relevante es que la percepción de los recursos sociales de apoyo disponibles el respaldo del entrenador, de la familia o de los compañeros de equipo constituye un componente central de la valoración secundaria descrita por el modelo transaccional de Lazarus y Folkman (1984), de modo que un deportista que percibe contar con una red de apoyo sólida tiende a valorar las demandas competitivas exigentes como más manejables, y por tanto menos estresantes, que un deportista que percibe carecer de dicho respaldo, incluso ante demandas objetivamente similares, lo que subraya la relevancia del entorno social del deportista como factor protector frente al estrés competitivo.

La ansiedad competitiva constituye una de las respuestas emocionales más extensamente estudiadas dentro de la psicología del deporte, dada su elevada prevalencia y su impacto potencialmente significativo sobre el desempeño de los deportistas en situaciones de competencia. Martens, Vealey y Burton (1990), en

su formulación de la teoría multidimensional de la ansiedad, propusieron distinguir entre dos componentes relativamente independientes de la ansiedad competitiva: la ansiedad cognitiva, caracterizada por preocupaciones, expectativas negativas y dudas sobre el propio desempeño o sobre las consecuencias del resultado competitivo, y la ansiedad somática, caracterizada por la percepción de manifestaciones fisiológicas de activación, como el incremento de la frecuencia cardíaca, la tensión muscular o las sensaciones gastrointestinales asociadas al nerviosismo previo a la competencia.

Esta distinción resulta relevante porque ambos componentes de la ansiedad competitiva pueden relacionarse de manera diferenciada con el rendimiento deportivo: mientras que la ansiedad somática tiende a mostrar una relación curvilínea con el desempeño, similar a la descrita por la ley de Yerkes y Dodson, con niveles moderados de activación fisiológica asociados a un mejor rendimiento que niveles extremadamente bajos o extremadamente altos, la ansiedad cognitiva tiende a mostrar una relación negativa y relativamente más lineal con el desempeño, de modo que incluso niveles moderados de preocupación y duda sobre el propio desempeño pueden resultar perjudiciales para la ejecución deportiva, particularmente en tareas que exigen un alto grado de automatización y de control atencional externo.

El modelo de las zonas individuales de funcionamiento óptimo de Hanin (2000) ha aportado, además, una perspectiva idiográfica particularmente valiosa para la comprensión y el manejo práctico de la ansiedad competitiva, al proponer que, en lugar de buscar un nivel universal y estandarizado de ansiedad óptima aplicable a todos los deportistas por igual, resulta más productivo identificar, mediante la observación sistemática y el registro retrospectivo de las propias experiencias competitivas de cada deportista, su zona individual específica de activación emocional asociada históricamente con sus mejores desempeños, zona que puede variar considerablemente de un individuo a otro y que constituye, por tanto, un objetivo de regulación emocional personalizado más que un estándar genérico aplicable uniformemente.

Un fenómeno estrechamente vinculado con la ansiedad competitiva extrema es el denominado choking o colapso bajo presión, caracterizado por un deterioro

ISBN
978-9942-595-14-0

súbito y desproporcionado del rendimiento en situaciones de alta exigencia competitiva y de elevada carga emocional, frecuentemente atribuido, desde la perspectiva de las teorías de la atención explícita, a un retorno disfuncional de la atención consciente hacia componentes del movimiento que en condiciones habituales se ejecutan de manera automatizada, interfiriendo con dicha automatización y produciendo una ejecución motriz notablemente menos fluida y precisa que la característica del deportista en condiciones de menor presión emocional.

El manejo efectivo de la ansiedad competitiva en el entrenamiento deportivo exige, por tanto, la combinación de estrategias dirigidas específicamente a cada uno de sus componentes: técnicas de reestructuración cognitiva y de reevaluación, orientadas a atenuar la ansiedad cognitiva y las preocupaciones anticipatorias sobre el desempeño; técnicas de relajación y de control de la activación fisiológica, orientadas a regular la ansiedad somática hacia la zona individual de funcionamiento óptimo de cada deportista; y estrategias de entrenamiento atencional orientadas a preservar un foco externo y automatizado de la ejecución motriz incluso bajo condiciones de presión competitiva elevada, en coherencia con los principios revisados en la literatura sobre atención y aprendizaje motor.

Resulta pertinente, además, señalar que la ansiedad competitiva no debe entenderse de manera exclusivamente negativa o disfuncional: la teoría multidimensional de la ansiedad reconoce que la interpretación que el deportista realiza de sus propios síntomas de ansiedad como facilitadores o como debilitantes de su desempeño modula considerablemente el impacto final de dicha ansiedad sobre su rendimiento, de modo que dos deportistas con niveles objetivamente similares de ansiedad cognitiva y somática pueden experimentar consecuencias marcadamente distintas sobre su desempeño, dependiendo de si interpretan dichos síntomas como una señal de preparación funcional o como una amenaza incapacitante (Martens et al., 1990).

La investigación disponible ha documentado, además, diferencias interesantes en la manifestación de la ansiedad competitiva a lo largo del tiempo previo a una competencia: mientras que la ansiedad somática tiende a incrementarse de

manera relativamente abrupta en las horas inmediatamente previas al inicio de la competencia, y a disminuir con relativa rapidez una vez que esta comienza, la ansiedad cognitiva tiende a mostrar un patrón más estable y sostenido, apareciendo con mayor anticipación temporal y persistiendo, en algunos casos, incluso después de iniciada la competencia, lo que sugiere la conveniencia de aplicar estrategias de intervención específicamente calibradas a estos distintos patrones temporales de manifestación (Martens et al., 1990).

Resulta pertinente, además, destacar que la ansiedad competitiva no se manifiesta de manera uniforme en todos los deportistas de una misma disciplina, sino que presenta una variabilidad interindividual considerable, influida por factores de personalidad, por la historia previa de éxitos y fracasos competitivos del deportista, y por el significado particular que este atribuye al resultado de la competencia en cuestión. Reconocer esta variabilidad interindividual resulta fundamental para evitar la aplicación de estrategias genéricas y estandarizadas de manejo de la ansiedad, y para favorecer en cambio una aproximación individualizada que considere las características específicas de cada deportista.

La autoeficacia, concepto formulado de manera influyente por Bandura (1997) dentro de su teoría social cognitiva, se define como la creencia personal en la propia capacidad de organizar y ejecutar exitosamente los cursos de acción necesarios para alcanzar un resultado deseado en un dominio específico de la actividad humana. A diferencia de la autoestima, que constituye una valoración global y relativamente estable de la propia valía personal, la autoeficacia posee un carácter marcadamente específico de dominio y de situación: un deportista puede poseer una autoeficacia elevada para la ejecución de determinados gestos técnicos de su disciplina, y simultáneamente una autoeficacia considerablemente menor para afrontar situaciones de presión mediática o para desempeñar funciones de liderazgo dentro de su equipo.

Bandura (1997) identificó cuatro fuentes principales a partir de las cuales se construye y se modifica la autoeficacia de un individuo: las experiencias de dominio, referidas al éxito o al fracaso experimentado personalmente en intentos previos de ejecutar la tarea correspondiente, y consideradas la fuente más potente e influyente de todas; las experiencias vicarias, referidas a la

ISBN
978-9942-595-14-0

observación del desempeño de otras personas, particularmente aquellas percibidas como similares al propio individuo, ejecutando exitosamente la tarea en cuestión; la persuasión verbal, referida a los mensajes de aliento, confianza o retroalimentación positiva recibidos de fuentes creíbles y significativas, como un entrenador respetado; y los estados fisiológicos y emocionales, referidos a la interpretación que el individuo realiza de sus propias señales corporales de activación, ansiedad o fatiga en relación con su capacidad percibida para afrontar la tarea.

En el contexto deportivo, la autoconfianza, entendida como una aplicación específica del constructo más general de autoeficacia al dominio del rendimiento competitivo, ha sido consistentemente identificada por la investigación en psicología del deporte como uno de los predictores psicológicos más robustos del éxito deportivo, tanto en el plano del rendimiento objetivo como en el del bienestar subjetivo experimentado por el deportista durante su participación competitiva. Un deportista con una autoconfianza sólidamente construida tiende a interpretar los desafíos competitivos como oportunidades manejables más que como amenazas insuperables, a persistir con mayor determinación ante las dificultades y los reveses transitorios, y a recuperarse con mayor rapidez emocional tras experiencias de fracaso o de bajo rendimiento.

El desarrollo deliberado de la autoconfianza y de la autoeficacia dentro del proceso formativo deportivo puede abordarse, en coherencia con las cuatro fuentes identificadas por Bandura (1997), mediante estrategias como la estructuración cuidadosa de experiencias de dominio progresivas y alcanzables que permitan al deportista acumular éxitos genuinos y significativos; el uso deliberado del modelado, exponiendo al deportista a la observación de compañeros o referentes cuyo éxito percibido resulte creíble y alcanzable desde su propia perspectiva; el empleo de una retroalimentación verbal específica, creíble y genuinamente informativa, más que genérica o excesivamente halagadora; y el entrenamiento en estrategias de reinterpretación de las propias señales fisiológicas de activación, en coherencia con los principios de regulación emocional revisados anteriormente en este trabajo.

Resulta pertinente añadir que la construcción de la autoconfianza debe entenderse como un proceso gradual y acumulativo, más que como el resultado de una intervención puntual o de un discurso motivacional aislado: la evidencia disponible sugiere que los intentos de fortalecer artificialmente la confianza de un deportista mediante mensajes de aliento genérico, sin respaldo en experiencias de dominio genuinas, tienden a producir efectos escasos y de corta duración, e incluso pueden resultar contraproducentes si el deportista percibe una discrepancia evidente entre el discurso motivacional recibido y su propia valoración realista de su nivel de preparación, lo que subraya la importancia de fundamentar el desarrollo de la autoconfianza en logros efectivamente alcanzados y honestamente reconocidos.

Resulta importante señalar, finalmente, que la relación entre autoconfianza y rendimiento no es unidireccional: así como una autoconfianza sólida favorece el desempeño deportivo, el desempeño exitoso retroalimenta y fortalece, a su vez, la autoconfianza del deportista, configurando un ciclo potencialmente virtuoso que los entrenadores pueden favorecer deliberadamente mediante el diseño cuidadoso de experiencias de entrenamiento que maximicen la probabilidad de que el deportista experimente, de manera genuina y no artificialmente inflada, sensaciones auténticas de dominio y de progreso a lo largo de su proceso formativo.

Conviene, finalmente, distinguir entre la autoconfianza específica de una tarea determinada y la autoconfianza rasgo o disposicional, entendida como una tendencia relativamente estable del deportista a percibirse a sí mismo como capaz de afrontar exitosamente una amplia variedad de desafíos deportivos. Si bien ambas dimensiones están relacionadas, la investigación sugiere que la autoconfianza específica de tarea, construida a partir de experiencias de dominio concretas y recientes, predice con mayor precisión el desempeño en una situación particular que la autoconfianza rasgo más general, lo que subraya la importancia de que las estrategias de intervención psicológica se orienten prioritariamente al fortalecimiento de la autoconfianza específica de las tareas y situaciones competitivas concretas que el deportista deberá afrontar (Bandura, 1997).

ISBN
978-9942-595-14-0

La investigación sobre autoeficacia colectiva, extensión del concepto original de Bandura (1997) al ámbito de los equipos deportivos, ha documentado, además, que la creencia compartida por los miembros de un equipo en la capacidad conjunta de este para organizar y ejecutar exitosamente los cursos de acción necesarios para alcanzar un resultado colectivo determinado constituye un predictor relevante del desempeño grupal, complementario aunque no completamente reductible a la suma de las autoeficacias individuales de sus integrantes, lo que sugiere que las estrategias de fortalecimiento de la confianza en el deporte de conjunto deben atender tanto a la dimensión individual como a la dimensión colectiva de este constructo psicológico.

La relación entre los estados emocionales del deportista y su capacidad para aprender nuevas habilidades motrices constituye un campo de investigación relativamente reciente, que ha comenzado a integrar de manera sistemática los hallazgos de la neurociencia afectiva revisados en el primer apartado de este trabajo con los principios clásicos del aprendizaje motor descritos por la literatura especializada en comportamiento motor. Como se ha señalado, los estados emocionales del aprendiz modulan de manera directa la disponibilidad de recursos atencionales y de memoria de trabajo necesarios para el procesamiento de la información relevante para el aprendizaje, lo que explica por qué un mismo programa de entrenamiento técnico puede producir resultados de aprendizaje sustancialmente distintos dependiendo del estado emocional predominante durante su ejecución.

Estados emocionales de ansiedad o de temor excesivo tienden a estrechar el foco atencional del aprendiz de manera disfuncional, dirigiendo los recursos cognitivos disponibles preferentemente hacia la propia amenaza percibida el temor al error, la preocupación por la evaluación de terceros en detrimento del procesamiento de la información específicamente relevante para la ejecución y el perfeccionamiento del movimiento que se pretende aprender. Este fenómeno resulta particularmente relevante durante las etapas iniciales del aprendizaje de una habilidad motriz, en las cuales el aprendiz ya debe destinar una proporción considerable de sus recursos atencionales limitados al control consciente de la

ejecución, de modo que la interferencia adicional generada por la ansiedad puede resultar especialmente perjudicial en comparación con su efecto sobre habilidades ya automatizadas.

En contraste, estados emocionales caracterizados por un compromiso positivo, una activación moderada y una percepción de seguridad psicológica tienden a favorecer un procesamiento más profundo y elaborado de la información relevante para el aprendizaje, en coherencia con los principios revisados en la literatura sobre neurodidáctica aplicada al deporte respecto a la relevancia de ambientes emocionalmente seguros para el aprendizaje motor. El concepto de flujo, propuesto por Csikszentmihalyi (1990) para describir un estado psicológico caracterizado por una absorción completa en la tarea, una pérdida de la autoconciencia excesiva y una sensación de control fluido sobre la propia ejecución, ha sido identificado en numerosos estudios sobre rendimiento deportivo experto como un estado emocional particularmente favorable tanto para el rendimiento óptimo como para la consolidación duradera del aprendizaje motor.

El error, componente inevitable y necesario del proceso de aprendizaje motor, adquiere también una dimensión emocional relevante que condiciona su valor pedagógico: cuando el error se experimenta dentro de un ambiente emocionalmente amenazante, caracterizado por la crítica severa o la humillación pública, tiende a generar una respuesta de evitación defensiva que dificulta el procesamiento reflexivo necesario para extraer del error la información correctiva relevante para el aprendizaje; en cambio, cuando el error se experimenta dentro de un ambiente emocionalmente seguro, en el que se concibe explícitamente como una parte constitutiva y valiosa del proceso formativo, tiende a favorecer un procesamiento más abierto y productivo de la información correctiva disponible, en coherencia con los principios revisados en la literatura sobre neurodidáctica y metodologías activas de enseñanza deportiva.

Resulta pertinente, además, señalar que el estado emocional del aprendiz no solo influye sobre la calidad del aprendizaje durante la fase de adquisición de una habilidad motriz, sino también sobre los procesos de consolidación que ocurren posteriormente, incluyendo aquellos que tienen lugar durante el sueño.

ISBN
978-9942-595-14-0

La investigación sobre consolidación de la memoria ha sugerido que las experiencias emocionalmente significativas, tanto positivas como negativas, tienden a beneficiarse de un procesamiento de consolidación privilegiado durante el sueño, en comparación con experiencias emocionalmente neutras, lo que podría explicar por qué las sesiones de entrenamiento particularmente intensas desde el punto de vista emocional dejan trazas de memoria especialmente duraderas, para bien o para mal, dependiendo de la valencia predominante de dicha experiencia.

Desde una perspectiva pedagógica, estos hallazgos respaldan la importancia de que los entrenadores y docentes de educación física atiendan deliberadamente al clima emocional en el que se desarrollan sus sesiones de enseñanza, no como un aspecto meramente accesorio o de bienestar general, sino como una condición que incide directamente sobre la calidad neurobiológica del aprendizaje motor que efectivamente logran sus estudiantes y deportistas, en coherencia con la comprensión integrada de la cognición y la emoción revisada a lo largo de este trabajo.

Un aspecto adicional relevante para comprender la relación entre estados emocionales y aprendizaje motor es la influencia del estado emocional del propio entrenador o docente sobre el clima emocional general de la sesión de entrenamiento: la investigación sobre contagio emocional ha documentado que los estados afectivos de una figura de autoridad significativa, como un entrenador, tienden a transmitirse, al menos parcialmente, hacia los deportistas o estudiantes bajo su cargo, lo que sugiere que la regulación emocional del propio entrenador constituye un componente relevante, aunque frecuentemente desatendido, de la gestión del clima emocional óptimo para el aprendizaje motor de sus deportistas.

Resulta relevante, además, señalar que la relación entre estados emocionales y aprendizaje motor presenta variaciones importantes a lo largo del desarrollo, dado que los niños y adolescentes, cuyas estructuras prefrontales responsables de la regulación emocional voluntaria se encuentran todavía en pleno proceso de maduración, tienden a mostrar una vulnerabilidad emocional comparativamente mayor ante situaciones de evaluación, corrección pública o

comparación social, lo que exige de los docentes de educación física y entrenadores de categorías formativas una atención particularmente cuidadosa al clima emocional de sus sesiones, ajustando sus estrategias de retroalimentación y de manejo del error a las características madurativas específicas de esta población (Diamond, 2013).

La disposición psicológica del deportista, entendida como el estado mental y emocional que precede y acompaña a su desempeño competitivo, puede optimizarse deliberadamente mediante la aplicación sistemática de estrategias derivadas de los principios revisados a lo largo de este trabajo. Una primera estrategia relevante consiste en el desarrollo de rutinas preestablecidas de preparación precompetitiva, que estructuran de manera predecible y controlable la secuencia de acciones físicas, cognitivas y emocionales que el deportista ejecuta en los momentos previos a la competencia, contribuyendo a regular su nivel de activación hacia su zona individual de funcionamiento óptimo y a reducir la incertidumbre asociada a dicho periodo, particularmente sensible desde el punto de vista emocional.

Una segunda estrategia consiste en el entrenamiento sistemático de habilidades de regulación emocional, particularmente de la reevaluación cognitiva revisada en el apartado correspondiente, mediante ejercicios que enseñen explícitamente al deportista a reinterpretar sus propias señales fisiológicas de activación como indicadores funcionales de preparación, más que como signos de amenaza o de incapacidad, así como técnicas de respiración y de relajación progresiva que permiten regular directamente el componente somático de la ansiedad competitiva hacia niveles más favorables para el desempeño específico de cada individuo.

Cabe destacar, en relación con esta segunda estrategia, que la eficacia de las técnicas de respiración y relajación aplicadas al contexto deportivo depende en gran medida de su práctica regular fuera de los momentos de máxima presión competitiva, dado que las habilidades de autorregulación fisiológica, al igual que cualquier otra habilidad, requieren de un periodo de aprendizaje y de automatización antes de poder aplicarse eficazmente bajo condiciones de estrés elevado; introducir estas técnicas por primera vez inmediatamente antes de una

ISBN
978-9942-595-14-0

competencia de alta exigencia, sin experiencia previa acumulada en su aplicación, rara vez produce los beneficios que sí pueden observarse cuando dichas técnicas se han incorporado de manera rutinaria y practicada al repertorio habitual de preparación del deportista.

Una tercera estrategia, estrechamente vinculada con los principios de autoeficacia revisados anteriormente, consiste en la estructuración deliberada de experiencias de entrenamiento que maximicen la probabilidad de que el deportista experimente sensaciones genuinas de dominio y de progreso, mediante la calibración cuidadosa de la dificultad de las tareas propuestas en coherencia con el marco del punto de desafío óptimo revisado en la literatura sobre metodologías activas de enseñanza deportiva, evitando tanto la frustración derivada de exigencias inalcanzables como la escasa satisfacción derivada de logros excesivamente fáciles y poco significativos.

Resulta pertinente añadir que esta tercera estrategia se beneficia particularmente de un registro sistemático y visible del progreso del deportista a lo largo del tiempo, mediante herramientas como bitácoras de entrenamiento, registros de marcas personales o metas de proceso claramente definidas, que permiten al deportista constatar de manera objetiva su propia evolución incluso en periodos en los cuales el resultado competitivo inmediato no resulta tan favorable como se esperaba, contrarrestando así la tendencia natural a evaluar el propio progreso exclusivamente en función del resultado de la última competencia disputada, evaluación que resulta considerablemente más volátil y menos informativa sobre la trayectoria de desarrollo real del deportista.

Una cuarta estrategia consiste en el fomento deliberado de un clima motivacional que favorezca la satisfacción de las necesidades psicológicas básicas de autonomía, competencia y relación descritas por la teoría de la autodeterminación, mediante prácticas concretas como ofrecer al deportista oportunidades genuinas de toma de decisiones dentro del proceso de entrenamiento, comunicar retroalimentación centrada en el progreso individual más que en la comparación constante con otros compañeros, y cultivar relaciones de confianza y de apoyo mutuo dentro del equipo y con el propio cuerpo técnico.

Una quinta estrategia relevante consiste en la incorporación de la imaginería motora y mental, revisada en la literatura sobre metodologías activas de enseñanza deportiva, no solo como herramienta para el perfeccionamiento técnico, sino también como estrategia específica de preparación emocional, permitiendo al deportista ensayar mentalmente, de manera controlada y segura, su respuesta emocional ante situaciones competitivas de alta exigencia, familiarizándose anticipadamente con la activación fisiológica y las demandas atencionales asociadas a dichas situaciones antes de enfrentarlas efectivamente en la competencia real.

Finalmente, una sexta estrategia, de carácter transversal a todas las anteriores, consiste en el desarrollo de una cultura de equipo y de un estilo de liderazgo por parte del entrenador que reconozca explícitamente la legitimidad y la relevancia de la dimensión emocional del rendimiento deportivo, evitando tanto la negación o minimización de dicha dimensión bajo la premisa errónea de que el buen deportista simplemente debe aprender a suprimir sus emociones como su patologización excesiva, y promoviendo en cambio una comprensión matizada y científicamente fundamentada de la emoción como un componente activo, manejable y potencialmente favorable del propio proceso de preparación y competencia deportiva.

Resulta pertinente, finalmente, señalar que la efectividad de estas estrategias depende en gran medida de su práctica sistemática y anticipada, y no de su aplicación improvisada exclusivamente en los momentos de mayor exigencia competitiva: al igual que las habilidades técnicas y tácticas, las habilidades psicológicas de regulación emocional, manejo del estrés y fortalecimiento de la autoconfianza requieren de un entrenamiento deliberado, progresivo y sostenido en el tiempo para consolidarse como recursos verdaderamente disponibles y automatizados bajo presión, lo que respalda la integración de estas estrategias como un componente regular y planificado del proceso de entrenamiento deportivo, y no como una intervención de emergencia reservada exclusivamente para los momentos previos a competencias de particular importancia.

Cabe destacar, finalmente, que la implementación efectiva de este conjunto de estrategias exige con frecuencia la colaboración estrecha entre el entrenador, el

propio deportista y, cuando resulte pertinente y esté disponible, un profesional especializado en psicología del deporte, dado que el desarrollo de habilidades psicológicas complejas como la regulación emocional avanzada o el manejo de trastornos de ansiedad clínicamente significativos puede exceder, en determinados casos, el alcance apropiado de la intervención que un entrenador, por capacitado que se encuentre en principios generales de psicología deportiva, puede o debe ofrecer, lo que subraya la importancia de que los programas de formación deportiva contemplen protocolos claros de derivación hacia profesionales especializados cuando la situación de un deportista particular así lo requiera.

METODOLOGÍAS
INNOVADORAS
DE ENTRENAMIENTO

ISBN
978-9942-595-14-0

Capítulo 9. Nuevos modelos de entrenamiento desde la neurodidáctica

El entrenamiento deportivo contemporáneo ha experimentado una transformación considerable al incorporar metodologías que integran deliberadamente la dimensión cognitiva y perceptivo-decisional junto con la preparación física y técnica tradicional. El presente trabajo desarrolla, mediante una revisión narrativa sustentada en literatura especializada, ocho ejes temáticos estrechamente relacionados entre sí: el entrenamiento cognitivo-motor, el entrenamiento perceptivo-decisional, el entrenamiento basado en situaciones reales, el aprendizaje diferencial, el entrenamiento con variabilidad, el entrenamiento basado en restricciones, la simulación y la toma de decisiones, y la integración de capacidades cognitivas y físicas. Se parte de los enfoques ecológicos y dinámicos del comportamiento motor, del marco del punto de desafío óptimo y de la teoría del aprendizaje diferencial, para luego analizar la evidencia acumulada sobre pericia perceptivo-cognitiva, diseño de tareas representativas y manipulación de restricciones como estrategia pedagógica central del entrenamiento contemporáneo.

El análisis evidencia que las metodologías de entrenamiento más avanzadas comparten un principio común: la búsqueda de una integración funcional y no artificialmente fragmentada entre los componentes físicos, técnicos, perceptivos y decisionales del rendimiento deportivo, mediante tareas de práctica que reproducen fielmente la complejidad y la variabilidad de la competencia real. Se concluye que la apropiación de estos principios por parte de los entrenadores contemporáneos constituye una vía privilegiada para optimizar la calidad, la transferencia y la sostenibilidad del aprendizaje deportivo.

El diseño del entrenamiento deportivo contemporáneo ha experimentado una transformación considerable en las últimas décadas, impulsada por la convergencia de la investigación en comportamiento motor, la psicología cognitiva del deporte y los enfoques ecológicos y dinámicos de la ciencia del movimiento humano. Frente a los modelos tradicionales de entrenamiento, centrados predominantemente en la repetición técnica descontextualizada y en el desarrollo separado de las capacidades físicas, técnicas, tácticas y psicológicas del deportista, ha emergido un conjunto de metodologías que

buscan deliberadamente integrar estas dimensiones dentro de tareas de práctica representativas de la complejidad real de la competencia deportiva (Araújo et al., 2006).

Este cambio de paradigma responde, en gran medida, al reconocimiento de que el rendimiento deportivo experto no puede reducirse a la suma de componentes físicos, técnicos y cognitivos desarrollados de manera aislada, sino que constituye una propiedad emergente de la interacción dinámica entre el deportista, la tarea y el entorno específico en el que dicha tarea se ejecuta (Davids et al., 2008). Comprender este principio resulta indispensable para los entrenadores contemporáneos, que deben diseñar procesos de entrenamiento capaces de desarrollar de manera integrada las capacidades perceptivas, decisionales, técnicas y físicas que efectivamente se requieren durante la competencia real, evitando la fragmentación artificial que ha caracterizado tradicionalmente a buena parte de la práctica pedagógica deportiva.

El entrenamiento cognitivo-motor se refiere al diseño deliberado de tareas de práctica que integran explícitamente demandas cognitivas atención, memoria de trabajo, flexibilidad cognitiva, control inhibitorio junto con la exigencia técnica y física propia de la ejecución motriz, con el propósito de desarrollar de manera simultánea e interrelacionada ambas dimensiones del rendimiento deportivo. A diferencia del entrenamiento técnico convencional, centrado predominantemente en la repetición de gestos motores aislados de su contexto cognitivo y decisional, el entrenamiento cognitivo-motor reproduce deliberadamente la complejidad de procesamiento simultáneo que caracteriza a la competencia deportiva real.

Pesce (2012) ha argumentado de manera influyente que, para maximizar los beneficios cognitivos del entrenamiento deportivo, conviene desplazar el foco de atención desde las características meramente cuantitativas del ejercicio físico su intensidad, su duración, su frecuencia hacia sus características cualitativas, entre ellas la novedad, la complejidad coordinativa y el grado de compromiso mental que exige la tarea propuesta. Esta perspectiva ha respaldado el diseño de programas de entrenamiento que incorporan deliberadamente juegos y ejercicios cognitivamente exigentes, en contraposición a la actividad física de

ISBN
978-9942-595-14-0

naturaleza puramente repetitiva y predecible, cuyas demandas cognitivas resultan mínimas una vez que el patrón motor se ha automatizado.

La evidencia disponible sugiere que los programas de entrenamiento cognitivo-motor producen beneficios más consistentes sobre el desarrollo de las funciones ejecutivas que la práctica deportiva convencional centrada exclusivamente en el perfeccionamiento técnico-táctico, particularmente en poblaciones infantiles y juveniles, cuyas estructuras prefrontales se encuentran todavía en pleno proceso de maduración (Diamond & Lee, 2011). Este hallazgo tiene implicaciones relevantes para el diseño curricular de la educación física escolar y de los programas de formación deportiva de base, en la medida en que sugiere que la incorporación deliberada de componentes cognitivos dentro de las tareas motrices no compite con el desarrollo técnico, sino que puede complementarlo y enriquecerlo.

En la práctica del entrenamiento deportivo, el entrenamiento cognitivo-motor se materializa en tareas como el desarrollo de habilidades técnicas mientras se procesan simultáneamente señales visuales o auditivas que exigen respuestas decisionales específicas, ejercicios que incorporan cambios de regla impredecibles durante su ejecución, exigiendo al deportista suprimir respuestas previamente automatizadas y adoptar respuestas alternativas, o tareas de doble tarea que combinan deliberadamente la ejecución motriz con demandas de memoria de trabajo, en coherencia con los principios revisados en la literatura especializada sobre funciones ejecutivas y rendimiento deportivo.

El diseño efectivo de este tipo de entrenamiento exige, además, calibrar cuidadosamente el nivel de exigencia cognitiva y motriz de cada tarea al nivel de pericia específico de cada deportista, evitando tanto una demanda excesivamente simple que no represente un desafío cognitivo genuino, como una demanda excesivamente compleja que sature su capacidad de procesamiento y termine interfiriendo tanto con el aprendizaje cognitivo como con el aprendizaje motor pretendidos, en coherencia con el marco del punto de desafío óptimo revisado en apartados posteriores de este trabajo.

Cabe señalar, además, que el entrenamiento cognitivo-motor no debe entenderse como una simple adición de complejidad cognitiva genérica a

cualquier tarea motriz, sino que exige una selección cuidadosa de las demandas cognitivas específicas que efectivamente resultan relevantes para el desempeño en la disciplina deportiva practicada, evitando la incorporación de exigencias cognitivas artificiales y descontextualizadas que, aunque puedan resultar entretenidas o novedosas, no guarden una relación funcional clara con las demandas perceptivas y decisionales reales de la competencia específica para la cual se está preparando al deportista.

Resulta relevante, además, considerar la progresión pedagógica adecuada para la introducción del entrenamiento cognitivo-motor a lo largo de las distintas etapas formativas del deportista: mientras que en las etapas iniciales conviene priorizar la comprensión básica del gesto técnico antes de incorporar demandas cognitivas adicionales significativas, en las etapas de especialización y de alto rendimiento la integración cognitivo-motora debe intensificarse progresivamente, dado que en dichas etapas el componente técnico se encuentra generalmente automatizado y el margen de mejora del rendimiento depende en mayor medida del perfeccionamiento de la dimensión decisional y cognitiva del desempeño deportivo.

Un aspecto complementario relevante es la necesidad de que los entrenadores dispongan de herramientas de evaluación apropiadas para monitorear el desarrollo cognitivo-motor de sus deportistas a lo largo del tiempo, más allá de las evaluaciones técnicas y físicas tradicionalmente empleadas, lo que ha impulsado el desarrollo de baterías de evaluación específicas del deporte que combinan la medición de indicadores físicos y técnicos con la medición de indicadores cognitivos y decisionales dentro de tareas representativas, ofreciendo una imagen más completa e integrada del desarrollo del deportista que la que resultaría de evaluar estos componentes de manera separada y descontextualizada.

El entrenamiento perceptivo-decisional se orienta específicamente al desarrollo de la capacidad del deportista para extraer información relevante del entorno competitivo, anticipar el desarrollo probable de una situación de juego y seleccionar respuestas tácticas apropiadas, capacidades que, como se ha documentado extensamente en la literatura sobre pericia deportiva, distinguen

ISBN
978-9942-595-14-0

de manera consistente a los deportistas expertos de los novatos (Mann et al., 2007). A diferencia del entrenamiento técnico tradicional, que tiende a asumir que la capacidad decisional se desarrollará de manera incidental como subproducto de la acumulación de experiencia competitiva general, el entrenamiento perceptivo-decisional aborda estas capacidades de manera deliberada y sistemática.

Una de las estrategias centrales de este tipo de entrenamiento consiste en el uso de video y de situaciones de juego simuladas, que permiten exponer al deportista, de manera controlada y repetible, a un número considerable de situaciones representativas de su disciplina, entrenando específicamente su capacidad de identificar, entre múltiples fuentes de información visual disponibles, aquellas que resultan más predictivas del desarrollo posterior de una jugada, y de seleccionar con rapidez y precisión la respuesta táctica más apropiada ante dicha información (Williams & Ward, 2007). Estas herramientas permiten, además, documentar con precisión los patrones de búsqueda visual del deportista mediante tecnologías de seguimiento ocular, identificando patrones poco eficientes y diseñando intervenciones específicamente dirigidas a modificarlos.

El entrenamiento perceptivo-decisional efectivo exige, sin embargo, superar las limitaciones de los enfoques puramente descontextualizados que emplean estímulos visuales estáticos o secuencias de video desconectadas de la exigencia motriz y temporal real de la competencia: la investigación disponible sugiere que la transferencia de las mejoras logradas mediante entrenamiento perceptivo-decisional hacia el desempeño competitivo real resulta considerablemente mayor cuando dicho entrenamiento incorpora, en la medida de lo posible, las demandas motrices y temporales propias de la situación real, y no se limita a la mera identificación o clasificación pasiva de estímulos visuales presentados en una pantalla.

Un ejemplo ilustrativo de esta consideración es la diferencia documentada entre protocolos de entrenamiento perceptivo-decisional que exigen al deportista únicamente identificar verbalmente o señalar la respuesta táctica correcta ante

una situación presentada en video, y protocolos que exigen, además, ejecutar físicamente dicha respuesta dentro de una ventana temporal representativa de las exigencias reales de la disciplina: si bien ambos formatos pueden aportar beneficios sobre el reconocimiento y la velocidad de procesamiento perceptivo, la evidencia disponible sugiere que el segundo formato, al preservar el acoplamiento natural entre percepción y acción, tiende a producir una transferencia considerablemente mayor hacia el desempeño decisional efectivo durante la competencia real.

Esta consideración ha impulsado el desarrollo de metodologías de entrenamiento perceptivo-decisional que combinan la presentación de situaciones representativas con la exigencia de una respuesta motriz efectiva y temporalmente restringida, en lugar de una simple respuesta verbal o de selección entre opciones, buscando preservar el acoplamiento natural entre percepción y acción que caracteriza al desempeño deportivo real y que, como se ha señalado en la literatura sobre dinámica ecológica del comportamiento motor, constituye un componente fundamental de la pericia perceptivo-decisional genuinamente transferible a la competencia.

Finalmente, el entrenamiento perceptivo-decisional debe considerar la especificidad posicional y de rol dentro de una misma disciplina deportiva, dado que distintas posiciones tácticas exigen priorizar tipos de información parcialmente diferentes: un programa de entrenamiento perceptivo-decisional genuinamente efectivo debe, por tanto, diseñarse en función de las demandas perceptivas y decisionales específicas del rol particular que desempeña cada deportista dentro de su equipo, más que aplicar un protocolo genérico e indiferenciado para todos los integrantes de una misma disciplina.

El entrenamiento perceptivo-decisional se beneficia, además, de la incorporación de una retroalimentación específica sobre la calidad del proceso decisional del deportista, y no exclusivamente sobre el resultado final de la acción ejecutada: un deportista puede haber tomado una decisión táctica apropiada dada la información disponible en el momento, aunque el resultado final de dicha decisión no haya sido favorable debido a factores fuera de su control, distinción que resulta pedagógicamente relevante para evitar que el deportista aprenda, de

ISBN
978-9942-595-14-0

manera errónea, a evaluar la calidad de sus decisiones exclusivamente en función del resultado obtenido (Williams & Ward, 2007).

Un componente adicional del entrenamiento perceptivo-decisional es el desarrollo deliberado del denominado conocimiento anticipatorio situacional, es decir, la capacidad del deportista para reconocer rápidamente patrones de juego recurrentes y anticipar, a partir de dicho reconocimiento, las opciones tácticas más probables antes de que la situación se desarrolle por completo, capacidad que se construye a lo largo de una exposición extensa y sistemática a situaciones representativas de la disciplina practicada, y que puede potenciarse deliberadamente mediante sesiones específicas de análisis y discusión táctica que complementen la práctica física propiamente dicha.

La investigación sobre entrenamiento perceptivo-decisional ha explorado, además, la utilidad de instrucciones que orientan explícitamente la atención del deportista hacia determinadas fuentes de información relevante durante las primeras etapas de su formación, estrategia que se contrapone parcialmente al principio de descubrimiento autónomo revisado en la literatura sobre metodologías activas de enseñanza, pero que puede resultar pedagógicamente útil para acelerar el proceso de aprendizaje perceptivo en aprendices que todavía no han desarrollado, por sí mismos, una capacidad de búsqueda visual eficiente, siempre que dicha orientación se retire progresivamente a medida que el deportista avanza hacia niveles superiores de pericia.

El entrenamiento basado en situaciones reales, también denominado entrenamiento mediante tareas representativas, constituye un principio metodológico central de los enfoques ecológicos del comportamiento motor, según el cual la calidad y la transferencia del aprendizaje deportivo dependen directamente del grado en que las condiciones de práctica reproducen fielmente las fuentes de información perceptiva, las restricciones temporales y espaciales, y las demandas decisionales propias de la competencia real (Araújo et al., 2006). Este principio se opone a la práctica de habilidades y decisiones en condiciones artificialmente simplificadas o descontextualizadas, que, aunque puedan facilitar

la ejecución inmediata durante el entrenamiento, tienden a generar aprendizajes de escasa aplicabilidad en la situación real de competencia.

El diseño de tareas representativas exige del entrenador un análisis cuidadoso de las fuentes de información y de las restricciones que efectivamente operan durante la competencia real de la disciplina practicada, con el fin de reproducirlas, en la medida de lo posible, dentro de las condiciones de entrenamiento, incluso cuando ello implique renunciar a ciertas simplificaciones pedagógicas tradicionalmente empleadas para facilitar la enseñanza inicial de una habilidad. Por ejemplo, entrenar la finalización en fútbol exclusivamente mediante disparos a una portería vacía, sin la presencia de un guardameta ni de defensores, aunque pedagógicamente más sencillo, ofrece una representatividad considerablemente menor que entrenar dicha finalización dentro de situaciones de juego que reproduzcan la presión defensiva y la necesidad de decisión rápida propias de la competencia real.

La representatividad de una tarea de entrenamiento no debe confundirse, sin embargo, con su complejidad total o con la reproducción exacta e indiferenciada del juego completo: el diseño de tareas representativas efectivas exige, más bien, identificar cuidadosamente cuáles son los elementos informacionales y decisionales críticos de una situación específica, y preservarlos deliberadamente dentro de una tarea de práctica que puede, por lo demás, simplificarse o modificarse en otros aspectos menos críticos para el aprendizaje específico que se pretende lograr en un momento determinado del proceso formativo (Renshaw et al., 2010).

El entrenamiento basado en situaciones reales se articula, además, estrechamente con el principio de especificidad de la práctica revisado en la literatura sobre aprendizaje motor: cuanto mayor es la similitud estructural entre las condiciones de práctica y las condiciones de competencia real, mayor es, en términos generales, la probabilidad de que el aprendizaje logrado durante el entrenamiento resulte efectivamente transferible al desempeño competitivo, principio que ha respaldado el desplazamiento progresivo, en la pedagogía deportiva contemporánea, desde metodologías centradas en ejercicios analíticos

ISBN
978-9942-595-14-0

y descontextualizados hacia metodologías centradas en juegos modificados y situaciones representativas de la competencia real.

Un desafío pedagógico relevante en la implementación de esta metodología consiste en calibrar adecuadamente el nivel de complejidad de las situaciones representativas propuestas al nivel de pericia específico de cada deportista, dado que una situación excesivamente compleja para un principiante puede resultar contraproducente si este carece todavía de los recursos perceptivos, decisionales y técnicos básicos necesarios para procesarla y responder a ella de manera funcional, lo que exige una progresión cuidadosa en la introducción de la complejidad representativa a lo largo del proceso formativo del deportista.

Cabe destacar, además, que el entrenamiento basado en situaciones reales no se limita a la simple recreación de un partido completo dentro de las sesiones de entrenamiento, sino que puede materializarse en una amplia variedad de formatos de juegos modificados y reducidos, cuidadosamente diseñados para preservar los elementos informacionales críticos de una situación táctica específica dentro de un contexto de práctica más manejable pedagógicamente, lo que permite al entrenador incrementar considerablemente la frecuencia de exposición del deportista a dicha situación específica en comparación con la frecuencia con que esta ocurriría naturalmente dentro del desarrollo de un partido completo.

Resulta pertinente añadir que la construcción de tareas representativas exige, en muchos casos, un proceso de validación empírica que confirme que dichas tareas efectivamente reproducen los patrones de comportamiento perceptivo-motor observados en la competencia real, mediante la comparación de indicadores como los patrones de búsqueda visual, la carga de trabajo físico o la variabilidad de las decisiones tomadas por los deportistas durante la tarea de entrenamiento frente a los mismos indicadores registrados durante la competencia efectiva, proceso de validación que, aunque exigente desde el punto de vista metodológico, resulta cada vez más accesible gracias a las herramientas tecnológicas de registro y análisis del movimiento actualmente disponibles.

Un aspecto adicional relevante para el diseño de tareas representativas es la consideración del componente emocional y motivacional de la situación real que se pretende recrear, dado que buena parte de las decisiones y acciones que ocurren durante la competencia deportiva se producen bajo condiciones de activación emocional considerable, asociadas a la presión del resultado, la presencia de público o la rivalidad directa con un oponente, condiciones que rara vez logran reproducirse por completo dentro de un entorno de entrenamiento, lo que constituye una limitación reconocida de esta metodología y que exige complementarse con estrategias específicas de preparación psicológica para la competencia, revisadas en la literatura sobre disposición psicológica del deportista.

El aprendizaje diferencial, teoría propuesta originalmente por Schöllhorn (1999) y desarrollada posteriormente en colaboración con otros investigadores del comportamiento motor, constituye una propuesta metodológica que se distingue de los enfoques tradicionales de variabilidad de la práctica al proponer la introducción de fluctuaciones continuas y estocásticas en los parámetros de movimiento de cada repetición, de tal manera que ningún intento de práctica resulte idéntico a otro, incluso dentro de la ejecución repetida de una misma habilidad motriz nominal (Schöllhorn et al., 2012).

A diferencia de la práctica variable clásica, que introduce un número relativamente limitado de variantes discretas y previamente definidas de una tarea distintas distancias, distintos objetivos, distintos implementos, el aprendizaje diferencial propone una variabilidad considerablemente más amplia y de naturaleza continua, que abarca prácticamente la totalidad del espacio de posibles ejecuciones de un movimiento, con el propósito explícito de evitar que el sistema nervioso central converja hacia un único patrón fijo de ejecución, favoreciendo en cambio un proceso de autoorganización que permita a cada individuo descubrir su propia solución motriz óptima e idiosincrática para la tarea planteada.

El fundamento teórico del aprendizaje diferencial se apoya en los principios de la dinámica de sistemas y de la autoorganización, según los cuales la introducción deliberada de fluctuaciones o ruido dentro de un sistema complejo

ISBN
978-9942-595-14-0

puede facilitar, en determinadas condiciones, la emergencia de patrones de coordinación más adaptativos y funcionales que los que resultarían de un proceso de corrección progresiva hacia un modelo técnico ideal y predeterminado, principio que contrasta notablemente con la lógica subyacente a los enfoques tradicionales de enseñanza técnica basados en la corrección constante del error hacia un patrón de ejecución considerado correcto.

La evidencia empírica acumulada sobre el aprendizaje diferencial, aunque todavía objeto de debate metodológico y teórico dentro de la comunidad científica especializada, ha documentado en diversos estudios experimentales mejoras superiores en la adquisición y la retención de habilidades motrices específicas mediante protocolos de práctica diferencial, en comparación con protocolos de práctica repetitiva tradicional, particularmente cuando se evalúa el desempeño tras periodos de retención relativamente prolongados, lo que sugiere que, al igual que ocurre con la interferencia contextual revisada en la literatura clásica sobre variabilidad de la práctica, los beneficios del aprendizaje diferencial se manifiestan más claramente en la retención y la transferencia que en el desempeño inmediato durante la fase de adquisición.

Desde una perspectiva pedagógica práctica, la aplicación del aprendizaje diferencial en el entrenamiento deportivo se traduce en el diseño de series de ejercicios en los que se modifican deliberadamente, de manera continua e impredecible, múltiples parámetros del movimiento la posición corporal, la velocidad, la trayectoria, el punto de contacto evitando la repetición idéntica de cualquier intento particular, estrategia que puede resultar especialmente valiosa en las etapas de perfeccionamiento de deportistas que ya han superado la fase inicial de comprensión básica de un movimiento y que buscan desarrollar una capacidad de adaptación funcional más flexible y resiliente ante la variabilidad inherente a las condiciones reales de competencia.

Resulta pertinente señalar que el aprendizaje diferencial ha encontrado aplicaciones relevantes no solo en el perfeccionamiento técnico de deportistas ya avanzados, sino también en contextos de rehabilitación tras lesiones deportivas, en los cuales la introducción de fluctuaciones controladas en el movimiento puede favorecer la exploración de patrones de compensación

funcional y la recuperación de una amplia variedad de soluciones motrices, en lugar de restringir prematuramente al deportista en recuperación a un único patrón de movimiento considerado seguro, lo que ha impulsado la incorporación progresiva de estos principios dentro de protocolos de fisioterapia deportiva contemporáneos (Schöllhorn et al., 2012).

Conviene señalar, además, que la implementación del aprendizaje diferencial exige del entrenador una tolerancia pedagógica considerable ante la aparente falta de consistencia en la ejecución del deportista durante las etapas iniciales de su aplicación, dado que la ausencia deliberada de un modelo técnico fijo hacia el cual corregir puede generar, en un primer momento, cierta incertidumbre tanto en el deportista como en el propio entrenador acostumbrado a metodologías más tradicionales, lo que subraya la importancia de una comprensión clara de los fundamentos teóricos de este enfoque antes de su implementación práctica.

Un aspecto interesante del debate teórico en torno al aprendizaje diferencial es su relación con la teoría de la interferencia contextual revisada en el apartado sobre entrenamiento con variabilidad: si bien ambos enfoques comparten la premisa de que la variabilidad de la práctica favorece el aprendizaje, difieren en la magnitud y en la naturaleza de dicha variabilidad propuesta, así como en sus fundamentos teóricos subyacentes, lo que ha generado un debate académico activo sobre si ambos enfoques constituyen manifestaciones de un mismo principio general o si representan, por el contrario, mecanismos de aprendizaje genuinamente distintos que ameritan un tratamiento teórico diferenciado (Schöllhorn et al., 2012).

El entrenamiento con variabilidad, entendido en un sentido más amplio que el aprendizaje diferencial revisado en el apartado anterior, engloba el conjunto de estrategias metodológicas que introducen deliberadamente variaciones en las condiciones de práctica de una habilidad motriz, con fundamento en la evidencia clásica sobre interferencia contextual y esquemas motores generalizados revisada extensamente en la literatura sobre aprendizaje motor. Shea y Morgan (1979) demostraron de manera influyente que la práctica organizada de manera aleatoria, que alterna distintas variantes de una tarea en lugar de practicarlas en bloques separados, produce un desempeño aparentemente inferior durante la

ISBN
978-9942-595-14-0

fase de adquisición, pero conduce a niveles superiores de retención y transferencia una vez transcurrido un periodo sin práctica.

Este fenómeno, replicado en numerosos estudios posteriores con distintas habilidades motrices y poblaciones, ha respaldado la incorporación sistemática de la variabilidad de la práctica como principio metodológico central del entrenamiento deportivo contemporáneo, en contraposición a las metodologías tradicionales que privilegiaban la repetición masiva y consecutiva de un único patrón de movimiento hasta su presunta consolidación completa antes de introducir cualquier variación adicional. La teoría del esquema motor de Schmidt, revisada extensamente en la literatura clásica del comportamiento motor, ofrece una explicación complementaria de este fenómeno, al proponer que la práctica de múltiples variantes de una misma clase de movimiento favorece la construcción de esquemas motores generalizables, capaces de producir respuestas motrices novedosas ante situaciones no ensayadas previamente de forma idéntica (Schmidt & Lee, 2020).

Conviene distinguir, dentro del entrenamiento con variabilidad, entre la variabilidad estructural de la práctica, referida a la organización temporal de la secuencia de intentos bloques constantes frente a series aleatorias, y la variabilidad de la tarea propiamente dicha, referida a la magnitud de las diferencias entre las distintas versiones de la habilidad que se practican, dimensiones que pueden manipularse de manera relativamente independiente en el diseño de un programa de entrenamiento, y cuya combinación adecuada, ajustada al nivel de pericia del deportista, constituye una herramienta pedagógica poderosa para optimizar tanto la adquisición inicial como la retención y la transferencia a largo plazo de las habilidades motrices.

La aplicación del entrenamiento con variabilidad debe calibrarse cuidadosamente en función de la etapa de aprendizaje del deportista, en coherencia con el marco del punto de desafío óptimo propuesto por Guadagnoli y Lee (2004): durante las fases iniciales del aprendizaje, cuando el deportista aún no ha comprendido la estructura básica del movimiento, un cierto grado de constancia relativa puede resultar necesario para consolidar un patrón fundamental de ejecución, mientras que la introducción progresiva de

variabilidad resulta cada vez más beneficiosa a medida que dicho patrón se estabiliza y el deportista avanza hacia etapas más avanzadas de su proceso formativo.

En síntesis, el entrenamiento con variabilidad, ya sea en su formulación clásica basada en la interferencia contextual y los esquemas motores, o en su formulación más radical propuesta por el aprendizaje diferencial, comparte un principio pedagógico común y ampliamente respaldado por la evidencia disponible: la exposición deliberada del deportista a una diversidad de condiciones de ejecución favorece, a mediano y largo plazo, un aprendizaje más robusto, flexible y transferible que la repetición constante y predecible de un único patrón de movimiento invariable.

Finalmente, conviene señalar que la decisión sobre qué grado y qué tipo específico de variabilidad incorporar en un programa de entrenamiento determinado debe fundamentarse en un diagnóstico cuidadoso de las necesidades particulares de cada deportista y de cada habilidad, más que en la aplicación mecánica y uniforme de un principio general de variabilidad a la totalidad del proceso formativo; un entrenador que comprende profundamente los fundamentos teóricos revisados en este apartado se encuentra en mejor posición para tomar estas decisiones de manera informada y contextualizada, en lugar de adoptar acríticamente recomendaciones genéricas sobre la conveniencia de la variabilidad sin considerar las particularidades del caso específico que tiene ante sí.

Resulta pertinente señalar, finalmente, que el entrenamiento con variabilidad no debe aplicarse de manera indiscriminada a todos los componentes del entrenamiento deportivo por igual, sino que su intensidad y su naturaleza deben ajustarse a las características específicas de cada habilidad y de cada momento del proceso formativo: habilidades cuya ejecución exige una consistencia biomecánica particularmente elevada, como determinados gestos de precisión, pueden beneficiarse de niveles de variabilidad más moderados que habilidades cuya naturaleza abierta exige, por el contrario, una capacidad de adaptación considerablemente mayor ante condiciones siempre cambiantes.

ISBN
978-9942-595-14-0

Conviene señalar, además, que el entrenamiento con variabilidad debe combinarse cuidadosamente con una retroalimentación apropiadamente espaciada, en coherencia con la hipótesis de la guía revisada en la literatura sobre retroalimentación y aprendizaje motor, dado que una retroalimentación excesivamente frecuente durante la práctica variable puede contrarrestar parcialmente los beneficios de dicha variabilidad, al ofrecer al deportista una guía externa constante que reduce la necesidad de que este desarrolle sus propios mecanismos internos de ajuste y adaptación ante las condiciones cambiantes de la tarea.

El entrenamiento basado en restricciones se fundamenta en el modelo de restricciones propuesto por Newell (1986), según el cual el patrón de movimiento que emerge en cada momento resulta de la interacción dinámica entre tres categorías de restricciones: las restricciones del organismo, referidas a las características estructurales y funcionales propias del deportista, entre ellas su antropometría, su nivel de condición física y sus experiencias motrices previas; las restricciones de la tarea, referidas a las reglas, los objetivos y los implementos específicos de la actividad; y las restricciones del entorno, referidas a factores como la superficie de juego, las condiciones climáticas y la presencia de oponentes o compañeros.

Desde esta perspectiva, el papel del entrenador no consiste primordialmente en prescribir de manera exhaustiva y detallada la forma exacta que debe adoptar el movimiento del deportista, sino en manipular deliberadamente las restricciones de la tarea y del entorno con el fin de que el propio deportista explore activamente el espacio de posibilidades de movimiento y descubra, a través de dicha exploración guiada, patrones funcionales y eficaces para resolver el problema motor planteado, principio que conecta directamente el entrenamiento basado en restricciones con las metodologías de resolución de problemas motores y aprendizaje por descubrimiento revisadas en la literatura especializada sobre metodologías activas de enseñanza deportiva (Davids et al., 2008).

La manipulación de restricciones de tarea constituye, en la práctica cotidiana del entrenamiento deportivo, una de las herramientas pedagógicas más versátiles y ampliamente empleadas dentro de este enfoque: modificar el tamaño del espacio

de juego, el número de participantes, las reglas de puntuación o las características del implemento empleado permite al entrenador dirigir sutilmente, sin necesidad de instrucción verbal explícita y prescriptiva, la atención y la exploración del deportista hacia determinadas soluciones motrices o tácticas, preservando al mismo tiempo el carácter genuinamente exploratorio y autodirigido del proceso de aprendizaje.

Un ejemplo ilustrativo de esta estrategia es la reducción deliberada del espacio disponible en un juego de posesión de balón, restricción que tiende a incrementar la frecuencia de las situaciones de presión defensiva y, en consecuencia, a favorecer el desarrollo de una toma de decisiones más rápida y de una ejecución técnica bajo presión temporal considerablemente mayor que la que se generaría espontáneamente en un espacio de juego más amplio, sin que sea necesario que el entrenador instruya explícitamente al deportista sobre cómo debe comportarse ante dicha presión.

El entrenamiento basado en restricciones exige del entrenador una comprensión profunda de la relación funcional entre cada restricción manipulada y el comportamiento motor que dicha manipulación tiende a favorecer, así como una observación cuidadosa y continua de las respuestas efectivamente emergentes de cada deportista ante las restricciones propuestas, con el fin de ajustar dinámicamente el diseño de las tareas en función de los objetivos pedagógicos específicos de cada momento del proceso formativo, en lugar de aplicar de manera mecánica y descontextualizada un catálogo fijo de manipulaciones de restricciones sin considerar las respuestas particulares de cada grupo o individuo.

Resulta pertinente señalar, además, que la manipulación de restricciones no se limita a las restricciones de tarea y de entorno, sino que también puede orientarse deliberadamente hacia las restricciones del propio organismo del deportista, por ejemplo, mediante la introducción temporal de restricciones sensoriales como la reducción de la visión periférica o de restricciones biomecánicas específicas como la limitación temporal del uso de una extremidad dominante, estrategias que exigen al sistema nervioso central explorar y desarrollar soluciones de movimiento alternativas, potencialmente más robustas

y adaptables que aquellas desarrolladas bajo condiciones de práctica no restringidas (Newell, 1986).

Resulta pertinente destacar, finalmente, que el entrenamiento basado en restricciones ha encontrado una aplicación particularmente extendida en el ámbito de los deportes de conjunto, en los cuales la manipulación de restricciones numéricas jugar en superioridad o inferioridad numérica, por ejemplo constituye una de las estrategias pedagógicas más ampliamente utilizadas por los entrenadores contemporáneos para desarrollar de manera simultánea la comprensión táctica, la toma de decisiones y la ejecución técnica bajo presión, sin necesidad de recurrir a instrucciones verbales explícitas y prescriptivas sobre el comportamiento táctico esperado.

La simulación, entendida como la recreación controlada de situaciones representativas de la competencia real mediante herramientas tecnológicas, escenarios físicos diseñados específicamente o combinaciones de ambos, constituye una estrategia metodológica cada vez más relevante para el entrenamiento de la toma de decisiones deportivas, particularmente en disciplinas de naturaleza abierta en las cuales dicha capacidad decisional resulta determinante para el rendimiento competitivo. Las tecnologías de realidad virtual y aumentada, en particular, han ampliado considerablemente las posibilidades de la simulación deportiva, al permitir generar entornos de práctica altamente representativos, controlables y repetibles, en los cuales el deportista puede enfrentarse a un número considerable de situaciones decisionales específicas sin las limitaciones logísticas y de seguridad que impone la recreación de dichas situaciones en el entorno físico real.

La investigación sobre el empleo de la simulación en el entrenamiento deportivo ha documentado beneficios relevantes sobre el desarrollo de la capacidad anticipatoria y decisional de los deportistas, particularmente cuando dichas simulaciones logran preservar un grado suficiente de representatividad perceptiva y decisional respecto de la situación real que pretenden recrear, en coherencia con los principios revisados en el apartado sobre entrenamiento basado en situaciones reales. Sin embargo, la evidencia disponible también advierte sobre los límites de la transferencia de los aprendizajes logrados

mediante simulaciones que carecen de una fidelidad suficiente respecto a las demandas motrices, temporales y contextuales de la competencia real, particularmente cuando dichas simulaciones se limitan a presentar información visual estática o de baja resolución perceptiva.

Un componente relevante del entrenamiento de la toma de decisiones mediante simulación es la incorporación deliberada de presión temporal y de incertidumbre en las tareas propuestas, condiciones que caracterizan de manera constante a la toma de decisiones deportiva real y que, si se omiten durante el entrenamiento, pueden producir aprendizajes de escasa aplicabilidad competitiva. Las simulaciones que exigen al deportista decidir y ejecutar una respuesta dentro de ventanas temporales representativas de las exigencias reales de su disciplina, en lugar de permitir un tiempo de deliberación artificialmente extendido, favorecen el desarrollo de patrones decisionales más directamente transferibles al desempeño competitivo real (Araújo et al., 2006).

La simulación resulta, además, particularmente valiosa para el entrenamiento de decisiones tácticas de baja frecuencia pero de alta relevancia competitiva, como determinadas jugadas ensayadas o situaciones excepcionales de final de partido, que difícilmente pueden practicarse con la frecuencia necesaria para su consolidación mediante la sola competencia real, dada su relativa infrecuencia dentro del desarrollo habitual de un encuentro, pero que pueden recrearse de manera repetida y controlada mediante herramientas de simulación específicamente diseñadas para dicho propósito.

Desde una perspectiva pedagógica, la incorporación de la simulación al entrenamiento deportivo debe entenderse como un complemento valioso, y no como un sustituto, de la práctica basada en situaciones reales revisada anteriormente en este trabajo, dado que, pese a los avances tecnológicos disponibles, ninguna simulación logra replicar por completo la totalidad de las demandas físicas, emocionales y contextuales de la competencia deportiva real, lo que exige a los entrenadores integrar cuidadosamente ambas estrategias dentro de un programa de entrenamiento coherente y progresivamente más exigente.

ISBN
978-9942-595-14-0

Cabe destacar, finalmente, que la investigación sobre simulación deportiva se encuentra todavía en un momento de rápido desarrollo tecnológico, lo que exige de los entrenadores y profesionales de las ciencias del deporte una actitud de actualización permanente y de evaluación crítica de las nuevas herramientas disponibles, distinguiendo aquellas que ofrecen una representatividad genuina y un respaldo empírico sólido de aquellas que, pese a su atractivo tecnológico, no han demostrado todavía beneficios claros y transferibles sobre el desempeño competitivo real de los deportistas que las emplean.

Un uso adicional relevante de la simulación es su aplicación en la evaluación y en la detección de talentos deportivos, dado que permite exponer a un número considerable de deportistas jóvenes a un conjunto estandarizado y controlado de situaciones decisionales representativas, generando datos comparables sobre su capacidad perceptivo-decisional que pueden complementar, de manera más objetiva y sistemática, las evaluaciones tradicionalmente basadas en la observación cualitativa del desempeño de estos deportistas durante partidos o entrenamientos convencionales.

Cabe agregar que el costo decreciente de las tecnologías de simulación en años recientes ha ampliado considerablemente el acceso de clubes y academias deportivas de recursos moderados a estas herramientas, que hasta hace poco tiempo se encontraban disponibles casi exclusivamente para programas de alto rendimiento con financiamiento considerable, lo que abre nuevas posibilidades para su incorporación en contextos formativos de base, incluyendo escenarios educativos y deportivos propios de países en vías de desarrollo, siempre que se acompañe de la capacitación pedagógica adecuada para su uso efectivo por parte de los entrenadores responsables de su implementación.

La integración de capacidades cognitivas y físicas constituye el principio metodológico que articula y sintetiza las siete estrategias revisadas anteriormente en este trabajo, al postular que el rendimiento deportivo experto no puede desarrollarse eficazmente mediante el entrenamiento separado y descontextualizado de sus componentes físicos, técnicos y cognitivos, sino que exige un abordaje pedagógico que reconozca y reproduzca deliberadamente la

interdependencia funcional entre estas dimensiones, tal como efectivamente operan durante la competencia deportiva real.

Esta perspectiva integradora encuentra respaldo tanto en la evidencia revisada sobre pericia perceptivo-cognitiva, que ha documentado que las diferencias más consistentes entre deportistas expertos y novatos residen precisamente en la eficiencia con que estos integran la información perceptiva, el procesamiento decisional y la ejecución motriz dentro de una respuesta unificada y oportuna (Mann et al., 2007), como en la evidencia revisada sobre neuroplasticidad y entrenamiento cognitivo-motor combinado, que ha mostrado que la estimulación conjunta de demandas físicas y cognitivas produce beneficios superiores a la estimulación aislada de cada una de estas dimensiones por separado (Diamond, 2013).

La aplicación práctica de este principio exige a los entrenadores contemporáneos superar la tradicional separación curricular entre la preparación física, la preparación técnica, la preparación táctica y la preparación psicológica del deportista, entendidas frecuentemente como componentes independientes del proceso formativo, abordados en momentos y con metodologías separadas, y avanzar hacia el diseño de sesiones de entrenamiento integradas, en las cuales cada tarea propuesta contribuye simultáneamente al desarrollo de múltiples dimensiones del rendimiento, en coherencia con los principios de entrenamiento basado en restricciones, situaciones representativas y simulación revisados en los apartados anteriores de este trabajo.

Un desafío pedagógico relevante para la implementación efectiva de esta integración es la evaluación del progreso del deportista, dado que los instrumentos de evaluación tradicionales, centrados frecuentemente en indicadores físicos o técnicos aislados, resultan insuficientes para capturar la calidad del desempeño integrado que efectivamente se pretende desarrollar mediante estas metodologías; ello ha impulsado el desarrollo de instrumentos de evaluación más ecológicos, basados en el análisis del desempeño dentro de tareas representativas completas, que permiten valorar de manera más fiel la capacidad efectiva del deportista para integrar sus recursos físicos, técnicos, perceptivos y decisionales ante las demandas reales de su disciplina.

ISBN
978-9942-595-14-0

Resulta pertinente añadir que la transición hacia este modelo integrado de entrenamiento suele encontrar resistencias institucionales y culturales dentro de organizaciones deportivas habituadas a esquemas de trabajo tradicionalmente compartimentados, en los cuales distintos especialistas preparador físico, entrenador técnico, psicólogo deportivo trabajan con frecuencia de manera relativamente independiente y escasamente coordinada entre sí; superar esta fragmentación institucional exige no solo la apropiación conceptual de los principios revisados en este trabajo por parte de cada especialista individual, sino también el desarrollo de estructuras de trabajo colaborativo y de comunicación fluida entre los distintos profesionales que participan del proceso formativo integral del deportista.

En definitiva, la integración de capacidades cognitivas y físicas no debe entenderse como una metodología adicional y separada de las siete estrategias revisadas anteriormente en este trabajo, sino como el principio pedagógico transversal que las articula y que orienta su aplicación conjunta y coherente: el entrenamiento cognitivo-motor, el entrenamiento perceptivo-decisional, el entrenamiento basado en situaciones reales, el aprendizaje diferencial, el entrenamiento con variabilidad, el entrenamiento basado en restricciones y la simulación constituyen, en última instancia, distintas expresiones concretas de un mismo propósito pedagógico fundamental: el desarrollo de un deportista capaz de desplegar, de manera integrada, fluida y adaptativa, la totalidad de sus recursos físicos y cognitivos ante las demandas siempre cambiantes de la competencia deportiva real.

Cabe cerrar este apartado señalando que la investigación futura sobre integración cognitivo-física en el deporte se beneficiaría considerablemente de estudios longitudinales que sigan el desarrollo de deportistas jóvenes sometidos a programas de entrenamiento genuinamente integrados a lo largo de varios años de formación, en comparación con deportistas sometidos a programas de entrenamiento más tradicionalmente fragmentados, con el fin de documentar con mayor precisión la magnitud y la naturaleza específica de los beneficios acumulativos que estas metodologías contemporáneas pueden ofrecer al desarrollo deportivo a largo plazo, más allá de los efectos de corto y mediano

plazo que ha documentado predominantemente la investigación disponible hasta el momento.

Un aspecto adicional relevante para esta integración es la necesidad de repensar la organización temporal de las sesiones de entrenamiento, tradicionalmente estructuradas en bloques secuenciales y separados dedicados respectivamente al calentamiento, la técnica, la táctica, la condición física y la preparación psicológica: un diseño de sesión coherente con el principio de integración cognitiva y física tiende, en cambio, a disolver estas fronteras artificiales, incorporando desde el inicio de la sesión tareas que combinan simultáneamente varios de estos componentes, de modo que el propio calentamiento, por ejemplo, pueda diseñarse ya como una tarea perceptivo-decisional representativa, en lugar de reducirse a una secuencia de ejercicios físicos genéricos y descontextualizados (Davids et al., 2008).

Cabe agregar, finalmente, que la formación de los propios entrenadores constituye un factor determinante para la implementación exitosa de este enfoque integrador, dado que exige de estos profesionales una comprensión considerablemente más amplia y multidisciplinar que la que tradicionalmente ha caracterizado a la formación técnico-deportiva especializada, integrando conocimientos provenientes del comportamiento motor, la psicología cognitiva, la pedagogía y las ciencias del entrenamiento físico, lo que subraya la importancia de que los programas de formación de entrenadores deportivos incorporen de manera explícita y actualizada estos fundamentos interdisciplinarios dentro de su currículo formativo.

ISBN
978-9942-595-14-0

Capítulo 10. Tecnología, neurodidáctica y entrenamiento deportivo

La incorporación de tecnologías digitales al entrenamiento deportivo y al aprendizaje motor constituye uno de los desarrollos más significativos de las ciencias del deporte contemporáneas. El presente trabajo desarrolla, mediante una revisión narrativa sustentada en literatura especializada, ocho ejes temáticos estrechamente relacionados entre sí: las tecnologías aplicadas al aprendizaje motor, la realidad virtual y la realidad aumentada, el videoanálisis y el feedback visual, las plataformas digitales de entrenamiento, el biofeedback y el neurofeedback, la inteligencia artificial aplicada al entrenamiento, los sistemas de seguimiento del rendimiento, y las perspectivas futuras de la tecnología deportiva. Se parte de los principios clásicos de la retroalimentación aumentada y del aprendizaje motor, para luego analizar la evidencia acumulada sobre realidad virtual, sistemas de posicionamiento global, biofeedback neurocognitivo e inteligencia artificial aplicada a la predicción del rendimiento y del riesgo de lesión. El análisis evidencia que estas tecnologías no sustituyen los principios pedagógicos fundamentales del aprendizaje motor y del entrenamiento deportivo revisados en la literatura especializada, sino que amplían considerablemente las posibilidades prácticas de su aplicación, siempre que se empleen de manera crítica, contextualizada y subordinada a un criterio pedagógico sólido. Se concluye que la formación de entrenadores contemporáneos debe incorporar una alfabetización tecnológica que les permita evaluar, seleccionar e integrar estas herramientas de manera efectiva dentro de sus procesos formativos.

La incorporación de tecnologías digitales al ámbito del deporte y del entrenamiento motor ha experimentado una aceleración considerable en las últimas dos décadas, impulsada por la miniaturización de los sensores, el abaratamiento del cómputo y la proliferación de dispositivos portátiles capaces de registrar, con un nivel de detalle antes inalcanzable, múltiples parámetros fisiológicos, biomecánicos y de posicionamiento del deportista durante el entrenamiento y la competencia real. Esta transformación tecnológica ha modificado sustancialmente la manera en que los entrenadores diseñan, supervisan y ajustan sus programas de entrenamiento, y ha abierto nuevas posibilidades para la investigación en comportamiento motor y ciencias del deporte.

Comprender el potencial y los límites de estas tecnologías resulta indispensable para los profesionales de la educación física, el entrenamiento deportivo y las ciencias del movimiento humano, quienes deben ser capaces de evaluar críticamente la evidencia disponible sobre cada herramienta tecnológica específica, distinguiendo aquellas que ofrecen beneficios pedagógicos genuinos y respaldados científicamente de aquellas que, pese a su atractivo comercial, carecen todavía de un respaldo empírico sólido (Claudino et al., 2019). Esta capacidad crítica resulta particularmente relevante en un contexto de rápida proliferación comercial de aplicaciones, dispositivos y plataformas que se presentan a los entrenadores como soluciones tecnológicas de eficacia garantizada, sin que dicha eficacia haya sido siempre validada mediante investigación rigurosa.

Esta necesidad de discernimiento crítico se ve reforzada, además, por la asimetría de información que con frecuencia caracteriza la relación entre los fabricantes y proveedores de tecnología deportiva y los entrenadores que constituyen su mercado objetivo: mientras que los primeros cuentan habitualmente con recursos considerables para el diseño, el marketing y la promoción de sus productos, los segundos no siempre disponen del tiempo, la formación técnica o el acceso a la literatura científica especializada necesarios para evaluar de manera independiente y rigurosa las afirmaciones de eficacia que acompañan a dichos productos, lo que subraya la relevancia de que las instituciones de formación deportiva incorporen explícitamente, dentro de sus programas curriculares, una alfabetización crítica en tecnología aplicada al deporte.

Las tecnologías aplicadas al aprendizaje motor comprenden un conjunto amplio y heterogéneo de herramientas digitales y electrónicas diseñadas para registrar, analizar y retroalimentar distintos aspectos del desempeño motor y deportivo, con el propósito de optimizar los procesos de enseñanza y entrenamiento revisados en la literatura clásica del comportamiento motor. Estas tecnologías no constituyen un desarrollo completamente nuevo dentro de la pedagogía deportiva, sino la evolución y la sofisticación progresiva de instrumentos que, en sus formas más rudimentarias, han acompañado al entrenamiento deportivo desde hace varias décadas, como ilustra la Figura 1.

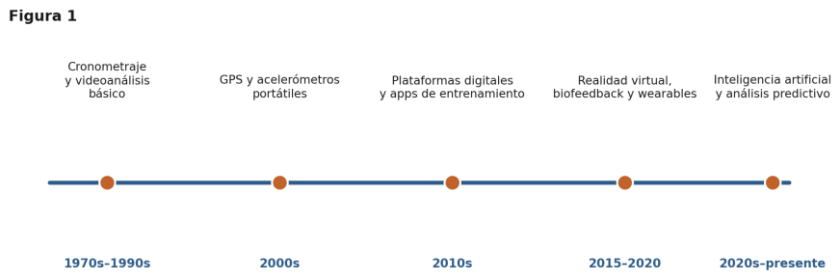


Figura 1

Evolución de las tecnologías aplicadas al entrenamiento deportivo

Nota. Elaboración propia.

La evolución mostrada en la Figura 1 revela una tendencia general hacia la miniaturización, la portabilidad y la capacidad de procesamiento en tiempo real de los dispositivos disponibles, tendencia que ha permitido trasladar progresivamente la recolección de datos desde el laboratorio especializado hacia el propio entorno de entrenamiento y competencia, sin interferir significativamente con la ejecución natural del deportista (Cummins et al., 2013). Esta capacidad de registro no intrusivo constituye, precisamente, una de las contribuciones más relevantes de la tecnología contemporánea a las ciencias del deporte, al permitir el estudio del comportamiento motor en condiciones ecológicamente válidas, en lugar de restringirlo a las condiciones artificiales del laboratorio tradicional.

Desde la perspectiva del aprendizaje motor revisada en la literatura clásica del comportamiento motor, las tecnologías aplicadas a este campo cumplen, fundamentalmente, una función de ampliación y de refinamiento de los mecanismos de retroalimentación aumentada disponibles para el aprendiz, permitiendo suministrar información más precisa, más oportuna y más específica sobre distintos aspectos de la ejecución motriz que aquella que el propio sistema sensorial del deportista o la observación cualitativa del entrenador podrían ofrecer por sí solos (Schmidt & Lee, 2020).

Resulta importante señalar, sin embargo, que la incorporación de tecnología al proceso de enseñanza no garantiza, por sí misma, una mejora del aprendizaje motor: como se ha señalado extensamente en la literatura sobre

retroalimentación y aprendizaje motor, un exceso de información, por precisa y sofisticada que resulte tecnológicamente, puede resultar contraproducente si genera una dependencia excesiva del deportista hacia dicha información externa, interfiriendo con el desarrollo de sus propios mecanismos internos de detección y corrección de errores. La tecnología debe entenderse, por tanto, como una herramienta al servicio de los principios pedagógicos revisados en la literatura especializada, y no como un sustituto de dichos principios.

Un aspecto relevante que atraviesa la totalidad de las tecnologías revisadas en este trabajo es la necesidad de que su selección e implementación respondan a un diagnóstico pedagógico previo y específico de las necesidades del deportista o del equipo, y no a la simple disponibilidad comercial o al atractivo novedoso de una herramienta determinada; un entrenador que comprende con claridad qué aspecto específico del rendimiento pretende desarrollar o evaluar se encuentra en mejor posición para seleccionar la tecnología más apropiada para dicho propósito, en comparación con un entrenador que adopta tecnología de manera indiscriminada sin una hipótesis pedagógica clara que justifique su incorporación.

Este principio de subordinación de la tecnología a un diagnóstico pedagógico previo resulta, en definitiva, el hilo conductor que atraviesa la totalidad de los ejes temáticos desarrollados a lo largo de este trabajo, y constituye la premisa fundamental desde la cual deben interpretarse las siete tecnologías específicas que se revisan en los apartados siguientes.

Como se desarrollará con mayor detalle a lo largo de este trabajo, cada una de las tecnologías revisadas presenta fortalezas y limitaciones específicas que exigen un análisis particularizado, pero todas ellas comparten esta exigencia común de subordinación a un propósito pedagógico claramente definido por el entrenador.

La realidad virtual y la realidad aumentada constituyen dos tecnologías inmersivas relacionadas, aunque conceptualmente distintas, cuya aplicación al entrenamiento deportivo ha experimentado un crecimiento considerable en la última década. Mientras que la realidad virtual sustituye por completo la percepción del entorno real del usuario por un entorno generado digitalmente, la

realidad aumentada superpone información digital adicional sobre la percepción del entorno real, sin sustituirla por completo, distinción que determina aplicaciones pedagógicas parcialmente diferentes para cada tecnología, como ilustra la Figura 2.

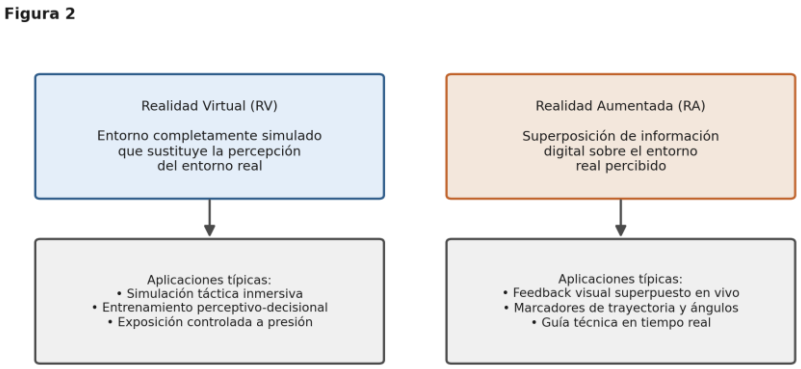


Figura 2

Comparación esquemática entre realidad virtual y realidad aumentada aplicadas al entrenamiento deportivo

Nota. Elaboración propia con base en los principios descritos por Neumann et al. (2018).

Neumann et al. (2018), en una revisión sistemática de la aplicación de la realidad virtual interactiva al deporte, documentaron que esta tecnología ha mostrado efectos beneficiosos sobre una diversidad de resultados relacionados con el rendimiento, la fisiología y los aspectos psicológicos del deportista, particularmente en disciplinas de naturaleza cíclica y relativamente predecible, como el ciclismo, el remo o el golf, aunque los propios autores señalaron la necesidad de ampliar la investigación hacia deportes de naturaleza más abierta y dependiente de la interacción táctica con otros participantes.

La realidad virtual resulta particularmente valiosa para el entrenamiento perceptivo-decisional revisado en la literatura especializada sobre metodologías contemporáneas de entrenamiento, al permitir generar entornos controlados y repetibles en los cuales el deportista puede enfrentarse a un número considerable de situaciones tácticas representativas sin las limitaciones logísticas y de seguridad que impone la recreación de dichas situaciones en el

entorno físico real. Sin embargo, la evidencia disponible también advierte sobre los límites de esta tecnología cuando la fidelidad perceptiva y motriz de la simulación resulta insuficiente, particularmente en lo referido a la percepción de profundidad, la resolución visual y la respuesta háptica, aspectos que continúan constituyendo un desafío técnico relevante para la industria de la realidad virtual aplicada al deporte.

La realidad aumentada, por su parte, ha encontrado aplicaciones particularmente relevantes en el ámbito del feedback visual en tiempo real, permitiendo superponer sobre la percepción directa del deportista información como la trayectoria ideal de un movimiento, ángulos articulares relevantes o marcadores de referencia espacial, sin necesidad de interrumpir la ejecución para consultar dicha información en un dispositivo externo. Esta aplicación conecta directamente la realidad aumentada con los principios de retroalimentación concurrente revisados en la literatura clásica sobre conocimiento de resultados, aunque su aplicación pedagógica debe calibrarse cuidadosamente para evitar los efectos de dependencia excesiva de la guía externa documentados en dicha literatura.

Un desarrollo adicional relevante dentro de la realidad aumentada aplicada al deporte es su empleo en la transmisión televisiva y en la experiencia del espectador, mediante la superposición de estadísticas, trayectorias y líneas de referencia sobre la retransmisión en vivo de una competencia, aplicación que, aunque no orientada directamente al entrenamiento del deportista, ha contribuido a familiarizar al público general con esta tecnología y ha impulsado, indirectamente, su desarrollo técnico y su progresiva incorporación a aplicaciones específicamente pedagógicas dentro del entrenamiento deportivo.

Resulta importante señalar, finalmente, que tanto la realidad virtual como la realidad aumentada pueden producir, en determinados usuarios, efectos adversos transitorios como mareo o desorientación espacial, fenómeno conocido en la literatura especializada como cibermalestar, que debe considerarse cuidadosamente al diseñar protocolos de entrenamiento basados en estas tecnologías, particularmente en las primeras sesiones de exposición, y que exige

una supervisión adecuada por parte del personal responsable de su implementación (Neumann et al., 2018).

Un desafío adicional para la adopción generalizada de la realidad virtual y aumentada en el deporte es su costo de adquisición y mantenimiento, que, aunque ha disminuido considerablemente en los últimos años, continúa representando una inversión significativa para buena parte de las instituciones deportivas de recursos moderados, particularmente en países en vías de desarrollo, lo que ha limitado hasta el momento su adopción predominantemente al deporte de alto rendimiento y a programas de investigación universitaria especializados.

El videoanálisis constituye una de las tecnologías más ampliamente adoptadas y consolidadas dentro del entrenamiento deportivo contemporáneo, al ofrecer a entrenadores y deportistas la posibilidad de observar, de manera repetida y detallada, la ejecución técnica y táctica registrada durante el entrenamiento o la competencia, información que de otro modo resultaría prácticamente imposible de procesar completamente mediante la sola observación directa en tiempo real. El ciclo típico de retroalimentación mediante videoanálisis, ilustrado en la Figura 3, integra el registro, el análisis conjunto y el ajuste progresivo característicos de esta metodología.

Figura 3

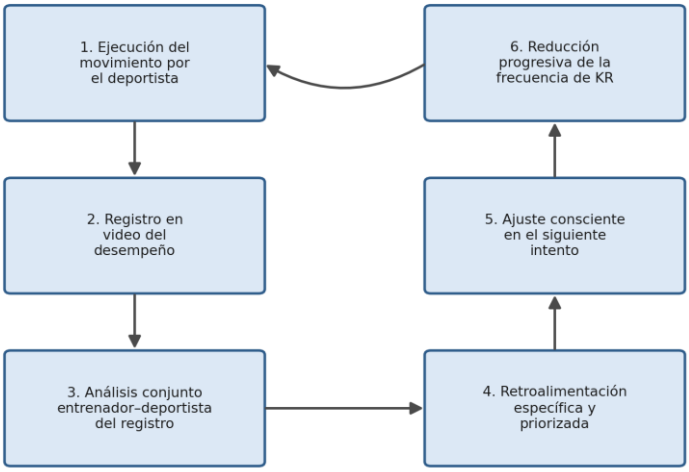


Figura 3

Ciclo de retroalimentación mediante videoanálisis en el entrenamiento deportivo

Nota. Elaboración propia con base en los principios de conocimiento de resultados descritos por Salmoni et al. (1984).

El valor pedagógico del videoanálisis se fundamenta directamente en los principios clásicos sobre conocimiento de resultados y conocimiento de la ejecución revisados en la literatura sobre retroalimentación y aprendizaje motor: el video ofrece al deportista una fuente de información objetiva y detallada sobre aspectos de su propia ejecución que, en muchos casos, resultan inaccesibles a su propia percepción propioceptiva en tiempo real, particularmente aquellos relacionados con la configuración espacial global del movimiento o con su desarrollo temporal preciso (Salmoni et al., 1984).

Resulta relevante señalar, sin embargo, que la sola disponibilidad de un registro en video no garantiza, por sí misma, un aprendizaje efectivo: la investigación disponible sugiere que el análisis guiado por el entrenador, que dirige selectivamente la atención del deportista hacia un número limitado de aspectos críticos de la ejecución, resulta considerablemente más efectivo que la simple exposición no dirigida del deportista a un registro extenso y no priorizado de su propio desempeño, en coherencia con los principios revisados sobre la capacidad limitada de la atención y la memoria de trabajo del aprendiz.

Las herramientas contemporáneas de videoanálisis han incorporado, además, funcionalidades de anotación digital, comparación simultánea de distintos intentos, superposición de trayectorias y medición angular automatizada, que amplían considerablemente las posibilidades analíticas disponibles para el entrenador en comparación con el videoanálisis tradicional basado en la simple reproducción de la grabación. No obstante, la sofisticación técnica de estas herramientas no sustituye la necesidad de un criterio pedagógico sólido por parte del entrenador para seleccionar, entre la totalidad de la información disponible, aquella que resulta genuinamente relevante para el proceso formativo específico de cada deportista en cada momento de su desarrollo.

ISBN
978-9942-595-14-0

Resulta pertinente, además, señalar que el videoanálisis ha adquirido una relevancia creciente no solo para el perfeccionamiento técnico individual, sino también para el análisis táctico colectivo, permitiendo a los entrenadores estudiar de manera sistemática los patrones de juego propios y de los equipos rivales, identificar tendencias recurrentes en la toma de decisiones colectivas, y preparar estrategias específicas de respuesta ante dichos patrones, aplicación que conecta directamente el videoanálisis con los principios de entrenamiento perceptivo-decisional revisados en la literatura especializada sobre metodologías contemporáneas de entrenamiento deportivo.

El videoanálisis se ha beneficiado, además, de la reducción considerable en el costo y el tamaño de las cámaras de alta velocidad, que permiten capturar movimientos particularmente rápidos con una resolución temporal suficiente para su análisis detallado cuadro por cuadro, posibilidad que resultaba, hasta hace pocos años, accesible casi exclusivamente para laboratorios de investigación especializados y que hoy se encuentra al alcance de un número considerablemente mayor de programas de entrenamiento deportivo de distintos niveles de recursos.

Conviene señalar, finalmente, que el videoanálisis, pese a sus considerables ventajas, presenta también limitaciones relevantes que conviene reconocer: la información visual bidimensional que ofrece una cámara convencional no siempre permite apreciar con precisión determinados aspectos tridimensionales del movimiento, como la rotación sobre un eje no perpendicular al plano de grabación, limitación que ha impulsado el desarrollo de sistemas de captura de movimiento multicámara y de análisis biomecánico tridimensional para aquellas aplicaciones que exigen una precisión particularmente elevada.

Las plataformas digitales de entrenamiento comprenden aplicaciones y sistemas de software diseñados para la planificación, el registro, la supervisión y el análisis integral del proceso de entrenamiento deportivo, permitiendo a entrenadores y preparadores físicos centralizar y organizar la información relativa a la carga de entrenamiento, el desempeño técnico-táctico, la condición física y el estado de salud de sus deportistas dentro de un mismo entorno digital accesible y actualizable en tiempo real.

Estas plataformas han transformado considerablemente la gestión cotidiana del proceso de entrenamiento, particularmente en el contexto de equipos y academias deportivas que atienden a un número considerable de deportistas simultáneamente, al permitir automatizar tareas administrativas y analíticas que tradicionalmente exigían un esfuerzo manual considerable por parte del cuerpo técnico, liberando así tiempo y recursos que pueden redirigirse hacia la interacción pedagógica directa con los deportistas.

Un aspecto relevante de estas plataformas es su capacidad de integrar datos provenientes de múltiples fuentes tecnológicas dispositivos de seguimiento GPS, sensores de frecuencia cardíaca, registros de video, evaluaciones físicas periódicas dentro de un mismo sistema de análisis, favoreciendo precisamente la integración de capacidades cognitivas y físicas revisada en la literatura especializada sobre metodologías contemporáneas de entrenamiento, al ofrecer al entrenador una visión unificada e integrada del desarrollo de cada deportista, en lugar de fuentes de información fragmentadas y difícilmente comparables entre sí.

La adopción efectiva de estas plataformas exige, sin embargo, una capacitación adecuada del cuerpo técnico en su uso, así como una definición clara de qué indicadores resultan genuinamente relevantes para el seguimiento del proceso formativo específico de cada disciplina y de cada categoría de deportistas, dado que la sola disponibilidad de una gran cantidad de datos e indicadores no garantiza, por sí misma, una mejora en la calidad de las decisiones pedagógicas que el entrenador toma cotidianamente, riesgo conocido en la literatura especializada como la sobrecarga informacional del entrenador contemporáneo.

Resulta pertinente añadir que buena parte de estas plataformas incorpora, además, funcionalidades de comunicación directa entre el cuerpo técnico y los deportistas, permitiendo la programación remota de sesiones de entrenamiento individualizado, el registro autónomo de indicadores subjetivos de bienestar por parte del propio deportista, y la retroalimentación asincrónica sobre su desempeño, ampliando considerablemente las posibilidades de personalización del proceso formativo más allá de los límites tradicionalmente impuestos por el contacto presencial exclusivo entre entrenador y deportista.

ISBN
978-9942-595-14-0

Resulta pertinente señalar, finalmente, que la selección de una plataforma digital de entrenamiento particular entre la amplia oferta comercial disponible debe fundamentarse en un análisis cuidadoso de las necesidades específicas de cada institución deportiva, considerando factores como la compatibilidad con los dispositivos de registro ya utilizados, la facilidad de uso para el cuerpo técnico y los propios deportistas, y las garantías de seguridad y privacidad ofrecidas para el manejo de la información personal y fisiológica registrada, más que optar automáticamente por las plataformas más reconocidas comercialmente sin una evaluación crítica de su idoneidad específica para el contexto particular en que se pretenden implementar.

Un desafío adicional relevante para la adopción de plataformas digitales de entrenamiento en contextos con recursos económicos limitados es su costo de suscripción, con frecuencia recurrente y no siempre accesible para clubes, academias e instituciones educativas de menores recursos, lo que ha impulsado el desarrollo de alternativas de código abierto y de menor costo, cuya funcionalidad, aunque generalmente más limitada que la de las plataformas comerciales líderes del mercado, puede resultar suficiente para las necesidades específicas de programas formativos de base con recursos económicos más acotados.

Resulta pertinente señalar, además, que la interoperabilidad entre distintas plataformas y dispositivos constituye un desafío técnico relevante para muchas instituciones deportivas, dado que la información generada por un dispositivo de un determinado fabricante no siempre se integra de manera sencilla con el software de análisis de otro proveedor distinto, lo que puede generar silos de información desconectados entre sí y dificultar la construcción de una visión verdaderamente unificada del desarrollo del deportista, problema que la industria de la tecnología deportiva ha comenzado a abordar mediante el desarrollo progresivo de estándares abiertos de intercambio de datos.

El biofeedback, entendido como el conjunto de técnicas que permiten a un individuo observar, en tiempo real, información sobre sus propios procesos fisiológicos frecuencia cardíaca, actividad electromiográfica muscular, conductancia de la piel con el propósito de desarrollar una capacidad de

autorregulación voluntaria sobre dichos procesos, constituye una tecnología con aplicaciones relevantes para el entrenamiento deportivo, particularmente en lo referido a la gestión del estrés y de la activación fisiológica revisados en la literatura sobre disposición psicológica del deportista. El neurofeedback, variante específica de esta tecnología centrada en la actividad eléctrica cerebral registrada mediante electroencefalografía, permite además entrenar la autorregulación de estados neurocognitivos específicos relevantes para la concentración y el control atencional. El ciclo funcional de esta tecnología se representa esquemáticamente en la Figura 4.

Figura 4

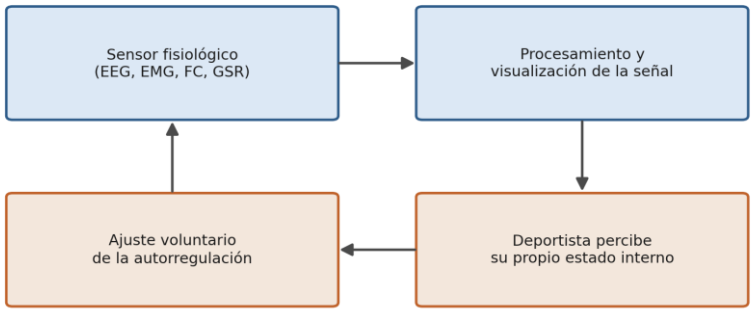


Figura 4

Ciclo funcional del biofeedback y el neurofeedback aplicados al entrenamiento deportivo

Nota. Elaboración propia con base en los principios descritos por Mirifar et al. (2017).

Mirifar et al. (2017), en una revisión sistemática sobre la aplicación del neurofeedback como entrenamiento complementario para optimizar el rendimiento de deportistas, documentaron que esta técnica ha mostrado efectos prometedores sobre diversos indicadores de rendimiento y de autorregulación en disciplinas que exigen un control atencional y emocional particularmente refinado, como el tiro deportivo, el golf o determinadas disciplinas artísticas, aunque los propios autores señalaron la necesidad de una investigación metodológicamente más rigurosa, dado que buena parte de los estudios

ISBN
978-9942-595-14-0

disponibles hasta el momento de su revisión presentaban limitaciones relevantes en su diseño experimental.

El fundamento pedagógico del biofeedback y del neurofeedback se conecta directamente con los principios de regulación emocional revisados en la literatura sobre disposición psicológica del deportista: al hacer visible y explícita una información fisiológica que habitualmente permanece fuera del acceso consciente directo del individuo, estas tecnologías permiten al deportista desarrollar, mediante un proceso de aprendizaje por ensayo y retroalimentación análogo al revisado extensamente en la literatura sobre aprendizaje motor, una capacidad progresivamente más refinada de autorregulación voluntaria sobre procesos fisiológicos y neurocognitivos que tradicionalmente se consideraban en gran medida involuntarios y no susceptibles de entrenamiento deliberado.

La aplicación efectiva de estas tecnologías exige, sin embargo, un acompañamiento profesional cualificado, tanto para la correcta configuración e interpretación de los dispositivos de registro fisiológico empleados, como para el diseño de protocolos de entrenamiento apropiados a las necesidades específicas de cada deportista, dado que una aplicación inadecuada de estas técnicas, sin el respaldo técnico y profesional necesario, puede resultar en una inversión considerable de tiempo y recursos sin los beneficios esperados sobre el rendimiento o el bienestar del deportista.

Un aspecto adicional relevante para el biofeedback y el neurofeedback aplicados al deporte es su potencial aplicación no solo al entrenamiento de la disposición psicológica competitiva, sino también a los procesos de recuperación tras lesiones deportivas, particularmente aquellas de naturaleza neuromuscular, en las cuales el biofeedback electromiográfico puede emplearse para facilitar la reactivación consciente y voluntaria de grupos musculares específicos durante las primeras fases de la rehabilitación, aplicación que amplía considerablemente el alcance práctico de estas tecnologías más allá del entrenamiento estrictamente competitivo.

Resulta pertinente, finalmente, señalar que la investigación sobre biofeedback y neurofeedback en el deporte se ha concentrado, hasta el momento, predominantemente en deportistas adultos de disciplinas individuales que exigen

un control atencional particularmente refinado, lo que sugiere la necesidad de ampliar la investigación futura hacia deportes de conjunto y hacia poblaciones más jóvenes, en las cuales el potencial pedagógico de estas tecnologías, aunque prometedor, cuenta todavía con un respaldo empírico considerablemente más limitado.

La inteligencia artificial, entendida como el conjunto de técnicas computacionales que permiten a un sistema aprender patrones a partir de datos y generar predicciones o recomendaciones sin necesidad de programación explícita para cada caso particular, ha comenzado a aplicarse de manera creciente al ámbito del entrenamiento deportivo, particularmente en lo referido a la predicción del riesgo de lesión y a la estimación del rendimiento futuro de los deportistas a partir de datos históricos de entrenamiento y competencia. El flujo típico de un sistema de esta naturaleza se ilustra en la Figura 5.

Figura 5

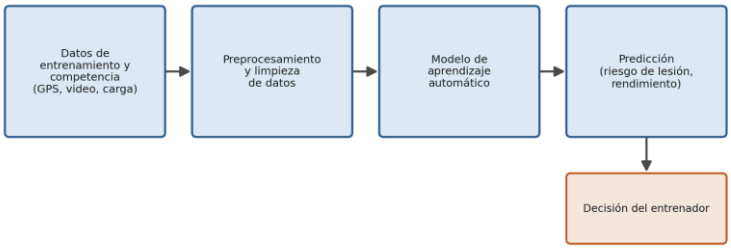


Figura 5

Flujo general de un sistema de inteligencia artificial aplicado a la predicción del rendimiento y del riesgo de lesión

Nota. Elaboración propia con base en los principios descritos por Claudino et al. (2019).

Claudino et al. (2019), en una revisión sistemática sobre el uso de la inteligencia artificial para la evaluación del riesgo de lesión y la predicción del rendimiento en deportes de conjunto, identificaron un total de cincuenta y ocho estudios que aplicaban once técnicas o métodos distintos de inteligencia artificial en doce disciplinas deportivas diferentes, con una concentración particular en deportes como el fútbol, el baloncesto, el balonmano y el voleibol, lo que sugiere una

ISBN
978-9942-595-14-0

adopción todavía desigual de esta tecnología entre distintas disciplinas deportivas.

Entre las técnicas de inteligencia artificial más frecuentemente empleadas en el contexto deportivo se encuentran las redes neuronales artificiales, capaces de identificar patrones complejos y no lineales dentro de grandes volúmenes de datos; los árboles de decisión, que permiten estructurar de manera relativamente interpretable las reglas que subyacen a una predicción determinada; y las máquinas de vectores de soporte, empleadas frecuentemente para la clasificación de deportistas según su nivel de riesgo de lesión a partir de múltiples indicadores combinados. La elección de una técnica particular depende de las características específicas de los datos disponibles y del tipo de predicción que se pretende realizar.

Resulta fundamental señalar, sin embargo, que la calidad de las predicciones generadas por cualquier sistema de inteligencia artificial depende críticamente de la calidad, la cantidad y la representatividad de los datos utilizados para entrenar dicho sistema, principio conocido en la literatura especializada como la dependencia de los datos, que explica por qué modelos desarrollados a partir de poblaciones deportivas específicas por ejemplo, deportistas profesionales masculinos adultos no siempre generalizan adecuadamente su capacidad predictiva hacia poblaciones distintas, como deportistas jóvenes, femeninas o de niveles de competencia diferentes, limitación que exige un uso prudente y contextualizado de estas herramientas por parte de los entrenadores.

Este mismo principio de dependencia de los datos plantea, además, una consideración relevante sobre la equidad y la representatividad de las bases de datos empleadas para entrenar estos sistemas: dado que buena parte de la investigación disponible hasta el momento se ha concentrado en deportistas de alto rendimiento de un número relativamente reducido de países y disciplinas, existe el riesgo de que los sistemas de inteligencia artificial actualmente disponibles reproduzcan y amplifiquen sesgos ya presentes en dichos datos de entrenamiento, lo que subraya la importancia de que la investigación futura en este campo amplíe deliberadamente la diversidad de las poblaciones deportivas consideradas, incluyendo contextos y disciplinas propios de regiones

históricamente subrepresentadas en la literatura especializada, como América Latina.

Conviene, finalmente, subrayar que la inteligencia artificial aplicada al deporte debe concebirse como una herramienta de apoyo a la decisión del entrenador, y no como un sustituto de dicha decisión: las predicciones generadas por estos sistemas ofrecen información probabilística que debe integrarse, junto con el conocimiento experto, la observación cualitativa y el contexto específico de cada deportista, dentro de un proceso de toma de decisiones que sigue siendo, en última instancia, responsabilidad del cuerpo técnico humano.

Un desarrollo relevante dentro de este campo es la aplicación de la inteligencia artificial al análisis automatizado de video, mediante técnicas de visión computacional capaces de identificar y rastrear automáticamente la posición de los jugadores, el balón u otros elementos relevantes de una situación de juego, sin necesidad de la codificación manual tradicionalmente requerida para este tipo de análisis, lo que ha reducido considerablemente el tiempo y los recursos necesarios para generar estadísticas tácticas detalladas a partir del registro en video de un partido completo, aplicación que converge directamente con los principios de videoanálisis revisados en el apartado correspondiente de este trabajo.

La aplicación de la inteligencia artificial se extiende, además, hacia la optimización de la planificación del entrenamiento a mediano y largo plazo, mediante modelos capaces de simular distintos escenarios de progresión de la carga de entrenamiento y de estimar su impacto probable sobre el desarrollo físico del deportista, herramienta que puede complementar, aunque no sustituir, la experiencia y el criterio del preparador físico en la toma de decisiones sobre la periodización del entrenamiento a lo largo de una temporada competitiva completa.

Los sistemas de seguimiento del rendimiento, basados fundamentalmente en tecnologías de posicionamiento global y en sensores de microtecnología portátiles, permiten registrar de manera continua y no intrusiva múltiples parámetros del desempeño físico del deportista durante el entrenamiento y la competencia, entre ellos la distancia recorrida, la velocidad y la aceleración en

distintos momentos, la frecuencia cardíaca y determinados indicadores de carga mecánica e impacto, información que se integra habitualmente dentro de una arquitectura como la representada en la Figura 6.

Figura 6

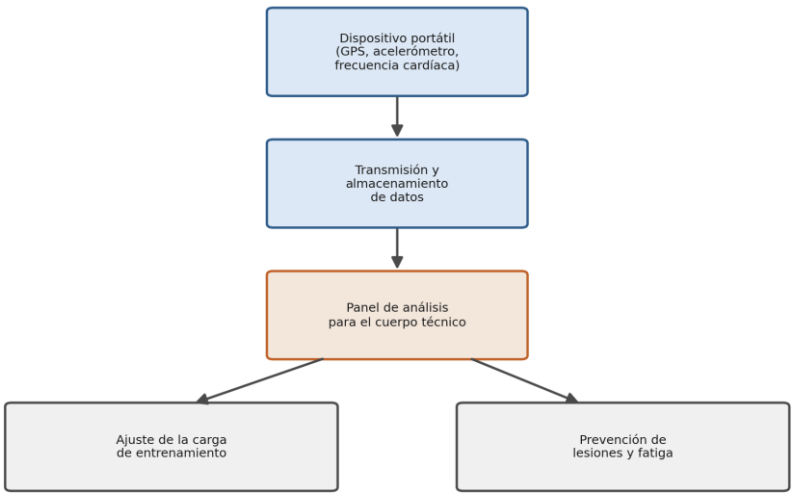


Figura 6

Arquitectura general de un sistema de seguimiento del rendimiento deportivo

Nota. Elaboración propia con base en los principios descritos por Cummins et al. (2013).

Cummins et al. (2013), en una revisión sistemática sobre la aplicación de sistemas de posicionamiento global y sensores de microtecnología en deportes de conjunto, documentaron que esta tecnología se ha empleado de manera predominante en disciplinas de fútbol, aunque su aplicación se ha extendido progresivamente hacia otras modalidades deportivas de conjunto, y señalaron una limitación metodológica relevante para el campo: la falta de consistencia entre distintos estudios y equipos deportivos en la definición de las zonas de velocidad y de los descriptores de actividad empleados para caracterizar la carga de trabajo, lo que dificulta la comparación directa de los resultados obtenidos en distintos contextos.

La información generada por estos sistemas resulta particularmente valiosa para la planificación y el ajuste de la carga de entrenamiento, permitiendo a los preparadores físicos calibrar con mayor precisión el volumen y la intensidad del

trabajo prescrito a cada deportista en función de su carga acumulada reciente, con el propósito de optimizar las adaptaciones fisiológicas buscadas mientras se minimiza el riesgo de fatiga excesiva, sobreentrenamiento o lesión asociada a una progresión inadecuada de dicha carga.

Un aspecto relevante para la aplicación pedagógica de estos sistemas es su integración con la evaluación cualitativa del entrenador, dado que los indicadores cuantitativos generados por la tecnología, por precisos que resulten, no capturan la totalidad de la información relevante para el proceso formativo del deportista, entre ella aspectos técnicos, tácticos y psicológicos que continúan requiriendo la observación experta y contextualizada del cuerpo técnico, lo que subraya la importancia de emplear estos sistemas como complemento, y no como sustituto, del juicio profesional del entrenador.

Un aspecto metodológico relevante para el uso adecuado de estos sistemas es la comprensión de sus márgenes de error y de sus limitaciones de precisión, particularmente en lo referido a la determinación exacta de la posición del deportista en espacios cerrados, donde la señal de posicionamiento global puede verse considerablemente degradada, lo que ha impulsado el desarrollo de sistemas alternativos de seguimiento basados en cámaras ópticas o en tecnología de radiofrecuencia de área local para su empleo específico en instalaciones deportivas cubiertas, en las cuales las limitaciones propias del posicionamiento satelital resultan particularmente relevantes.

Finalmente, la generalización del uso de estos sistemas de seguimiento plantea también consideraciones éticas relevantes relacionadas con la privacidad y el manejo de los datos personales y fisiológicos de los deportistas, particularmente en categorías formativas juveniles, lo que exige a las instituciones deportivas el desarrollo de protocolos claros sobre el almacenamiento, el acceso y el uso responsable de dicha información, en coherencia con los marcos normativos vigentes en cada contexto y con el respeto a la autonomía y la dignidad del deportista.

ISBN
978-9942-595-14-0

Cabe destacar, además, que la miniaturización progresiva de los sensores empleados en estos sistemas ha permitido su incorporación no solo en dispositivos portátiles externos, como chalecos o bandas específicamente diseñados para este propósito, sino también, de manera creciente, en la propia indumentaria deportiva, lo que reduce aún más la intrusividad de estos sistemas sobre la ejecución natural del deportista y amplía las posibilidades de su uso rutinario tanto en el entrenamiento como en la competencia oficial, sujeto en este último caso a las regulaciones específicas de cada federación deportiva sobre el uso de tecnología portátil durante la competencia.

Resulta pertinente añadir que la interpretación adecuada de los datos generados por estos sistemas exige, además, una comprensión estadística básica por parte del cuerpo técnico, dado que la variabilidad natural presente en cualquier serie de mediciones repetidas puede conducir a interpretaciones erróneas si no se consideran criterios apropiados de significancia práctica y de error de medición, riesgo que subraya la importancia de que los programas de formación de entrenadores deportivos incorporen contenidos básicos de análisis de datos aplicados al contexto específico del entrenamiento deportivo contemporáneo.

Las perspectivas futuras de la tecnología aplicada al deporte apuntan hacia una integración progresivamente más estrecha entre las distintas tecnologías revisadas a lo largo de este trabajo, superando su aplicación actual, con frecuencia todavía relativamente fragmentada y desarticulada, hacia sistemas verdaderamente integrados que combinen de manera simultánea el seguimiento fisiológico y biomecánico, el análisis perceptivo-decisional mediante realidad virtual y aumentada, y el procesamiento predictivo mediante inteligencia artificial, dentro de una arquitectura tecnológica unificada y accesible para el entrenador.

Un desarrollo particularmente prometedor es la evolución hacia sistemas de retroalimentación verdaderamente personalizados y adaptativos, capaces de ajustar automáticamente el tipo, la frecuencia y el contenido de la información suministrada al deportista en función de su nivel de pericia específico y de su respuesta individual a intervenciones previas, en coherencia con los principios del punto de desafío óptimo y de la hipótesis de la guía revisados extensamente

en la literatura clásica sobre aprendizaje motor, en lugar de aplicar protocolos estandarizados e indiferenciados para todos los deportistas.

Este desarrollo hacia sistemas adaptativos se apoya, en gran medida, en el creciente volumen de datos longitudinales que las tecnologías revisadas en este trabajo permiten acumular sobre cada deportista individual a lo largo del tiempo, datos que, procesados mediante técnicas de inteligencia artificial apropiadas, podrían eventualmente permitir la construcción de modelos predictivos genuinamente individualizados, capaces de anticipar con una precisión creciente cómo responderá un deportista particular ante una intervención de entrenamiento específica, aspiración que, aunque todavía distante de su plena realización práctica, orienta buena parte de la investigación contemporánea en tecnología aplicada al deporte.

La creciente accesibilidad económica de buena parte de estas tecnologías, documentada en la literatura especializada, sugiere además una progresiva democratización de su uso, que podría extender sus beneficios más allá del deporte de alto rendimiento, tradicionalmente el ámbito de aplicación privilegiado de estas herramientas, hacia contextos de formación deportiva de base, educación física escolar y actividad física comunitaria, particularmente relevante para instituciones educativas y deportivas de países en vías de desarrollo con recursos históricamente más limitados para la incorporación de tecnología especializada.

Esta democratización tecnológica, sin embargo, no se producirá de manera automática ni uniforme, sino que dependerá en gran medida de decisiones deliberadas de política educativa y deportiva orientadas a garantizar un acceso equitativo a estas herramientas, así como de esfuerzos sostenidos de capacitación docente que permitan a los profesionales de la educación física de contextos con recursos limitados apropiarse efectivamente de estas tecnologías, evitando que la brecha tecnológica existente entre instituciones y países de distintos niveles de desarrollo económico se traduzca en una brecha equivalente en la calidad de la formación deportiva y motriz que reciben sus respectivas poblaciones estudiantiles y deportivas.

ISBN
978-9942-595-14-0

Resulta pertinente advertir, sin embargo, que este proceso de expansión tecnológica exige, de manera paralela, un fortalecimiento correspondiente de la capacitación técnica y pedagógica de los entrenadores responsables de su implementación, dado que la mera disponibilidad de tecnología avanzada no garantiza, por sí misma, una mejora en la calidad del proceso formativo si no se acompaña de la comprensión conceptual necesaria para interpretar adecuadamente la información generada y para integrarla de manera pedagógicamente coherente dentro del proceso de entrenamiento.

Este imperativo formativo adquiere una relevancia particular en el contexto de las instituciones de educación superior responsables de la formación de licenciados en educación física, entrenadores deportivos y demás profesionales de las ciencias del movimiento humano, que deberían considerar la incorporación progresiva, dentro de sus planes curriculares, de contenidos actualizados sobre las tecnologías revisadas a lo largo de este trabajo, de manera que los futuros profesionales egresen con las competencias necesarias para evaluar, seleccionar e implementar estas herramientas de manera crítica y pedagógicamente fundamentada desde el inicio de su ejercicio profesional, en lugar de tener que adquirir dichas competencias de manera autodidacta y fragmentaria una vez iniciada su carrera laboral.

Finalmente, cabe anticipar que la investigación futura en este campo deberá prestar una atención creciente a cuestiones éticas y de equidad en el acceso a estas tecnologías, así como a la validación rigurosa de su eficacia pedagógica específica mediante estudios experimentales metodológicamente sólidos, evitando que la adopción de nuevas herramientas tecnológicas se base exclusivamente en su atractivo comercial o en tendencias pasajeras del mercado deportivo, y asegurando que dicha adopción permanezca siempre subordinada a los principios pedagógicos fundamentales del aprendizaje motor y del desarrollo integral del deportista revisados a lo largo de este trabajo.

Un desarrollo tecnológico que ya comienza a perfilarse es la integración de modelos de lenguaje e inteligencia artificial generativa como asistentes del entrenador para el análisis táctico, la generación automatizada de resúmenes de partido y la sugerencia de ejercicios personalizados a partir del historial de

entrenamiento de cada deportista, aplicaciones que, si bien todavía incipientes en el ámbito deportivo, podrían transformar considerablemente la forma en que los entrenadores acceden y procesan la enorme cantidad de información generada por las tecnologías revisadas a lo largo de este trabajo, siempre que su desarrollo se acompañe de la validación científica rigurosa que hasta el momento ha caracterizado a las tecnologías deportivas más consolidadas.

Cabe anticipar, asimismo, un desarrollo creciente de sistemas de entrenamiento adaptativos que combinen sensores portátiles, inteligencia artificial y realidad aumentada en un mismo dispositivo integrado, capaces de suministrar retroalimentación personalizada en tiempo real durante la propia ejecución del movimiento, sin necesidad de que el deportista interrumpa su actividad para consultar un dispositivo externo separado, convergencia tecnológica que representa, en cierto sentido, la culminación práctica de la integración entre las distintas tecnologías revisadas de manera individual a lo largo de este trabajo.

ISBN
978-9942-595-14-0

Capítulo 11. Diseño de sesiones de entrenamiento con enfoque neurodidáctico

El diseño sistemático de un programa de entrenamiento deportivo que integre los fundamentos del aprendizaje motor y de la neurodidáctica revisados en la literatura especializada exige un proceso metodológico estructurado, capaz de articular coherentemente el diagnóstico de las necesidades del deportista con la formulación de objetivos, la selección de estrategias, el diseño de tareas y la evaluación final del proceso formativo. El presente trabajo desarrolla, mediante una revisión narrativa sustentada en literatura especializada, ocho etapas de este proceso de diseño: el diagnóstico de necesidades, la formulación de objetivos cognitivos y motores, la selección de estrategias neurodidácticas, el diseño de tareas motrices, la organización de estímulos y cargas, la aplicación del feedback, la evaluación del aprendizaje motor, y el seguimiento y ajuste del entrenamiento. Se parte de los modelos clásicos del diseño instruccional y de la taxonomía de objetivos educativos, para luego integrar los principios del comportamiento motor, la neurodidáctica y la psicología del deporte revisados en trabajos previos dentro de un marco metodológico unificado y aplicable a la práctica cotidiana del entrenamiento. El análisis evidencia que estas ocho etapas no constituyen pasos aislados y secuenciales, sino un ciclo iterativo y recursivo, en el que la evaluación y el seguimiento retroalimentan continuamente el diagnóstico inicial. Se concluye que la apropiación de este marco metodológico por parte de los entrenadores constituye una vía privilegiada para fundamentar científicamente el diseño de sus programas de entrenamiento.

El diseño de un programa de entrenamiento deportivo eficaz exige considerablemente más que la simple selección intuitiva de ejercicios y actividades: requiere de un proceso metodológico sistemático capaz de integrar el diagnóstico de las necesidades específicas del deportista, la formulación de objetivos claros y medibles, la selección de estrategias pedagógicas fundamentadas en evidencia, el diseño de tareas representativas, la organización adecuada de la carga de estímulos, la aplicación oportuna de la retroalimentación, y la evaluación y el ajuste continuo del proceso formativo a lo largo del tiempo. Este proceso, ampliamente estudiado en el campo del diseño instruccional aplicado a la educación general, ha recibido una atención

comparativamente menor dentro de la literatura específica sobre entrenamiento deportivo, a pesar de su relevancia evidente para la práctica pedagógica cotidiana de los entrenadores.

Los trabajos previos que conforman este conjunto de revisiones han abordado, de manera relativamente independiente, distintos componentes fundamentales del aprendizaje motor, la neurodidáctica, la psicología del deporte y las metodologías contemporáneas de entrenamiento. El presente documento tiene como propósito distintivo integrar estos fundamentos dentro de un marco metodológico unificado, estructurado en torno a ocho etapas secuenciales, aunque recursivas, que un entrenador puede seguir de manera sistemática para diseñar, implementar y ajustar un programa de entrenamiento deportivo fundamentado científicamente.

Este marco se apoya, en su estructura general, en los modelos clásicos del diseño instruccional desarrollados originalmente en el campo de la tecnología educativa, particularmente el modelo ADDIE Análisis, Diseño, Desarrollo, Implementación y Evaluación, adaptando sus principios generales a las particularidades específicas del aprendizaje motor y de la neurodidáctica aplicada al deporte (Branch, 2009). Las ocho etapas revisadas en este trabajo el diagnóstico de necesidades, la formulación de objetivos cognitivos y motores, la selección de estrategias neurodidácticas, el diseño de tareas motrices, la organización de estímulos y cargas, la aplicación del feedback, la evaluación del aprendizaje motor, y el seguimiento y ajuste del entrenamiento se ilustran de manera sintética en la Figura 1, que representa dicho proceso como un ciclo continuo, más que como una secuencia lineal de pasos independientes.

Figura 1

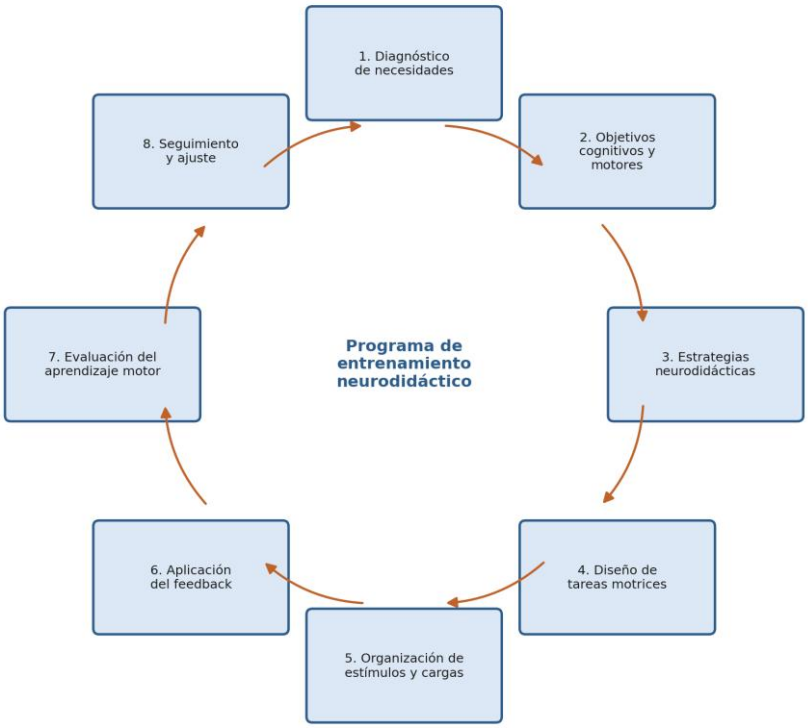


Figura 1

Ciclo de diseño de un programa de entrenamiento neurodidáctico en ocho etapas

Nota. Elaboración propia con base en el modelo ADDIE descrito por Branch (2009).

Metodológicamente, este trabajo constituye una revisión narrativa de carácter conceptual, elaborada a partir de fuentes académicas reconocidas en el campo del diseño instruccional, el comportamiento motor y la neurodidáctica aplicada al deporte. La selección de referentes privilegió estudios y obras seminales ampliamente citadas en la literatura especializada, procurando en todo momento una redacción original que sintetizara sus hallazgos sin reproducir textualmente su contenido, e integrando de manera coherente los fundamentos revisados en los trabajos previos que conforman este conjunto de documentos. Las figuras que acompañan el texto constituyen esquemas conceptuales de elaboración propia.

Conviene precisar, además, que el marco metodológico propuesto en este trabajo no pretende constituir un protocolo rígido y de aplicación mecánica, sino una estructura conceptual flexible que cada entrenador debe adaptar

creativamente a las particularidades específicas de su disciplina deportiva, del contexto institucional en que desarrolla su labor, y de las características individuales de los deportistas a su cargo. El valor de estructurar el proceso de diseño en ocho etapas explícitas reside, precisamente, en que dicha estructuración obliga al entrenador a hacer explícitas decisiones pedagógicas que, de otro modo, con frecuencia permanecen implícitas e insuficientemente reflexionadas dentro de la práctica cotidiana del entrenamiento deportivo tradicional.

El diagnóstico de necesidades constituye la primera etapa del proceso de diseño del entrenamiento, y corresponde a la fase de análisis del modelo ADDIE aplicada al contexto específico del entrenamiento deportivo (Branch, 2009). Esta etapa tiene como propósito identificar, de manera sistemática y fundamentada, la brecha existente entre el nivel actual de desempeño del deportista o del equipo y el nivel de desempeño deseado, así como las causas específicas que explican dicha brecha, con el fin de orientar adecuadamente el diseño de las etapas posteriores del proceso formativo.

Un diagnóstico de necesidades riguroso debe considerar, de manera integrada, múltiples dimensiones del deportista: su nivel de desarrollo técnico y táctico específico de la disciplina practicada, su condición física general y específica, su perfil cognitivo y perceptivo-decisional revisado en la literatura sobre funciones ejecutivas y rendimiento deportivo, su disposición psicológica y emocional revisada en la literatura sobre psicología del deporte, y las características particulares del contexto institucional, cultural y competitivo en el que se desarrolla su práctica deportiva.

Las herramientas disponibles para realizar este diagnóstico incluyen la observación sistemática del desempeño del deportista en condiciones de entrenamiento y competencia, las evaluaciones estandarizadas de condición física y de habilidades técnico-tácticas específicas de la disciplina, los instrumentos de evaluación cognitiva y psicológica revisados en trabajos anteriores, y las tecnologías de seguimiento del rendimiento revisadas en la literatura especializada sobre tecnología deportiva, que permiten complementar

ISBN
978-9942-595-14-0

la observación cualitativa del entrenador con indicadores cuantitativos objetivos sobre distintos aspectos del desempeño.

Resulta importante señalar que el diagnóstico de necesidades no constituye un ejercicio puntual realizado exclusivamente al inicio del proceso formativo, sino que debe entenderse como un proceso continuo y recursivo, alimentado constantemente por la información generada durante las etapas de evaluación y seguimiento reviadas en apartados posteriores de este trabajo, en coherencia con la naturaleza cíclica del proceso de diseño representada en la Figura 1. Un entrenador que actualiza periódicamente su diagnóstico de necesidades, en lugar de operar a partir de una evaluación inicial estática y no revisada, se encuentra en mejor posición para ajustar oportunamente su programa de entrenamiento ante los cambios que inevitablemente experimenta el deportista a lo largo de su proceso formativo.

Un diagnóstico de necesidades inadecuado o superficial compromete, en última instancia, la pertinencia de la totalidad de las etapas posteriores del proceso de diseño, dado que objetivos, estrategias y tareas formulados sin un fundamento diagnóstico sólido difícilmente resultarán apropiados para las necesidades reales del deportista, por más rigurosamente que se apliquen los principios pedagógicos revisados en las etapas subsiguientes de este trabajo.

Un instrumento particularmente útil para sistematizar el diagnóstico de necesidades es la elaboración de un perfil individual del deportista que integre, de manera organizada, la información recopilada mediante las distintas herramientas mencionadas, perfil que sirve como punto de referencia explícito para la formulación de objetivos en la etapa siguiente y que puede actualizarse periódicamente a medida que el proceso formativo avanza, constituyendo un documento vivo que acompaña el desarrollo del deportista a lo largo de las distintas etapas de su carrera deportiva.

La construcción de este perfil individual debe resguardar, además, la privacidad y la confidencialidad de la información personal, fisiológica y psicológica recopilada sobre cada deportista, particularmente en el trabajo con poblaciones menores de edad, en coherencia con los principios éticos revisados en la literatura sobre tecnología deportiva respecto al manejo responsable de los datos

personales de los deportistas, lo que exige del entrenador y de la institución deportiva correspondiente el establecimiento de protocolos claros sobre quién puede acceder a dicha información y con qué propósitos específicos puede emplearse.

Conviene señalar, además, que el diagnóstico de necesidades debe evitar tanto la subestimación como la sobrestimación de las capacidades actuales del deportista, dos sesgos que pueden comprometer igualmente la pertinencia de las etapas posteriores del proceso de diseño: un diagnóstico que subestima sistemáticamente las capacidades del deportista puede derivar en un programa de entrenamiento insuficientemente desafiante, mientras que un diagnóstico que las sobrestima puede derivar en un programa excesivamente exigente que supere su punto de desafío óptimo, revisado con mayor detalle en el apartado sobre organización de estímulos y cargas.

Resulta pertinente, además, considerar que el diagnóstico de necesidades no debe limitarse a las carencias o debilidades del deportista, sino que debe identificar también, de manera explícita, sus fortalezas específicas, tanto físicas como técnicas, cognitivas y psicológicas, dado que un proceso formativo que se apoya deliberadamente en las fortalezas ya consolidadas del deportista, además de atender a sus áreas de mejora, tiende a favorecer una experiencia de aprendizaje más equilibrada y una percepción de competencia más sólida, en coherencia con los principios de autoeficacia revisados en la literatura sobre psicología del deporte.

Una vez realizado el diagnóstico de necesidades, la formulación de objetivos claros, específicos y medibles constituye la segunda etapa fundamental del proceso de diseño del entrenamiento. Estos objetivos deben abarcar tanto la dimensión motriz del desempeño deportivo la ejecución técnica de habilidades específicas como su dimensión cognitiva la comprensión táctica, la toma de decisiones y las funciones ejecutivas revisadas extensamente en trabajos previos de este conjunto de documentos, reconociendo la interdependencia funcional entre ambas dimensiones que ha sido documentada consistentemente por la literatura especializada en comportamiento motor.

La taxonomía de objetivos educativos revisada y actualizada por Anderson y Krathwohl (2001), aunque desarrollada originalmente para el ámbito cognitivo general, ofrece un marco conceptual valioso, adaptable al contexto específico del entrenamiento deportivo, para clasificar y jerarquizar los objetivos formativos según su nivel de complejidad cognitiva, desde el simple recuerdo de información hasta la creación de soluciones originales ante problemas nuevos. La Figura 2 ilustra esta taxonomía adaptada al dominio motor, mostrando cómo cada nivel cognitivo encuentra un correlato específico en el ámbito de la ejecución y el aprendizaje deportivo.

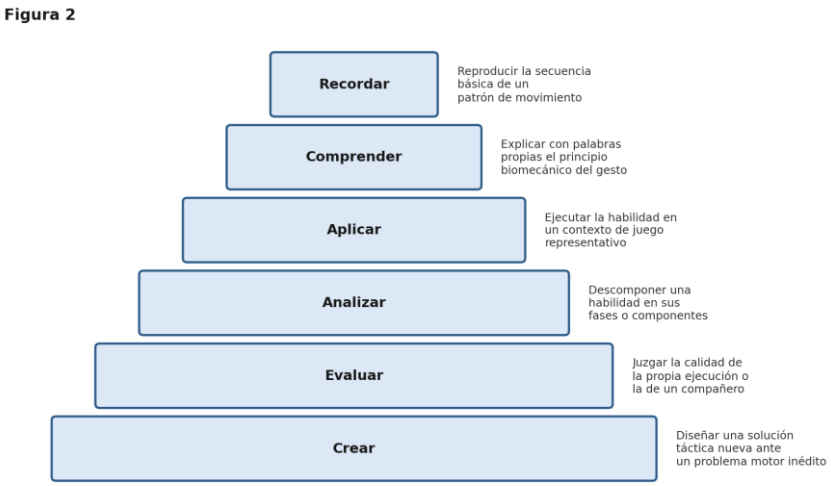


Figura 2

Taxonomía de objetivos cognitivos y su correlato en el dominio motor

Nota. Elaboración propia con base en la taxonomía revisada de Anderson y Krathwohl (2001).

Esta adaptación de la taxonomía cognitiva al dominio motor permite al entrenador formular objetivos de distinta complejidad según la etapa formativa del deportista, en coherencia con los principios revisados en la literatura sobre etapas del aprendizaje motor: durante las fases iniciales del aprendizaje de una habilidad, conviene priorizar objetivos situados en los niveles inferiores de la taxonomía, centrados en la comprensión básica y la reproducción del patrón fundamental de movimiento, mientras que, a medida que el deportista avanza hacia niveles superiores de pericia, resulta pertinente formular objetivos situados en los niveles superiores, que exigen análisis, evaluación crítica y creación de

soluciones motrices y tácticas originales ante situaciones no ensayadas previamente.

Un principio fundamental para la formulación efectiva de objetivos, ampliamente reconocido en la literatura sobre diseño instruccional, es su especificidad y su carácter medible: un objetivo formulado como «mejorar la técnica de pase» resulta considerablemente menos útil para orientar el diseño de las etapas posteriores que un objetivo formulado como «ejecutar el pase con el borde interno del pie con una precisión superior al ochenta por ciento en condiciones de presión defensiva moderada», dado que esta segunda formulación permite tanto diseñar tareas específicamente orientadas a dicho propósito como evaluar posteriormente, de manera objetiva, el grado de logro alcanzado.

Finalmente, la formulación de objetivos cognitivos y motores debe realizarse de manera coherente con los principios de individualización revisados en trabajos anteriores de este conjunto de documentos, reconociendo que un mismo objetivo general puede requerir formulaciones específicas distintas para deportistas con necesidades, niveles de pericia y características individuales diferentes, en lugar de aplicar objetivos genéricos e indiferenciados para la totalidad de un grupo de entrenamiento.

Un aspecto adicional relevante para esta etapa es la conveniencia de comunicar explícitamente los objetivos formulados al propio deportista, en un lenguaje apropiado a su edad y a su nivel de comprensión, práctica que, en coherencia con los principios de la teoría de la autodeterminación revisados en la literatura sobre motivación deportiva, favorece su percepción de autonomía y de sentido dentro del proceso formativo, en comparación con un proceso de entrenamiento en el cual los objetivos permanecen implícitos y conocidos exclusivamente por el entrenador.

Esta comunicación explícita de los objetivos debe adaptarse, además, al momento evolutivo específico del deportista: mientras que con deportistas jóvenes conviene formular los objetivos en términos concretos, cercanos y verificables en el corto plazo, con deportistas más maduros y experimentados resulta pertinente vincular explícitamente los objetivos específicos de cada sesión con metas de mediano y largo plazo dentro de su proyecto deportivo

ISBN
978-9942-595-14-0

personal, favoreciendo así una comprensión más integrada y significativa del propósito de cada actividad de entrenamiento particular dentro de su proceso formativo global.

Resulta pertinente, además, distinguir entre objetivos de proceso, centrados en aspectos del desempeño que el deportista puede controlar directamente, como la ejecución técnica de un gesto o la aplicación de una estrategia táctica determinada, y objetivos de resultado, centrados en desenlaces competitivos que dependen también de factores externos al control del deportista, como el resultado final de un encuentro; la investigación en psicología del deporte sugiere que un énfasis predominante en objetivos de proceso durante el entrenamiento cotidiano favorece una motivación más estable y una menor vulnerabilidad emocional ante resultados competitivos desfavorables, en comparación con un énfasis excesivo en objetivos de resultado.

Conviene, finalmente, señalar que la formulación de objetivos cognitivos y motores debe revisarse periódicamente a la luz de la información generada durante las etapas de evaluación y seguimiento, revisadas en apartados posteriores de este trabajo, de modo que dichos objetivos se ajusten progresivamente a medida que el deportista avanza en su proceso formativo, evitando que objetivos formulados en una etapa inicial del proceso permanezcan invariables e insuficientemente desafiantes una vez que el deportista los ha alcanzado y superado.

Una vez formulados los objetivos del proceso formativo, la selección de estrategias neurodidácticas apropiadas constituye la tercera etapa del proceso de diseño, y consiste en determinar qué principios y metodologías pedagógicas, entre los revisados extensamente en trabajos previos de este conjunto de documentos, resultan más adecuados para alcanzar los objetivos específicos formulados en la etapa anterior, considerando las características particulares del deportista identificadas durante el diagnóstico de necesidades.

Esta selección debe fundamentarse en los principios neurodidácticos revisados en la literatura especializada, entre ellos la indisociabilidad entre emoción y cognición, la relevancia de la implicación corporal activa en el aprendizaje, y la importancia de diseñar ambientes de aprendizaje emocionalmente seguros y

significativos (Mora, 2013). Un entrenador que comprende estos principios se encuentra en mejor posición para seleccionar, entre el amplio repertorio de estrategias pedagógicas disponibles el aprendizaje basado en retos, la resolución de problemas motores, el aprendizaje diferencial, el entrenamiento basado en restricciones, entre otras revisadas en trabajos anteriores, aquellas que resultan más coherentes con los objetivos formativos específicos y con las características particulares del deportista o del grupo de entrenamiento.

La selección de estrategias no debe entenderse como una elección excluyente entre alternativas mutuamente incompatibles, sino como la construcción de una combinación coherente y complementaria de distintos principios pedagógicos, ajustada a las demandas específicas de cada momento del proceso formativo: una misma sesión de entrenamiento puede combinar, por ejemplo, principios de resolución de problemas motores durante su fase inicial, con principios de práctica deliberada durante su fase intermedia, y con principios de simulación de situaciones de presión competitiva durante su fase final, en función de los objetivos específicos perseguidos en cada momento.

Esta lógica combinatoria exige del entrenador una comprensión suficientemente profunda de los fundamentos teóricos de cada estrategia individual como para reconocer tanto sus complementariedades como sus posibles tensiones o incompatibilidades cuando se aplican de manera conjunta dentro de una misma sesión, evitando combinaciones que, aunque cada estrategia resulte individualmente válida, produzcan en conjunto una experiencia de aprendizaje incoherente o contradictoria para el deportista, por ejemplo, alternando de manera abrupta entre un enfoque de descubrimiento autónomo y un enfoque de instrucción altamente directiva sin una transición pedagógicamente justificada entre ambos.

Un criterio relevante para orientar esta selección es la consideración de la etapa de aprendizaje en que se encuentra el deportista, revisada extensamente en la literatura clásica sobre comportamiento motor: estrategias como la instrucción más directiva y la retroalimentación frecuente tienden a resultar más apropiadas durante las etapas iniciales del aprendizaje de una habilidad nueva, mientras que estrategias como el descubrimiento guiado, la variabilidad de la práctica y la

ISBN
978-9942-595-14-0

simulación de presión competitiva resultan progresivamente más pertinentes a medida que el deportista avanza hacia etapas más avanzadas de pericia.

Este mismo criterio debe aplicarse de manera diferenciada según la naturaleza específica de la habilidad que se pretende desarrollar en cada momento particular del proceso formativo, dado que un mismo deportista puede encontrarse simultáneamente en una etapa avanzada de pericia respecto de determinadas habilidades ya consolidadas, y en una etapa inicial respecto de habilidades nuevas recientemente incorporadas a su repertorio motor, lo que exige del entrenador una capacidad de diagnóstico simultáneo y diferenciado sobre múltiples dimensiones del desarrollo del deportista, más que la aplicación de un criterio único y homogéneo aplicado indistintamente a la totalidad de su proceso formativo.

Finalmente, la selección de estrategias neurodidácticas debe considerar también los recursos disponibles tiempo, espacio, materiales, tecnología y las restricciones institucionales y contextuales específicas de cada programa de entrenamiento, reconociendo que la estrategia teóricamente más efectiva no siempre resulta la más apropiada si su implementación exige recursos que no se encuentran disponibles en el contexto particular en que se desarrolla el proceso formativo, lo que exige del entrenador un ejercicio constante de adaptación creativa de los principios generales revisados en la literatura especializada a las condiciones específicas de su propio contexto de trabajo.

Un aspecto adicional relevante para esta etapa es la conveniencia de documentar explícitamente, para cada sesión o ciclo de entrenamiento, cuál es la estrategia neurodidáctica predominante seleccionada y cuál es su fundamento pedagógico específico, práctica que favorece tanto la coherencia interna del programa de entrenamiento a lo largo del tiempo como la posibilidad de que otros miembros del cuerpo técnico comprendan y contribuyan de manera informada al proceso formativo diseñado.

Esta documentación explícita cumple, además, una función relevante para la rendición de cuentas del proceso formativo ante instancias institucionales, deportivas o familiares interesadas en comprender los fundamentos de las decisiones pedagógicas adoptadas por el entrenador, y contribuye a construir

una cultura institucional de transparencia metodológica que trasciende la dependencia exclusiva de la reputación o de la autoridad informal de un entrenador particular como única justificación de sus decisiones pedagógicas.

Un aspecto complementario relevante es la formación continua del propio entrenador en los fundamentos neurodidácticos revisados en este y en trabajos anteriores, dado que la calidad de la selección de estrategias depende directamente de la profundidad con que el entrenador comprende los principios teóricos subyacentes a cada una de ellas, comprensión que le permite adaptarlas creativamente a situaciones novedosas, en lugar de aplicarlas de manera mecánica y descontextualizada a partir de recetas metodológicas aprendidas superficialmente.

Resulta pertinente, finalmente, señalar que la selección de estrategias neurodidácticas no constituye una decisión que el entrenador tome de manera completamente aislada, sino que puede beneficiarse considerablemente de la discusión colegiada con otros miembros del cuerpo técnico y, en contextos institucionales que lo permitan, del intercambio con otros entrenadores de la misma o de distintas disciplinas deportivas, espacio de intercambio profesional que favorece la contrastación de distintas perspectivas pedagógicas y el enriquecimiento mutuo del repertorio metodológico disponible para cada profesional individual.

Resulta pertinente, además, señalar que la selección de estrategias neurodidácticas puede beneficiarse de un enfoque experimental y reflexivo por parte del entrenador, quien puede documentar sistemáticamente los resultados obtenidos con distintas estrategias aplicadas a situaciones similares a lo largo del tiempo, construyendo progresivamente un repertorio de decisiones pedagógicas informadas tanto por la evidencia científica general como por su propia experiencia acumulada y documentada en su contexto específico de trabajo.

El diseño de tareas motrices específicas constituye la traducción práctica de los objetivos y las estrategias definidos en las etapas anteriores del proceso, materializándose en actividades concretas de entrenamiento que el deportista ejecutará efectivamente. Este diseño se fundamenta directamente en el modelo

de restricciones propuesto por Newell (1986), según el cual el comportamiento motor que emerge en una tarea determinada resulta de la interacción dinámica entre las restricciones del organismo, de la tarea y del entorno, relación representada esquemáticamente en la Figura 3.

Figura 3

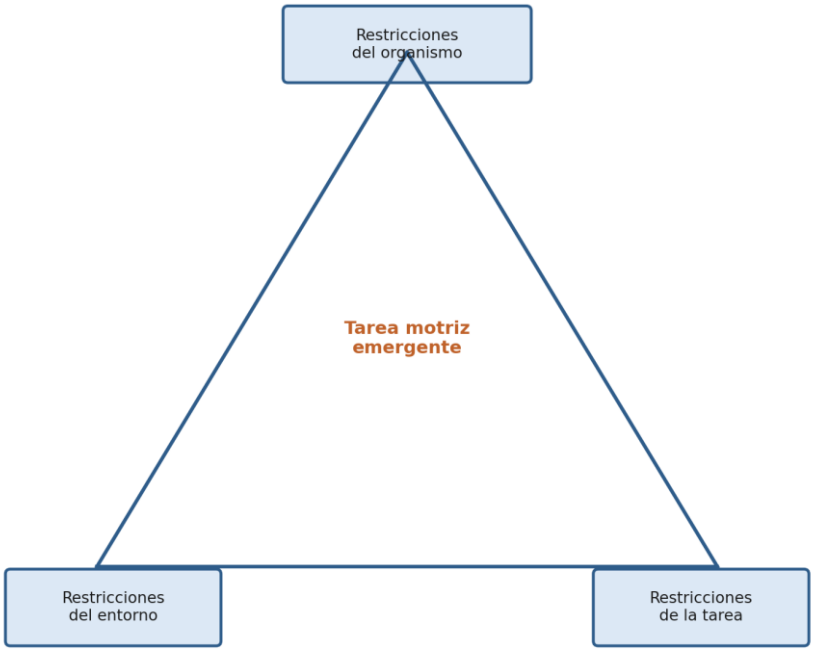


Figura 3

Modelo de restricciones para el diseño de tareas motrices

Nota. Elaboración propia con base en el modelo de restricciones descrito por Newell (1986).

Desde esta perspectiva, diseñar una tarea motriz no consiste únicamente en seleccionar un ejercicio predeterminado de un catálogo genérico, sino en manipular deliberadamente las restricciones de la tarea y del entorno el espacio disponible, las reglas específicas, el número de participantes, los implementos empleados con el fin de que dichas restricciones, en interacción con las características individuales del deportista, favorezcan la emergencia del comportamiento motor y cognitivo definido en los objetivos formulados previamente, principio que conecta directamente esta etapa con las

metodologías de resolución de problemas motores y entrenamiento basado en restricciones revisadas en trabajos anteriores.

Esta manipulación deliberada de restricciones exige del entrenador un ejercicio de anticipación pedagógica considerable, en la medida en que debe prever, con razonable aproximación, qué comportamientos motores y decisionales es probable que emerjan de una configuración particular de restricciones antes de proponerla efectivamente a sus deportistas, capacidad que se desarrolla progresivamente con la experiencia práctica y con la observación sistemática de cómo distintos grupos de deportistas responden efectivamente a distintas configuraciones de tareas previamente diseñadas y aplicadas.

El modelo de Gentile (1972), revisado también en trabajos previos de este conjunto de documentos, ofrece un criterio adicional relevante para el diseño de tareas motrices, al distinguir entre habilidades cerradas, ejecutadas en entornos estables y predecibles, y habilidades abiertas, ejecutadas en entornos cambiantes e impredecibles, distinción que orienta decisiones específicas sobre el grado de variabilidad y de incertidumbre que conviene incorporar deliberadamente en el diseño de cada tarea particular, en función de la naturaleza de la disciplina deportiva practicada y de la etapa formativa específica del deportista.

Un criterio adicional relevante para el diseño de tareas motrices es su representatividad respecto de las condiciones reales de competencia, principio revisado extensamente en la literatura sobre entrenamiento basado en situaciones reales: cuanto mayor es la fidelidad con que una tarea de entrenamiento reproduce las fuentes de información, las restricciones temporales y las demandas decisionales propias de la competencia real, mayor es, en términos generales, la probabilidad de que el aprendizaje logrado mediante dicha tarea resulte efectivamente transferible al desempeño competitivo del deportista.

Finalmente, el diseño de tareas motrices debe calibrarse cuidadosamente en función del punto de desafío óptimo de cada deportista, principio que se desarrollará con mayor profundidad en el apartado siguiente sobre organización de estímulos y cargas, evitando tanto tareas excesivamente simples que no

ISBN
978-9942-595-14-0

representen un desafío genuino para el aprendizaje, como tareas excesivamente complejas que sobrepasen la capacidad actual del deportista para procesarlas y responder a ellas de manera funcional.

Un aspecto práctico relevante para esta etapa es la elaboración de un banco de tareas variadas y cuidadosamente clasificadas según su nivel de dificultad funcional y las restricciones específicas que manipulan, recurso que permite al entrenador seleccionar con mayor agilidad, durante la planificación cotidiana de sus sesiones, aquellas tareas más apropiadas para los objetivos específicos de cada momento del proceso formativo, en lugar de diseñar cada tarea de manera completamente improvisada en cada sesión particular.

Resulta pertinente añadir que el diseño de tareas motrices debe someterse a un proceso de revisión y refinamiento continuo, a partir de la observación de cómo los deportistas efectivamente responden a cada tarea propuesta, dado que la relación entre el diseño teórico de una tarea y el comportamiento motor que esta efectivamente produce no siempre resulta completamente predecible de antemano, lo que exige del entrenador una disposición a ajustar y perfeccionar iterativamente su repertorio de tareas a partir de la evidencia empírica generada por su propia práctica pedagógica cotidiana.

Un criterio adicional relevante para el diseño de tareas motrices es la consideración de su componente lúdico y motivacional, particularmente en el trabajo con poblaciones infantiles y juveniles, dado que una tarea que, aunque técnicamente bien diseñada desde el punto de vista de las restricciones que manipula, resulta poco atractiva o significativa para el deportista, difícilmente sostendrá el nivel de compromiso y de esfuerzo necesario para producir el aprendizaje pretendido, lo que subraya la importancia de integrar los principios motivacionales revisados en trabajos anteriores dentro de las decisiones de diseño de tareas.

La organización de los estímulos y de las cargas de entrenamiveinte constituye la etapa en la cual se determina la secuencia, la intensidad, el volumen y la distribución temporal específica de las tareas diseñadas en la etapa anterior, considerando los principios revisados extensamente en la literatura clásica sobre aprendizaje motor respecto a la variabilidad de la práctica, la interferencia

contextual y el punto de desafío óptimo. El marco del punto de desafío óptimo propuesto por Guadagnoli y Lee (2004), representado en la Figura 4, resulta particularmente útil para orientar esta etapa del diseño.

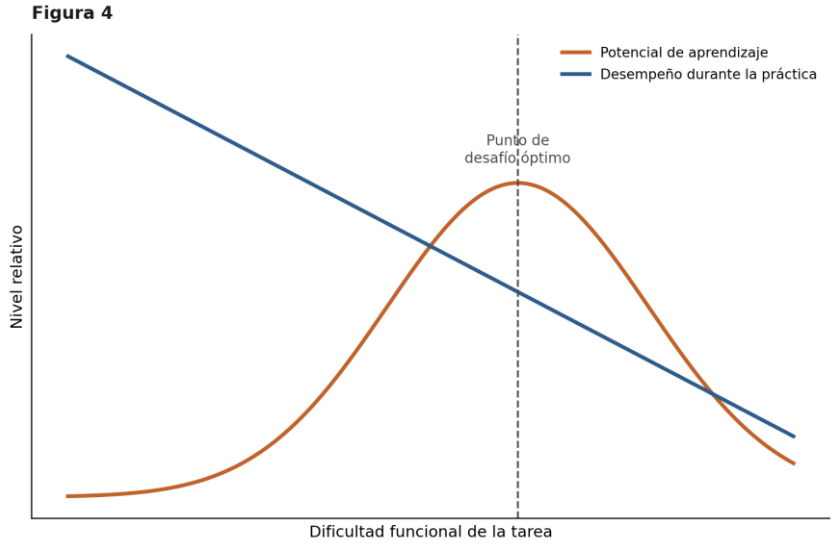


Figura 4

Relación entre la dificultad funcional de la tarea, el desempeño y el potencial de aprendizaje

Nota. Elaboración propia con base en el marco del punto de desafío óptimo de Guadagnoli y Lee (2004).

Como ilustra la Figura 4, la relación entre la dificultad funcional de una tarea y el desempeño observable del deportista durante la práctica tiende a ser inversa, mientras que la relación entre dicha dificultad y el potencial de aprendizaje sigue una curva de naturaleza distinta, alcanzando su punto máximo en un nivel de dificultad que resulta exigente, pero manejable, para el nivel de pericia específico del deportista en un momento determinado. La organización efectiva de los estímulos de entrenamiento exige, por tanto, calibrar cuidadosamente la dificultad funcional de las tareas propuestas para que se sitúen, en la medida de lo posible, en las proximidades de este punto de desafío óptimo individual.

La organización temporal de la práctica debe considerar, además, los principios de variabilidad e interferencia contextual revisados en la literatura clásica sobre aprendizaje motor (Shea & Morgan, 1979): la secuenciación aleatoria de distintas variantes de una tarea, en lugar de su práctica en bloques constantes y

consecutivos, tiende a producir, como se ha revisado extensamente en trabajos anteriores, niveles superiores de retención y transferencia a mediano y largo plazo, principio que debe incorporarse deliberadamente en la planificación de las sesiones de entrenamiento, particularmente en las etapas más avanzadas del proceso formativo del deportista.

La aplicación de este principio exige, sin embargo, una planificación cuidadosa de la secuencia específica de tareas dentro de cada sesión, dado que una aleatorización completamente indiscriminada de tareas sin ninguna relación estructural entre sí no produce necesariamente los beneficios de la interferencia contextual documentados en la literatura especializada, la cual se refiere específicamente a la alternancia entre variantes de una misma clase general de habilidad motriz, y no a la simple yuxtaposición de actividades completamente inconexas entre sí dentro de una misma sesión de entrenamiento.

La organización de la carga de entrenamiento debe considerar también los principios revisados en la literatura sobre práctica deliberada (Ericsson et al., 1993), particularmente en lo referido a la necesidad de mantener al deportista operando de manera sostenida cerca del límite superior de su capacidad actual, y a la importancia de alternar adecuadamente periodos de exigencia elevada con periodos de recuperación suficientes, evitando tanto la subestimulación, que no produce adaptaciones significativas, como la sobreestimulación crónica, que puede derivar en fatiga excesiva, sobreentrenamiento o un mayor riesgo de lesión.

Finalmente, la organización de estímulos y cargas debe documentarse de manera sistemática, mediante los sistemas de planificación y seguimiento revisados en la literatura sobre plataformas digitales de entrenamiento, con el fin de mantener un registro preciso de la evolución de la carga a lo largo del tiempo, que permita al entrenador fundamentar sus decisiones de ajuste progresivo en información objetiva y no exclusivamente en su percepción subjetiva del proceso formativo.

Un aspecto adicional relevante para la organización de estímulos y cargas es la consideración explícita de la carga cognitiva y emocional del entrenamiento, revisada en trabajos anteriores sobre funciones ejecutivas y psicología del deporte, junto con la carga física tradicionalmente considerada por la periodización deportiva convencional: sesiones de entrenamiento que exigen una elevada concentración perceptivo-decisional, incluso cuando su demanda física resulta moderada, pueden generar niveles de fatiga acumulada comparables a los de sesiones físicamente más exigentes, lo que sugiere la conveniencia de que la planificación de la carga total de entrenamiento considere de manera integrada ambas dimensiones, física y cognitiva, en lugar de atender exclusivamente a la primera.

Resulta pertinente, además, considerar la distribución de la carga a lo largo de periodos temporales más amplios que la sesión individual de entrenamiento, mediante los principios clásicos de la periodización deportiva, adaptados en este caso para incorporar explícitamente las consideraciones sobre variabilidad, interferencia contextual y punto de desafío óptimo revisadas en este apartado, de modo que la progresión de la dificultad funcional de las tareas a lo largo de un macrociclo de entrenamiento responda a un diseño deliberado y fundamentado, y no a una simple intensificación progresiva y genérica de la exigencia física tradicionalmente empleada en los modelos de periodización convencionales.

Conviene, finalmente, señalar que la organización de estímulos y cargas debe considerar también los periodos de descanso y de recuperación, tanto dentro de una misma sesión como entre sesiones sucesivas, dado que la consolidación del aprendizaje motor, como se ha revisado extensamente en trabajos anteriores sobre neuroplasticidad y consolidación de la memoria, ocurre en buena medida durante estos periodos de recuperación, y no exclusivamente durante la práctica activa, lo que exige que la planificación de la carga de entrenamiento contemple explícitamente estos periodos como una parte constitutiva y necesaria del proceso formativo, y no como un simple tiempo muerto entre sesiones de práctica efectiva.

ISBN
978-9942-595-14-0

La aplicación del feedback o retroalimentación constituye una de las etapas más ampliamente investigadas dentro del proceso de diseño del entrenamiento, dada su relevancia directa para la calidad del aprendizaje motor revisada extensamente en la literatura clásica sobre conocimiento de resultados. Salmoni et al. (1984) documentaron que, si bien la retroalimentación aumentada favorece el desempeño inmediato durante la práctica, su suministro excesivamente frecuente puede resultar perjudicial para el aprendizaje a largo plazo, al generar en el deportista una dependencia de dicha información externa que interfiere con el desarrollo de sus propios mecanismos internos de detección y corrección de errores.

Este hallazgo respalda un principio pedagógico central para el diseño efectivo del entrenamiento: la frecuencia de la retroalimentación aumentada debe reducirse progresivamente a lo largo del proceso formativo, a medida que el deportista avanza en su dominio de la habilidad correspondiente, patrón representado esquemáticamente en la Figura 5, que ilustra cómo una frecuencia inicialmente elevada de retroalimentación puede irse desvaneciendo de manera sistemática a lo largo de las sesiones sucesivas de entrenamiento.

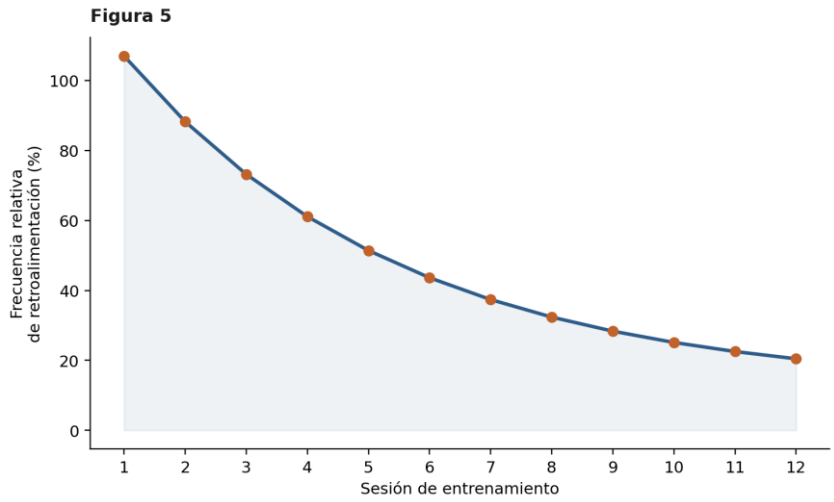


Figura 5

Desvanecimiento progresivo de la frecuencia de retroalimentación a lo largo de las sesiones de entrenamiento

Nota. Elaboración propia con base en los principios descritos por Salmoni et al. (1984).

La aplicación efectiva del feedback exige, además, considerar su contenido específico y su momento de aplicación: como se ha revisado en trabajos anteriores, la retroalimentación centrada en un número reducido de aspectos críticos de la ejecución resulta más efectiva que la retroalimentación excesivamente detallada y exhaustiva, que puede sobrecargar la capacidad limitada de procesamiento del deportista; asimismo, la retroalimentación formulada con un foco atencional externo, dirigido hacia el efecto del movimiento sobre el entorno, tiende a favorecer un aprendizaje más eficiente que la retroalimentación centrada en el control interno y consciente del propio cuerpo.

La aplicación del feedback debe considerar, finalmente, su dimensión motivacional y emocional, revisada extensamente en la literatura sobre psicología del deporte: comunicar la retroalimentación de manera que refuerce la percepción de progreso y de competencia del deportista, en lugar de centrarse exclusivamente en un registro correctivo y deficitario, favorece tanto el aprendizaje motor como la motivación intrínseca sostenida del deportista a lo largo de su proceso formativo, en coherencia con los principios de la teoría OPTIMAL revisados en trabajos anteriores.

Resulta pertinente, finalmente, distinguir entre las fuentes de retroalimentación disponibles para el deportista, que no se limitan a la información verbal proporcionada por el entrenador, sino que incluyen también la retroalimentación generada por compañeros de entrenamiento, la retroalimentación tecnológica revisada en la literatura sobre tecnología deportiva, y la propia retroalimentación intrínseca que el deportista extrae de sus sentidos durante la ejecución; un programa de entrenamiento bien diseñado combina deliberadamente estas distintas fuentes, en lugar de depender exclusivamente de la retroalimentación verbal del entrenador como único canal de información correctiva disponible para el deportista.

Un aspecto adicional relevante es la necesidad de enseñar explícitamente al deportista a interpretar y a utilizar productivamente la retroalimentación que recibe, habilidad que no debe darse por sentada, particularmente en deportistas jóvenes o principiantes, y cuyo desarrollo deliberado enseñar al deportista qué preguntas formularse ante una retroalimentación recibida, cómo relacionarla con

ISBN
978-9942-595-14-0

intentos anteriores, cómo traducirla en ajustes concretos para el siguiente intento constituye en sí mismo un objetivo formativo valioso que trasciende el aprendizaje de la habilidad motriz específica que originó dicha retroalimentación.

La evaluación del aprendizaje motor constituye la etapa mediante la cual el entrenador determina, de manera sistemática y fundamentada, en qué medida se han alcanzado efectivamente los objetivos formulados en la segunda etapa del proceso de diseño, distinguiendo, como se ha señalado extensamente en la literatura clásica sobre comportamiento motor, entre el rendimiento observable durante una sesión particular de entrenamiento y el aprendizaje efectivamente consolidado, que solo puede inferirse a partir de evaluaciones realizadas tras periodos de retención adecuados y, en la medida de lo posible, en condiciones representativas de la competencia real.

El modelo de evaluación de cuatro niveles propuesto originalmente por Kirkpatrick (1994) en el ámbito de la formación organizacional ofrece un marco conceptual adaptable al contexto del entrenamiento deportivo, al proponer evaluar de manera diferenciada la reacción inmediata del aprendiz ante la experiencia formativa, el aprendizaje efectivamente logrado, el cambio de comportamiento observable en la aplicación práctica de dicho aprendizaje, y los resultados finales alcanzados en relación con los objetivos generales del programa formativo, niveles que, trasladados al contexto deportivo, corresponden respectivamente a la satisfacción y el compromiso del deportista con el proceso de entrenamiento, la retención y transferencia de las habilidades específicas trabajadas, la aplicación efectiva de dichas habilidades en condiciones de competencia real, y el desempeño competitivo general del deportista o del equipo a mediano y largo plazo.

La evaluación del aprendizaje motor debe emplear, en coherencia con los principios revisados en trabajos anteriores sobre entrenamiento basado en situaciones reales, instrumentos y condiciones de evaluación que resulten representativos de la competencia real, evitando limitar dicha evaluación exclusivamente a condiciones artificiales y descontextualizadas que, aunque pedagógicamente más sencillas de administrar, ofrecen una validez ecológica considerablemente menor sobre la capacidad efectiva del deportista para

desplegar sus aprendizajes en el contexto competitivo real para el cual fueron originalmente desarrollados.

Un aspecto adicional relevante para esta etapa es la conveniencia de emplear criterios de evaluación específicos y objetivos, definidos previamente durante la etapa de formulación de objetivos, más que juicios cualitativos genéricos e insuficientemente fundamentados, principio que conecta directamente esta etapa con la especificidad y medibilidad de los objetivos revisada en el segundo apartado de este trabajo, y que permite además una comparación más rigurosa del progreso del deportista a lo largo del tiempo.

La construcción de estos criterios específicos de evaluación puede beneficiarse, además, de la participación del propio deportista en su definición, particularmente en etapas avanzadas de su formación, práctica que refuerza su comprensión de los estándares de calidad esperados para su desempeño y que favorece, en coherencia con los principios de autodeterminación revisados en trabajos anteriores, una mayor apropiación personal del proceso evaluativo, en comparación con un esquema en el cual los criterios de evaluación son definidos e impuestos unilateralmente por el entrenador sin ninguna participación del deportista en dicho proceso.

Resulta pertinente señalar, finalmente, que la evaluación del aprendizaje motor no debe concebirse exclusivamente como un ejercicio de medición retrospectiva del progreso ya alcanzado, sino también como una experiencia formativa en sí misma para el deportista, que puede favorecer, cuando se comunica adecuadamente, su propia comprensión metacognitiva de su proceso de aprendizaje y su percepción de autoeficacia revisada en la literatura sobre psicología del deporte, siempre que dicha evaluación se comunique de manera constructiva y orientada al progreso futuro, más que como un juicio definitivo y estático sobre las capacidades del deportista.

Cabe destacar, además, que la evaluación del aprendizaje motor no debe recaer exclusivamente en el juicio del entrenador, sino que puede beneficiarse de la incorporación de procesos de autoevaluación y coevaluación por parte de los propios deportistas, estrategia que, además de aportar información valiosa complementaria a la perspectiva del entrenador, contribuye al desarrollo de la

ISBN
978-9942-595-14-0

capacidad metacognitiva y de la autonomía del deportista sobre su propio proceso de aprendizaje, en coherencia con los principios de autodeterminación revisados en trabajos anteriores.

Resulta pertinente, además, señalar que la periodicidad de las evaluaciones debe calibrarse cuidadosamente, dado que evaluaciones excesivamente frecuentes pueden interferir con el propio proceso de entrenamiento y generar una presión evaluativa contraproducente para el aprendizaje, revisada en la literatura sobre disposición psicológica del deportista, mientras que evaluaciones excesivamente espaciadas pueden retrasar la detección oportuna de dificultades que ameritarían un ajuste más temprano del programa formativo, lo que sugiere la conveniencia de establecer un calendario de evaluación equilibrado y ajustado a la naturaleza específica de cada objetivo formativo.

El seguimiento y ajuste del entrenamiento constituye la octava y última etapa del ciclo de diseño representado en la Figura 1, aunque, como se ha señalado desde la introducción de este trabajo, esta etapa no representa realmente un punto final del proceso, sino el momento en que la información generada por la evaluación retroalimenta nuevamente el diagnóstico de necesidades, dando inicio a un nuevo ciclo de diseño ajustado a la situación actualizada del deportista, en coherencia con la naturaleza cíclica y recursiva del proceso de diseño instruccional revisado en la literatura especializada (Branch, 2009).

El seguimiento continuo del proceso formativo exige del entrenador una actitud de observación sistemática y de registro documentado de la evolución del deportista a lo largo del tiempo, apoyándose en las tecnologías de seguimiento del rendimiento y en las plataformas digitales de entrenamiento revisadas en trabajos anteriores de este conjunto de documentos, que permiten complementar la observación cualitativa tradicional con indicadores cuantitativos objetivos sobre distintas dimensiones del desempeño físico, técnico, cognitivo y psicológico del deportista.

Este seguimiento debe extenderse, además, más allá del ámbito estrictamente deportivo, considerando también factores contextuales del deportista que pueden incidir indirectamente sobre su proceso formativo, como su carga académica o laboral concurrente, su situación familiar y sus condiciones

generales de descanso y recuperación, dimensiones que, aunque no siempre se encuentran bajo el control directo del entrenador, resultan relevantes para interpretar adecuadamente las fluctuaciones en el desempeño del deportista y para ajustar con criterio realista las expectativas y las exigencias del programa de entrenamiento vigente.

El ajuste del entrenamiento, fundamentado en la información generada por este seguimiento continuo, puede involucrar modificaciones en cualquiera de las etapas anteriores del proceso de diseño: la reformulación de objetivos que han resultado insuficientemente desafiantes o excesivamente exigentes para el nivel actual del deportista, la selección de estrategias pedagógicas alternativas ante evidencia de que las inicialmente seleccionadas no están produciendo los resultados esperados, el rediseño de tareas motrices específicas, o el ajuste de la organización temporal de la carga de entrenamiento, entre otras posibles modificaciones.

Un principio pedagógico relevante para esta etapa final es la importancia de distinguir entre fluctuaciones transitorias y normales en el desempeño del deportista, que no ameritan necesariamente un ajuste sustancial del programa de entrenamiento, y patrones sostenidos que sí sugieren la necesidad de una revisión más profunda del diseño formativo vigente, distinción que exige del entrenador un criterio profesional informado y una perspectiva temporal suficientemente amplia para no reaccionar de manera precipitada ante variaciones puntuales del desempeño que forman parte de la variabilidad natural e inherente al proceso de aprendizaje motor.

Finalmente, el seguimiento y ajuste del entrenamiento debe entenderse como la manifestación práctica del carácter científico que este trabajo ha buscado atribuir, a lo largo de sus ocho etapas, al diseño del entrenamiento deportivo: un proceso que no se limita a aplicar de manera mecánica un plan formativo predeterminado e inmutable, sino que se mantiene permanentemente abierto a la evidencia generada por su propia implementación, ajustándose iterativamente en función de dicha evidencia, en coherencia con el espíritu general de las ciencias del comportamiento motor y de la neurodidáctica revisadas a lo largo de este y de los trabajos previos que conforman este conjunto de documentos.

Cabe señalar, además, que el registro histórico acumulado a lo largo de sucesivos ciclos de seguimiento y ajuste constituye, con el tiempo, una fuente de conocimiento pedagógico valiosa y específica del entrenador sobre las particularidades de cada deportista, conocimiento que complementa y enriquece los principios generales revisados en la literatura especializada con una comprensión contextualizada de cómo dichos principios operan efectivamente en la práctica cotidiana de un deportista o un equipo particular, y que puede resultar tan valioso para la toma de decisiones pedagógicas como la evidencia científica general revisada a lo largo de este trabajo.

Este registro histórico resulta, además, particularmente valioso en los procesos de transición del deportista entre distintos entrenadores o etapas formativas, dado que permite a un nuevo entrenador acceder rápidamente a una comprensión fundamentada de la trayectoria previa del deportista, evitando la pérdida de información relevante que con frecuencia ocurre en dichas transiciones y que puede obligar a reiniciar innecesariamente etapas del proceso de diagnóstico y ajuste ya recorridas previamente con un entrenador anterior.

Finalmente, cabe destacar que la implementación efectiva de este ciclo completo de ocho etapas exige del entrenador una combinación de rigor metodológico y de flexibilidad práctica, cualidades que se desarrollan progresivamente con la experiencia y con la formación continua, y que distinguen a los entrenadores capaces de aplicar de manera genuinamente reflexiva los fundamentos revisados a lo largo de este trabajo de aquellos que, aun conociendo dichos fundamentos de manera teórica, no logran traducirlos efectivamente en decisiones pedagógicas cotidianas ajustadas a la realidad específica y siempre cambiante de sus deportistas.

CONCLUSIONES

ISBN
978-9942-595-14-0

REFERENCIAS

Abernethy, B. (2001). Attention. En R. N. Singer, H. A. Hausenblas, & C. M. Janelle (Eds.), Handbook of sport psychology (2.ª ed., pp. 53–85). John Wiley & Sons.

Adams, J. A. (1971). A closed-loop theory of motor learning. Journal of Motor Behavior, 3(2), 111–150.

Akbar, S., Soh, K. G., Nasiruddin, N. J. M., Bashir, M., Cao, S., & Soh, K. L. (2022). Effects of neuromuscular training on athletes physical fitness in sports: A systematic review. Frontiers in Physiology, 13, 939042. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.939042

Alba-Jiménez, C., Moreno-Doutres, D., & Peña, J. (2022). Trends assessing neuromuscular fatigue in team sports: A narrative review. Sports, 10(3), 33. https://doi.org/10.3390/sports10030033

American College of Sports Medicine. (2009). Progression models in resistance training for healthy adults. Medicine & Science in Sports & Exercise, 41(3), 687–708. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670

Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (Eds.). (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Longman.

Araújo, D., Davids, K., & Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision making in sport. Psychology of Sport and Exercise, 7(6), 653–676.

Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? Trends in Cognitive Sciences, 4(11), 417–423.

Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. En G. H. Bower (Ed.), The psychology of learning and motivation (Vol. 8, pp. 47–89). Academic Press.

Bernstein, N. A. (1967). The co-ordination and regulation of movements. Pergamon Press.

Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. Developmental Review, 30(4), 331–351.

Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gastin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W., & Cable, N. T. (2017). Monitoring athlete training loads: Consensus statement. International Journal of Sports Physiology and Performance, 12(Suppl. 2), S2-161–S2-170. https://doi.org/10.1123/IJSPP.2017-0208

Branch, R. M. (2009). Instructional design: The ADDIE approach. Springer.

Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. Harvard Educational Review, 31(1), 21–32.

Casado, A., González-Mohíno, F., González-Ravé, J. M., & Foster, C. (2022). Training periodization, methods, intensity distribution, and volume in highly trained and elite distance runners: A systematic review. International Journal of Sports Physiology and Performance, 17(6), 820–833. https://doi.org/10.1123/ijspp.2021-0435

Claudino, J. G., Capanema, D. O., de Souza, T. V., Serrão, J. C., Pereira, A. C. M., & Nassis, G. P. (2019). Current approaches to the use of artificial intelligence for injury risk assessment and performance prediction in team sports: A systematic review. Sports Medicine - Open, 5(1), Artículo 28.

Correa-Mesa, J. F., & Álvarez-Peña, P. A. (2016). Neurología de la anticipación y sus implicaciones en el deporte. *Revista de la Facultad de Medicina, 64*(1), 99-109. https://doi.org/10.15446/revfacmed.v64n1.50473

Cotman, C. W., & Berchtold, N. C. (2002). Exercise: A behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. Trends in Neurosciences, 25(6), 295–301.

Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., & West, C. (2013). Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: A systematic review. Sports Medicine, 43(10), 1025–1042.

Currier, B. S., D'Souza, A. C., Fiatarone Singh, M. A., Lowisz, C. V., Rawson, E. S., Schoenfeld, B. J., Smith-Ryan, A. E., Steen, J. P., Thomas, G. A., Triplett, N. T., Washington, T. A., Werner, T. J., & Phillips, S. M. (2026). American College of Sports Medicine position stand. Resistance training prescription for muscle function, hypertrophy, and physical performance in healthy adults: An overview of reviews. Medicine & Science in Sports & Exercise, 58(4), 851–872. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003897

Davids, K., Button, C., & Bennett, S. J. (2008). Dynamics of skill acquisition: A constraints-led approach. Human Kinetics.

Dayan, E., & Cohen, L. G. (2011). Neuroplasticity subserving motor skill learning. Neuron, 72(3), 443–454.

Diamond, A. (2013). Executive functions. Annual Review of Psychology, 64, 135–168.

Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. Science, 333(6045), 959–964.

Doidge, N. (2007). The brain that changes itself: Stories of personal triumph from the frontiers of brain science. Viking.

Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. Nature, 427(6972), 311–312.

El-Sayes, J., Harasym, D., Turco, C. V., Locke, M. B., & Nelson, A. J. (2019). Exercise-induced neuroplasticity: A mechanistic model and prospects for promoting plasticity. *The Neuroscientist, 25*(1), 65-85. https://doi.org/10.1177/1073858418771538

Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., Kim, J. S., Heo, S., Alves, H., White, S. M., Wojcicki, T. R., Mailey, E., Vieira, V. J., Martin, S. A., Pence, B. D., Woods, J. A., McAuley, E., & Kramer, A. F. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(7), 3017–3022.

Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. Psychological Review, 100(3), 363–406.

Fitts, P. M., & Posner, M. I. (1967). Human performance. Brooks/Cole.

Fort Vanmeerhaeghe, A., & Romero Rodríguez, D. (2013). Rol del sistema sensoriomotor en la estabilidad articular durante las actividades deportivas. *Apunts. Medicina de l'Esport, 48*(178), 69-76. https://doi.org/10.1016/j.apunts.2012.09.002

Galán-Rioja, M. Á., Gonzalez-Ravé, J. M., González-Mohíno, F., & Seiler, S. (2023). Training periodization, intensity distribution, and volume in trained cyclists: A systematic review. International Journal of Sports Physiology and Performance, 18(2), 112–122. https://doi.org/10.1123/ijspp.2022-0302

García Martínez, R., Hernández, E., Concha, A., Pérez Estudillo, C. A., García Hernández, L. I., Hernández Aguilar, M. E., & Manzo, J. (2009). El cerebelo y sus funciones. *Revista Médica de la Universidad Veracruzana, 9*(1), 24-30.

Gentile, A. M. (1972). A working model of skill acquisition with application to teaching. Quest, 17(1), 3–23.

Gibson, J. J. (1979). The ecological approach to visual perception. Houghton Mifflin.

Goswami, U. (2006). Neuroscience and education: From research to practice? Nature Reviews Neuroscience, 7(5), 406–411.

Guadagnoli, M. A., & Lee, T. D. (2004). Challenge point: A framework for conceptualizing the effects of various practice conditions in motor learning. Journal of Motor Behavior, 36(2), 212–224.

Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2021). *Tratado de fisiología médica* (14.ª ed.). Elsevier.

Hawley, J. A., Hargreaves, M., Joyner, M. J., & Zierath, J. R. (2022). The molecular athlete: Exercise physiology from mechanisms to medals. Physiological Reviews, 102(2), 817–868. https://doi.org/10.1152/physrev.00017.2022

Hebb, D. O. (1949). The organization of behavior: A neuropsychological theory. Wiley.

Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: Exercise effects on brain and cognition. Nature Reviews Neuroscience, 9(1), 58–65.

Holmes, P. S., & Collins, D. J. (2001). The PETTLEP approach to motor imagery: A functional equivalence model for sport psychologists. Journal of Applied Sport Psychology, 13(1), 60–83.

Hötting, K., & Röder, B. (2013). Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 37(9), 2243–2257.

Howard-Jones, P. A. (2014). Neuroscience and education: Myths and messages. Nature Reviews Neuroscience, 15(12), 817–824.

Immordino-Yang, M. H., & Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education. Mind, Brain, and Education, 1(1), 3–10.

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. https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0935

Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2001). *Principios de neurociencia* (4.ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Kirkpatrick, D. L. (1994). Evaluating training programs: The four levels. Berrett-Koehler.

Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (1998). Brain plasticity and behavior. Annual Review of Psychology, 49, 43–64.

Kramer, A. F., & Erickson, K. I. (2007). Capitalizing on cortical plasticity: Influence of physical activity on cognition and brain function. Trends in Cognitive Sciences, 11(8), 342–348.

Machado, S., Cunha, M., Velasques, B., Minc, D., Teixeira, S., Domingues, C. A., Silva, J. G., Bastos, V. H., Budde, H., Cagy, M., Basile, L., Piedade, R., & Ribeiro, P. (2010). Integración sensitivomotora: conceptos básicos, anomalías relacionadas con trastornos del movimiento y reorganización cortical inducida por el entrenamiento sensitivomotor. *Revista de Neurología, 51*(7), 427-436. https://doi.org/10.33588/rn.5107.2010228

Magill, R. A., & Anderson, D. I. (2017). Motor learning and control: Concepts and applications (11.ª ed.). McGraw-Hill.

Mann, D. T. Y., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: A meta-analysis. Journal of Sport & Exercise Psychology, 29(4), 457–478.

Mirifar, A., Beckmann, J., & Ehrlenspiel, F. (2017). Neurofeedback as supplementary training for optimizing athletes' performance: A systematic review with implications for future research. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 75, 419–432.

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex 'frontal lobe' tasks: A latent variable analysis. Cognitive Psychology, 41(1), 49–100.

Mora, F. (2013). Neuroeducación: Solo se puede aprender aquello que se ama. Alianza Editorial.

Mountjoy, M., Junge, A., & Soligard, T. (2016). How much is too much? (Part 2) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness. British Journal of Sports Medicine, 50(17), 1043–1052. https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096581

Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Cherny, C. E., Heidt, R. S., & Hewett, T. E. (2021). Developmental training model for the sport specialized youth athlete: A dynamic strategy for individualizing load-response during maturation. Sports Health, 13(4), 320–328. https://doi.org/10.1177/19417381211004138

Neumann, D. L., Moffitt, R. L., Thomas, P. R., Loveday, K., Watling, D. P., Lombard, C. L., Antonova, S., & Tremeer, M. A. (2018). A systematic review of the application of interactive virtual reality to sport. Virtual Reality, 22(3), 183–198.

Newell, K. M. (1986). Constraints on the development of coordination. En M. G. Wade & H. T. A. Whiting (Eds.), Motor development in children: Aspects of coordination and control (pp. 341–360). Martinus Nijhoff.

Nideffer, R. M. (1976). Test of attentional and interpersonal style. Journal of Personality and Social Psychology, 34(3), 394–404.

Nudo, R. J. (2003). Adaptive plasticity in motor cortex: Implications for rehabilitation after brain injury. Journal of Rehabilitation Medicine, 35(Suppl. 41), 7–10.

OECD. (2007). Understanding the brain: The birth of a learning science. OECD Publishing.

Pascual-Leone, A., Amedi, A., Fregni, F., & Merabet, L. B. (2005). The plastic human brain cortex. Annual Review of Neuroscience, 28, 377–401.

Pesce, C. (2012). Shifting the focus from quantitative to qualitative exercise characteristics in exercise and cognition research. Journal of Sport & Exercise Psychology, 34(6), 766–786.

Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. Annual Review of Neuroscience, 13(1), 25–42.

Ratey, J. J., & Hagerman, E. (2008). Spark: The revolutionary new science of exercise and the brain. Little, Brown.

Renshaw, I., Davids, K., & Savelsbergh, G. J. P. (Eds.). (2010). Motor learning in practice: A constraints-led approach. Routledge.

Restrepo, J. (2010). Función práxica y ganglios basales. *Revista Chilena de Neuropsicología, 5*(2), 69-81.

Ruiz Pérez, L. M. (1994). Deporte y aprendizaje: Procesos de adquisición y desarrollo de habilidades. Visor.

Ruiz Pérez, L. M., & Sánchez Bañuelos, F. (1997). Rendimiento deportivo: Claves para la optimización de los aprendizajes. Gymnos.

Salmoni, A. W., Schmidt, R. A., & Walter, C. B. (1984). Knowledge of results and motor learning: A review and critical reappraisal. Psychological Bulletin, 95(3), 355–386.

Salmoni, A. W., Schmidt, R. A., & Walter, C. B. (1984). Knowledge of results and motor learning: A review and critical reappraisal. Psychological Bulletin, 95(3), 355–386.

Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. Psychological Review, 103(3), 403–428.

Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. Psychological Review, 82(4), 225–260.

Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2020). Motor learning and performance: From principles to application (6.ª ed.). Human Kinetics.

Schmidt, R. A., Lee, T. D., Winstein, C., Wulf, G., & Zelaznik, H. N. (2018). Motor control and learning: A behavioral emphasis (6.ª ed.). Human Kinetics.

Schöllhorn, W. I., Hegen, P., & Davids, K. (2012). The nonlinear nature of learning: A differential learning approach. The Open Sports Sciences Journal, 5(1), 100–112.

Shea, J. B., & Morgan, R. L. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory, 5(2), 179–187.

Squire, L. R., & Kandel, E. R. (2009). Memory: From mind to molecules (2.ª ed.). Roberts & Company.

Teixeira, J. E., Forte, P., Ferraz, R., Leal, M., Ribeiro, J., Silva, A. J., Barbosa, T. M., & Monteiro, A. M. (2021). Monitoring accumulated training and match load in football: A systematic review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(8), 3906. https://doi.org/10.3390/ijerph18083906

Tenenbaum, G., & Eklund, R. C. (Eds.). (2007). Handbook of sport psychology (3.ª ed.). John Wiley & Sons.

Thurlow, F., Weakley, J., Townshend, A. D., Timmins, R. G., Morrison, M., & McLaren, S. J. (2023). The acute demands of repeated-sprint training on physiological, neuromuscular, perceptual and performance outcomes in team sport athletes: A systematic review and meta-analysis. Sports Medicine, 53(8), 1609–1640. https://doi.org/10.1007/s40279-023-01853-w

Tokuhama-Espinosa, T. (2011). Mind, brain, and education science: A comprehensive guide to the new brain-based teaching. W. W. Norton & Company.

Voss, M. W., Vivar, C., Kramer, A. F., & van Praag, H. (2013). Bridging animal and human models of exercise-induced brain plasticity. Trends in Cognitive Sciences, 17(10), 525–544.

Williams, A. M., & Ward, P. (2007). Anticipation and decision making: Exploring new horizons. En G. Tenenbaum & R. C. Eklund (Eds.), Handbook of sport psychology (3.ª ed., pp. 203–223). John Wiley & Sons.

Williams, A. M., & Ward, P. (2007). Anticipation and decision making: Exploring new horizons. En G. Tenenbaum & R. C. Eklund (Eds.), Handbook of sport psychology (3.ª ed., pp. 203–223). John Wiley & Sons.

Willingham, D. B. (1998). A neuropsychological theory of motor skill learning. Psychological Review, 105(3), 558–584.

Wulf, G., & Lewthwaite, R. (2016). Optimizing performance through intrinsic motivation and attention for learning: The OPTIMAL theory of motor learning. Psychonomic Bulletin & Review, 23(5), 1382–1414.

Zhang, Y., et al. (2025). The correlations between training load parameters and physical performance adaptations in team sports: A systematic review and meta-analysis. [Systematic review]. PubMed record PMID: 41381923.

Zull, J. E. (2002). The art of changing the brain: Enriching the practice of teaching by exploring the biology of learning. Stylus Publishing.

Fabián Andrés Contreras Jáuregui

Docente de planta, Categoría Asociado. Licenciatura en Educación Física, Recreación y Deportes, Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad del Atlántico, Colombia. Líder - miembro del grupo de Investigación en Educación Física y Ciencias Aplicadas al Deporte GREDFICAD, Fisioterapeuta Universidad Manuela Beltrán, Especialista en Entrenamiento Deportivo Universidad de Pamplona, Doctor en ciencias de la Cultura Física Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte "Manuel Fajardo" La Habana - Cuba, demuestra una amplia experiencia en la docencia universitaria en temáticas como Morfofisiología Deportiva, Biomecánica, Kinesiología, Entrenamiento Deportivo, Técnicas de Evaluación, metodología de la investigación. Su trayectoria investigativa ha sido registrada en publicaciones nacionales e internacionales a través de artículos, libros lo que le ha permitido participar en congresos nacionales e internacionales. fabiancontreras@mail.uniatlantico.edu.co

Mariano Jairo Salleg Cabarcas

Docente titular de la Universidad de Córdoba, con más de 20 años de experiencia en educación superior. Licenciado en Educación Física, Recreación y Deporte. Especialista en Metodología del Entrenamiento Deportivo. Magíster en

Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Doctor en Ciencias Cognitivas, Universidad Autónoma de Manizales –Colombia. Investigador del Grupo de Investigación en Ciencias de la Actividad Física y la Salud (GICAFS) de la Universidad de Córdoba. Conferencista internacional en más de 10 eventos académicos. Creador del programa psicoeducativo Sport Game, pionero en la intervención con niños con TDAH.