

PODIUM

Revista de Ciencia y Tecnología en la Cultura Física

EDITORIAL UNIVERSITARIA

Volumen 17
Número 3

2022

Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca"

Director: Fernando Emilio Valladares Fuente

Email: fernando.valladares@upr.edu.cu

Artículo original

La selección de atletas élite desde edad temprana: reflexión desde la perspectiva de los sistemas complejos

The selection of elite athletes from an early age: reflection from the perspective of complex systems

A seleção de atletas de elite desde cedo: reflexão a partir da perspectiva de sistemas complexos

Juan Manuel García Manso^{1*}  <https://orcid.org/0000-0002-4360-3384>

Teresa Valverde Esteve²  <https://orcid.org/0000-0002-8712-9872>

Lázaro de la Paz Arencibia³  <https://orcid.org/0000-0001-8908-042X>

María José Martínez Patiño⁴  <https://orcid.org/0000-0003-2721-9240>

¹Departamento de Educación de Educación Física y Deportiva, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.

²Universidad de Valencia, España.

³Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte Manuel Fajardo, La Habana, Cuba.

⁴Universidad de Vigo, España.

*Autor para la correspondencia: jgarciamanso@gmail.com

Recibido: 23/11/2020.

Aprobado: 22/06/2022.

Cómo citar un elemento: García Manso, J., Valverde Esteve, T., de la Paz Arencibia, L., & Martínez Patiño, M. (2022). La selección de atletas élite desde edad temprana: reflexión desde la perspectiva de los sistemas complejos/The selection of elite athletes from an early age: reflection from the perspective of complex systems. *PODIUM - Revista de Ciencia y Tecnología en la Cultura Física*, 17(3), 1225-1242. Recuperado de <https://podium.upr.edu.cu/index.php/podium/article/view/1045>



RESUMEN

Introducción: En este estudio, se examinó la idoneidad de seleccionar atletas élite desde una edad temprana.

Objetivo: El objetivo de este estudio consistió en verificar si el comportamiento identificado en investigaciones antecedentes también ocurre entre los mejores atletas mundiales de todos los tiempos que compiten en la carrera de 100 metros.

Materiales y métodos: Para ello, y con base en un análisis de las clasificaciones oficiales de todos los tiempos masculinos y femeninos de la Asociación Internacional de Federaciones de atletismo en la referida prueba, se utilizó muestras en categoría absoluta (Top-1,000 hasta el 31/12/2018) y categoría sub-20 (Top-100 hasta el 31/12/2003); se aplicaron leyes de potencia y otras estrategias típicas de los sistemas complejos para analizar los datos.

Resultados: los resultados muestran cómo, con demasiada frecuencia, los mejores corredores masculinos y femeninos del mundo en la categoría sub-20 no evolucionan positivamente durante el resto de su carrera deportiva mejorando sus registros en las categorías superiores. Solo 51 hombres de los 100 mejores corredores sub-20 de todos los tiempos, lograron mejorar sus registros una vez que alcanzaron la categoría sénior, y las mejoras no presentaron siempre progresiones estadísticamente significativas. En consecuencia, una inversión excesiva en recursos humanos y materiales para identificar individuos con altas capacidades atléticas, no es siempre la mejor estrategia.

Conclusiones: el deporte de nivel a edades tempranas puede ser un error metodológico que debe evitarse a la hora de construir las reservas deportivas de un país o federación deportiva.

Palabras clave: Carrera de 100 metros; Cisnes Negros; Leyes de Potencia; Paradoja del Enriquecimiento; Pila de Arena; Reservas deportivas; Rey Dragón.

ABSTRACT

Introduction: In this study, the suitability of selecting elite athletes from an early age was examined.

Objective: The objective of this study was to verify if the behavior identified in previous research also occurs among the world's best athletes of all time who compete in the 100-meter race.

Materials and methods: For this, and based on an analysis of the official classifications of all times for men and women of the International Association of Athletics Federations in the referred test, samples were used in absolute category (Top-1,000 up to the 12/31/2018) and sub -20 category (Top - 100 until 12/31/2003); power laws and other strategies typical of complex systems will be applied to analyze the data.

Results: The results show how, all too often, the best male and female runners in the world in the under-20 category do not evolve positively during the rest of their sports career. improving their records in the higher categories. Only 51 men out of the top 100 U-20 runners of all time managed to improve their times once they reached the senior category, and the improvements did not always show statistically significant progressions. Consequently, an excessive investment in human and material resources to identify individuals with high athletic abilities is not always the best strategy.

Conclusions: level sport at an early age can be a methodological error that should be avoided when building the sports reserves of a country or sports federation.



Keywords: 100-meter race; Black Swans; Power Laws; Enrichment Paradox; Sand Pile; Sports reserves; Dragon King.

RESUMO

Introdução: Neste estudo, examinou-se a adequação da seleção de atletas de elite desde tenra idade.

Objetivo: O objetivo deste estudo foi verificar se o comportamento identificado em pesquisas anteriores também ocorre entre os melhores atletas do mundo de todos os tempos que competem na prova de 100 metros.

Materiais e métodos: Para isso, e com base na análise das classificações oficiais de todos os tempos para homens e mulheres da Associação Internacional de Federações de Atletismo na prova supracitada, foram utilizadas amostras em categoria absoluta (Top-1.000 até 31/12 /2018) e sub-20 (Top-100 até 31/12/2003); Leis de potência e outras estratégias típicas de sistemas complexos foram aplicadas para analisar os dados.

Resultados: Os resultados mostram como, muitas vezes, os melhores corredores masculinos e femininos do mundo na categoria sub-20 não evoluem positivamente durante o resto de sua carreira esportiva, melhorando seus registros nas categorias superiores. Apenas 51 homens dos 100 melhores corredores sub-20 de todos os tempos conseguiram melhorar seus tempos quando chegaram à categoria sênior, e as melhorias nem sempre mostraram progressões estatisticamente significativas. Consequentemente, um investimento excessivo em recursos humanos e materiais para identificar indivíduos com altas habilidades atléticas nem sempre é a melhor estratégia.

Conclusões: o esporte de nível em idade precoce pode ser um erro metodológico que deve ser evitado na construção das reservas esportivas de um país ou federação esportiva.

Palavras-chave: Corrida de 100 metros; Cisnes Negros; Leis de Potência; Paradoxo do Enriquecimento; Pilha de Areia; Reservas desportivas; Rei Dragão.

INTRODUCCIÓN

Sin duda, se está viviendo una época de cambios significativos en todos los aspectos de la vida (Dunford, *et al.*, 2016). El deporte no es ajeno a este proceso ni a las profundas perturbaciones transculturales, sociales, políticas y económicas que provoca (Frontiera, 2010). El deporte está ampliamente reconocido como uno de los fenómenos sociales y culturales más importantes, por lo que es un tema de interés para las estrategias políticas de cualquier país (Hutchins, 2011; Fister *et al.*, 2020). En este proceso, el rendimiento deportivo parece estar evolucionando de manera continua y a veces prodigiosa. Tanto es así, que lo que antes parecía imposible de mejorar puede ser superado en cualquier momento, alcanzando niveles que se creían inalcanzables. Mientras tanto, otros creen que los límites del rendimiento deportivo están cerca de alcanzarse y que la evolución de las capacidades físicas de los humanos se ralentiza (Berthelot, *et al.*, 2015; Marck *et al.*, 2017). Si es así y prevalece esta situación, se acerca un periodo de estancamiento de los récords en diferentes disciplinas deportivas (Denny, 2008; Arroyo-Valencia *et al.*, 2021). Tales posturas especulan sobre cuándo ocurrirá esto y el nivel que constituye el límite potencial para cada deporte que dependen muy directamente de las capacidades condicionales (físicas) de los deportistas (Nevill y Whyte, 2005).



En cualquier caso, esté o no cerca del límite potencial de rendimiento, el deporte sigue necesitando deportistas altamente especializados, mejor entrenados y con perfiles biológicos y morfológicos muy específicos. Para abordar esta situación, los Sistemas Deportivos de muchos países han desarrollado sofisticadas estrategias de intervención que les permiten buscar y capacitar Reservas Deportivas en diferentes modalidades deportivas. Una vez implementadas, estas estrategias les brindan deportistas con los que cubrir los puestos más importantes en las diferentes disciplinas deportivas y, si es posible, alcanzar logros significativos en las principales competiciones internacionales. Este tipo de estrategia se conoce como *Modelos de Detección, Selección y Formación de Talentos Deportivos* (Wolstencroft, 2002). Al entender el concepto de selección de talentos ya plantea, importantes problemas académicos y conceptuales. No obstante, este enfoque implica generar estrategias eficientes y objetivas que permitan identificar y seleccionar personas con un "don" especial para triunfar en un deporte específico. Con la formación adecuada, los atletas seleccionados podrían convertirse en talentos capaces de competir al más alto nivel nacional o internacional en su deporte (Gagné, 2004). Un proceso de esta naturaleza requiere, además de deportistas dotados, disponer de varios años de entrenamiento, durante los cuales los deportistas deben superar numerosos y complicados obstáculos para lograr su objetivo final.

El enfoque en la selección de esos talentos suele ser la raíz de muchos de los problemas que ponen en tela de juicio dicho proceso. Un proyecto de esta naturaleza implica una significativa cantidad de recursos humanos y materiales que, si no se implementan correctamente, pueden comprometer el objetivo propuesto y los posibles beneficios colaterales que van asociados al mismo. Tratar de seleccionar potenciales campeones desde edades muy tempranas (Malina, 2010) puede conducir aún a más problemas potenciales que van asociados a una alta tasa de abandono prematuro de origen muy diverso (lesiones limitantes, retrasos en la maduración, alteraciones del desarrollo, edad relativa, miedo al fracaso, falta de oportunidades, cambio de motivaciones, etc.) (Wiersma, 2000; Malina, 2009; Cobby, et al., 2009; Baker, et al., 2010; Johnston y Baker, 2020). Un hecho aún más grave es que, con frecuencia, muchas personas que no muestran altas capacidades a una edad temprana pueden ser ignoradas o rechazadas inicialmente, suprimiendo así un potencial silente que aún no se ha manifestado (Brophy y Good, 1973). Este fenómeno ha sido analizado previamente en diferentes deportes, como el atletismo (Brito, Fonseca y Rolim, 2004; Enoksen, 2011; Moesch, 2012), el baloncesto (Sáenz-López, Feu-Molina e Ibañez, 2006) o el tenis (Unierzyski y Crespo, 2007; Guillaume et al., 2011).

El objetivo de este estudio consiste en verificar si el comportamiento identificado en investigaciones antecedentes también ocurre entre los mejores atletas mundiales de todos los tiempos que compiten en la carrera de 100 metros. Cabe aclarar que se parte de la premisa de que esta disciplina es en sí misma un complejo sistema adaptativo cuyos principales componentes, los deportistas, empujan a sus organismos a estados funcionales críticos que generan estados emergentes de rendimiento que presentan una estructura fractal durante el proceso (García-Manso, et al., 2008a). Es oportuno recordar que cuando se habla de sistemas complejos, complejo no significa complicado. El término «complejo», proviene etimológicamente de la palabra latina plexus (entretejido, entrelazado, etc.), entendida esta como aquello que no puede ser separado sin afectar a su integridad o, incluso, condicionar su existencia. Es decir, son sistemas que están cimentados sobre una estructura dinámica interconectada, marcadamente interdependiente, elevada sensibilidad, imprevisibilidad, auto-organización, fluctuaciones, comportamiento caótico, transiciones de fase, bifurcaciones, emergencias y estructura fractal.



La aceptación de este criterio inicial podría ayudar a explicar cómo, y por qué, cada subsistema de esta disciplina atlética (corredores de las categorías senior, U20 o junior, masculino o femenino) evoluciona de una manera particular con sus propias características como resultado del efecto que provocan la no linealidad de su comportamiento, la interacción de sus componentes y los efectos que un entorno en constante cambio, ejercen sobre el rendimiento. Por lo tanto, se considera agregar elementos conceptuales y matemáticos propios de los sistemas complejos a las metodologías tradicionales de análisis. También se ha estudiado la evolución de los mejores 50 corredores (masculinos y femeninos) en la carrera de 100 metros para ver su desempeño en la categoría U20, la mejora total en esa distancia y los años que permanecieron activos hasta su retiro oficial.

Lo anterior justifica, para este estudio, la utilización de una metodología no lineal que devela si las sofisticadas estrategias seguidas para seleccionar talentos en etapas formativas con edades muy tempranas son eficientes, o si contiene una tasa de fracaso que obligue a repensar estas estrategias utilizando nuevas metodologías que no impliquen un coste económico, material y humano excesivamente elevado.

Para el procesamiento de los datos obtenidos a partir de los métodos empíricos, se consultaron las siguientes fuentes: (Lotka, 1925; Tang, Rosenzweig, 1971; Wiesenfeld, 1988; Cohen 1988; Mendes, Malacarne y Anteneodo, 2007; Taleb, 2007; Sornette, 2009; Malina, 2009; García-Manso *et al*, 2012; Balague *et al*, 2013; De Saá, *et al*, 2013; Eliazar, 2017; Jeon y Park, 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestra

El estudio se apoyó en las clasificaciones de todos los tiempos (Ranking All-Time) de la Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo (IAAF) para las categorías senior masculino y femenino (Top-1.000 hasta el 31/12/2018; Figura 1) y categorías masculinas y femeninas U20 (Top-100 hasta el 31/12/2003; Figura 2) (<https://www.iaaf.org>). Se consideraron tres décadas de diferencia entre las dos clasificaciones para asegurar que no existieran atletas sub-20 que tuvieran posibilidades de mejorar sus mejores tiempos en fechas posteriores al 31 de diciembre de 2018 (Figura 1 y Figura 2)



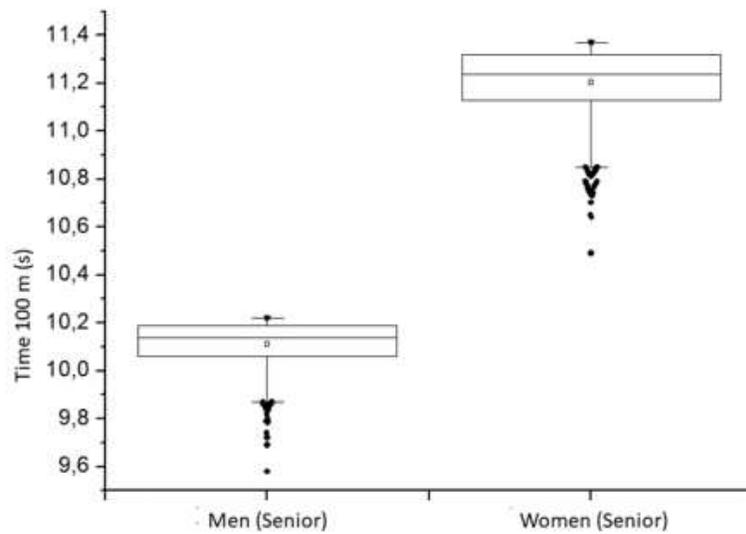


Fig. 1. - Gráfico de cajas (box-plot) de la clasificación absoluta de todos los tiempos (masculino y femenino) cerrado el 31/12/2003. A la izquierda, el ranking masculino y a la derecha, el ranking femenino

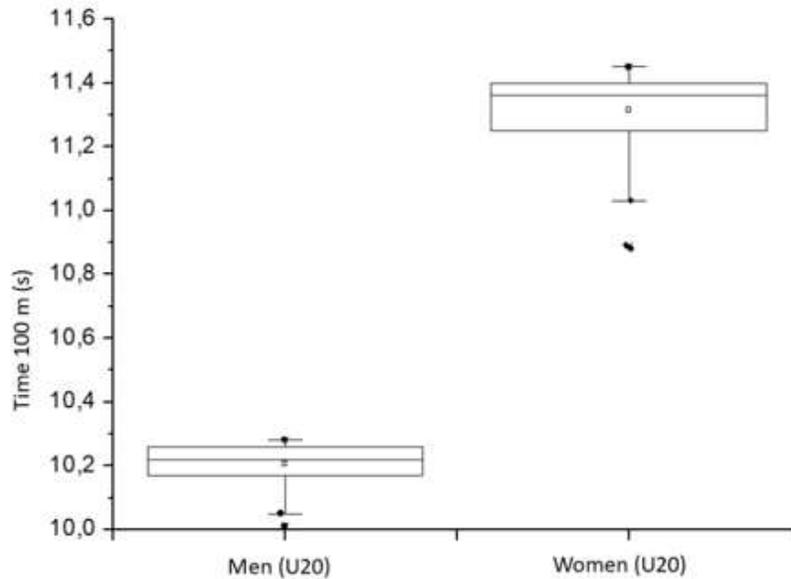


Fig. 2. - Gráfico de cajas (box-plot) del ranking de todos los tiempos categoría Sub-20 (masculino y femenino) cerrado el 31/12/2003. El ranking masculino U20 se muestra a la izquierda y el ranking femenino U20 a la derecha



Entre los países que desarrollan estrategias para crear reservas deportivas en atletismo, se estima habitualmente que los deportistas sub-20 son aquellos que se encuentran al final de la etapa conocida como de aprender a entrenar para competir para pasar a la etapa denominada internacionalmente como de entrenar para ganar. Es decir, están completando su formación inicial, cada vez más especializada, para incorporarse de lleno a la etapa de competición y evolucionar hacia el alto rendimiento internacional. Antes de los 15 años, existe una etapa de aceptación e incorporación a la especialidad en la que el objetivo del trabajo realizado es aprender a entrenar y adaptarse al sistema de entrenamiento habitual.

Tratamiento de los datos

El análisis estadístico se realizó con los programas Matlab (Mathworks, EE. UU.) Y SPSS (V.19 inc., Chicago, Il). Una vez elaborados los rankings, se analizó cada parámetro (mejores tiempos para categorías masculinas y femeninas) para verificar si los deportistas evaluados mostraban un perfil similar o diferente en cuanto al desempeño de sus mejores registros. Los sistemas deportivos muestran una estructura jerárquica muy particular (sin escala) que se puede modelar matemáticamente a través de Leyes de Potencia (Power Laws - PL). En este trabajo, las PL se utilizan como herramientas para visualizar la evolución de los registros y el establecimiento de niveles de rendimiento. Las PL se describen mediante expresiones matemáticas simples como (Ecuación 1):

$$Y = cX^b \quad (1)$$

Donde X e Y son dos variables (cantidades observables), c es una constante de proporcionalidad (también puede entenderse como una constante de normalización) y b es el exponente.

Las PL tienen dos propiedades fundamentales:

1. Si se realiza un doble logaritmo (log-log) en la ecuación anterior, se tiene que $\log(Y) = \log(c) + b \log(X)$, es la ecuación de una recta de pendiente b . Esta herramienta se ha utilizado en el trabajo para establecer las zonas de transición con las que fijar las marcas de corte que permitan caracterizar los posibles grupos que se generan a partir de los diferentes niveles de rendimiento.
2. Son invariantes a los cambios de escala. Aunque las leyes básicas de la naturaleza no cambian según la escala a la que se estudie, la fenomenología que presentan sí lo hace, al igual que ocurre en los pequeños matices de su estructura de escala.

Una PL es una relación matemática especial entre dos cantidades, que es completamente diferente a la distribución normal o gaussiana. Ambas responden a dos maneras muy distintas de ver el mundo las cuales difieren radicalmente: media y distribución vs dinámica causal explicada mediante la teoría de escala-libre (scale-free theory). ¿Por qué debería importar este tipo de comportamiento? En un mundo de PLs, los sucesos extremos son los más importantes. Los sucesos extremos, que en el mundo Gaussiano suelen ser ignorados, no son sólo más comunes de lo que se piensa, sino que, además, tienen una magnitud mucho más grande y con mayores consecuencias.



El comportamiento en escala que siguen muchos sistemas deportivos es a menudo fractal y contiene varios elementos, o limitaciones, que interactúan entre sí para alterar el sistema. En estas circunstancias, existen diferentes niveles de rendimiento en las series analizadas con sus propias características particulares. Como objetivo fundamental, y en cualquier disciplina o modalidad deportiva, los deportistas explotan al máximo sus capacidades, buscando superar los límites previamente establecidos (batiendo récords) y superando las barreras que habitualmente se encuentran en la evolución de los registros de cualquier modalidad deportiva. Los atletas, por lo tanto, someten sus organismos, e incluso los propios sistemas de competencia, a estados extremos de comportamiento similares a los conocidos como se detectan en Sistemas Críticos Autoorganizados, en los cuales a menudo se observan patrones de comportamiento de escala (PL).

En este punto, los sistemas evaluados en este estudio (los rankings para carreras de 100 metros) muestran estructuras complejas en las que aparecen transiciones y cruces dentro de la serie de datos (mejores tiempos), que se manifiestan en forma de avalanchas en el modelo *Sand pile*. Este modelo de auto organización muestra cómo pequeños cambios en la organización y funcionalidad del sistema pueden generar una nueva reconfiguración cualitativa y cuantitativa de todo el sistema, lo cual es muy interesante a la hora de comprender y analizar las características de los mejores corredores del mundo en las categorías senior y U20. Es importante entender que el proceso está condicionado por las limitaciones que intervienen, es decir, elementos dinámicos que presionan el evento, reorientando y condicionando su evolución.

La presencia de estos fenómenos en el deporte es más frecuente de lo imaginable. Este estudio, permitirá detectar posibles diferencias en los corredores de cada ranking por niveles de rendimiento, establecer registros donde ocurren transformaciones o cruces que marcan cambios en los niveles de marcas, y comprender la presencia de registros atípicos que pueden actuar como atractores, o como elementos de injerencia, en la reconfiguración del evento. Una vez detectadas estas peculiaridades en el comportamiento de los registros, se podría utilizar otras estrategias metodológicas que permitan confirmar o refutar las hipótesis. En el caso de las transiciones de fase, expresadas en la estructura fractal de PL, se usa la prueba de Chow (1960) para determinar si las pendientes de las líneas de tendencia resultantes del log-log son estadísticamente significativas (Ecuación 2):

$$CT = \frac{(Sc - (S1 + S2))/k}{(S1 + S2)/(N1 + N2 - 2k)} \quad (2)$$

Donde, Sc representa la suma residual de cuadrados de la serie original (serie global), $S1$ es la suma residual de cuadrados del primer grupo y $S2$ la suma residual de cuadrados del segundo grupo. $N1$ y $N2$ son el número de observaciones en cada grupo y k es el número total de parámetros. En este caso, esta prueba permite detectar cualquier cambio estructural, es decir, un cambio significativo en los registros que provoca que los coeficientes del modelo dejen de ser constantes.

Otro aspecto interesante es la evaluación y análisis de registros atípicos que pueden actuar como atractores o la posibilidad de que estos comportamientos atípicos puedan tener un efecto negativo en su evolución. Asimismo, se evaluarán las condiciones en las que se logró el resultado (asistencia del viento, altura, etc.) u otras variables causales que pudieran resultar en registros atípicos (dopaje, errores de medición, etc.). De esta



forma, se puede observar sus características y establecer cómo influyen en la evolución del evento. Una de las estrategias a aplicar es el uso de metáforas habitualmente utilizadas en problemas de complejidad. La primera tarea es establecer si valores atípicos o sobresalientes responden a lo que se conoce como fenómeno del Rey Dragón (DK) o, más interesante, ver si su presencia provoca mecanismos de respuesta (Cisnes Negros (BS) que intentan contrarrestarlos o reconfigurar el contenido y la evolución de las clasificaciones. El concepto de DK responde a una metáfora popular que explica cómo un evento singular y atípico, cuando se compara con todos los demás eventos vinculados al sistema, lo coloca en un nivel claramente diferente al resto. Si, como consecuencia de un DK, se desarrolla un BS para disputar su posición preferencial, esto inevitablemente altera las condiciones iniciales de la serie y provoca una nueva situación funcional y estructural. La teoría BS es una metáfora de la confrontación con eventos inesperados y, en el caso del presente estudio, busca amortiguar o eliminar la posición dominante de un atleta atípico con respecto a los demás componentes de su ranking.

Comportamientos de esta naturaleza son fundamentales en la evolución de las marcas o registros deportivos. Los atletas se comportan habitualmente, como lo hacen en la naturaleza diferentes especies, en un proceso que ha sido modelo en diversas ocasiones por diferentes investigadores: el Modelo Predator-Presa de Lotka-Volterra o como explica Van Valen en el comportamiento de Alicia y la Reina Roja en la Hipótesis de la Reina Roja. Es necesario señalar, como se verá con el Ranking femenino U20, las interacciones presentan algunos inconvenientes en este modelo. Una es la Paradoja del Enriquecimiento, donde se propone que la mejora del sistema podría ser el resultado de un desequilibrio anómalo por el cual uno de los elementos rompe de forma artificial, o desproporcionada, la evolución natural de los registros (ver Ranking Femenino U20).

Análisis estadístico

Para completar el análisis, se utilizaron algunas herramientas estadísticas básicas para comparar los diferentes grupos de deportistas estudiados. En todas las ocasiones, tras la prueba de normalidad (Kolmogórov-Smirnov), se utilizaron pruebas no paramétricas para comparar medias. Se aplicó la prueba T de Wilcoxon al comparar corredores de un mismo grupo (U20 o Senior) en sus diferentes categorías (hombres y mujeres). Se utilizó la prueba U de Mann-Whitney cuando fue necesario evaluar diferentes grupos de corredores (categoría masculina Sub 20 de 2003 y 2018 o Sub 20 vs. grupos absolutos). Se tomó un valor de $p < 0,05$ como límite de significación en todas las pruebas estadísticas. En la comparación de medias también se calculó el tamaño del efecto (ES) *d* de. El valor se consideró trivial (ES: < 0.20), pequeño (ES: $0.21-0.60$), moderado (ES: $0.61-1.20$), grande (ES: $1.21-2.00$) o muy grande (ES: $2.0-4.00$). Para estos análisis se utilizó el sistema de cálculo numérico MATLAB (MatLab v6.5, Mathwork, EE. UU.) y para la creación de las figuras se utilizó el programa Origin Pro 8.

RESULTADOS

En la categoría absoluta masculina se incluyen 1.000 deportistas de 102 países, con tiempos entre 9,58 y 10,22 seg. (ranking cerrado el 31/12/2018). Entre las corredoras de la categoría femenina se consideraron 1.031 deportistas pertenecientes a 87 países, con tiempos entre 10,49 y 11,37 seg. Aunque hay muchos países representados en ambos rankings, solo unos pocos están altamente representados: EE. UU. (Hombres: 344; Mujeres: 316), Jamaica (Hombres: 83; Mujeres: 69); Gran Bretaña (Hombres: 48;



Mujeres: 43), Nigeria (Hombres: 36; Mujeres: 29), Canadá (Hombres: 34; Mujeres: 27) y Francia (Hombres: 28; Mujeres: 36).

Entre los hombres se detectan tres niveles de corredores: los que podrían considerarse velocistas elite, con tiempos de <9,86 seg. ($n = 16$ deportistas, $y = 0,982 * X0,0099$, $R^2 = 0,98$), velocistas de alto nivel, con tiempos entre 9,86 y 9,98 seg. ($n = 104$ deportistas, $y = 0,985 * X0,0067$; $R^2 = 0,99$; $CT = 0,000$), y corredores de nivel internacional, con tiempos entre 9,99 y 10,22 seg. ($n = 880$ deportistas; $y = 0,975 * X0,0115$; $R^2 = 0,99$; $CT = 0,000$). En este caso, las PL muestran niveles sólidos y bien constituidos.

En el Top-1,000 de la categoría senior femenina se observa una tendencia similar a la descrita anteriormente. Se detecta un grupo al que también se le llama de corredoras elite con tiempos <10.80 seg. ($n = 20$; $y = 1.025 * X0.0061$; $R^2 = 0.96$), otro de velocistas de alto nivel con tiempos entre 10.80 y 10.88 seg. ($n = 24$; $y = 1.0238 * X0.0074$; $R^2 = 0.96$; $CT = 0.000$), y también corredoras de nivel Internacional con tiempos entre 10.89 y 11.37 seg. ($n = 986$, $y = 1.0116 * X0.0146$, $R^2 = 0.99$; $CT = 0,000$).

En el caso de los sub-20 masculinos, se analizaron los deportistas que habían alcanzado un tiempo inferior a 10,29 s (100 corredores) antes del 1 de enero de 2004. A partir de estos datos se detectan dos grupos de corredores con niveles de rendimiento claramente diferenciados: los que pueden ser considerados corredores de elite para esa categoría, con tiempos de <10,11 s ($n = 13$; $y = 1,0011 * X0,0028$; $R^2 = 0,92$), y corredores de alto nivel con tiempos entre 10,11 y 10,29 s ($n = 87$; $y = 0,9956 * X0 .0082$; $R^2 = 0.98$; $CT = 0.000$) (Figura 3).

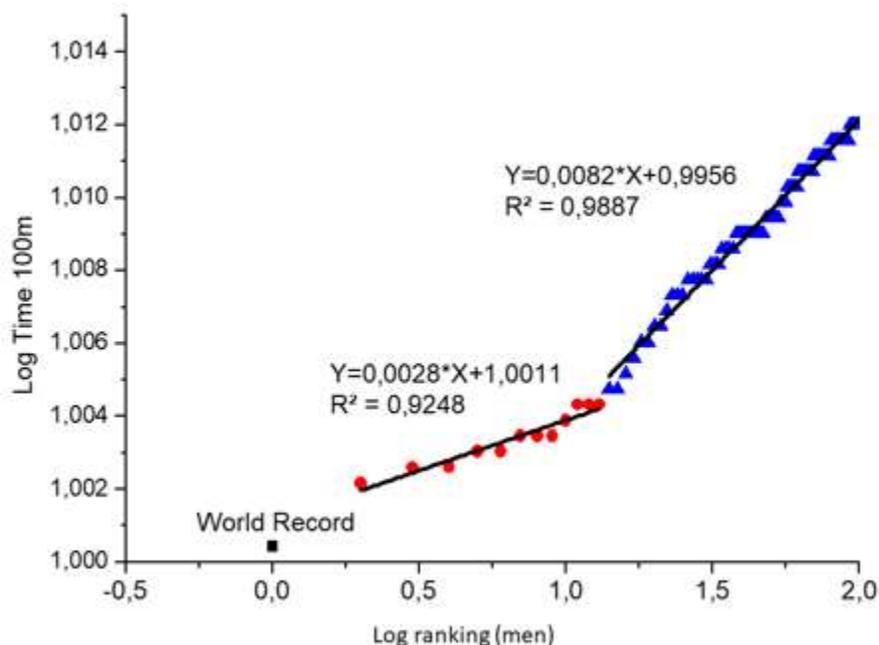


Fig. 3. - Log-Log Plot de los 100 mejores corredores de todos los tiempos en la categoría masculina U20



Tenga en cuenta la presencia de un valor atípico (récord mundial) y dos grupos de diferentes niveles de rendimiento (Elite: inferior izquierda, alto nivel: superior derecha). Cada grupo incluye sus componentes y la línea de tendencia que se ajusta a los tiempos.

Por lo tanto, se evalúan los 100 mejores de todos los tiempos en la categoría U20 quince años después (31/12/2018). Mientras que al final de la temporada 2003 solo había dos corredores con tiempos iguales o inferiores a 10.05, tres décadas después ya había 12 atletas con esos tiempos y el récord mundial de la categoría había bajado a 9.97 s (Figura 4).

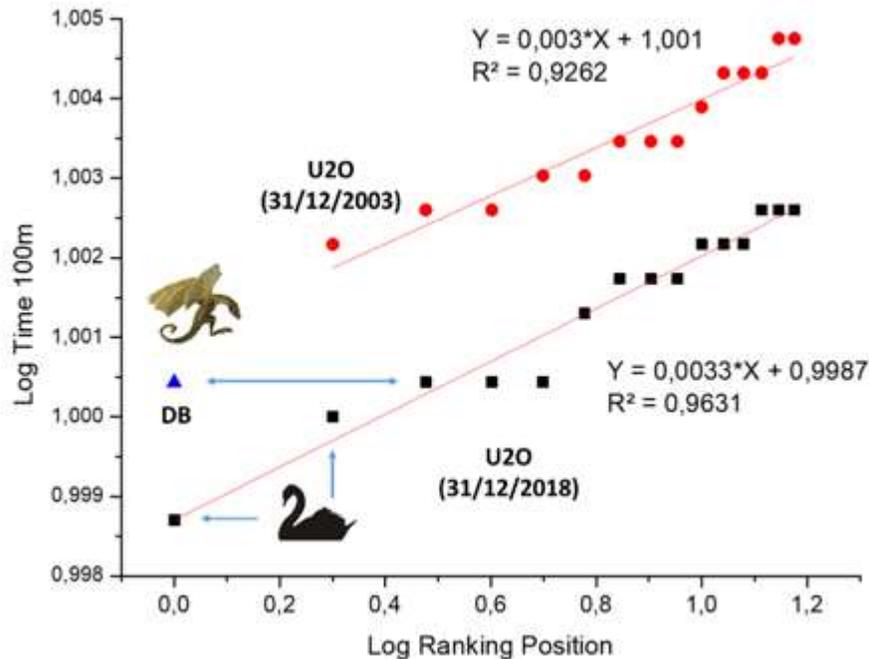


Fig. 4. - Ejemplo de Cisnes Negros, Power Laws (PL) y Rey Dragón aplicado al análisis del proceso evolutivo de las carreras de velocidad (100 metros) en la categoría masculina U20

Nota: La parte superior muestra el PL de los corredores de élite sub-20 hasta el final de la temporada 2003 (log-log) y la parte inferior muestra los velocistas de élite hasta el final de la temporada 2018 (log-log). También se muestra el corredor que se ha considerado Rey Dragón y dos de los considerados Cisnes Negros.

Resultados impredecibles se comprueban cuando se analizan los corredores Sub-20 hasta la temporada 2003. Muchos de estos corredores no logran evolucionar positivamente durante el resto de su carrera deportiva (Figura 5). Se debe señalar que, de los 100 mejores, solo 51 corredores lograron mejorar sus mejores tiempos (10.18 ± 0.07 vs 10.01 ± 0.12 seg, 1.8 ± 1.2 %, $p < 0.001$, $ES = 1.82$) en temporadas posteriores. Les tomó un promedio de aproximadamente cinco años para lograr su mejor marca personal ($18,70 \pm 0,80$ años frente a $23,60 \pm 3,30$ años).



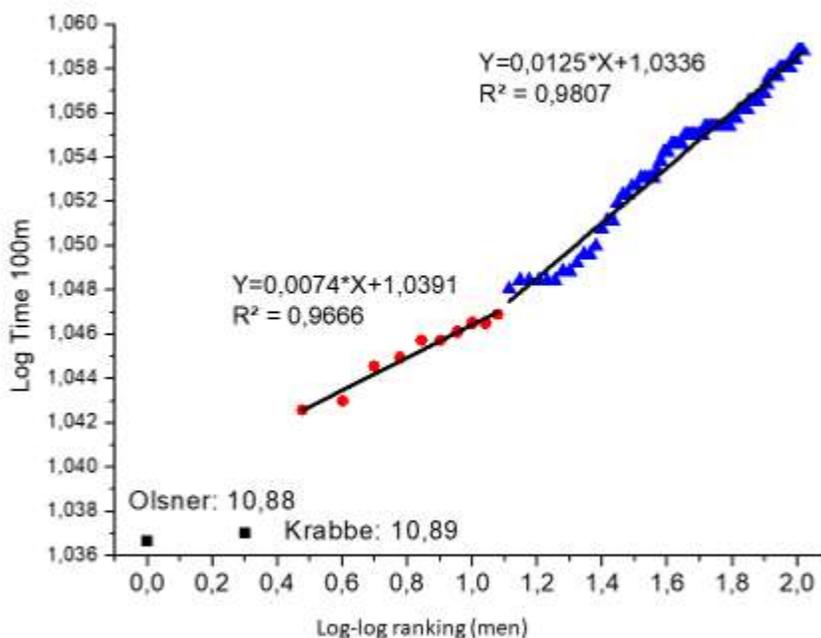


Fig. 5. - Log-Log plot de las 100 mejores corredoras de todos los tiempos en la categoría femenina U20

Tenga en cuenta la presencia de dos valores atípicos (Marlies Oelsner y Katrin Krabbe) y dos grupos de diferentes niveles de rendimiento (Elite: inferior izquierda, Alto nivel: superior derecha). Cada grupo incluye sus componentes y la línea de tendencia que se ajusta a los tiempos.

Las otras corredoras se organizan en dos grupos de diferentes niveles de rendimiento (Figura 5). Por un lado, corredoras elite ($n = 12$, Tiempos < 11.15 seg, $Y = 0.0074 * X + 1.0391$, $R^2 = 0.97$), y por otro, velocistas de alto nivel ($n = 88$; Tiempo entre 11.15 a 11.46 seg.; $= 0.0125 * X + 1.0336$; $R^2 = 0.98$). Una vez más, al igual que los corredores masculinos Sub-20, muchas de estas deportistas no lograron evolucionar adecuadamente en su carrera deportiva. Solo 52 de ellas (50%) mejoraron sus mejores tiempos (Mejora: 2.5%, 11.12 ± 0.12 seg. vs. 10.84 ± 0.17 seg., $p < 0.000$, $ES = 3.11$) y solo seis de ellas pertenecen al grupo considerado como corredoras elite. Si se compara a estas deportistas con las mejores deportistas absolutas de todos los tiempos cuando estaban en la categoría U20 (47 corredores disponibles), se aprecia que las mejoras son mayores, aunque no todas lograron récords en edades tempranas (Mejora: 4,9 %; $11,37$ frente a $10,91$ seg). Sin embargo, esta mejor evolución de las marcas no muestra diferencias con respecto a la mejor de todos los tiempos del U20 (Mejoras del 2,5 % y 4,9 %, $p = 0,089$).



DISCUSIÓN

A la luz de los datos, se puede señalar que, si bien es importante que los deportistas comiencen su entrenamiento y especialización desde una edad temprana, un deportista no necesariamente tiene que destacar en los primeros años de su vida deportiva, ni debe plantear el éxito prematuro como un objetivo a alcanzar. Además, todo parece indicar que, con demasiada frecuencia, lograr un alto rendimiento en el deporte en edades tempranas podría ser un factor negativo en la evolución futura del deportista. Esto está en línea con lo que proponen muchos autores (Malina, 2009; Cobby, *et al.*, 2009; Till y Baker, 2020; Güllich *et al.*, 2021). Estos estudios sugieren que un inicio temprano, un entrenamiento hiperespecializado, la realización de un gran volumen de entrenamiento o la participación frecuente en competiciones muy exigentes durante la adolescencia, o los primeros años de especialización, no es necesariamente garantía de éxito en el deporte de élite internacional cuando el atleta llega a la edad adulta.

En este trabajo se ha tratado de demostrar los efectos del enfoque antes mencionado para seleccionar y entrenar a jóvenes deportistas mediante el análisis de la carrera de 100 metros en el atletismo masculino y femenino. Tras su evaluación, se ha comprobado que una estrategia de esta naturaleza puede resultar altamente frustrante y engañosa. El presente estudio ha encontrado que prácticamente la mitad de los deportistas que logran el éxito en la categoría U20 abandonan, o no consiguen mejorar sus resultados, en etapas posteriores de su carrera deportiva. Incluso quienes continúan practicando esa modalidad atlética en su mayoría evolucionan sólo moderadamente en sus registros, aunque su carrera deportiva sea relativamente larga. Entrar en la élite deportiva a una edad muy temprana no debería ser un elemento de interferencia en su evolución futura, por lo que actualmente está ocurriendo que el éxito en esas edades, no cumple con los criterios evolutivos naturales que se deben siempre respetar.

El mejor tiempo logrado por el trinitario Darrel Brown y la posterior evolución del evento, pueden ayudar a comprender cómo estos corredores exhiben un nivel de desempeño que resulta de un proceso evolutivo inadecuado. En agosto de 2003 en París, este atleta logró un récord inusual para ese período (10.01 segundos, viento: 0.0 m /s). En este caso, no hubo circunstancias anómalas que pudieran poner en duda la validez de la carrera. Por tanto, se cree que se trata de un outlier, es decir, un récord desproporcionado de lo que podría esperarse entre los corredores de estas edades, cuya presencia podría desencadenar una transformación significativa del entorno competitivo de la categoría (Sornette, 2009). En este tipo de eventos, la presencia de un DK a menudo provoca la aparición de rivales que rápidamente intentan emularlo e incluso superarlo, lo que podría considerarse un fenómeno BS.

Las razones que subyacen en el alto número de abandonos de atletas muy prometedores, si no fracasos, son actualmente desconocidas y ciertamente multidisciplinarias. Un estudio con atletas noruegos indicó que las lesiones recurrentes, el estancamiento en el rendimiento, las demandas educativas y la falta de motivación podrían ser las razones que frecuentemente son las más importantes. La influencia de los factores sociales, la participación en otros deportes, las obligaciones laborales o militares, el matrimonio y la familia también fueron razones importantes por las que algunos de estos deportistas abandonaron el deporte (Enoksen, 2011). Aspectos similares son los que destaca Moesch (2012), al evaluar el abandono prematuro de los deportistas de élite daneses. Algunos autores atribuyen su éxito, o fracaso, a las habilidades potenciales con las que iniciaron su carrera deportiva, es decir, a la expresión de su potencial genético, en lugar de ser sometidos a un entrenamiento especializado y



empujados excesivamente desde edades tempranas (Kaleth y Mikesky, 2010). Esto básicamente significa que uno nace campeón, y poco se puede hacer si no se tienen ciertas capacidades desde el principio.

En consideración, una de las posibles limitaciones del trabajo se puede encontrar en la edad establecida como límite para la etapa formativa. A priori, todo apunta a que el porcentaje de deportistas que no alcanzarían el máximo nivel en su etapa adulta debería ser mayor, pero eso es solo una especulación. Sin embargo, la ausencia de clasificaciones elaboradas rigurosamente hace que sea extremadamente difícil de probar. Una forma de comprobar la hipótesis examinada en el estudio sería analizar otros eventos deportivos con diferentes características (es decir, carrera de media y larga distancia, saltos o lanzamientos).

CONCLUSIONES

A la luz del presente análisis, la alta tasa de abandono de las élites jóvenes se puede comprobar, con criterios científicos, mediante estrategias metodológicas que son ampliamente utilizadas en el análisis de sistemas complejos. A partir de los datos obtenidos, se sugiere que una inversión excesiva en recursos humanos y materiales para identificar y detectar a personas con gran potencial deportivo desde una edad temprana, y especialmente la búsqueda del campeón juvenil, es posiblemente un error estratégico sobre el que se debe meditar y hacer propuestas alternativas o mejoradas que no provoquen tan elevados abandonos y carreras deportivas frustradas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arroyo-Valeencia JF, Rodríguez-Fernández C, Castaño A, and Martínez-Patiño MJ. (2021) Performance and ranking position evolution during 20 competitive seasons in elite 100 meter sprinters. *J. Hum. Sport Exerc*, 16 (1): 166-173. <https://www.jhse.ua.es/article/view/2021-v16-n1-performance-ranking-position-evolution-20-competitive-seasons-elite-100-meter-sprinters>
- Bak P, Tang C, and Wiesenfeld K. (1988) Self-organized criticality. *Physical Rev. A*, 38(1): 364-374.
- Baker J, Schorer J, and Copley S. (2010) Relative age effects. *Sportwissenschaft* 40(1): 26-30. <https://www.scienceforsport.com/relative-age-effect/>
- Balague N, Torrents C, Hristovski R, Davids K, and Araújo D. (2013) Overview of complex systems in sport. *J. of Systems Science and Complexity*, 26(1): 4-13. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11424-013-2285-0>
- Berthelot G, Sedeaud A, Marck A, Antero-Jacquemin J, Schipman J, Sauliere G, and Toussaint, J. F. (2015) Has athletic performance reached its peak? *Sports Med.*, 45(9): 1263-1271. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4536275/>



- Brito N, Fonseca A, and Rolim R. (2004) Os melhores atletas nos escalões de formação serão igualmente os melhores atletas no escalão sénior? Análise centrada nos rankings femininos das diferentes disciplinas do Atletismo ao longo das últimas duas décadas em Portugal. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 4(1), 17-28.
https://rpcd.fade.up.pt/_arquivo/artigos_soltos/vol.4_nr.1/Nelson_Brito.pdf
- Brophy J, and Good T. (1973) Innate talents: Reality or myth? *Behavioral and Brain Sciences*, 21: 399-442. <https://www.cambridge.org/core/journals/behavioral-and-brain-sciences/article/abs/innate-talents-reality-or-myth/F266E85CB7A33D86C6C2B33508EA581B>
- Cobley S, Baker J, Wattie N, and McKenna J. (2009) Annual age-grouping and athlete development. *Sports med.*, 39(3): 235-256.
https://www.researchgate.net/publication/276953010_Annual_Age-Grouping_and_Athlete_Development
- Chow GC. (1960) Tests of Equality between Sets of Coefficients in Two Linear Regressions. *Econometrica* 28: 591-605. <https://www.jstor.org/stable/1910133>
- Cohen, J. (1988) Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences Second Edition. 12 Lawrence Erlbaum Associates Inc. Hillsdale, New Jersey, 13. <https://www.utstat.toronto.edu/~brunner/oldclass/378f16/readings/CohenPower.pdf>
- De Saá Guerra Y, Martín Gonzalez JM, Montesdeoca SS, Rodriguez Ruiz D, Arjonilla López N, and García Manso JM. (2013) Basketball scoring in NBA games: An example of complexity. *J. of Systems Science and Complexity* 26(1): 94-103.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11424-013-2282-3>
- Denny M. (2008) Limits to running speed in dogs, horses and humans. *J Exp. Biol.*, 211(24): 3836-3849.
<https://journals.biologists.com/jeb/article/211/24/3836/18013/Limits-to-running-speed-in-dogs-horses-and-humans>
- Dunford M, Aoyama Y, Campolina Diniz C, Kundu A, Limonov L, Lin G, and Turok I. (2016) Area development and policy: An agenda for the 21st century. *Area Development and Policy*. 1(1): 1-14.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23792949.2016.1158621>
- Eliazar I. (2017) Black swans and dragon kings: A unified model. *EPL (Europhysics Letters)*, 2017, 119(6), 60007. DOI: 10.1209/0295-5075/119/60007;
<https://iopscience.iop.org/article/10.1209/0295-5075/119/60007>
- Enoksen E. (2011) Drop-out rate and drop-out reasons among promising Norwegian track and field athletes: A 25-year study. *Scand. sport studies forum*, 2, 19-43.
http://sportstudies.org/wp-content/uploads/2014/01/019-043_vol_2_2011_enoksen.pdf
- Fister I, Fister D, Deb S, Mlakar U, and Brest J. (2020) Post hoc analysis of sport performance with differential evolution. *Neural. Comput. Appl. Volume* 32(15): 10799-10808. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-018-3395-3>



- Frontiera J. (2010) Leadership and organizational culture transformation in professional sport. *J. Leadersh. Organ. Stud.*, 17(1): 71-86. https://www.researchgate.net/publication/247784861_Leadership_and_Organizational_Culture_Transformation_in_Professional_Sport
- Gagné F. (2004) Transforming gifts into talents: The DMGT as a developmental theory. *High ability studies*, 15(2): 119-147. https://www.researchgate.net/publication/233627762_Transforming_gifts_into_talents_The_DMGT_as_a_developmental_theory
- García-Manso JM, Martín-González JM, Vaamonde D, and Da Silva-Grigoletto M E. (2012) The limitations of scaling laws in the prediction of performance in endurance events. *Journal of Theor. Biol.*, 300: 324-329. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22300800/>
- García-Manso JM, Martín-González JM, Da Silva-Grigoletto ME, Vaamonde D, Benito P, and Calderón J. (2008) Male powerlifting performance described from the viewpoint of complex systems. *J. of Theo. Biol.*, 251(3): 498-508. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18243245/>
- Guillaume M, Len S, Tafflet M, Quinquis L, Montalvan B, Schaal K, and Toussaint JF. (2011) Success and decline: Top 10 tennis players follow a biphasic course. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(11): 2148-2154. https://www.researchgate.net/publication/51060622_Success_and_Decline_Top_10_Tennis_Players_Follow_a_Biphasic_Course
- Güllich A, Macnamara BN, and Hambrick DZ. What makes a champion? (2021) Early multidisciplinary practice, not early specialization, predicts world-class performance. *Perspect. Psychol. Sci.* <https://doi.org/10.1177/1745691620974772>.
- Hutchins B. (2011) The acceleration of media sport culture: Twitter, telepresence and online messaging. *Information, communication & society*, 14(2): 237-257. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1369118X.2010.508534>
- Jeon G and Park J. (2021) Characterizing patterns of scoring and ties in competitive sports. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 565, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125544>.
- Johnston K and Baker J. (2020) Waste reduction strategies: factors affecting talent wastage and the efficacy of talent selection in sport. *Front. Psychol*, 10, 2925. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02925>.
- Kaleth AS and Mikesky AE (2010) Impact of early sport specialization: A physiological perspective. *J. of Physical Education, Recreation & Dance*, 81(8): 29- 37. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1369118X.2010.508534>
- Lotka AJ. (1925) Elements of Physical Biology. Williams and Wilkins, Baltimore. <https://www.nature.com/articles/116461b0>
- Malina RM. (2010) Early sport specialization: roots, effectiveness, risks. *Current Sports Med. Rep.*, 9(6): 364-371. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21068571/>



- Malina RM. (2009) Children and adolescents in the sport culture: the overwhelming majority to the select few. *J. of exer. Sci. & fitness*, 7(2): S1-S10. https://www.researchgate.net/publication/228756237_Children_and_Adolescents_in_the_Sport_Culture_The_Overwhelming_Majority_to_the_Select_Few
- Marck A, Antero J, Berthelot G, Saulière G, Jancovici JM, Masson-Delmotte V, Boeuf G, Spedding M, Le Bourg E, and Toussaint JF. (2017) Are we reaching the limits of homo sapiens? *Front. Psychol*, 8, 812. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5662890/>
- Mendes RS, Malacarne LC, and Anteneodo C. (2007) Statistics of football dynamics. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 363 (3): 357-363. https://www.researchgate.net/publication/1894122_Statistics_of_football_dynamics
- Moesch K. (2012) Reasons for career termination in Danish elite athletes: Investigating gender differences and the time-point as potential correlates. *Sport Science Rev.*, 2012, (5-6): 49-68. https://www.researchgate.net/publication/253340581_Reasons_for_Career_Termination_in_Danish_Elite_Athletes_Investigating_Gender_Differences_and_the_Time-point_as_Potential_Correlates
- Nevill AM, and Whyte G. (2005) Are there limits to running world records? *Med. Sci. Sports Exerc.* 37(10): 1785-1788. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16260981/>
- Sáenz-López P, Feu-Molina S, and Ibañez S. (2006) Estudio de la participación de los jugadores españoles de baloncesto en las distintas categorías de la selección nacional. *Apunts Educación Física y Deportes*, (85): 36-45. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2094573>
- Sornette D. (2009) Dragon-kings, black swans and the prediction of crises. *International J. Terraspace Science and Engineering*, 1-18. https://www.researchgate.net/publication/46448342_Dragon-Kings_Black_Swans_and_the_Prediction_of_Crises
- Taleb NN. (2007) *The black swan: The impact of the highly improbable*. Random: New York, NY, USA.
- Till K and Baker J. (2020). Challenges and [possible] solutions to optimizing talent identification and development in sport. *Front. Psychol.*, Volume: 11, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00664>.
- Unierzyski P, and Crespo M. (2007) Review of modern teaching methods for tennis. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 3(7): 1-10. https://www.researchgate.net/publication/26474942_Review_of_modern_teaching_methods_for_tennis_Analisis_de_los_metodos_actuales_de_ensenanza_del_tenis
- Wolstencroft E. (2002) Talent identification and development: An academic review. *Edinburgh SportScotland*. The University of Edinburgh. https://www.researchgate.net/publication/277823127_Talent_identification_and_development_an_academic_review



Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Juan Manuel García Manso: Concepción de la idea, búsqueda y revisión de literatura, asesoramiento general por la temática abordada, redacción del original (primera versión), revisión y versión final del artículo, corrección del artículo, traducción de términos o información obtenida, revisión de la aplicación de la norma bibliográfica aplicada

Teresa Valverde Esteve: Búsqueda y revisión de literatura, confección de instrumentos, aplicación de instrumentos, recopilación de la información resultado de los instrumentos aplicados, análisis estadístico, confección de tablas, gráficos e imágenes, confección de base de datos, redacción del original (primera versión), traducción de términos o información obtenida.

Lázaro de la Paz Arencibia: Búsqueda y revisión de literatura, asesoramiento general por la temática abordada, traducción de términos o información obtenida.

María José Martínez Patiño: Búsqueda y revisión de literatura, confección de instrumentos, aplicación de instrumentos, recopilación de la información resultado de los instrumentos aplicados, confección de tablas, gráficos e imágenes, confección de base de datos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional. Copyright (c) 2022 Juan Manuel García Manso, Teresa Valverde Esteve, Lázaro de la Paz Arencibia, María José Martínez Patiño

