

Estado madurativo en deporte y educación: revisión narrativa

Maturational status in sport and education: a narrative review

Adrián Torregrosa Domínguez
Universidad de Huelva
<https://orcid.org/0009-0008-2400-5638>

César Villalba Arroyo
Universidad de Huelva
<https://orcid.org/0009-0007-0110-4302>

Rafael Ramos Veliz
Centro de Estudios Universitarios Cardenal Spínola, Fundación CEU San Pablo Andalucía.
<https://orcid.org/0000-0002-3224-9615>

Eduardo José Fernández Ozcorta
Universidad de Huelva
<https://orcid.org/0000-0001-9823-1306>

e-MOTION

Revista de Educación,
Motricidad e Investigación

VOL.23 (2024)

ISSN 2341-1473 pp. 87-99

<https://doi.org/10.33776/remo.vi23.8551>

Estado madurativo en deporte y educación: revisión narrativa

Maturational status in sport and education: a narrative review

Adrián Torregrosa Domínguez

Universidad de Huelva

<https://orcid.org/0009-0008-2400-5638>

César Villalba Arroyo

Universidad de Huelva

<https://orcid.org/0009-0007-0110-4302>

Rafael Ramos Veliz

Centro de Estudios Universitarios Cardenal Spínola, Fundación CEU San Pablo Andalucía.

<https://orcid.org/0000-0002-3224-9615>

Eduardo José Fernández Ozcorta

Universidad de Huelva

<https://orcid.org/0000-0001-9823-1306>

Resumen:

La maduración biológica genera diferencias significativas entre jóvenes de la misma edad cronológica. Estas disparidades afectan a su rendimiento deportivo, aumentando el riesgo de lesión ante nuevas oportunidades competitivas, siendo un factor crucial en el diseño de programas de entrenamiento y estrategias educativas. Los jóvenes con maduración temprana suelen destacar en capacidades físicas como fuerza y velocidad, lo que les da ventaja en deportes competitivos. Por otro lado, los de maduración tardía enfrentan mayores desafíos para acceder a niveles superiores, a pesar de su potencial a largo plazo. Este sesgo fomenta desigualdades que pueden desmotivar a los deportistas jóvenes. Para abordar estas diferencias, se emplean diferentes métodos para determinar la maduración biológica de los jóvenes, entre los más usados en la actualidad se encuentran los métodos no invasivos a través de diferentes ecuaciones predictivas del pico de velocidad de crecimiento (PHV) o de la estatura adulta esperada (PAH). Estos métodos son usados en estrategias como la Banda Biológica, que agrupa a jóvenes según su maduración y han mostrado eficacia para equilibrar la competencia y mejorar el desarrollo técnico, físico y psicológico. En el ámbito educativo, las investigaciones sobre maduración se han enfocado más en la edad relativa que en la maduración biológica, dejando un vacío sobre su impacto en el rendimiento académico. Incorporar este enfoque podría mejorar el desarrollo integral de los estudiantes. En síntesis, considerar la maduración biológica en entornos deportivos y educativos es esencial para mitigar desigualdades y potenciar el talento individual, aunque aún son necesarios más estudios y herramientas para su aplicación efectiva.

Palabras clave:

Maduración, banda biológica, edad relativa, deporte juvenil, estrategias de agrupación.

Abstract

Biological maturation generates significant differences among young people of the same chronological age. These disparities affect their sports performance, increasing the risk of injury when facing new competitive opportunities and becoming a crucial factor in the design of training programs and educational strategies. Young individuals with early maturation often excel in physical abilities such as strength and speed, giving them an advantage in competitive sports. On the other hand, those with late maturation face greater challenges in accessing higher levels despite their long-term potential. This bias fosters inequalities that can demotivate young athletes. To address these differences, various methods are used to determine the biological maturation of young people. Among the most commonly used today are non-invasive methods through different predictive equations of peak height velocity (PHV) or predicted adult height (PAH). These methods are employed in strategies like bio-banding, which groups young people according to their maturation and have shown effectiveness in balancing competition and improving technical, physical, and psychological development. In the educational field, research on maturation has focused more on relative age than on biological maturation, leaving a gap regarding its impact on academic performance. Incorporating this approach could enhance the overall development of students. In summary, considering biological maturation in sports and educational environments is essential to mitigate inequalities and enhance individual talent, although more studies and tools are still needed for its effective application.

Keywords:

Maduration, biobanding, relative age, youth sport, grouping strategies.

Fecha de recepción: 25 de noviembre de 2024

Fecha de aceptación: 30 de diciembre de 2024

Introducción

En los últimos años, la participación de deportistas jóvenes ha experimentado un notable incremento a nivel mundial, con un aumento del 15 % en las competiciones organizadas entre 2013 y 2022 (IOC, 2023). A nivel local, en España, el número de jóvenes inscritos en federaciones deportivas creció un 12 % entre 2016 y 2022, superando el millón de licencias (Consejo Superior de Deportes, 2023).

Este auge en la práctica deportiva juvenil plantea nuevos retos para entrenadores e investigadores. Entre estos desafíos destaca la necesidad de minimizar los factores externos que puedan entorpecer el desarrollo adecuado de los jóvenes deportistas, generando problemas como ansiedad, lesiones o incluso un abandono deportivo temprano. Por ello, resulta esencial ofrecer herramientas de apoyo y capacitar a los jóvenes para gestionar factores como la presión competitiva, el entorno social y el contexto deportivo (Olmedilla et al., 2019).

Uno de los factores externos que influyen en la actividad deportiva juvenil es el sistema de agrupación de deportistas según su edad cronológica para fines competitivos (Baxter-Jones y Helms, 1996). Dentro de estos grupos de edad, las diferencias en el desarrollo madurativo pueden ser significativas, afectando tanto el rendimiento como la salud de los deportistas en formación (Cumming et al., 2017).

Este problema se ha abordado tradicionalmente desde la perspectiva de la edad relativa, que alude a la ventaja competitiva de los jóvenes nacidos a principios del año frente a aquellos nacidos en meses posteriores, generando efectos tanto inmediatos como a largo plazo (Cobley, Baker, et al., 2009). Sin embargo, durante las primeras etapas de la adolescencia, adquiere mayor relevancia el sesgo por estado madurativo, que se intensifica con la edad y el nivel de competición (Bolckmans et al., 2022; Malina et al., 2019).

El objetivo de este trabajo es presentar un análisis del estado actual del conocimiento sobre el estado madurativo en contextos deportivos y explorar su aplicación en el ámbito escolar.

Método

Tras una búsqueda exhaustiva en diferentes bases de datos (Scopus, WOS y Pubmed) usando conceptos como de "bio-banda", "bio-banding", "estado madurativo", "maturity status", "maduración biológica", "biological maturation", "deporte juvenil", "youth sport", "high school", "instituto", "educación física", "physical education", Se desarrolló una revisión narrativa que pudiera abordar los diferentes apartados relacionados con esta temática, usando para ello artículos de expertos de renombre en el asunto que nos ocupa como el Dr. Malina, artículos que tuvieran un alto nivel de impacto o que fueran lo más actuales posibles.

Resultados y Discusión

La medición de la maduración de los jóvenes y su aplicación para adaptar los diferentes entornos en los que se desarrolla como persona debe ser un asunto de máxima relevancia por sus implicaciones a nivel de desarrollo deportivo (Vaeyens et al., 2008) y de aprendizaje (Abbott et al., 2019).

La maduración: conceptos clave

La maduración se define como el proceso que lleva a la adultez y puede analizarse en términos de estado, momento y ritmo (Malina et al., 2015). El *estado* atañe a la fase del desarrollo en la que se encuentra un individuo (e.g., prepubertad, pubertad). Por su parte, el *momento* es referido a la edad en la que ocurren eventos clave del desarrollo, como el pico de velocidad de crecimiento (PHV, por sus siglas en inglés). Y el *ritmo*, la velocidad a la que se producen los eventos madurativos. En conjunto, estos factores determinan que algunos individuos maduren antes o después que otros (Cumming et al., 2017). Los deportistas que alcanzan una madurez sexual y esquelética avanzada tienden a experimentar un crecimiento acelerado durante la pubertad (Cumming et al., 2017), lo que les otorga ventajas en tareas relacionadas con fuerza, potencia y velocidad en comparación con sus compañeros de madurez tardía. Esto se debe a la mayor capacidad del músculo para aumentar su tamaño y fuerza hasta los 20 años (Yapici et al., 2022). Estas diferencias son particularmente notorias entre los 11 y los 14 años, cuando las disparidades funcionales y de tamaño alcanzan su mayor expresión (Malina et al., 2015).

Implicaciones de la maduración en el entrenamiento deportivo

Entender la etapa de madurez de los deportistas permite ajustar los entrenamientos a sus necesidades físicas y, al mismo tiempo, potenciar sus habilidades técnicas y tácticas de manera más efectiva (Vaeyens et al., 2008). Estudios recientes indican que tener en cuenta estas diferencias mejora el aprendizaje de habilidades clave, alineándose con las capacidades individuales de cada deportista (Abbott et al., 2019). Asimismo, adaptar las estrategias de entrenamiento a la etapa de crecimiento no solo optimiza el rendimiento, sino que también disminuye el riesgo de lesiones, un aspecto crítico en el desarrollo físico de los jóvenes (MacMaster et al., 2021).

En el ámbito psicológico, un acompañamiento adecuado del proceso de maduración puede ser determinante para mantener la motivación y evitar el abandono deportivo provocado por presiones o expectativas mal gestionadas (Towlson et al., 2021).

En conclusión, la maduración biológica tiene un impacto significativo en la capacidad funcional de los adolescentes (Malina et al., 2004). Determinar el nivel de maduración no solo permite observar y analizar el desarrollo individual, sino que también facilita la evaluación objetiva de las competencias de los talentos deportivos (Malina et al., 2007). Esto contribuye al desarrollo técnico (Abbott et al., 2019), táctico (Lüdin et al., 2022), físico (MacMaster et al., 2021) y psicológico (Towlson et al., 2021) de los jóvenes deportistas.

Como se ha mencionado previamente, los atletas que alcanzan una madurez temprana suelen tener un rendimiento superior en tareas de entrenamiento que requieren fuerza, potencia y velocidad, en comparación con sus compañeros de madurez tardía (Yapici et al., 2022). Esta ventaja física inicial facilita su selección y permanencia en academias deportivas, donde reciben una programación de entrenamiento que incluye mayor tiempo de juego, roles destacados y mejores oportunidades de desarrollo en niveles más altos de competencia (Deprez et al., 2015; Towlson et al., 2017).

De hecho, los deportistas con maduración temprana tienen un 80 % más de probabilidades de ser seleccionados para equipos de élite en comparación con sus compañeros, a pesar de que no se observan diferencias significativas en habilidades técnicas entre ambos grupos (Cumming et al.,

Métodos tradicionales para medir la maduración

2017). Esta situación genera un sesgo en el sistema de identificación de talentos, priorizando el desarrollo biológico temprano sobre otras habilidades, lo que puede llevar a que deportistas con maduración tardía queden rezagados, a pesar de su potencial. Además, las diferencias físicas con sus compañeros de maduración temprana pueden traducirse en desigualdad en la competición y un mayor riesgo de lesiones (Cumming et al., 2017).

Dada esta problemática, resulta fundamental medir de manera precisa la maduración de los jóvenes deportistas, aplicando métodos científicos validados. Tradicionalmente, uno de los enfoques más utilizados ha sido la evaluación del desarrollo óseo mediante radiografías de los huesos de la muñeca, el antebrazo y la mano, lo que permite identificar el grado de osificación y el estado adulto del hueso. Paralelamente, el estado de maduración puberal se analiza observando características sexuales secundarias como el desarrollo de vello axilar y púbico en ambos sexos, la aparición de la primera menstruación y el aumento del tamaño de las mamas en chicas, así como el incremento del tamaño genital, cambios en el tono de voz y desarrollo de vello facial en chicos. Adicionalmente, se incluye el análisis del desarrollo de piezas dentales (Malina et al., 2015, 2019).

Estos indicadores permiten determinar tanto el estado madurativo como, en estudios longitudinales, el ritmo de maduración al medir los cambios a lo largo del tiempo. Por otro lado, para estimar el momento madurativo, suelen emplearse indicadores como la edad de la primera menstruación en chicas o la edad del pico de velocidad de crecimiento (PHV, por sus siglas en inglés) (Malina et al., 2019).

Sin embargo, los métodos tradicionales presentan desventajas significativas, como su carácter invasivo y la necesidad de personal y equipamiento altamente cualificado (Malina et al., 2015). Por ello, en los últimos años se han desarrollado métodos no invasivos o somáticos, entre los que destacan varias ecuaciones predictivas que permiten aproximar el estado madurativo de los deportistas de manera más práctica y accesible (Fransen et al., 2018; Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015).

Métodos no invasivos para estimar la maduración

Los métodos somáticos de estimación de la maduración son ampliamente aceptados por su baja invasividad, facilidad de uso, versatilidad para realizar mediciones en laboratorios y en campo, bajo costo y la menor capacitación requerida para los investigadores (Sullivan et al., 2023).

Generalmente, estos métodos calculan el porcentaje de la estatura de adulto predicha (PAH, por sus siglas en inglés) o la diferencia de maduración, que corresponde al tiempo que falta para alcanzar el PHV. En el caso del cálculo de la edad PHV, se estima la edad cronológica en la que el deportista alcanzará la máxima velocidad de crecimiento en altura durante el estirón puberal (Malina et al., 2019). Este proceso comienza con una aceleración en la tasa de crecimiento en altura, alcanza un pico y finalmente desacelera, concluyendo a finales de la adolescencia o cerca de los veinte años (Malina et al., 2015).

Entre los predictores del PAH destaca el método Khamis-Roche, desarrollado en 1994. Este método utiliza la edad cronológica del joven, su altura, su peso y la altura media de los padres para expresar el resultado como un porcentaje de la estatura adulta esperada en el momento de la medición (Malina et al., 2019).

Por su practicidad y menor requerimiento técnico, estas herramientas han ganado relevancia como una alternativa viable para complementar los métodos tradicionales, permitiendo a entrenadores e investigadores tomar decisiones más informadas sobre el desarrollo de los deportistas jóvenes.

En los últimos años, se han desarrollado diversas ecuaciones predictivas para estimar la diferencia de maduración o edad en el pico de velocidad de crecimiento (PHV). Algunas de las más relevantes pueden ser consultadas en la Tabla 1.

Tabla 1

Ecuaciones predictivas para estimar la maduración biológica en chicas y chicos

| Método | Ecuaciones aplicables según sexo biológico | |
|-----------------------|---|---|
| | Chicas | Chicos |
| Mirwald (2002) | $-9.376 + 0.0001882 \times (\text{Estatura} \times \text{Longitud de las piernas}) + 0.0022 \times (\text{Edad} \times \text{Estatura}) + 0.005841 \times (\text{Edad} \times \text{Longitud de las piernas}) + 0.02474 \times (\text{Estatura} / \text{Peso})$ | $-9.236 + 0.0002708 \times (\text{Estatura} \times \text{Longitud de las piernas}) + 0.001663 \times (\text{Edad} \times \text{Altura}) + 0.007216 \times (\text{Edad} \times \text{Longitud de las piernas}) + 0.02292 \times (\text{Estatura} / \text{Peso})$ |
| Moore (2015) | $-7,709133 + (0,0042232 \times (\text{Edad} \times \text{Estatura}))$ | $-8,128741 + (0,0070346 \times (\text{Edad} \times \text{Estatura en posición sedente}))$ * $-7,999994 + (0,0036124 \times (\text{Edad} \times \text{Estatura}))$ |
| Fransen et al. (2018) | | $6.986547255416 + (0.115802846632 \times \text{Edad}) + (0.001450825199 \times \text{Edad}^2) + (0.004518400406 \times \text{Peso}) - (0.000034086447 \times \text{Peso}^2) - (0.151951447289 \times \text{Estatura}) + (0.000932836659 \times \text{Estatura}^2) - (0.000001656585 \times \text{Estatura}^3) + (0.032198263733 \times \text{Longitud de las piernas}) - (0.000269025264 \times \text{Longitud de las piernas}^2) - (0.000760897942 \times \text{Estatura} \times \text{Edad})$ |

Nota: todas las medidas referidas a Longitudes y Estaturas son en centímetros. Asimismo, las medidas de Peso se han de indicar en kilogramos; * = ecuación alternativa para chicos cuando no se tiene la Estatura en posición sedente

Las ecuaciones propuestas por Mirwald (2002) han demostrado una alta correlación con la edad real en el PHV (89%) (Sullivan et al., 2023) y son consideradas métodos fiables para estimaciones longitudinales (Teunissen et al., 2020). Por su parte, la ecuación de Fransen et al. (2018) alcanzó una correlación superior al 90 % con la edad real en el PHV, incluso en escenarios donde existían diferencias significativas entre la edad cronológica y la del pico de crecimiento (Sullivan et al., 2023). Asimismo, esta ecuación ha sido reconocida por su estabilidad en distintos períodos de desarrollo (Teunissen et al., 2020). En el caso de las ecuaciones de Moore, la versión Moore 2 destacó por ser la más precisa, proporcionando estimaciones muy cercanas a la edad real en el PHV (Sullivan et al., 2023).

A pesar de sus ventajas, como su baja invasividad y facilidad de uso, estas herramientas –incluyendo las ecuaciones de Mirwald, Fransen y Moore– presentan limitaciones importantes. Su precisión puede variar significativamente, con tasas de error que afectan hasta un tercio de los casos en poblaciones masculinas, lo que podría ocasionar clasificaciones incorrectas del estado madurativo (Mirwald et al., 2002;

Estrategias de agrupación basadas en madurez biológica

Moore et al., 2015). Además, estas ecuaciones dependen de factores como la relación entre la longitud de las piernas y la estatura, lo que puede no reflejar de forma completa el estado biológico real. Esto es especialmente problemático en jóvenes con patrones de crecimiento atípicos (Malina et al., 2015).

Estas limitaciones resaltan la necesidad de complementar estas herramientas con otros enfoques más integrales que permitan mejorar la precisión en la evaluación del estado madurativo.

Desde principios del siglo XXI, se han explorado diversas estrategias para modificar la agrupación cronológica de los jóvenes hacia sistemas basados en su madurez biológica, conocidas como la Banda Biológica o agrupación por Bandas Biológicas (Cumming et al., 2017). Estas estrategias buscan optimizar el desarrollo individual de los jóvenes (Bolckmans et al., 2022).

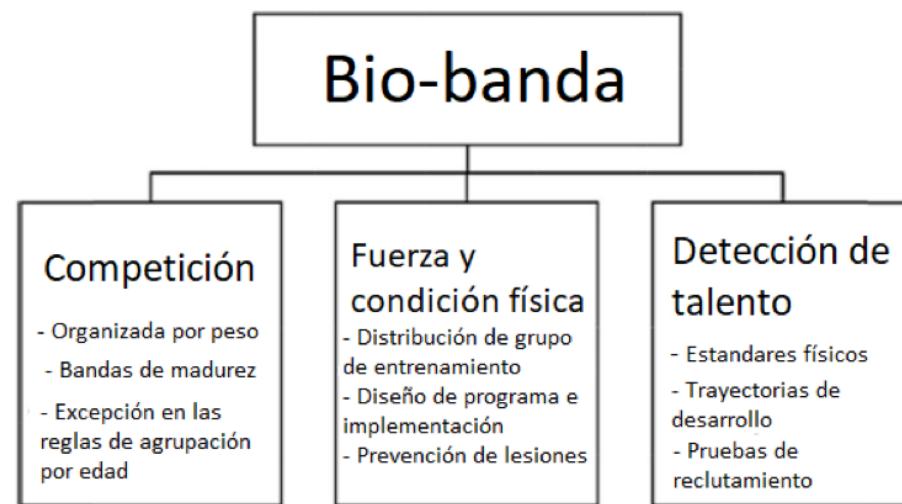


Figura 1. Modelo contemporáneo de la Banda Biológica para deporte juvenil (Cumming et al., 2017)

Inicialmente, estas propuestas se basaron en métodos invasivos como la evaluación del desarrollo óseo o las características sexuales secundarias. Sin embargo, también han surgido enfoques menos invasivos, como la agrupación según edad y peso, aplicada en deportes de combate y fútbol americano. Por ejemplo, se han delimitado posiciones y roles específicos para jugadores con ciertas características físicas, incluyendo restricciones para avanzar el balón (Cumming et al., 2017).

Otro método innovador es el propuesto por Helsen (2021), que clasifica a los jóvenes en función de su "fecha de nacimiento del desarrollo". Este sistema compara la altura y la edad cronológica del individuo con las medias de las curvas de crecimiento de la población general.

Además, se han utilizado herramientas somáticas, como las ecuaciones predictivas basadas en la edad PHV (pico de velocidad de crecimiento o el porcentaje de la estatura adulta predicha (PAH, por sus siglas en inglés) (Cumming et al., 2017). En el caso de la edad PHV, se agrupa a los jóvenes en tres categorías: 1) Pre-PHV (>1 año antes del PHV); 2) Circa-PHV (± 1 año del PHV) y 3) Post-PHV

(>1 año después del PHV). Sin embargo, aunque estas categorizaciones tienen potencial, su precisión es cuestionada, ya que las predicciones de la edad PHV tienden a retrasarse en jóvenes con maduración temprana y adelantarse en aquellos con maduración tardía (Cumming et al., 2017).

Tabla 2

Clasificación de los períodos PHV en diferentes estudios a partir de la ecuación Mirwald (2002). Modificada de Bult et al. (2018)

| | Pre-PHV | | | Post-PHV | | | |
|----------------------------------|---------|--------|-------|----------|-------|--------|--------|
| | >12 m | 6-12 m | < 6 m | < 3 m | 3-6 m | 7-12 m | > 12 m |
| Materne et al., 2016 | 1 | | | 2 | | | 3 |
| Van der Sluis et al., 2014, 2015 | | 1 | | 2 | | | 3 |
| Wormhoudt et al., 2017 | 1 | | 2 | | | 3 | |
| Bult et al., 2018 | PHV-1 | PHV-2 | PHV-3 | PHV-4+5 | | PHV-6 | |

Nota. * 1, tiempo antes del PHV; 2, periodo alrededor del PHV; 3, tiempo después del PHV; PHV, Pico de velocidad de crecimiento.

Por su parte, en base al PAH, el método Khamis-Roche estima que el PHV ocurre entre el 88 % y el 96 % del crecimiento adulto. Con base en esto, los jóvenes se agrupan en tres categorías: 1) Pre-PHV (<88 % PAH); 2) Circa-PHV (<96 % PAH) y 3) Post-PHV (>96 % PAH). Asimismo, este método también presenta limitaciones, como la necesidad de datos precisos sobre la altura de los padres y aunque existen fórmulas correctoras, este aspecto sigue siendo un punto conflictivo (Cumming et al., 2017).

Las propuestas de agrupación basadas en la madurez tienen el potencial de enriquecer el desarrollo deportivo y educativo de los jóvenes. No obstante, estas estrategias deben integrarse en planes multifacéticos que también consideren la agrupación cronológica en momentos específicos, fomentando un entorno de aprendizaje más variado (Cumming et al., 2017).

Aunque estas metodologías reducen algunos problemas asociados con la agrupación por edad cronológica, no los eliminan completamente. Además, su aplicabilidad aún es difícil de medir, ya que se han probado mayormente en contextos de corto plazo. Los métodos somáticos, por su parte, han sido diseñados y validados principalmente en poblaciones de ascendencia europea o estadounidense, lo que podría limitar su precisión en otros grupos étnicos (Malina et al., 2019).

Aplicación educativa y desafíos futuros

En contextos educativos, el estudio del estado madurativo aún está en una fase inicial. La mayoría de los estudios se centran en la edad relativa, mostrando que los alumnos nacidos a principios del año tienden a obtener mejores resultados físicos y académicos que aquellos nacidos al final (Aune et al., 2018; Cobley, McKenna, et al., 2009; Mavilidi et al., 2022). Sin embargo, pocos trabajos analizan la relación entre maduración y rendimiento académico utilizando métodos fiables (Hermassi, Ketelhut, et al., 2024).

Conclusiones

Sin embargo, pocos trabajos analizan la maduración y los que lo hacen, la utilizan como una variable a describir más sin estudiar su efecto sobre otras (Hermassi, Ketelhut, et al., 2024).

En el futuro, sería relevante investigar si los efectos observados en la edad relativa se replican al considerar la madurez biológica. Además, probar la aplicabilidad de los sistemas de agrupación por madurez en contextos educativos podría no solo beneficiar la investigación a largo plazo, sino también fomentar el desarrollo integral de los jóvenes.

La maduración es un factor determinante en el desarrollo de los jóvenes, impactando tanto en el ámbito deportivo como en el académico. En el contexto deportivo, los jóvenes con maduración temprana suelen destacar por sus ventajas en fuerza, velocidad y potencia, lo que les otorga mayores oportunidades competitivas. Sin embargo, esta preferencia por los individuos con desarrollo temprano puede relegar a aquellos con maduración tardía, limitando el reconocimiento de su potencial técnico y táctico. Además, las diferencias en maduración incrementan el riesgo de lesiones y generan desigualdades en la competición, lo que resalta la necesidad de diseñar entrenamientos adaptados a las necesidades individuales, considerando más que la edad cronológica.

Para abordar estas disparidades, se han desarrollado diversas metodologías para medir la madurez física. Entre ellas, los métodos no invasivos, como las ecuaciones predictivas, han ganado protagonismo gracias a su bajo coste y facilidad de aplicación. Sin embargo, aunque son útiles y accesibles, presentan limitaciones en cuanto a precisión y validez en poblaciones con patrones de crecimiento diversos.

Por otro lado, estrategias como el Banda Biológica, que agrupan a los jóvenes según su madurez biológica, han demostrado ser efectivas para reducir desigualdades y optimizar el desarrollo individual en entornos deportivos. No obstante, su implementación enfrenta desafíos metodológicos significativos, y su aplicación en el ámbito educativo aún está en una etapa inicial.

En el contexto académico, las diferencias en maduración también tienen un impacto importante en el rendimiento y bienestar de los estudiantes. Hasta ahora, la mayoría de las investigaciones se han centrado en el efecto de la edad relativa, mientras que el impacto directo de la madurez biológica sobre el aprendizaje y el desarrollo integral permanece poco explorado. Esto representa un vacío significativo en la comprensión de cómo las características madurativas influyen en el ámbito educativo.

Integrar el estado madurativo en estrategias pedagógicas y deportivas es fundamental para promover un desarrollo más equitativo. En educación, la implementación de prácticas similares al Banda Biológica podría ayudar a mitigar las diferencias biológicas en el rendimiento académico y social, fomentando un entorno de aprendizaje más inclusivo. Sin embargo, este enfoque requerirá herramientas de medición más precisas, investigaciones amplias en poblaciones diversas y metodologías que combinen las perspectivas cronológica y biológica.

Reconocer y trabajar con las particularidades de la maduración no solo facilitará un desarrollo más justo y equilibrado, sino que también garantizará mejores oportunidades para todos los jóvenes,

Material complementario

Referencias

respetando y valorando sus ritmos individuales. A largo plazo, estas estrategias pueden convertirse en un pilar para maximizar el potencial de cada individuo en múltiples contextos, desde el deportivo hasta el educativo.

Financiación

Agradecemos la financiación otorgada por el Vicerrectorado de Innovación y Empleabilidad a través al Proyecto Emergente en el área de Desarrollo Local en la V Convocatoria de Micro-proyectos de Investigación y Transferencia del Conocimiento en el marco de la "Cátedra de la Provincia" de la Universidad de Huelva (cod. Emergente - 01/5/2024). Impulsando la adherencia deportiva de los jóvenes de Huelva: el rol de la maduración biológica en su salud, bienestar y motivación hacia la práctica deportiva (<https://www.uhu.es/catedra-provincia/?p=1410>)

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad de Huelva por la concesión de la Beca de Colaboración, financiadas por el Banco Santander, para Estudiantes en Centros y Grupos de Investigación (acción 5.1, EPIT23 Santander-UHU).

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Podcast generado mediante IA (NotebookLM de Google) a partir de fuentes e instrucciones proporcionadas por los autores el 25 de noviembre de 2024. Enlace al podcast: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14217211>

- Abbott, W., Williams, S., Brickley, G., y Smeeton, N. J. (2019). Effects of Bio-banding upon physical and technical performance during soccer competition: A preliminary analysis. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(8), 193. <https://doi.org/10.3390/sports7080193>
- Aune, T. K., Ingvaldsen, R. P., Vestheim, O. P., Bjerkeset, O., y Dalen, T. (2018). Relative Age Effects and Gender Differences in the National Test of Numeracy: A Population Study of Norwegian Children. *Frontiers in Psychology*, 9, 1091. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01091>
- Baxter-Jones, A. D. G., y Helms, P. J. (1996). Effects of training at a young age: A review of the training of young athletes (TOYA) Study. *Pediatric Exercise Science*, 8(4), 310-327. <https://doi.org/10.1123/pes.8.4.310>
- Bolckmans, S., Starkes, J. L., Towlson, C., Barnes, C., Parkin, G., y Helsen, W. F. (2022). Leveling the playing field: A new proposed method to address relative age- and maturity-related bias in UK Male Academy Soccer Players. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4, 847438. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.847438>
- Cobley, S., Baker, J., Wattie, N., y McKenna, J. (2009). Annual age-grouping and athlete development. *Sports Medicine*, 39(3), 235-256. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939030-00005>

- Cobley, S., McKenna, J., Baker, J., y Wattie, N. (2009). How pervasive are relative age effects in secondary school education? *Journal of Educational Psychology*, 101(2), 520-528. <https://doi.org/10.1037/a0013845>
- Comité Olímpico Internacional (2023). Annual Report on Youth Participation in Sports. Disponible en: www.olympic.org/reports
- Consejo Superior de Deportes (2023). Informe anual sobre la actividad deportiva en España. Disponible en: www.csd.gob.es
- Cumming, S. P., Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Eisenmann, J. C., y Malina, R. M. (2017). Bio-banding in sport: Applications to competition, talent identification, and strength and conditioning of youth athletes. *Strength y Conditioning Journal*, 39(2), 34-47. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000281>
- Deprez, D. N., Fransen, J., Lenoir, M., Philippaerts, R. M., y Vaeyens, R. (2015). A retrospective study on anthropometrical, physical fitness, and motor coordination characteristics that influence dropout, contract status, and first-team playing time in high-level soccer players aged eight to eighteen years. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(6), 1692-1704. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000806>
- Fransen, J., Bush, S., Woodcock, S., Novak, A., Deprez, D., Baxter-Jones, A. D. G., Vaeyens, R., y Lenoir, M. (2018). Improving the prediction of maturity from anthropometric variables using a maturity ratio. *Pediatric Exercise Science*, 30(2), 296-307. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0009>
- Helsen, W. F., Thomis, M., Starkes, J. L., Vrijens, S., Ooms, G., MacMaster, C., y Towlson, C. (2021). Leveling the Playing Field: A New Proposed Method to Address Relative Age- and Maturity-Related Bias in Soccer. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.635379>
- Hermassi, S., Ketelhut, S., Konukman, F., Sellami, M., Al-Marri, S., Nigg, C. R., y Schwesig, R. (2024). Comparative Analysis of Physical Activity, Performance-Related Health, and Academic Achievements in 11-to-13-Year-Old Schoolchildren in Qatar. *Healthcare*, 12(5), 588. <https://doi.org/10.3390/healthcare12050588>
- Hermassi, S., Konukman, F., Al-Marri, S. S., Hayes, L. D., Bartels, T., y Schwesig, R. (2024). Associations between biological maturation, physical performance, postural control, and mathematical achievement in youth soccer players. *PLOS ONE*, 19(3), e0298301. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0298301>
- Lüdin, D., Donath, L., Cobley, S., y Romann, M. (2022). Effect of bio-banding on physiological and technical-tactical key performance indicators in youth elite soccer. *European Journal of Sport Science*, 22(11), 1659-1667. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1974100>
- MacMaster, C., Portas, M., Parkin, G., Cumming, S., Wilcox, C., y Towlson, C. (2021). The effect of bio-banding on the anthropometric, physical fitness and functional movement characteristics of academy soccer players. *PLOS ONE*, 16(11), e0260136. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260136>
- Malina, R., Dompier, T., Powell, J., Barron, M., y Moore, M. (2007). Validation of a noninvasive maturity estimate relative to skeletal age in youth football players. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 17(5), 362-368. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31815400f4>

- Malina, R. M., Cumming, S. P., Rogol, A. D., Coelho-e-Silva, M. J., Figueiredo, A. J., Konarski, J. M., y Koziel, S. M. (2019). Bio-Banding in youth sports: Background, concept, and application. *Sports Medicine*, 49(11), 1671-1685. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01166-x>
- Malina, R. M., Eisenmann, J. C., Cumming, S. P., Ribeiro, B., y Aroso, J. (2004). Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13-15 years. *European Journal of Applied Physiology*, 91(5), 555-562. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0995-z>
- Malina, R. M., Rogol, A. D., Cumming, S. P., Coelho e Silva, M. J., y Figueiredo, A. J. (2015). Biological maturation of youth athletes: Assessment and implications. *British Journal of Sports Medicine*, 49(13), 852-859. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094623>
- Mavilidi, M. F., Marsh, H. W., Xu, K. M., Parker, P. D., Jansen, P. W., y Paas, F. (2022). Relative age effects on academic achievement in the first ten years of formal schooling: A nationally representative longitudinal prospective study. *Journal of Educational Psychology*, 114(2), 308-325. <https://doi.org/10.1037/edu0000681>
- Mirwald, R. L., G. Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., y Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 34(4), 689-694.
- Moore, S. A., Mckay, H. A., Macdonald, H., Nettlefold, L., Baxter-Jones, A. D. G., Cameron, N., y Brasher, P. M. A. (2015). Enhancing a somatic maturity prediction model. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 47(8), 1755-1764. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000588>
- Olmedilla, A., Moreno-Fernández, I. M., Gómez-Espejo, V., Robles-Palazón, F. J., Verdú, I., y Ortega, E. (2019). Psychological intervention program to control stress in youth soccer players. *Frontiers in Psychology*, 10, 2260. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02260>
- Sullivan, J., Roberts, S. J., McKeown, J., Littlewood, M., McLaren-Towlson, C., Andrew, M., y Enright, K. (2023). Methods to predict the timing and status of biological maturation in male adolescent soccer players: A narrative systematic review. *PLOS ONE*, 18(9), e0286768. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286768>
- Teunissen, J. W. (Ajw), Rommers, N., Pion, J., Cumming, S. P., Rössler, R., D'Hondt, E., Lenoir, M., Savelbergh, G. J. P., y Malina, R. M. (2020). Accuracy of maturity prediction equations in individual elite male football players. *Annals of Human Biology*, 47(4), 409-416. <https://doi.org/10.1080/03014460.2020.1783360>
- Towlson, C., Cobley, S., Midgley, A., Garrett, A., Parkin, G., y Lovell, R. (2017). Relative age, maturation and physical biases on position allocation in elite-youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 38(03), 201-209. <https://doi.org/10.1055/s-0042-119029>
- Towlson, C., MacMaster, C., Gonçalves, B., Sampaio, J., Toner, J., MacFarlane, N., Barrett, S., Hamilton, A., Jack, R., Hunter, F., Myers, T., y Abt, G. (2021). The effect of bio-banding on physical and psychological indicators of talent identification in academy soccer players. *Science and Medicine in Football*, 5(4), 280-292. <https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1862419>
- Vaeyens, R., Lenoir, M., Williams, A. M., y Philippaerts, R. M. (2008). Talent Identification and Development Programmes in Sport: Current Models and Future Directions. *Sports Medicine*, 38(9), 703-714. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838090-00001>

Yapıcı, H., Gulu, M., Yagin, F. H., Eken, O., Gabrys, T., y Knappova, V. (2022). Exploring the relationship between biological maturation level, muscle strength, and muscle power in adolescents. *Biology*, 11(12), 1722. <https://doi.org/10.3390/biology11121722>