

# Módulo 4. Futuro de los *wearables* en la fisiología del ejercicio

## Unidad 1. Tendencias emergentes y avances tecnológicos

### Desarrollo de sensores más avanzados y precisos

El campo de los dispositivos portátiles aplicados a la fisiología del ejercicio ha experimentado una transformación significativa en los últimos años. Esta evolución ha sido impulsada, en gran medida, por el desarrollo de sensores cada vez más avanzados y precisos. Estos dispositivos, que en sus inicios se limitaban a contar pasos o estimar el pulso, hoy son capaces de medir una amplia gama de parámetros fisiológicos con una precisión casi clínica, lo que abre nuevas posibilidades en el monitoreo de la salud y el rendimiento deportivo. A continuación, se analizará el papel que desempeñan la nanotecnología, los materiales inteligentes y los sensores implantables en esta revolución tecnológica. Mediante ejemplos concretos y aplicaciones prácticas, se ilustrarán las implicaciones de estos avances para entrenadores, fisioterapeutas, científicos del deporte y atletas.

El uso de la nanotecnología en la fabricación de sensores ha permitido una miniaturización sin precedentes, junto con mejoras en la sensibilidad y especificidad de las mediciones. Los sensores a escala nanométrica pueden integrarse directamente en textiles o aplicarse sobre la piel como si se tratara de tatuajes temporales, lo que les confiere gran versatilidad y comodidad para el usuario. Uno de los desarrollos más relevantes es la incorporación de sensores de grafeno en prendas deportivas. El grafeno, por su alta conductividad y flexibilidad, permite detectar variaciones en la conductividad del sudor, lo que proporciona información sobre los niveles de hidratación y la acumulación de metabolitos. A modo de ejemplo, un corredor de fondo puede utilizar una camiseta equipada con estos sensores para recibir alertas en tiempo real sobre su necesidad de rehidratarse, optimizando así su rendimiento y evitando situaciones de riesgo como la hiponatremia.

Los materiales inteligentes, por su parte, tienen la capacidad de responder a estímulos del entorno. Esto incluye textiles con fibras electroactivas que detectan la contracción muscular a través de señales electromiográficas (EMG). Estas prendas no solo ofrecen datos sobre la intensidad del esfuerzo, sino también sobre la simetría y la coordinación muscular, aspectos fundamentales en deportes que requieren precisión técnica como la gimnasia, el tenis o el levantamiento olímpico.



En otro caso, un parche de hidrogel que analiza el pH del sudor puede alertar sobre la aparición de desequilibrios metabólicos antes de que se manifiesten síntomas visibles de fatiga. Este tipo de tecnología resulta especialmente útil en entrenamientos prolongados o en condiciones climáticas extremas.

Los sensores implantables representan la vanguardia en la monitorización continua del cuerpo humano. A diferencia de los dispositivos externos, estos sensores operan desde el interior del organismo, lo que permite obtener datos altamente precisos sin interferencias externas. Están fabricados con materiales biocompatibles, capaces de integrarse en el cuerpo sin provocar respuestas inmunológicas adversas. Entre las aplicaciones más relevantes se encuentran los medidores de glucosa implantables, como el sistema Eversense, que pueden proporcionar información continua durante varios meses. Aunque su uso original se destinó al manejo de la diabetes, deportistas de élite han comenzado a emplearlos para ajustar la ingesta de carbohidratos y evitar tanto la hipoglucemia como los picos de glucosa que afectan el rendimiento.

Otro avance destacable es el uso de sensores implantables para medir los niveles de lactato en sangre mediante el análisis del sudor, como lo hace la empresa Onalabs. El lactato es un indicador clave del metabolismo anaeróbico, y su monitoreo preciso permite planificar con mayor eficacia los entrenamientos de resistencia. Estos sensores ofrecen una alternativa al análisis tradicional mediante extracción de sangre, que solo proporciona una imagen puntual del estado fisiológico del atleta.

Asimismo, existen *microchips* capaces de monitorear la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) y la temperatura muscular profunda, lo que permite detectar signos tempranos de sobreentrenamiento o lesión. En muchos casos, estos datos son transmitidos de forma inalámbrica a plataformas de análisis que integran inteligencia artificial para ofrecer recomendaciones personalizadas.

Los sensores avanzados están transformando la manera en que los entrenadores y deportistas gestionan el rendimiento. A continuación, se presenta una síntesis de las aplicaciones más destacadas:

- **Frecuencia cardíaca.** Medida mediante sensores ópticos o textiles, se utiliza para monitorizar la intensidad del ejercicio y trabajar en zonas específicas de esfuerzo.
- **Oxigenación muscular ( $SmO_2$ ).** Evaluada con espectroscopía infrarroja cercana (NIRS), permite conocer el grado de saturación de oxígeno en los músculos y ajustar el volumen e intensidad del entrenamiento.
- **Hidratación.** Sensores químicos detectan la concentración de electrolitos en el sudor, ayudando a prevenir calambres y deshidratación en competencias de larga duración.



- **Glucosa en sangre.** El monitoreo continuo de glucosa permite optimizar la nutrición intraentrenamiento, especialmente en deportes de resistencia como triatlón o ciclismo de ultradistancia.
- **Actividad muscular.** Los sensores EMG incorporados en ropa deportiva permiten detectar desequilibrios musculares y mejorar la técnica de movimiento.
- **pH del sudor.** Una métrica emergente para identificar signos de fatiga metabólica antes de que afecten el rendimiento.

A pesar de su potencial, la implementación masiva de sensores avanzados enfrenta diversos desafíos, al igual que ocurre con los dispositivos o sensores más tradicionales. Uno de los principales es la necesidad de validar científicamente cada nuevo dispositivo. En muchos casos, los productos comerciales no alcanzan los niveles de precisión requeridos por investigadores y profesionales clínicos.

Otro aspecto crítico es la privacidad de los datos. La recolección constante de información biométrica plantea interrogantes importantes sobre el uso y almacenamiento de dicha información. Regulaciones como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) en Europa obligan a las empresas a garantizar la confidencialidad y seguridad de los datos personales.

El costo también sigue siendo un obstáculo relevante. Muchos dispositivos aún no están al alcance de la mayoría de los deportistas aficionados, lo que puede profundizar las desigualdades en el acceso a tecnología de avanzada. La interoperabilidad entre plataformas y dispositivos representa otra barrera para su adopción generalizada, junto con la necesidad de garantizar la durabilidad de los sensores implantables a largo plazo.

Una de las líneas más innovadoras en el desarrollo de sensores es la creación de sistemas autónomos, capaces de generar su propia energía a partir del entorno o del propio cuerpo. Este enfoque elimina la necesidad de baterías convencionales, lo que reduce el tamaño del dispositivo y mejora su sostenibilidad. Por ejemplo, se están utilizando plantillas inteligentes que generan electricidad mediante la presión del pie en contextos de rehabilitación y análisis biomecánico. Estas plantillas no solo recogen datos sobre la pisada, sino que también pueden alimentar pequeños módulos de comunicación inalámbrica. Otros desarrollos incluyen camisetas confeccionadas con materiales termoeléctricos que convierten el calor corporal en energía utilizable, y pulseras con celdas solares integradas que se recargan con luz artificial. Estas soluciones permiten extender la autonomía de los dispositivos sin necesidad de recargas frecuentes, lo que las hace especialmente adecuadas para deportes de aventura o actividades al aire libre de larga duración.

En definitiva, los sensores avanzados están redefiniendo el rol de la tecnología en la fisiología del ejercicio. A medida que los dispositivos se hacen más precisos, pequeños,



cómodos y capaces de integrarse de manera natural en el cuerpo humano, el potencial para personalizar el entrenamiento, prevenir lesiones y mejorar el rendimiento se multiplica. Sin embargo, para que esta revolución tecnológica sea verdaderamente inclusiva y eficaz, será necesario abordar cuestiones críticas como la privacidad, el costo, y la validación científica de los dispositivos. El futuro de los wearables no está solo en la innovación, sino en su integración ética y equitativa en la práctica deportiva cotidiana.

## **Integración de inteligencia artificial y aprendizaje automático**

La integración de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático en los *wearables* ha permitido un salto cualitativo en el tratamiento y análisis de los datos biométricos. Gracias a estas tecnologías, los dispositivos no solo miden, sino que también interpretan, predicen y recomiendan. Esta capacidad ha inaugurado una nueva etapa de personalización extrema en el entrenamiento deportivo y en la monitorización de la salud, con aplicaciones que van desde el análisis predictivo hasta la interacción en tiempo real mediante asistentes virtuales inteligentes.

El análisis predictivo consiste en utilizar modelos estadísticos y de aprendizaje automático para anticipar comportamientos o estados fisiológicos futuros a partir de datos actuales y pasados. En el contexto deportivo, esto implica prever cuándo un atleta está a punto de lesionarse, cuándo alcanzará su pico de forma o cuál será su rendimiento en una competencia. Empresas como Whoop, Catapult Sports y Zebra Technologies han sido pioneras en este ámbito. Por ejemplo, la plataforma de Whoop recolecta de forma continua datos sobre frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV), sueño, esfuerzo físico y recuperación. Estos datos se integran en algoritmos de IA que identifican patrones asociados con el sobreentrenamiento, la fatiga acumulada o la falta de recuperación, generando alertas antes de que el atleta note los síntomas.

Catapult Sports, utilizada en deportes de equipo como el fútbol, el rugby o el baloncesto, emplea sensores inerciales combinados con inteligencia artificial para analizar más de mil métricas por sesión de entrenamiento. Esto permite no solo identificar tendencias de rendimiento, sino también ajustar la carga de trabajo de forma precisa y basada en evidencia. Por ejemplo, si un jugador muestra una reducción progresiva en la velocidad de reacción y un aumento en el tiempo de recuperación, el sistema puede recomendar descanso o una reducción en la intensidad del entrenamiento.

Otra aplicación interesante es el uso de algoritmos de predicción para optimizar el momento del entrenamiento. Aplicaciones como **TrainAsONE** utilizan IA para proponer sesiones personalizadas basadas en la evolución del corredor, su historial, fatiga estimada y ritmo cardíaco en reposo. La IA aprende continuamente del usuario, mejorando la precisión de sus recomendaciones semana a semana.



Los asistentes virtuales deportivos basados en IA representan una de las aplicaciones más accesibles y transformadoras para los usuarios. Estas interfaces conversacionales permiten una interacción natural con el dispositivo, ya sea a través de comandos de voz o mensajes de texto, y ofrecen asesoramiento en tiempo real, explicaciones personalizadas, y respuestas inmediatas a dudas o situaciones del entrenamiento. Aquí podemos encontrar varios ejemplos.

- **Ejemplo 1: Garmin Coach.** El sistema Garmin Coach permite crear planes de entrenamiento personalizados que se adaptan a las métricas de cada usuario. A medida que el reloj recolecta datos de ritmo, frecuencia cardíaca y recuperación, el plan se ajusta automáticamente. Además, el asistente virtual guía al usuario durante las sesiones con indicaciones en tiempo real. Si el usuario no completa un entrenamiento, el sistema lo reprograma en función de la carga general de la semana.
- **Ejemplo 2: Vi Trainer.** Este asistente virtual utiliza auriculares biométricos para interactuar con el corredor durante el entrenamiento. Su IA no solo da indicaciones de ritmo o motivación, sino que también adapta el entrenamiento al estado físico del usuario en tiempo real. Si la frecuencia cardíaca es demasiado alta, Vi lo detecta y propone bajar el ritmo o cambiar la sesión por una de recuperación.
- **Ejemplo 3: Peloton y el entrenamiento inteligente *indoor*.** Peloton ha revolucionado el entrenamiento en casa con bicicletas y cintas que integran pantallas, entrenadores en vivo y un motor de inteligencia artificial que sugiere programas personalizados basados en el rendimiento previo. La IA ajusta la dificultad y duración de las sesiones de acuerdo con el progreso del usuario.
- **Ejemplo 4: Zwift y la gamificación adaptativa.** Zwift combina sensores de potencia, frecuencia cardíaca y velocidad con mundos virtuales para ofrecer una experiencia de entrenamiento ciclístico o de carrera altamente motivadora. Gracias al machine learning, la plataforma adapta los recorridos y desafíos diarios a las capacidades del usuario, incentivando la progresión sin provocar sobrecargas.

La aplicación de inteligencia artificial en el ámbito del entrenamiento físico no se limita únicamente a la automatización de tareas o la recopilación de datos. Su verdadero valor radica en la capacidad de transformar dichos datos en conocimiento útil, práctico y personalizado, capaz de guiar al deportista en su evolución. Gracias a la IA, los programas de ejercicio ya no son estáticos ni genéricos: se adaptan, aprenden del usuario y responden en tiempo real a las necesidades y condiciones particulares de cada individuo.

A continuación, se presentan los principales beneficios que aporta la inteligencia artificial al entrenamiento físico moderno:

- **Personalización dinámica.** Cada sesión se adapta a los datos actuales del usuario.



- **Motivación aumentada:** la retroalimentación en tiempo real mantiene al usuario comprometido.
- **Prevención de lesiones:** al identificar indicadores tempranos de fatiga o sobrecarga.
- **Mejora del rendimiento:** ajustes continuos permiten entrenar en la zona óptima.
- **Accesibilidad:** asistentes virtuales hacen que entrenadores digitales estén disponibles las 24 horas.

Si bien el uso de IA ofrece enormes ventajas, también plantea desafíos importantes:

- **Transparencia del algoritmo.** Muchos sistemas no explican cómo llegan a sus recomendaciones.
- **Dependencia tecnológica:** riesgo de que el atleta confíe más en el algoritmo que en su propia percepción.
- **Privacidad y consentimiento:** el análisis predictivo puede implicar riesgos si los datos se usan sin permiso claro del usuario.
- **Desigualdad de acceso:** las mejores plataformas suelen requerir hardware costoso o suscripciones *premium*.

La integración de la inteligencia artificial en los *wearables* ha redefinido la forma de entrenar, competir y recuperarse. Gracias al análisis predictivo, es posible anticipar riesgos y planificar el rendimiento con una precisión impensable hace una década. A su vez, los asistentes virtuales y los sistemas de entrenamiento adaptativo democratizan el acceso a un entrenamiento de calidad, llevando la figura del entrenador personal a todos los niveles de práctica deportiva. Sin embargo, el futuro de esta tecnología dependerá no solo de sus capacidades técnicas, sino también de su adopción responsable, ética y transparente por parte de las empresas, entrenadores y usuarios.

### Expansión hacia la realidad virtual y aumentada

La realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) están emergiendo como pilares fundamentales en el futuro del entrenamiento físico, la fisiología del ejercicio y la rehabilitación deportiva. Estas tecnologías inmersivas, cuando se integran con dispositivos wearables avanzados, ofrecen experiencias de entrenamiento revolucionarias que potencian la motivación, mejoran la precisión técnica y permiten un análisis exhaustivo y en tiempo real de las capacidades del usuario.

Durante los últimos años, la aplicación de RV y RA ha dejado de ser un concepto de ciencia ficción para convertirse en una herramienta cotidiana en gimnasios, clínicas de fisioterapia, centros de alto rendimiento e incluso hogares. La proliferación de



dispositivos accesibles como gafas inteligentes, sensores de movimiento, plataformas con *feedback* háptico y programas de inteligencia artificial han permitido que estas tecnologías sean escalables para una gran diversidad de usuarios, desde atletas profesionales hasta personas en proceso de rehabilitación. La tabla XX muestra las principales características de la RV y RA con sus principales diferencias.

La realidad virtual consiste en la inmersión completa del usuario en un entorno tridimensional simulado, lo que genera la sensación de estar físicamente presente en ese espacio. En el contexto del ejercicio físico, esta capacidad permite simular actividades deportivas, recreativas o de entrenamiento en contextos controlados, seguros y altamente personalizables. Por ejemplo, un ciclista puede recorrer rutas internacionales sin salir de su casa, enfrentando diferentes terrenos y condiciones meteorológicas, todo mientras sus parámetros fisiológicos —como frecuencia cardíaca, consumo de oxígeno, sudoración o velocidad de reacción— son monitorizados por dispositivos wearables.

La combinación de RV con estos sensores permite al usuario recibir *feedback* en tiempo real sobre su rendimiento, lo cual es esencial para mejorar no solo su resistencia o velocidad, sino también su técnica, postura y eficiencia biomecánica. La inmersión sensorial generada por la RV también tiene un impacto positivo en la motivación y adherencia al programa de ejercicio. Estudios recientes han demostrado que los usuarios que entrenan en entornos virtuales reportan mayor satisfacción, menor percepción de esfuerzo y una disposición más positiva hacia la continuidad de su rutina física. Además, la RV ofrece un entorno óptimo para la realización de pruebas de esfuerzo, simulaciones de competencia y preparación mental. En deportes donde la visualización mental y la estrategia son cruciales —como el golf, el esquí o la esgrima—, la posibilidad de entrenar en un entorno virtual reduce la dependencia del clima, del equipamiento o de la disponibilidad de instalaciones físicas.

Mientras que la RV reemplaza el entorno real, la realidad aumentada lo complementa con capas de información digital que enriquecen la experiencia física directa. En el ámbito del ejercicio y el deporte, esto significa que un usuario puede recibir retroalimentación instantánea y contextual sobre su técnica, postura o desempeño sin interrumpir su actividad. Un ejemplo típico sería el uso de gafas RA durante una sesión de entrenamiento funcional: el usuario realiza sentadillas mientras visualiza, superpuestas a su entorno, líneas de referencia que indican si su espalda está correctamente alineada, si la flexión de rodilla es adecuada o si está desplazando su peso de forma ineficiente. A su vez, los sensores colocados en las articulaciones recopilan datos cinemáticos que son analizados por algoritmos de aprendizaje automático para ofrecer sugerencias de corrección en tiempo real.

Este tipo de corrección técnica inmediata es fundamental para la prevención de lesiones, especialmente en principiantes o en personas que regresan a la actividad física tras un



periodo de inactividad o una intervención médica. Además, la RA permite comparar el desempeño del usuario con modelos biomecánicos ideales, grabaciones anteriores del propio usuario o incluso con parámetros de atletas de élite, todo de forma visual y didáctica.

La combinación de realidad virtual (RV), realidad aumentada (RA) y *wearables* ha dado lugar a un nuevo paradigma: el entrenamiento gamificado e interactivo. En este modelo, el ejercicio físico se convierte en una experiencia lúdica, lo que incrementa la motivación y favorece la adherencia, especialmente en poblaciones como niños, personas mayores o pacientes en procesos de rehabilitación. En un entorno de rehabilitación, por ejemplo, un paciente con una lesión de hombro puede participar en un juego de RV en el que debe «atrapar» objetos voladores que aparecen a su alrededor. A medida que mejora su rango de movimiento, el sistema ajusta automáticamente la dificultad del juego. Los sensores ubicados en el brazo registran el ángulo, la fuerza aplicada y la coordinación, mientras la interfaz virtual mantiene al paciente comprometido y motivado.

Otro caso es el uso de RA en el entrenamiento de atletas de alto rendimiento: mediante gafas RA, el jugador de fútbol puede visualizar trayectorias óptimas de pase, zonas de presión del rival y líneas de fuera de juego en tiempo real. Esta tecnología también puede integrarse a drones y cámaras con visión computarizada para ofrecer retroalimentación táctica a nivel de equipo.

Veamos un ejemplo con datos reales que permiten cuantificar el impacto del uso de estas técnicas. Barbour et al. (2024), en un estudio reciente, evaluaron los efectos agudos de una sesión de ejercicio utilizando un sistema comercial de realidad virtual inmersiva (FitXR™), en comparación con su equivalente proyectado en una pantalla 2D. Participaron 17 adultos sanos (7 hombres y 10 mujeres, con una edad media de  $24,18 \pm 4,56$  años), quienes realizaron una sesión guiada de 12 minutos de boxeo virtual en ambas modalidades: una completamente inmersiva mediante gafas de RV, y otra en una pantalla plana con los mismos estímulos visuales y auditivos.

Durante ambas sesiones se registraron las respuestas fisiológicas mediante un monitor de frecuencia cardíaca y un sistema de análisis metabólico telemétrico. Asimismo, se evaluaron las respuestas psicológicas y perceptivas mediante escalas de percepción del esfuerzo (RPE), disfrute de la actividad física (PACES) y afecto relacionado con la actividad física.

Los resultados fueron concluyentes: en la modalidad de realidad virtual inmersiva, los participantes optaron por realizar un ejercicio de mayor intensidad (porcentaje de  $VO_2$ máx,  $p = 0,044$ ), mostraron niveles más altos de disfrute en todas las subescalas analizadas ( $p < 0,05$ ), reportaron un afecto positivo significativamente mayor ( $p = 0,003$ ) y un afecto negativo más bajo ( $p = 0,045$ ), en comparación con la versión en pantalla.



Aunque el diseño del estudio no permitió identificar con precisión qué aspectos específicos de la experiencia inmersiva contribuyeron a estos efectos, los autores concluyen que la realidad virtual inmersiva podría representar una alternativa más eficaz que otros formatos de entrenamiento digital o *exergaming*, y actuar como una vía de entrada atractiva hacia la práctica regular de ejercicio físico.

La gamificación también puede aplicarse para abordar problemas tan relevantes como la inactividad física, que se ha convertido en un serio problema de salud pública a nivel global, especialmente entre los jóvenes. El uso de videojuegos está abriendo nuevas posibilidades para promover el movimiento y aumentar los niveles de actividad física. En particular, el auge de los videojuegos activos —diseñados específicamente para involucrar físicamente al jugador— representa una herramienta prometedora para combatir el sedentarismo, una conducta cada vez más prevalente en las poblaciones juveniles.

En este contexto, un estudio comparó los efectos fisiológicos de jugar con un videojuego activo de realidad virtual (VR) frente a un juego convencional en un dispositivo móvil (MO) (Biçer y Löklüoğlu, 2025). Participaron 22 estudiantes universitarios sanos (13 hombres y 9 mujeres, con una edad promedio de  $21,72 \pm 1,39$  años), sin enfermedades crónicas ni experiencia profesional en deportes. Cada participante jugó durante 15 minutos tanto con un videojuego en VR, utilizando un visor de realidad virtual, como con un juego móvil estándar. Se midió la temperatura corporal antes y después de cada sesión, y se registró la frecuencia cardíaca (FC) en tiempo real mediante un sistema telemétrico.

Los resultados revelaron que, aunque no hubo diferencias significativas en la temperatura corporal entre ambos tipos de juegos, sí se observaron diferencias notables en las respuestas cardiovasculares. La frecuencia cardíaca media (FC<sub>media</sub>), máxima (FC<sub>max</sub>) y total fueron significativamente más altas durante el juego en realidad virtual en comparación con el juego móvil. Además, los participantes pasaron más tiempo en zonas de esfuerzo moderado o superior (por encima del umbral «ligero») durante la sesión de VR, mientras que en el juego móvil permanecieron más tiempo por debajo de este nivel.

Estos hallazgos demuestran que los videojuegos activos en realidad virtual no solo generan un mayor estímulo fisiológico, sino que también promueven una mayor implicación del sistema cardiovascular, acercándose a niveles que pueden contribuir a la mejora de la condición física general. En consecuencia, la gamificación mediante VR no solo ofrece una experiencia divertida e inmersiva, sino que también se perfila como una herramienta eficaz para fomentar la actividad física en poblaciones jóvenes y sedentarias.

**Tabla 1. Comparativa entre realidad virtual y realidad aumentada en fisiología del ejercicio**

<b>Característica</b>	<b>Entorno</b>	<b>Aplicaciones principales</b>	<b>Dispositivos comunes</b>	<b>Interacción</b>	<b>Beneficios</b>
Realidad virtual	Entorno completamente simulado	Simulaciones de entrenamiento, visualización mental, rehabilitación gamificada	Gafas VR, sensores de cuerpo, cintas, bicicletas estáticas inteligentes	Inmersión total, desconectado del mundo físico	Alta motivación, simulación segura, control de variables
Realidad aumentada	Superposición digital sobre el entorno real	Corrección técnica, visualización de datos, entrenamiento táctico	Gafas RA, smartphones, smartwatches, sensores de movimiento	Interacción con el entorno real + capas digitales	Precisión técnica, prevención de lesiones, eficiencia en tiempo real

Fuente: elaboración propia.

Una revisión sistemática reciente sobre el uso de programas virtuales frente a la actividad física tradicional muestra que la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) son especialmente relevantes en el ámbito de la fisiología del ejercicio y la promoción de estilos de vida activos (Hajder et al., 2025). Por un lado, se identificó que los programas basados en RV generan mejoras significativas en aspectos como la flexibilidad, la motivación intrínseca hacia la actividad física y ciertas habilidades cognitivas, como la atención y la toma de decisiones. Estos efectos fueron particularmente notorios en poblaciones con acceso limitado a instalaciones deportivas o con restricciones de movilidad, como personas mayores, individuos en rehabilitación o personas con discapacidad física. La mayor efectividad de los programas de RV se observó en intervenciones con una duración de entre 8 y 12 semanas, realizadas con una intensidad moderada a alta.

En contraste, los programas tradicionales demostraron una mayor eficacia en variables fisiológicas clásicas, como la fuerza muscular, la resistencia aeróbica y la función cardiorrespiratoria. Estas diferencias reflejan la naturaleza de cada tipo de intervención: mientras el ejercicio tradicional sigue siendo el estándar para la mejora del rendimiento físico general, la RV parece ser más eficaz como facilitadora del movimiento, especialmente en personas con baja adherencia al ejercicio o en contextos donde la actividad física convencional no es viable.



Otro aspecto interesante del estudio fue la evaluación de las percepciones de los participantes. Los programas de VR tendieron a generar mayores niveles de disfrute, menor percepción de esfuerzo y mayor adherencia general, lo cual es clave desde el punto de vista conductual. Estos hallazgos refuerzan la hipótesis de que la gamificación y la estimulación multisensorial de la realidad virtual pueden actuar como catalizadores del cambio de comportamiento hacia estilos de vida más activos.

No obstante, los autores también subrayan importantes limitaciones metodológicas. La variabilidad en los diseños de los estudios analizados, la heterogeneidad de las poblaciones estudiadas y la corta duración de muchos programas dificultan la obtención de conclusiones plenamente generalizables. Por ello, se destaca la necesidad de llevar a cabo investigaciones longitudinales más extensas, que permitan evaluar los efectos sostenidos de los programas de VR, así como establecer parámetros estandarizados de duración, frecuencia e intensidad.

En definitiva, la expansión de la realidad virtual (RV) y aumentada (RA) representa una de las transformaciones más profundas en el campo de la fisiología del ejercicio y el entrenamiento físico. Al fusionar entornos digitales inmersivos con las capacidades analíticas avanzadas de los *wearables*, se generan nuevas oportunidades para maximizar el rendimiento, personalizar programas de entrenamiento y optimizar los procesos de recuperación funcional. Esta integración tecnológica no solo enriquece la experiencia del usuario, sino que también facilita la adherencia al ejercicio gracias a la gamificación, la retroalimentación en tiempo real y el aumento del disfrute percibido durante la actividad física.

En este contexto, la realidad virtual se perfila como un complemento eficaz —e incluso una alternativa viable— a los métodos tradicionales de ejercicio físico, especialmente en poblaciones que enfrentan barreras para acceder a instalaciones deportivas convencionales o que presentan limitaciones de movilidad. La combinación de programas estructurados con tecnologías inmersivas ha demostrado tener un impacto positivo en variables físicas, cognitivas y emocionales, convirtiéndose en una vía innovadora para ampliar el alcance y la eficacia de las intervenciones en salud y rendimiento humano. En los próximos años, se espera una integración aún más sofisticada con inteligencia artificial, redes 5G, entornos colaborativos virtuales y el uso de avatares digitales, permitiendo una supervisión y ajuste continuo de los entrenamientos en tiempo real. La era del entrenamiento inteligente ha comenzado, y la RA y la RV se consolidan como pilares fundamentales de esta revolución tecnológica aplicada al ejercicio.

## **Convergencia con otras áreas de la tecnología**

Como ya mencionamos, el mundo del deporte y el entrenamiento físico está viviendo una revolución tecnológica gracias a la convergencia de varias áreas digitales que potencian



la forma en que entrenamos, competimos, prevenimos lesiones y disfrutamos del espectáculo deportivo. Esta transformación no solo involucra los dispositivos wearables y sensores inteligentes que monitorizan el rendimiento en tiempo real, sino también tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), las redes inalámbricas de alta velocidad como el 5G, la inteligencia artificial, la realidad virtual (VR) y aumentada (AR), así como la computación en la nube. Estas herramientas conectadas ofrecen un ecosistema integrado que está redefiniendo la experiencia deportiva, desde el entrenamiento individual hasta el entretenimiento masivo.

El **Internet de las Cosas (IoT)** es la columna vertebral que conecta los dispositivos y sensores distribuidos por todo el ecosistema deportivo. Prendas inteligentes, relojes deportivos, sensores de movimiento, dispositivos biométricos, incluso el equipamiento deportivo como zapatillas o balones, se interconectan para recopilar y transmitir información vital sobre la actividad física, el estado de salud y el rendimiento. Estos datos permiten no solo mejorar la personalización del entrenamiento, sino también anticipar riesgos de lesión, optimizar la recuperación y mejorar el bienestar general. Por ejemplo, un corredor puede usar sensores que miden desde la cadencia y la pisada hasta la temperatura corporal y la saturación de oxígeno, enviando la información a plataformas en la nube donde algoritmos avanzados detectan patrones para ajustar el entrenamiento. En el ámbito profesional, estos sistemas permiten supervisar a múltiples atletas simultáneamente, facilitando la toma de decisiones tácticas y preventivas.

Además, el IoT está abriendo paso a nuevas formas de interacción con el entorno: ciudades inteligentes diseñan rutas y espacios deportivos conectados, mientras que gimnasios y centros de rehabilitación pueden ofrecer experiencias altamente personalizadas y basadas en datos en tiempo real.

La llegada de la conectividad 5G representa un salto cualitativo fundamental para el deporte. Gracias a su capacidad para proporcionar velocidades de transferencia hasta 100 veces más rápidas que las redes anteriores, latencia ultrabaja y la conexión simultánea de millones de dispositivos, el 5G permite una experiencia deportiva y de entrenamiento verdaderamente en tiempo real y sin interrupciones.

En los estadios, la conexión 5G transforma la experiencia de los aficionados al ofrecer **velocidades ultrarrápidas** para acceder a transmisiones en alta definición, estadísticas en vivo, contenido interactivo y compartir momentos sin ningún retraso o *buffering*. Esto elimina frustraciones que antes limitaban la interacción digital durante eventos deportivos, permitiendo que cada instante sea capturado y compartido instantáneamente, manteniendo a los *fans* inmersos y conectados sin importar dónde estén en el recinto.

Además, el 5G impulsa la integración de tecnologías inmersivas como la **realidad virtual (VR)**, permitiendo que los aficionados experimenten el juego desde perspectivas únicas en 360 grados, casi como si estuvieran en el campo. Los *fans* pueden acceder a contenido



exclusivo detrás de cámaras, presenciar la preparación previa al partido, seguir a sus jugadores favoritos desde ángulos privilegiados o incluso participar en encuentros virtuales con atletas y entrenadores, todo ello facilitado por la baja latencia y la gran capacidad de transmisión que ofrece el 5G.

La **interactividad del fan** también se enriquece con el 5G: encuestas en vivo, concursos, predicciones y chats en tiempo real permiten que la afición participe activamente en la dinámica del evento, generando un sentido de comunidad y pertenencia más profundo. Esta conectividad permite que *fans* remotos experimenten el partido con la misma intensidad que quienes están en el estadio, transformando el deporte en un evento verdaderamente global y participativo. Los servicios en el estadio se optimizan con el 5G: desde la compra y validación digital de entradas, pagos sin contacto en concesionarios, hasta la gestión inteligente de filas y la personalización de servicios como recomendaciones de comida o asistencia en estacionamientos. Esto no solo mejora la eficiencia y comodidad, sino que también enriquece la experiencia general, permitiendo que los asistentes se concentren exclusivamente en disfrutar el juego.

Finalmente, el 5G habilita el acceso a **análisis de datos avanzados** en tiempo real, ofreciendo a los *fans*, entrenadores y atletas información detallada sobre estadísticas, tácticas y desempeño. Esta transparencia y riqueza de datos fomentan debates informados, mejoran la comprensión del juego y fortalecen el vínculo entre los aficionados y el deporte, al tiempo que proveen herramientas a deportistas y técnicos para optimizar su rendimiento y estrategias. La masa de datos generados por dispositivos IoT y transmitidos a través de redes 5G solo es valiosa si se procesa inteligentemente. La **inteligencia artificial (IA)** y el **aprendizaje automático** convierten los datos brutos en conocimientos prácticos que guían la toma de decisiones en tiempo real. Por ejemplo, sistemas de IA pueden predecir el riesgo de lesiones, personalizar planes de entrenamiento según el estado físico del momento, o adaptar programas de rehabilitación basados en la evolución y respuesta del paciente.

La inteligencia artificial (IA) también posibilita la creación de entrenadores virtuales que ajustan ejercicios y rutinas en tiempo real. En deportes colectivos, permite el análisis táctico instantáneo, lo que maximiza el rendimiento del equipo. Esto abre la puerta a una nueva etapa del «entrenamiento inteligente», donde la tecnología no solo acompaña, sino que colabora activamente en la mejora continua.

Veamos un ejemplo concreto: gracias a sus velocidades ultrarrápidas, latencia prácticamente nula y capacidad para manejar grandes volúmenes de datos, el 5G está preparado para revolucionar el mundo del *running*. Desde el seguimiento en tiempo real del rendimiento hasta la incorporación de rutas mejoradas mediante realidad virtual, esta tecnología está transformando por completo la experiencia deportiva.



A continuación, se presentan las principales formas en que el 5G está modificando el *running*, con foco en la transmisión de datos en tiempo real, el desarrollo de dispositivos portátiles más inteligentes, la creación de entornos de entrenamiento inmersivos y las experiencias mejoradas durante el día de la carrera.

1. **Seguimiento de rendimiento en tiempo real.** Una de las transformaciones más inmediatas y relevantes que aporta el 5G a los corredores es la capacidad de acceder y transmitir datos de rendimiento en tiempo real. Mientras que con las redes anteriores los datos se procesaban localmente y se actualizaban de forma periódica, ahora con la alta velocidad del 5G, los corredores pueden recibir retroalimentación instantánea, ajustar su entrenamiento durante la carrera y beneficiarse de análisis en vivo. Los beneficios que obtenemos son:
  - Retroalimentación instantánea durante la carrera, permitiendo ajustes sobre ritmo, frecuencia cardíaca y cadencia para mantener un entrenamiento óptimo.
  - *Coaching* remoto en tiempo real, donde entrenadores pueden monitorear y aconsejar a distancia.
  - Monitoreo avanzado, incluyendo métricas como oxigenación muscular o hidratación al momento.
2. **Dispositivos portátiles más inteligentes.** El 5G potencia las capacidades inteligentes de los *wearables* gracias a la conexión continua y a una mejor interoperabilidad. Desde relojes inteligentes hasta sensores biométricos, los dispositivos se vuelven más precisos y útiles. Esto se traduce en mejoras concretas para los dispositivos portátiles, tales como:
  - recolección continua y sin interrupciones de datos como la variabilidad de la frecuencia cardíaca o el análisis de la marcha;
  - mayor precisión y posibilidad de realizar ajustes en tiempo real, con información instantánea enviada a plataformas en la nube;
  - interconexión con otros dispositivos, como plantillas inteligentes o sensores EEG, lo que permite una visión integral del rendimiento.
3. **Entornos de entrenamiento inmersivos.** El 5G abre la puerta a experiencias de entrenamiento con realidad virtual y realidad aumentada que antes eran limitadas por la velocidad y latencia de la red, de forma que podremos realizar entrenamientos en realidad virtual que simulan carreras reales o rutas escénicas, haciendo el entrenamiento más atractivo y efectivo. Además, la AR que superpone



datos en tiempo real durante la carrera, como indicadores de ritmo, competidores virtuales o alertas de hidratación, visible mediante gafas inteligentes o *wearables*. Estos entornos mejoran la motivación, preparan mentalmente para las competiciones y proporcionan datos estratégicos en tiempo real.

4. **Experiencia mejorada el día de la carrera.** El 5G también está revolucionando el día de la competición, al facilitar el seguimiento en vivo, una mayor interacción con los espectadores y el acceso instantáneo a información clave. Esto permite ajustar estrategias sobre la marcha y genera una conexión más profunda entre corredores, público y organización. Entre las innovaciones que aporta esta tecnología, se destacan:

- Seguimiento GPS en tiempo real, con actualizaciones sobre la posición y tiempos estimados, accesibles tanto para espectadores como para corredores.
- Notificaciones personalizadas para participantes y público, lo que incrementa la emoción y la participación.
- Alertas inmediatas sobre estaciones de hidratación, cambios climáticos o modificaciones en el recorrido.

5. **Coaching virtual y comunidades globales.** El 5G facilita entrenamientos con *coaching* remoto en vivo y la participación en comunidades globales de corredores, permitiendo motivación constante, entrenamiento personalizado y una comunidad de apoyo incluso a distancia. Esto se debe a que permite realizar:

- *coaching* virtual que monitorea y corrige en tiempo real desde cualquier lugar del mundo;
- retos y carreras virtuales para fomentar la motivación y el sentido de pertenencia;
- eventos transmitidos en vivo y entrenamientos grupales virtuales con interacción en tiempo real.

En definitiva, la convergencia de IoT, 5G, inteligencia artificial y tecnologías inmersivas está transformando el deporte y el ejercicio físico de manera radical. Desde la personalización precisa del entrenamiento hasta la creación de experiencias deportivas inmersivas para los aficionados, estas tecnologías ofrecen beneficios sin precedentes en rendimiento, prevención, salud y entretenimiento. En esta nueva era, el deporte se convierte en un ecosistema conectado, inteligente y participativo, donde el límite entre lo



físico y lo digital se difumina para ofrecer experiencias más ricas, seguras y emocionantes.

El futuro promete una integración aún más profunda, donde la inteligencia artificial, el análisis de *big data*, los entornos colaborativos remotos y los avances en conectividad seguirán ampliando las fronteras de lo posible. La transformación ya está en marcha, y quienes adopten estas innovaciones podrán aprovechar al máximo las oportunidades que brinda la era digital para el bienestar, la competencia y la pasión por el deporte.

## Unidad 2. Desafíos y oportunidades para la investigación y la práctica deportiva

### Necesidad de estudios científicos robustos

La integración de tecnologías avanzadas en el deporte —como la inteligencia artificial (IA), redes 5G, realidad aumentada, realidad virtual, *wearables* y sensores biométricos— promete transformar radicalmente la manera en que entrenamos, competimos y nos recuperamos. Sin embargo, a pesar del entusiasmo y la innovación, la adopción efectiva y segura de estas tecnologías depende crucialmente de una base científica sólida y rigurosa que valide su uso. Hoy, muchas tecnologías llegan al mercado con pruebas preliminares o testimonios anecdóticos, sin el respaldo científico necesario. Esto genera riesgos como la desconfianza de usuarios, la adopción de prácticas ineficaces o, incluso, perjudiciales, y el mal manejo de datos personales sensibles. Por ello, es fundamental que la comunidad científica, la industria y los practicantes deportivos trabajen junto para garantizar que las nuevas metodologías y dispositivos estén científicamente comprobados antes de su implementación masiva.

La validación científica es clave al evaluar nuevas tecnologías en el deporte. Para que un dispositivo o método sea realmente útil, debe cumplir con varios criterios esenciales. En primer lugar, debe ser válido: medir con exactitud aquello para lo que fue diseñado (por ejemplo, un monitor de frecuencia cardíaca debe reflejar con precisión los latidos por minuto). Además, debe ser confiable: los resultados obtenidos han de ser consistentes y reproducibles en diferentes momentos y condiciones. No alcanza con que una tecnología funcione en un solo escenario; debe hacerlo de forma sostenida para generar confianza.

La sensibilidad también cumple un papel relevante: el dispositivo debe ser capaz de detectar cambios pequeños pero significativos, como variaciones mínimas en la saturación de oxígeno muscular, que pueden ser decisivas para el rendimiento y la salud del atleta. Por último, la especificidad implica que el método no debe confundir ni interpretar erróneamente las señales. Por ejemplo, debe distinguir con claridad entre



distintos tipos de movimiento o estados de fatiga, evitando falsos positivos o negativos que puedan conducir a decisiones equivocadas.

Estos aspectos no son simples tecnicismos, sino elementos con impacto directo en la práctica cotidiana de entrenadores y deportistas. La precisión en la toma de decisiones es esencial, ya que los planes de entrenamiento y las estrategias de competición se fundamentan en datos confiables. Cuando esos datos son erróneos o imprecisos, aumentan notablemente los riesgos de sobreentrenamiento, lesiones o un rendimiento subóptimo.

Además, la validez y confiabilidad generan confianza en los usuarios, motivándolos a continuar usando la tecnología y aprovechar sus beneficios. Por otra parte, la validación ayuda a evitar riesgos, ya que equipos no comprobados pueden emitir señales falsas o no detectar situaciones críticas, como un ritmo cardíaco peligroso que requiere atención inmediata. Finalmente, contar con protocolos científicos claros y estandarizados facilita la comparación entre diferentes tecnologías, permitiendo elegir las más efectivas y adecuadas para cada caso.

Existen diferentes tipos de validación científica aplicables a las tecnologías deportivas, cada una con objetivos y metodologías específicas. En primer lugar, se encuentra la validación técnica y de precisión, en la que los sensores o sistemas se comparan con dispositivos estándar o con métodos reconocidos como «*gold standard*» en medicina deportiva y ciencias aplicadas. Un ejemplo clásico consiste en validar un sensor óptico de frecuencia cardíaca frente a un electrocardiograma (ECG), que representa la referencia en monitoreo cardíaco. Para ello, se emplean métodos estadísticos como el análisis de Bland-Altman, el coeficiente de correlación intraclase (ICC), el error medio cuadrático (*RMSE*), así como análisis de sensibilidad y especificidad.

Luego, está la validación funcional y clínica, que evalúa si la tecnología tiene un impacto positivo real en variables fisiológicas, en el rendimiento deportivo o en la salud del atleta. Por ejemplo, se puede estudiar si un programa de entrenamiento asistido por inteligencia artificial (IA) mejora el  $VO_2$  máximo o reduce la tasa de lesiones. Estos estudios suelen realizarse mediante ensayos clínicos controlados, con grupos de intervención y de control, y, si es posible, aleatorizados para asegurar el rigor metodológico.

Otro tipo importante son los estudios longitudinales, que permiten observar los efectos de las tecnologías a mediano y largo plazo. Estos estudios analizan aspectos como la adherencia al uso del dispositivo, el impacto en la salud a lo largo del tiempo, el desarrollo o prevención de lesiones y las mejoras sostenidas en el rendimiento. Por ejemplo, se podría hacer un seguimiento de atletas que usan sensores de biomecánica durante toda una temporada para prevenir lesiones recurrentes.



Finalmente, no se puede dejar de lado los estudios de usabilidad y experiencia de usuario, que son indispensables para evaluar cómo aceptan y utilizan los atletas o entrenadores la tecnología. Estos estudios se centran en la facilidad de uso, la interacción y la percepción subjetiva de los usuarios. Para esto se aplican métodos cualitativos como entrevistas semiestructuradas o grupos focales; por ejemplo, para valorar la experiencia de entrenamiento con un visor de realidad aumentada (AR).

A pesar de la importancia, la validación científica enfrenta varios desafíos clave (ver tabla 2): la falta de estudios independientes y rigurosos que respalden muchas tecnologías emergentes; la dificultad para replicar condiciones reales de entrenamiento o competición en entornos de laboratorio; la rápida obsolescencia tecnológica que supera el ritmo de la investigación; y la escasa colaboración efectiva entre el ámbito académico y la industria, lo que limita el acceso a datos, herramientas y financiamiento para estudios a largo plazo. Estos obstáculos dificultan una evaluación precisa y completa del impacto real de las tecnologías deportivas.

**Tabla 2. Principales obstáculos para la validación de una nueva tecnología**

<b>Obstáculo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ejemplo práctico</b>	<b>Solución propuesta</b>
<b>Heterogeneidad de tecnologías</b>	La variedad y constante evolución dificulta estandarizar protocolos	Diferentes marcas de <i>wearables</i> con métricas no comparables	Desarrollo de estándares internacionales
<b>Dificultad para realizar ensayos controlados</b>	Limitaciones éticas, costos y logística para pruebas rigurosas	Ensayar VR en corredores profesionales durante maratones	Simulaciones y entornos controlados para pruebas
<b>Diversidad de poblaciones</b>	Diferentes niveles, edades, sexos, condiciones físicas complican generalizaciones	Estudios centrados solo en atletas élite	Incluir muestras amplias y representativas
<b>Acceso limitado a datos</b>	Privacidad y políticas de datos restringen la investigación	Datos recolectados por empresas no disponibles para investigadores	Acuerdos de colaboración con cláusulas claras



<b>Interdisciplinariedad insuficiente</b>	Falta de comunicación entre ingenieros, médicos, entrenadores y científicos	Equipos de desarrollo sin input clínico o biomecánico	Equipos multidisciplinares desde el diseño inicial
---	---	---	--

Fuente: elaboración propia.

Veamos algunos ejemplos de cómo se está llevando a cabo esta validación y los resultados que se han obtenido.

### **Caso 1: Validación de un sensor óptico de frecuencia cardíaca para corredores**

Este estudio tuvo como propósito evaluar la precisión de un sensor óptico de frecuencia cardíaca colocado en la muñeca, comparando sus datos con los de un electrocardiograma (ECG) de referencia, considerado el «*gold standard*» en medición cardíaca. El objetivo principal era determinar su fiabilidad durante sesiones de entrenamiento en cinta a distintas intensidades. Para ello, se reclutó a un grupo de 50 corredores recreativos y de nivel intermedio, quienes participaron en una serie de pruebas controladas. Cada sujeto realizó sesiones de carrera en cinta bajo distintas condiciones de intensidad: baja, moderada y alta. Se utilizaron herramientas estadísticas como el coeficiente de correlación intraclase (ICC) y el análisis de Bland-Altman para comparar la concordancia entre las lecturas del sensor óptico y el ECG. Los datos mostraron un coeficiente de correlación intraclase de 0,92, lo cual indica una concordancia alta entre ambos dispositivos, especialmente durante ritmos constantes.

El margen de error fue cercano al 3 %, lo que se considera aceptable para el monitoreo general del ritmo cardíaco durante entrenamientos de baja o media intensidad. Sin embargo, se observó una pérdida de precisión significativa durante los cambios bruscos de ritmo, como *sprints* o intervalos de alta intensidad. Este caso muestra que el sensor es adecuado para la mayoría de las sesiones de entrenamiento recreativo o continuo, pero todavía presenta limitaciones cuando se requiere una detección precisa en escenarios de alta variabilidad. Se concluye que, si bien el dispositivo puede utilizarse con confianza para un monitoreo general, necesita mejoras para optimizar su rendimiento en contextos de entrenamiento interválico.

### **Caso 2: Dispositivo para monitorizar lactato de forma continua en sudor**

Un ejemplo destacado de validación tecnológica en el ámbito deportivo es el caso de la empresa catalana **Onalabs**, que ha desarrollado un dispositivo innovador para la monitorización no invasiva del lactato a través del sudor. Este avance representa una



alternativa a las mediciones tradicionales de lactato en sangre, permitiendo un seguimiento continuo y en tiempo real durante la actividad física.

La empresa ha evaluado la precisión y fiabilidad del dispositivo ONASPORT en la medición de los niveles de lactato a través del sudor, comparándolo con métodos tradicionales de análisis sanguíneo. El estudio se llevó a cabo con un grupo de deportistas de resistencia que utilizaron el dispositivo ONASPORT durante sesiones de entrenamiento controladas. El dispositivo, en forma de banda pectoral, incorpora sensores electroquímicos integrados en cartuchos desechables (ONAS10) que canalizan el sudor hacia los sensores para analizar biomarcadores clave, como el lactato, la deshidratación y la pérdida de electrolitos. Los datos recopilados se transmiten en tiempo real a una aplicación móvil mediante conexión Bluetooth, lo que permite el seguimiento continuo del rendimiento del atleta. Los resultados demostraron que el dispositivo ONASPORT proporciona mediciones precisas y consistentes de los niveles de lactato en sudor, con una correlación significativa respecto a las mediciones tradicionales en sangre. Además, la capacidad de monitorización continua permitió identificar patrones de acumulación de lactato y niveles de deshidratación durante diferentes fases del entrenamiento, lo que ofrece una visión más completa del estado fisiológico del deportista. La validación de este dispositivo destaca la importancia de la colaboración entre la investigación científica y la innovación tecnológica en el ámbito deportivo.

Para que la innovación tecnológica aplicada al deporte avance de forma significativa y sostenible, no basta con ideas brillantes ni con soluciones puntuales. Es indispensable un ecosistema colaborativo en el que múltiples actores —la academia, la industria y, en muchos casos, los propios usuarios y organismos reguladores— interactúen y aporten sus fortalezas específicas. Este modelo plantea un entramado de relaciones dinámicas: la academia genera conocimiento teórico y metodológico; la industria aporta capacidad de desarrollo tecnológico y recursos de implementación; los profesionales del deporte y usuarios finales contribuyen con su experiencia práctica; y los entes reguladores garantizan que las innovaciones respeten marcos éticos y legales. Esta sinergia no solo permite validar tecnologías de manera rigurosa, sino también asegurar su aplicación práctica, su escalabilidad y su sostenibilidad a largo plazo. En la tabla 3 se presentan modelos de colaboración exitosos, junto con sus ventajas y desafíos.

**Tabla 3. Modelos de colaboración exitosos**

<b>Modelo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desafíos</b>
<b>Proyectos conjuntos</b>	Definición y ejecución de proyectos con objetivos comunes	Sinergia, acceso a recursos y datos	Requiere coordinación y gestión compleja



<b>Convenios de investigación</b>	Transferencia de tecnología y propiedad intelectual compartida	Protege derechos y fomenta innovación	Negociación de propiedad intelectual delicada
<b>Laboratorios mixtos</b>	Espacios físicos compartidos para investigación y desarrollo	Facilita comunicación continua y prototipado	Inversión inicial y requerimientos logísticos
<b>Programas de becas y pasantías</b>	Formación de talento en la intersección academia-industria	Capacitación y renovación constante de conocimiento	Necesita estructura de mentoría y evaluación

Fuente: elaboración propia

Las instituciones académicas desempeñan un papel fundamental como garantes del método científico. Su principal fortaleza radica en la capacidad para diseñar, conducir y analizar estudios con un alto nivel de rigor metodológico, lo que garantiza que los dispositivos, algoritmos o metodologías sean evaluados con criterios objetivos y replicables. Este rigor es esencial para asegurar que la tecnología mida lo que afirma medir (validez), lo haga de forma consistente (confiabilidad), y sea sensible y específica frente a las necesidades del entorno deportivo.

Además, la academia dispone de infraestructuras especializadas, como laboratorios de fisiología, biomecánica, análisis de datos y simulación, lo cual facilita la ejecución de estudios técnicos y clínicos complejos. Esta capacidad experimental se ve potenciada por el acceso a muestras diversificadas, ya sea a través de alianzas con clubes, federaciones o centros médicos deportivos, lo que permite probar tecnologías en poblaciones reales y heterogéneas, desde deportistas de élite hasta personas con condiciones médicas específicas.

Por otro lado, la academia aporta un valor intangible pero crucial: la transparencia y la capacidad de difusión científica. La publicación de resultados en revistas revisadas por pares garantiza no solo la calidad del conocimiento generado, sino también su accesibilidad a la comunidad internacional. Esto permite la comparación entre tecnologías, promueve la estandarización de metodologías y estimula la mejora continua por parte de la industria.

La industria, por su parte, es el motor que convierte la innovación científica en soluciones aplicables, usables y escalables. Aporta recursos financieros y técnicos para el diseño,



producción y comercialización de tecnologías, lo que permite que los hallazgos académicos no se queden en el laboratorio, sino que lleguen al mercado en forma de productos concretos. Esta capacidad de inversión y de ejecución ágil acelera los ciclos de desarrollo y facilita una respuesta efectiva a las demandas del entorno deportivo, que exige soluciones eficaces, intuitivas y personalizadas.

Otro aporte central de la industria es su enfoque centrado en el usuario final. A través de metodologías de diseño de experiencia de usuario (UX), pruebas piloto y análisis de comportamiento, las empresas logran adaptar la tecnología a las necesidades reales de atletas, entrenadores y personal médico. Este enfoque resulta clave para garantizar la adopción y adherencia tecnológica en contextos deportivos, donde la simplicidad, la usabilidad y la interoperabilidad con otros dispositivos son tan relevantes como la precisión de los datos.

Finalmente, las empresas tecnológicas tienen acceso a volúmenes masivos de datos en condiciones reales de uso, gracias a su base de usuarios y plataformas conectadas. Esto les permite entrenar y optimizar modelos de inteligencia artificial (IA), identificar patrones relevantes y desarrollar algoritmos adaptativos con una granularidad que sería difícil de alcanzar únicamente desde el ámbito académico. Sin embargo, este poder computacional y de análisis debe complementarse con la mirada crítica y metodológica de la academia, evitando sesgos, falsas correlaciones o aplicaciones éticamente cuestionables.

Las colaboraciones entre academia e industria deben superar el modelo tradicional de subcontratación o servicio puntual. Se requiere una relación bidireccional, sostenida en el tiempo, en la que ambas partes compartan objetivos, datos y procesos de validación. Un ejemplo paradigmático de este enfoque es el caso de los sensores de fatiga muscular desarrollados en conjunto entre laboratorios universitarios y *startups* tecnológicas (como el ejemplo presentado previamente en la tabla). En este tipo de iniciativas, los algoritmos no se diseñan unilateralmente, sino que se **coconstruyen** a partir de iteraciones continuas: la industria desarrolla un prototipo funcional, la academia realiza pruebas experimentales, se recopilan datos de usuarios reales, se ajustan los modelos, y el proceso se repite. Este tipo de colaboración ágil y continua no solo mejora la calidad del producto, sino que acelera su validación científica, aumenta su credibilidad en el mercado y fortalece la protección intelectual mediante publicaciones y patentes compartidas.

Esta colaboración y validación científica debe desarrollarse como un ciclo completo. En el ámbito deportivo, dicho proceso puede representarse como una secuencia dinámica, iterativa e interconectada que articula los distintos actores involucrados en la innovación tecnológica. A continuación, se describen las etapas principales de este ciclo:

- **Desarrollo de tecnología.** El proceso se inicia con la **creación o adaptación de una solución tecnológica**, como sensores portátiles, algoritmos de inteligencia

artificial, dispositivos de medición fisiológica o plataformas digitales de entrenamiento. Aquí, la industria lidera el diseño y la producción, pero la colaboración temprana con instituciones académicas puede asegurar que el producto tenga una base conceptual sólida y objetivos claros de validación.

- **Validación técnica.** Una vez desarrollada la tecnología, se pasa a la **validación técnica**, donde se evalúa su precisión, confiabilidad, sensibilidad y especificidad. Esta etapa se realiza típicamente en entornos controlados, utilizando métodos comparativos con estándares de oro (como ECG, análisis de gases o acelerometría de laboratorio). Los equipos de investigación aplican metodologías estadísticas rigurosas para determinar si la herramienta es científicamente sólida.
- **Validación funcional o clínica.** Con una base técnica establecida, la siguiente fase implica demostrar que la tecnología **produce un impacto real y positivo en el rendimiento deportivo, la salud o la prevención de lesiones**. Para ello, se emplean ensayos clínicos, estudios de intervención y análisis de resultados fisiológicos, biomecánicos o psicológicos en contextos deportivos reales. Aquí, el diálogo entre entrenadores, deportistas y científicos es crucial para interpretar los resultados de forma contextualizada.
- **Implementación práctica.** Una vez validadas las dimensiones técnica y funcional, la tecnología puede ser **implementada a gran escala en programas de entrenamiento, clubes deportivos, centros de salud o incluso en el uso cotidiano de atletas recreativos**. Esta etapa requiere adaptar interfaces, formar usuarios, integrar datos en sistemas existentes y garantizar el cumplimiento de normativas. Además, es aquí donde el mercado y los modelos de negocio entran en juego.

En resumen, la innovación tecnológica solo puede prosperar cuando existe un ecosistema colaborativo en el que la academia y la industria trabajan de forma coordinada y estratégica. Mientras que la academia garantiza el rigor, la independencia y la generación de conocimiento confiable, la industria proporciona los medios, la visión de mercado y la escalabilidad necesarias para transformar ese conocimiento en impacto real. La clave del éxito radica en una colaboración basada en la confianza mutua, la transparencia y la complementariedad de capacidades. Este enfoque no solo mejora la calidad y usabilidad de las tecnologías deportivas, sino que también acelera su adopción, amplía su accesibilidad y contribuye al avance del deporte en todos sus niveles, desde el alto rendimiento hasta la salud pública.

### **Adaptación a diferentes niveles y contextos deportivos**

La tecnología deportiva ha irrumpido en todos los niveles de la práctica física, desde la alta competencia hasta el entrenamiento recreativo. Este fenómeno ha sido impulsado



por la convergencia de diversas disciplinas, como la ciencia del deporte, la ingeniería biomédica, la inteligencia artificial, y el diseño de experiencia de usuario. Sin embargo, para que la innovación sea verdaderamente transformadora, debe superar uno de los retos más significativos: la adaptación a diferentes niveles de usuarios y contextos deportivos. Este capítulo examina con profundidad cómo lograr esta adaptación, explorando estrategias, herramientas y perspectivas críticas para asegurar que todos los actores —desde el atleta olímpico hasta el principiante motivado por la salud— puedan beneficiarse de los avances tecnológicos.

La práctica deportiva no es homogénea. Existen enormes diferencias entre quienes entrenan para alcanzar la **excelencia internacional** y quienes simplemente buscan **mantenerse activos**. Estas diferencias se reflejan no solo en la intensidad y estructura del entrenamiento, sino también en los recursos disponibles, la motivación intrínseca, la disponibilidad de tiempo, y el conocimiento técnico, como se puede ver en la **tabla 4**.

**Tabla 4. Tipos de requerimientos tecnológicos en función del nivel de competencia**

Nivel de Competencia	Objetivo principal	Requerimientos tecnológicos
Atletas de élite	Optimización del rendimiento, prevención de lesiones, mejora marginal	Alta precisión, sensores avanzados, análisis biomecánico profundo
Deportistas semiprofesionales	Alcanzar estándares competitivos locales/nacionales	Herramientas de planificación, análisis de carga, datos fisiológicos
Deportistas recreativos	Salud general, motivación, seguimiento básico	Facilidad de uso, bajo costo, interfaces amigables
Usuarios novatos o sedentarios	Iniciación a la actividad física, control de salud básica	Experiencias guiadas, gamificación, bajo umbral de entrada

Fuente: elaboración propia.

Por ejemplo, un atleta de élite de triatlón puede utilizar sensores de potencia, medidores de lactato y *software* de simulación para planificar con precisión cada microciclo de entrenamiento. En contraste, una persona que trabaja en una oficina y corre tres veces por semana requiere una aplicación que le recuerde sus rutinas, lo motive con logros y le



ofrezca información clara sobre su progreso cardiovascular. En la tabla 5 se presentan ejemplos de tecnologías adecuadas para distintos perfiles de usuario.

**Tabla 5. Personalización de la tecnología en función del usuario**

Tipo de usuario	Tecnología ideal	Ejemplo comercial
Atleta profesional	Análisis biomecánico 3D, sensores EMG, modelado IA	Vicon, Catapult, STATSports
Deportista amateur	Apps con planes de entrenamiento adaptativo	Strava, Nike Run Club
Usuario recreativo	Relojes de actividad, asistentes de voz	Fitbit, Huawei Health
Persona con discapacidad	Tecnologías hápticas, feedback auditivo	RunGo, Microsoft Soundscape

Fuente: elaboración propia.

Uno de los grandes logros del desarrollo tecnológico en el deporte ha sido la posibilidad de llevar herramientas complejas a un público amplio. Esta transferencia requiere:

- simplificar interfaces sin perder funcionalidad clave;
- ajustar el costo de producción para permitir precios accesibles;
- adaptar el lenguaje técnico a formatos comprensibles para todos.

El ciclo de desarrollo tecnológico en el ámbito deportivo puede describirse como un proceso secuencial, como se observa en la siguiente figura:

**Figura 1. Ciclo de desarrollo y adopción de tecnologías deportivas**





Fuente: elaboración propia.

Un ejemplo exitoso de este ciclo es la monitorización de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV). Inicialmente aplicada en medicina y deporte profesional para evaluar el sistema nervioso autónomo, hoy el HRV está integrado en relojes inteligentes comerciales como Apple Watch o Whoop Strap, que ofrecen recomendaciones sobre recuperación y sueño basadas en el registro diario del usuario.

La personalización masiva representa una de las tendencias más destacadas de la era digital aplicada al deporte. A diferencia del enfoque tradicional, en el que los programas de entrenamiento y las recomendaciones se diseñaban para un perfil promedio, hoy se busca ofrecer experiencias únicas, adaptadas a cada persona. Esta transformación se sustenta en el poder de los datos y la inteligencia artificial, que permiten comprender en profundidad las necesidades, capacidades y preferencias de cada usuario.

La personalización comienza con la recolección de información mediante sensores portátiles, cuestionarios digitales o análisis históricos. Esta información alimenta algoritmos capaces de detectar patrones y proponer acciones precisas: desde la carga de entrenamiento ideal para evitar el sobreentrenamiento hasta recomendaciones nutricionales específicas o rutinas de recuperación ajustadas al perfil fisiológico individual. Pero la clave no está solo en la precisión de los datos, sino en su capacidad para ser útiles y comprensibles. Si la personalización va a tener impacto real, debe traducirse en una experiencia fluida, intuitiva y significativa para el usuario. No se trata solo de tecnología avanzada, sino de una experiencia humana mejorada.

Mientras que la personalización comenzó siendo un privilegio de los atletas de élite, su adopción se ha expandido rápidamente a usuarios recreativos. Las plataformas actuales, como aplicaciones móviles de fitness o relojes inteligentes, permiten generar rutinas de

entrenamiento que se ajustan automáticamente al progreso del usuario, lo cual es esencial para mantener la motivación y evitar frustraciones.

Por ejemplo, un corredor principiante que sigue un plan personalizado puede recibir ajustes en su carga semanal si el sistema detecta signos de fatiga o bajo rendimiento. En cambio, un usuario más avanzado experimentará incrementos progresivos en función de sus objetivos de tiempo o distancia. Esta capacidad de adaptación continua distingue claramente a las soluciones modernas de los enfoques tradicionales basados en calendarios fijos.

Además, la personalización no se limita al rendimiento físico. También incluye aspectos motivacionales, como el diseño de retos acordes al estilo de vida del usuario, el envío de mensajes inspiradores según su estado emocional y la implementación de recompensas que refuercen la adherencia a largo plazo. Este enfoque integral no solo mejora la eficacia del entrenamiento, sino también la satisfacción del proceso.

Para que la personalización sea verdaderamente masiva, debe superar barreras estructurales que limitan el acceso. En muchos casos, la tecnología deportiva avanzada ha sido percibida como un lujo reservado a quienes pueden pagar dispositivos costosos o suscripciones mensuales. Esta realidad está cambiando gracias a diversas estrategias:

- **Dispositivos de bajo costo.** Cada vez más fabricantes desarrollan soluciones tecnológicas funcionales a precios asequibles, sin comprometer la calidad básica necesaria para un seguimiento adecuado.
- **Modelos freemium.** Aplicaciones que ofrecen un conjunto de funciones gratuitas básicas, con la posibilidad de ampliar funcionalidades mediante pagos opcionales. Esto permite un primer acceso sin barreras económicas.
- **Programas comunitarios.** Gobiernos, ONG y empresas han comenzado a distribuir tecnologías de seguimiento en escuelas, centros de salud o comunidades rurales, democratizando el acceso a herramientas antes exclusivas.

Asimismo, se están desarrollando interfaces más inclusivas, pensadas para personas con poca experiencia digital o con necesidades especiales. Por ejemplo, aplicaciones que funcionan sin conexión a internet, asistentes por voz para personas mayores, o guías interactivas con un lenguaje simple y visual.

La **accesibilidad** no es solo una cuestión de precio o conexión. También implica considerar la diversidad cultural, lingüística y funcional de los usuarios. Muchas veces, las soluciones tecnológicas son diseñadas desde una perspectiva homogénea que ignora las realidades particulares de ciertos grupos sociales. Para ser inclusivas, las herramientas deben:

- estar disponibles en múltiples idiomas;



- adaptarse a normas culturales y creencias locales sobre el cuerpo, la salud y el deporte;
- incluir opciones para personas con discapacidades físicas o cognitivas;
- ofrecer rutas de navegación sencillas y opciones de accesibilidad como comandos por voz, textos con alto contraste o feedback auditivo.

Además, es crucial considerar la accesibilidad cognitiva, especialmente en poblaciones con bajo nivel de alfabetización o formación técnica. Las soluciones más eficaces son aquellas que no requieren un manual extenso para ser utilizadas, sino que guían al usuario de forma natural y empática.

La personalización masiva no es un fin en sí mismo, sino un medio para lograr una transformación personal. Al ofrecer a cada individuo un camino propio, accesible y significativo, se crea una relación más profunda con el deporte. Esta relación es la base de la sostenibilidad a largo plazo: cuando una persona siente que una aplicación o dispositivo «lo entiende», es más probable que se mantenga activa, motivada y comprometida. Por lo tanto, más allá de los sensores y algoritmos, lo que está en juego es la capacidad de la tecnología para humanizar el proceso deportivo. En lugar de imponer rutinas estandarizadas, propone un diálogo continuo con el usuario, respetando su ritmo, su historia y sus aspiraciones.

Este enfoque exige nuevas formas de concebir el diseño, la investigación y la comercialización. Requiere integrar equipos interdisciplinarios, validar científicamente las recomendaciones personalizadas y escuchar activamente a los usuarios para mejorar iterativamente las soluciones. Solo así se logrará una verdadera inclusión digital en el ámbito deportivo.

### **Impacto socioeconómico y comercialización**

La integración de tecnologías emergentes en el ámbito deportivo no solo transforma la forma en que se entrenan, compiten o recuperan los atletas, sino que además está configurando un nuevo ecosistema económico global. Esta transformación plantea oportunidades, riesgos y dilemas éticos que merecen un análisis profundo. El deporte, tradicionalmente asociado al bienestar, la salud y la competencia, se ha convertido en un terreno de gran interés económico, donde confluyen *startups* tecnológicas, grandes corporaciones, inversores, instituciones públicas y consumidores finales.

En las últimas dos décadas, el deporte ha evolucionado de una industria centrada en infraestructura física y organización de eventos a un auténtico campo de innovación digital con múltiples capas de valor añadido. Plataformas de análisis de rendimiento, *wearables*, simuladores de entrenamiento, sistemas de realidad aumentada, inteligencia artificial aplicada al *scouting* o a la prevención de lesiones, así como aplicaciones de salud



y actividad física personalizada son solo algunas de las herramientas que han dinamizado este sector.

Esta transformación ha generado nuevas cadenas de valor, nuevas profesiones — analistas de datos deportivos, desarrolladores de software para entrenamiento, biomecánicos digitales— y ha intensificado la competencia entre empresas por conquistar mercados locales y globales. En este contexto, la tecnología deportiva deja de ser un complemento y pasa a ser un actor central en la economía del deporte moderno.

La comercialización de la tecnología deportiva se apoya en modelos de negocio muy variados, muchos de ellos heredados del ámbito tecnológico general, pero adaptados a las especificidades del sector. Uno de los modelos más comunes es el **modelo freemium**, en el que una aplicación o dispositivo ofrece funciones básicas gratuitas, pero requiere suscripción para acceder a métricas avanzadas, planes personalizados o asesoramiento experto. Este modelo es utilizado por aplicaciones como Strava, Fitbit o Freeletics.

Otro modelo ampliamente difundido es el **modelo basado en hardware complementado por servicios de software**, donde el dispositivo (como un reloj inteligente o una banda de monitoreo) se convierte en la puerta de entrada a un ecosistema digital de valor añadido. Las marcas como Garmin, Polar o Whoop no solo venden dispositivos, sino que monetizan el acceso a plataformas de análisis, entrenamientos inteligentes y comunidad social.

También está en expansión el modelo **business-to-business (B2B)**, en el cual los desarrolladores de tecnología no venden directamente al usuario final, sino que ofrecen soluciones a clubes deportivos, federaciones, gimnasios o centros de salud. Estas soluciones pueden incluir plataformas de monitoreo colectivo, herramientas de análisis de rendimiento en tiempo real, o sistemas de visualización para entrenadores y personal médico.

Por último, en los entornos de alto rendimiento y competición profesional, surgen modelos basados en **consultoría tecnológica**, donde empresas especializadas no venden productos, sino conocimiento y asesoramiento basado en datos. Estas consultorías trabajan con equipos de élite, ayudando a traducir datos complejos en decisiones estratégicas deportivas.

El mercado de la tecnología deportiva es global por definición. El auge del comercio electrónico, la digitalización de servicios y el creciente interés por la salud han permitido que empresas de cualquier parte del mundo distribuyan sus productos o servicios a escala planetaria. No obstante, este escenario también ha creado un entorno altamente competitivo, donde la velocidad de innovación y la capacidad de escalar resultan claves para la supervivencia.



Grandes corporaciones como Apple, Samsung o Google han entrado en el terreno del deporte y la salud con sus propias plataformas de seguimiento físico, ampliando su alcance y poder de mercado. Al mismo tiempo, *startups* de base científica intentan competir ofreciendo especialización y precisión, aunque con frecuencia se ven obligadas a asociarse o vender sus desarrollos a conglomerados mayores para mantenerse.

En este contexto, la escalabilidad se convierte en una estrategia clave. No basta con desarrollar una solución tecnológica de calidad; es necesario que esa solución sea reproducible, adaptable y comercializable en diversos contextos culturales, económicos y deportivos. Esto requiere inversión en infraestructura digital, redes de distribución, traducción de contenidos, soporte técnico multilingüe y adaptación normativa según cada país.

Uno de los puntos más sensibles del ecosistema tecnológico deportivo es el de la propiedad intelectual. La innovación, que en muchos casos implica años de investigación y desarrollo, requiere protección legal para garantizar su explotación comercial justa y sostenible. Aquí entran en juego las **patentes tecnológicas**, los **derechos de autor sobre software y diseño**, y los **acuerdos de confidencialidad** entre empresas y usuarios. Las patentes permiten a una empresa proteger un algoritmo de análisis biomecánico, un sensor de nueva generación o un método de entrenamiento basado en inteligencia artificial. No obstante, el proceso de patentado es costoso y complejo, lo que pone en desventaja a pequeñas empresas o proyectos independientes frente a grandes corporaciones con departamentos legales robustos.

Por otro lado, el uso intensivo de datos biométricos plantea nuevas preguntas sobre la propiedad de los datos. ¿A quién pertenecen los datos generados por un usuario durante su entrenamiento? ¿A la persona? ¿A la empresa que diseñó el dispositivo? ¿Al club que financió la herramienta? Estas preguntas no tienen respuestas únicas, y su resolución dependerá tanto de marcos legales como de principios éticos. En los últimos años, también se han presentado disputas por plagio, apropiación indebida de tecnología y abuso de posición dominante en el mercado de la tecnología deportiva, lo que subraya la necesidad de una regulación más clara, tanto a nivel nacional como internacional.

El impacto socioeconómico de la tecnología en el deporte también se expresa en la desigual distribución del acceso a estas innovaciones. Aunque muchas herramientas prometen democratizar el acceso al rendimiento deportivo, en la práctica la tecnología más avanzada suele estar disponible solo para quienes pueden pagarla. Esto genera nuevas formas de desigualdad: entre atletas de países ricos y pobres, entre clubes de élite y clubes comunitarios, entre usuarios con alta alfabetización digital y quienes están excluidos de la economía digital. Además, muchas soluciones tecnológicas están diseñadas para contextos urbanos, conectados, occidentales, lo que deja fuera a comunidades rurales, personas mayores o usuarios con necesidades específicas que no han sido tenidos en cuenta en el diseño inicial. Si bien algunos proyectos están intentando



reducir estas brechas —por ejemplo, mediante *hardware* de bajo costo o *software* libre—, todavía queda mucho camino por recorrer para asegurar una verdadera inclusión tecnológica.

A futuro, se espera que el mercado de la tecnología deportiva siga creciendo a tasas aceleradas, impulsado por tendencias como el envejecimiento poblacional, el aumento del interés en la salud preventiva, el auge del deporte femenino, y la búsqueda de experiencias hiperpersonalizadas. Se prevé un crecimiento de soluciones híbridas que combinan presencia física y servicios digitales, como gimnasios con entrenadores virtuales, o apps que se integran con clínicas de medicina deportiva. Asimismo, los modelos de economía circular, con productos reciclables o modulares, podrían ganar espacio frente a dispositivos de obsolescencia rápida.

En este nuevo escenario, será clave que la comercialización de la tecnología deportiva no quede únicamente en manos de grandes conglomerados, sino que también se fomente la innovación social, los modelos cooperativos y las políticas públicas que garanticen el acceso equitativo. La tecnología puede ser una palanca de transformación positiva, pero solo si se gestiona con visión sistémica, responsabilidad ética y compromiso con la justicia social.

Con base en todo lo expuesto, es posible formular recomendaciones prácticas que contribuyan a maximizar el impacto de estas tecnologías:

- **Fomentar ecosistemas de innovación inclusiva.** Las políticas públicas y privadas deben apoyar el desarrollo de soluciones tecnológicas accesibles, tanto en términos económicos como culturales. Esto incluye fomentar laboratorios abiertos, subvenciones para *startups* sociales, y alianzas entre universidades, emprendedores y comunidades locales.
- **Establecer marcos claros de propiedad de datos.** Es urgente que los marcos legales nacionales e internacionales regulen la recolección, almacenamiento y uso de datos biométricos generados por usuarios en contextos deportivos. Los usuarios deben tener claridad y control sobre quién accede a sus datos y con qué propósito.
- **Apoyar la protección de la innovación en pequeñas empresas.** Se necesitan mecanismos que faciliten el acceso a patentes y registros de propiedad intelectual para innovadores independientes, *start-ups* y proyectos con impacto social. Fondos públicos, asesorías legales gratuitas y plataformas de difusión pueden ayudar a equilibrar el terreno frente a grandes corporaciones.
- **Diseñar tecnología con perspectiva global.** Las soluciones tecnológicas deben concebirse desde su origen como herramientas adaptables a distintos contextos: urbano y rural, norte y sur global, usuarios con o sin experiencia digital. Esto implica interfaces multilingües, hardware robusto, y modos de uso simplificados.

- **Evaluar el impacto social además del éxito económico.** Es recomendable incorporar métricas de impacto social y bienestar en los modelos de negocio, especialmente en proyectos orientados a la salud pública, la educación física o el deporte comunitario. La rentabilidad no debe ser el único indicador de éxito.

Como conclusión, debe resaltarse que el deporte tecnológico no constituye simplemente un nuevo nicho de mercado: es un campo de tensión entre innovación, equidad, economía y derechos. La comercialización de tecnologías deportivas abre oportunidades de desarrollo, pero también plantea desafíos relacionados con el control del conocimiento, la justicia distributiva y el sentido mismo del deporte como bien común. En esta carrera global por conquistar mercados, quienes diseñan tecnología tienen una responsabilidad especial: no solo deben pensar en el próximo *gadget* revolucionario, sino en las condiciones bajo las cuales ese producto llegará —o no— a las personas que más lo necesitan. Una visión estratégica y ética del impacto socioeconómico implica reconocer que el verdadero éxito de la tecnología deportiva no se mide por las ventas, sino por su capacidad de crear valor humano: empoderar, cuidar, conectar y transformar. Solo así, la innovación será también justicia.

### **Visión a largo plazo y sostenibilidad**

A medida que la tecnología se integra de forma creciente en el ámbito deportivo, se hace imprescindible adoptar una perspectiva que vaya más allá de la inmediatez del rendimiento o la innovación de mercado. La verdadera transformación —aquella que deja huella en generaciones— se construye desde una visión a largo plazo que considere dos ejes fundamentales: el impacto de estas tecnologías en la salud pública y la calidad de vida de las personas, y la sostenibilidad ambiental en el diseño, producción y ciclo de vida de los dispositivos. Hablar de sostenibilidad en el deporte tecnológico no es un ejercicio teórico, sino una exigencia ética, económica y científica. En este capítulo abordaremos cómo puede articularse una estrategia duradera, con capacidad para producir beneficios profundos y equitativos, sin comprometer el bienestar de las personas ni del planeta.

La visión a largo plazo en la relación entre tecnología y deporte es un campo que va mucho más allá de la simple innovación puntual o de la generación de dispositivos con mejores sensores o algoritmos. Se trata de comprender cómo estas herramientas pueden transformar, de manera sostenible y duradera, la salud pública y la calidad de vida de las personas, al mismo tiempo que se minimiza el impacto ambiental asociado a su producción y consumo. Esta perspectiva invita a reflexionar sobre las responsabilidades éticas, sociales y ambientales que los creadores, usuarios y reguladores deben asumir para asegurar que la tecnología deportiva sea un motor de progreso integral y no una fuente más de desigualdades o daños.



En primer lugar, es fundamental reconocer que la tecnología deportiva ha dejado de ser un lujo exclusivo para atletas de alto rendimiento y se ha convertido en una herramienta con enorme potencial para la promoción de la salud a nivel poblacional. Los dispositivos que monitorizan la actividad física, el ritmo cardíaco, la calidad del sueño o incluso parámetros más complejos como la variabilidad cardíaca, están ayudando a millones de personas a tomar conciencia de su estado de salud y a adoptar hábitos más activos y saludables. Desde este punto de vista, la innovación tecnológica no solo impulsa la mejora del rendimiento deportivo, sino que también se posiciona como un aliado clave para los sistemas de salud pública que enfrentan desafíos gigantescos asociados a la creciente prevalencia de enfermedades crónicas relacionadas con el sedentarismo, la obesidad y el estrés.

El acceso a estas tecnologías puede empoderar a individuos para gestionar mejor su bienestar, facilitar intervenciones tempranas y mejorar la adherencia a programas de actividad física adaptados a sus condiciones personales. Por ejemplo, una persona con hipertensión que utiliza un monitor de presión arterial conectado a una app puede recibir alertas tempranas y recomendaciones personalizadas que complementan el seguimiento médico tradicional. Esta integración entre tecnología deportiva y salud pública abre una ventana inmensa para la prevención y el cuidado continuado, desplazando el foco de la intervención médica desde la curación hacia la promoción activa del bienestar.

Pero más allá de la medición y el control del cuerpo físico, la tecnología deportiva también tiene la capacidad de mejorar la calidad de vida en un sentido mucho más amplio. El deporte, como práctica social y cultural, contribuye a la salud mental, a la cohesión comunitaria y al sentido de propósito y autoestima. Las plataformas digitales, aplicaciones y dispositivos que fomentan la participación colectiva, la inclusión y la diversidad social pueden transformar el deporte en un vehículo de integración y bienestar psicológico. Es vital, entonces, que la innovación tecnológica incorpore estos valores humanos y sociales como parte integral de su desarrollo.

Sin embargo, esta expansión masiva de la tecnología deportiva trae consigo una creciente preocupación por su impacto ambiental. La producción masiva de dispositivos electrónicos, desde relojes inteligentes hasta sensores corporales, implica la extracción intensiva de recursos naturales, el consumo significativo de energía y la generación de residuos electrónicos que, si no se gestionan adecuadamente, contribuyen a la contaminación y a la degradación de ecosistemas. En un contexto global donde la crisis climática exige cambios urgentes y profundos, la industria tecnológica deportiva no puede permanecer ajena a estos desafíos.

Es necesario, por tanto, repensar el ciclo de vida completo de estos dispositivos con una visión de sostenibilidad que abarque desde el diseño inicial hasta el final de su uso. El diseño modular, que permite reparar o actualizar partes específicas sin tener que reemplazar el dispositivo entero, se presenta como una estrategia efectiva para reducir el desperdicio electrónico. Asimismo, la utilización de materiales reciclados o



biodegradables en la fabricación de carcasas, correas y embalajes es cada vez más frecuente en empresas comprometidas con la responsabilidad ambiental. No menos importante es la implementación de programas de recolección y reciclaje, que permitan a los usuarios devolver sus dispositivos obsoletos para su correcta gestión y reutilización de componentes.

Además, la optimización del *software* para prolongar la vida útil del *hardware*, evitando la necesidad de reemplazos frecuentes por obsolescencia tecnológica, es otro aspecto clave que puede alinear el desarrollo tecnológico con principios de economía circular. La transparencia en relación con el impacto ambiental también está ganando terreno: los consumidores demandan información clara sobre la huella ecológica de los productos que adquieren, lo que impulsa a las empresas a adoptar certificaciones ambientales y reportes de sostenibilidad como parte de su estrategia de mercado.

Pero la sostenibilidad no puede ser solo ambiental. En su dimensión social, implica garantizar que las innovaciones tecnológicas deportivas sean inclusivas y equitativas. Esto significa que el acceso a estas herramientas no debe estar restringido por barreras económicas, geográficas o culturales, y que deben diseñarse pensando en las múltiples diversidades —desde personas con discapacidades hasta comunidades con bajos recursos o contextos rurales—. La sostenibilidad social también contempla el respeto por los derechos laborales en la cadena de producción y la transparencia en las prácticas corporativas, evitando la explotación y promoviendo condiciones dignas para todos los actores involucrados.

En definitiva, la visión a largo plazo para el deporte y la tecnología exige un compromiso profundo con un modelo de innovación que integre salud pública, calidad de vida, justicia social y cuidado ambiental. No se trata solo de crear dispositivos más avanzados, sino de construir un ecosistema tecnológico que permita a las personas vivir mejor y al planeta mantenerse saludable. Este desafío requiere la colaboración entre científicos, diseñadores, empresas, gobiernos y comunidades, y sobre todo, una cultura de consumo consciente y responsable por parte de los usuarios.

Así, el futuro del deporte tecnológico será verdaderamente transformador cuando se reconozca que la excelencia no reside únicamente en la precisión de un sensor o en la sofisticación de un algoritmo, sino en su capacidad para generar un impacto positivo sostenible que trascienda generaciones, fortalezca la salud colectiva y preserve el entorno natural que nos sostiene. Solo desde esta mirada integral, ética y comprometida, podremos asegurarnos de que la tecnología en el deporte sea una fuerza para el bien común, una herramienta que no solo optimice el rendimiento, sino que también nutra la vida y el planeta en el largo plazo.

Para que el desarrollo tecnológico en el deporte cumpla con su potencial transformador y sostenible, es necesario adoptar una serie de principios y estrategias que guíen la



innovación, producción y uso de estas herramientas en el tiempo. Entre las recomendaciones más relevantes se encuentran las siguientes:

- **Integrar criterios de sostenibilidad desde el diseño.** Los fabricantes deben implementar procesos de ecodiseño que prioricen materiales reciclables o biodegradables, modularidad para facilitar reparaciones y actualizaciones, y minimizar el consumo energético tanto en la fabricación como en el uso cotidiano de los dispositivos.
- **Promover la economía circular en la cadena productiva:** Es fundamental desarrollar sistemas eficientes de recuperación y reciclaje de dispositivos electrónicos deportivos para reducir residuos y fomentar la reutilización de componentes valiosos. Esto requiere alianzas entre empresas, gobiernos y organizaciones ambientales que faciliten la logística y la concienciación de los consumidores.
- **Fomentar el acceso equitativo a la tecnología.** Las políticas públicas y los modelos de negocio deben buscar reducir la brecha digital, incluyendo subsidios, programas educativos y adaptaciones culturales y lingüísticas, para asegurar que la tecnología deportiva llegue a comunidades vulnerables y grupos tradicionalmente excluidos.
- **Incorporar evaluaciones de impacto social y ambiental.** Antes y después de lanzar nuevos productos o servicios, se deben realizar estudios rigurosos que analicen cómo afectan la salud pública, la calidad de vida de los usuarios y el medio ambiente, ajustando las estrategias según los hallazgos.
- **Educar a usuarios y profesionales en consumo responsable y manejo tecnológico.** Capacitar a entrenadores, deportistas y público general en el uso adecuado y consciente de estas tecnologías es clave para maximizar beneficios y evitar un consumo desmedido o el descarte prematuro.
- **Fomentar la colaboración interdisciplinaria y multisectorial.** Científicos, ingenieros, diseñadores, economistas, ambientalistas y responsables políticos deben trabajar juntos para generar soluciones innovadoras que equilibren rendimiento, accesibilidad y sostenibilidad.
- **Impulsar marcos regulatorios claros y flexibles.** Los gobiernos deben establecer regulaciones que protejan los datos personales, garanticen la transparencia en el impacto ambiental y social, y promuevan prácticas responsables de las empresas, sin frenar la innovación.

En definitiva, el desarrollo tecnológico en el ámbito deportivo se encuentra en un punto crucial donde el desafío no es solo crear dispositivos más avanzados o algoritmos más precisos, sino hacerlo con una mirada profunda hacia el futuro, que incluya la salud



pública, la calidad de vida y la protección del planeta. Este enfoque integral exige reconocer que la sostenibilidad no es una opción secundaria, sino un requisito esencial para que la innovación sea verdaderamente valiosa y duradera. Las herramientas tecnológicas deben ser diseñadas y gestionadas para empoderar a todas las personas, promoviendo hábitos saludables y mejorando su bienestar físico y emocional. Simultáneamente, deben minimizar su huella ambiental, a través de prácticas responsables de producción, uso y disposición final, fomentando un ciclo virtuoso que respete los límites del planeta. Solo con un compromiso colectivo y consciente podremos garantizar que el avance tecnológico en el deporte no sea efímero ni excluyente, sino una fuerza positiva capaz de transformar vidas, comunidades y ecosistemas para las generaciones presentes y futuras. Así, la innovación deportiva trascenderá su función original y se convertirá en un verdadero motor de desarrollo humano sostenible, donde cada paso hacia la mejora del rendimiento sea también un paso hacia un mundo más justo y saludable.

## Referencias

- Barbour, B., Sefton, L., Bruce, R. M., Valmaggia, L., & Runswick, O. R.** (2024). Acute psychological and physiological benefits of exercising with virtual reality. *PLoS ONE*, *19*(12), e0314331.
- Biçer, B., & Löklüoğlu, B.** (2025). Comparison of the virtual reality and mobile games regarding physiological load. *Frontiers in Physiology*, *16*, 1556434.
- Hajder, Đ., Bjelica, B., Bubanj, S., Aksović, N., Marković, M., Arsenijević, R., Lupu, G. S., Gašić, T., Sufaru, C., Toskić, L., Dobreci, D. L., Dobrescu, T., & Sava, M. A.** (2025). A systematic review and meta-analysis of virtual and traditional physical activity programs: Effects on physical, health, and cognitive outcomes. *Healthcare (Basel)*, *13*(7), 711.

## Referencias bibliográficas para consulta

- Altini, M.** (2021). Heart rate variability (HRV) trends: going beyond daily scores. *Medium*. [https://medium.com/@altini\\_marco/heart-rate-variability-hrv-trendsgoing-beyond-daily-scores-d32609c1eddd](https://medium.com/@altini_marco/heart-rate-variability-hrv-trendsgoing-beyond-daily-scores-d32609c1eddd)
- Bellenger, C., Siegel, R., Stanley, J., & McGibbon, K.** (2023). *AIS best practice guidelines for the measurement, analysis and interpretation of resting heart rate and heart rate variability in athletes*. Australian Institute of Sport. [https://www.ais.gov.au/data/assets/pdf\\_file/0013/1130260/HRV-BPG\\_FINAL.pdf](https://www.ais.gov.au/data/assets/pdf_file/0013/1130260/HRV-BPG_FINAL.pdf)



- Biçer, B., & Löklüoğlu, B.** (2025). Comparison of the virtual reality and mobile games regarding physiological load. *Frontiers in Physiology, 16*, 1556434.
- Burns, A., & Collins, D.** (2023). Interdisciplinary practice in performance sport: A scoping review of evidence of collaboration. *European Journal of Sport Science, 23*(9), 1877–1891.
- Chan, A. H. Y., Foot, H., Pearce, C. J., Horne, R., Foster, J. M., & Harrison, J.** (2022). Effect of electronic adherence monitoring on adherence and outcomes in chronic conditions: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE, 17*(3), e0265715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265715>
- Collins, M., & September, A. V.** (2023). Are commercial genetic injury tests premature? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 33*(9), 1584–1597.
- Ekstrand, J., Lundqvist, D., Davison, M., D’Hooghe, M., & Pensgaard, A. M.** (2019). Communication quality between the medical team and the head coach/manager is associated with injury burden and player availability in elite football clubs. *British Journal of Sports Medicine, 53*(5), 304–308.
- González, J. R., Cáceres, A., Ferrer, E., Balagué-Dobón, L., Escribà-Montagut, X., Sarrat-González, D., Quintás, G., & Rodas, G.** (2024). Predicting injuries in elite female football players with global-positioning-system and multiomics data. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 19*(7), 661–669.
- Kalkhoven, J. T.** (2024). Athletic injury research: Frameworks, models and the need for causal knowledge. *Sports Medicine, 54*(5), 1121–1137.
- Le Meur, Y., Pichón, A., Schaal, K., Schmitt, L., Louis, J., Gueneron, J., Vidal, P. P., & Hauswirth, C.** (2013). Evidence of parasympathetic hyperactivity in functionally overreached athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 45*(11), 2061.
- Leckey, C., van Dyk, N., Doherty, C., Lawlor, A., & Delahunt, E.** (2025). Machine learning approaches to injury risk prediction in sport: A scoping review with evidence synthesis. *British Journal of Sports Medicine, 59*(7), 491–500.
- McCalla, T., & Fitzpatrick, S.** (2016). Integrating sport psychology within a high-performance team: Potential stakeholders, micropolitics, and culture. *Journal of Sport Psychology in Action, 7*(1), 33–42.
- Natalucci, V., Marmondi, F., Biraghi, M., & Bonato, M.** (2023). The effectiveness of wearable devices in non-communicable diseases to manage physical activity and nutrition: Where we are? *Nutrients, 15*(4), 913. <https://doi.org/10.3390/nu15040913>



- Plews, D., Laursen, P., Stanley, J., Kilding, A., & Buchheit, M.** (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine*, 43(9), 773–781.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Le Meur, Y., Hausswirth, C., Kilding, A. E., & Buchheit, M.** (2014). Monitoring training with heart rate-variability: How much compliance is needed for valid assessment? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(5), 783.
- Ribbans, W. J., September, A. V., & Collins, M.** (2022). Tendon and ligament genetics: How do they contribute to disease and injury? A narrative review. *Life*, 12(5), 663.
- Rollo, I., Carter, J. M., Close, G. L., Yangüas, J., Gomez-Díaz, A., Medina Leal, D., Duda, J. L., Holohan, D., Erith, S. J., & Podlog, L.** (2021). Role of sports psychology and sports nutrition in return to play from musculoskeletal injuries in professional soccer: An interdisciplinary approach. *European Journal of Sport Science*, 21(7), 1054–1063.
- Timmerman, W. P., Abbiss, C. R., Lawler, N. G., Stanley, M., & Raynor, A. J.** (2024). Athlete monitoring perspectives of sports coaches and support staff: A scoping review. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 19(4), 1813–1832.

