
Complejidad y deporte de rendimiento en la enseñanza y la investigación universitaria

65

Complexity and performance sport in university teaching and research

Recibido: 07/11/2022

Aprobado: 13/12/2022

Andrés González Ramírez¹

Resumen

El deporte es un fenómeno altamente complejo y su estudio puede realizarse desde múltiples perspectivas. Centramos nuestro interés en el deporte de rendimiento y alto rendimiento pensado desde el contexto nacional de Uruguay y su relación con otros ámbitos internacionales. En este artículo de reflexión se pretende presentar y discutir los avances que se vienen desarrollando en las propuestas de enseñanza e investigación universitaria en los factores de rendimiento deportivo: técnica, táctica y preparación física. Desde el punto de vista teórico partimos del marco conceptual de la perspectiva de la complejidad y su relación con el deporte. En esta propuesta de enseñanza profundizamos en estos conceptos en los diferentes niveles de enseñanza universitaria. Así, la integración de esta perspectiva repercute en las propuestas de formación y entrenamiento de los deportistas. En estrecha relación con la enseñanza, la investigación es un aspecto central. Los avances en los estudios del rendimiento deportivo con diferentes metodologías han permitido evolucionar desde propuestas observacionales simple de carácter descriptivo y lineal, a las propuestas actuales que atienden a multiplicidad de factores que afectan al rendimiento, integrando metodologías mixtas e incorporación de modelos de inteligencia artificial. Este avance es relevante en el contexto uruguayo puesto que diferentes propuestas en desarrollo permitirán profundizar y atender a las circunstancias específicas de los deportistas y equipos del país, donde los factores de rendimiento se manifiestan de manera propia y diferenciada tanto en la competición local como internacional.

Palabras clave: complejidad, técnica deportiva, táctica deportiva, condición física, rendimiento deportivo.

¹ Docente G2 en el Instituto Superior de Educación Física (Udelar). Responsable del Grupo de Investigación en Deporte y Rendimiento (ISEF, Udelar). Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (ULE, España). Investigador Nivel 1 en Sistema Nacional de Investigación, Uruguay. E-mail: andres.gonz.ramirez@gmail.com

Abstract

Sport is a highly complex phenomenon and it can be study from multiple perspectives. We focus our interest in performance and high performance sport from the national context of Uruguay and its relationship with other international spheres. The aim of this article of reflection is to present and discuss the advances that it's being developed in teaching and university research in sports performance factors: technique, tactics and physical preparation. From the theoretical point of view, we start from the conceptual framework of the perspective of complexity and its relationship with sport. In this teaching proposal, we delve into these concepts at the different levels of university education. Thus, the integration of this perspective has repercussions on the proposals for teaching and training of athletes. Closely related to teaching, research is central. The advances in sports performance studies with different methodologies have evolved from simple observational proposals to address a multiplicity of factors that affect performance, integrating mixed methodologies and artificial intelligence models. That allows describing, analyzing and modelling multiple performance variables together in non-linear way. This advance is relevant in the Uruguayan context as those proposals will allow deepening and attending to the specific circumstances of the country's athletes and teams, where performance factors manifest themselves in a differentiated way, both in local and international competition.

Keywords: complexity, sports technique, sports tactic, physical conditioning, sports performance.

Deporte y rendimiento

El término deporte es un concepto polisémico que presenta múltiples acepciones. Por esta razón, se hace necesario definir un concepto de deporte que nos permita delimitar el alcance de la propuesta. Siguiendo la definición restringida de Parlebas (2001) primero y Hernández Moreno y Rodríguez (2004) posteriormente, consideramos exclusivamente como deporte “una situación motriz de competición, reglada, de carácter lúdico e institucionalizada” (p.15). Por tanto, nuestro contexto de estudio se enmarca dentro del “deporte federado”, que la reciente Ley del Fomento y Protección del Sistema Deportivo (Uruguay, 2019) ha definido como “el conjunto de interacciones llevadas adelante por entidades organizadas que practican deporte en todas sus disciplinas en forma competitiva y sujeto a reglas universalmente aceptadas”. Así, los deportistas se organizan a través de sus clubs y federaciones.

Es dentro de este ámbito institucionalizado y delimitado que podemos definir el “rendimiento deportivo”. Aunque los conceptos de “rendimiento” y “rendimiento motor” son comunes dentro de la actividad física y la educación física; el “rendimiento

deportivo” es propio de los procesos de entrenamiento y competición deportiva. Supone, por tanto, un proceso de máxima cualificación expresada en resultados objetivos de éxito en el deporte. Para Famose (1999), se trata de “un rendimiento motor realizado en un contexto institucionalizado de comparación social que implica una desigualdad en el reparto de las recompensas” (p. 37), hay vencedores y vencidos, y tan solo los mejores rendimientos son premiados.

Aunque el rendimiento deportivo está fuertemente asociado al resultado, la evaluación del rendimiento es un proceso más amplio, y atiende también a los puntos de partida de jugadores y equipos, así como a los contextos de competición. Así, dentro de los deportes colectivos, Martín y Lago (2005, p.46) definen el rendimiento como “el resultado de la capacidad de prestación física y psíquica de los diferentes jugadores en su colaboración integrada en el marco de todo el equipo y de su capacidad de actuación cooperativa, desarrollada en condiciones de lucha individual y colectiva”. Pero los factores que determinan el rendimiento pueden ser analizados con mayor rigurosidad. Por ejemplo, Morante (2004) califica los factores que determinan el rendimiento como técnicos, tácticos, de condición física, psíquicos, volitivos, externos e intrínsecos del sujeto.

Si bien el rendimiento deportivo es consustancial al deporte, la pregunta sería, ¿qué es el alto rendimiento? En este caso, la respuesta es más compleja, puesto que en general se asocia con el deporte profesional, aunque puede incluir deportistas aficionados y amateurs que participan en competiciones internacionales, como Juegos Olímpicos, Juegos Panamericanos, Campeonatos del Mundo o Juegos Paralímpicos. En Uruguay podemos considerar que el alto rendimiento deportivo se encuentra limitado al fútbol profesional, a la Liga Uruguaya de Básquetbol, y algunos atletas y deportistas con alta dedicación al entrenamiento. Así, para ser más precisos, hablamos de “deporte de rendimiento”, incluyendo aquellos deportes y deportistas cuyos objetivos de trabajo están relacionados con la mejora de su nivel competitivo, como es el caso del handball, hockey, voleibol, etc.

El estudio del rendimiento desde la perspectiva de la complejidad implica integrar diferentes niveles de análisis (Martín & Lago, 2005). En nuestro caso, el punto de partida son los elementos técnicos, tácticos y de condición física, que marcan la referencia desde donde ampliar la mirada sobre el deporte. Además, aunque todas las modalidades deportivas son altamente complejas, tratamos con especial atención la problemática de los deportes de cooperación-oposición donde son relevantes los aspectos tácticos y la toma de decisión durante el juego.

A partir de estas ideas centrales, el objetivo de este trabajo es presentar y discutir los avances que se vienen desarrollando en las propuestas de enseñanza e investigación universitaria en los factores de rendimiento deportivo: técnica, táctica y preparación física.

¿Por qué es pertinente este abordaje del rendimiento deportivo en un proyecto universitario?

La inclusión del paradigma de complejidad está ganando fuerza y aceptación en las diferentes disciplinas científicas (Morín, 1990). También en el ámbito del deporte se han ido incluyendo de forma progresiva sus ideas principales, generando cambios en las formas de planificar, entrenar y evaluar. En este sentido, consideramos imprescindible un abordaje académico de enseñanza e investigación en el ámbito del deporte de rendimiento que atienda a la integración de la técnica, táctica y condición física desde esta perspectiva. La aplicación de los principios de la complejidad y el desarrollo de nuevas herramientas matemáticas no lineales están generando profundos cambios en las ciencias del deporte, donde la continua fragmentación y especialización de las disciplinas científicas está dando lugar también a miradas integradoras y transdisciplinarias (Balagué, Torrents, Hristowsky, Davids, & Araújo, 2013; Balagué & Torrents, 2013). Desde esta perspectiva, profundizar en la complejidad desde las ciencias del deporte contribuye a la formación deportiva de licenciados, técnicos, entrenadores y preparadores físicos con interés en el rendimiento, que es, y tradicionalmente ha sido un campo prolífero de desarrollo profesional.

Desde nuestro punto de vista, la Universidad debe potenciar el estudio de la técnica, la táctica y la preparación física bajo la perspectiva de la complejidad en conjunto con profesores e investigadores de otras áreas. La mirada propia del deporte de rendimiento desde la Educación Física permite una integración holística de los aspectos parciales que aportan otras disciplinas (fisiología, biomecánica, psicología, etc.) en un campo transdisciplinar, pero con fuerte preponderancia de la Educación Física.

Por otra parte, el amplio tejido deportivo en el país involucra a un gran número de clubs, equipos y deportistas. La posibilidad de desarrollar la enseñanza e investigación en el ámbito del rendimiento impacta directamente tanto en la generación de conocimientos teóricos como en el desarrollo de proyectos concretos de investigación básica y aplicada. Si bien desde el punto de vista profesional es destacado el desempeño de los entrenadores y preparadores físicos nacionales, el nivel de producción académica y de investigación es muy reducido. Consideramos imprescindible profundizar en la generación de conocimientos propios, en tanto que los contextos de entrenamiento y competición son diferentes a otros países de la región, y las experiencias particularmente distintas. Así, la posibilidad de trabajar en conjunto con la comunidad deportiva es imprescindible. En este sentido, recientes experiencias que integran las funciones de enseñanza, investigación y extensión han mostrado la riqueza de generar conocimientos desde el territorio a partir de la interacción con cuerpos técnicos y deportistas. La búsqueda de respuestas a problemas emergentes de contextos claramente diferentes, interior de Uruguay frente a la capital Montevideo; y las condiciones heterogéneas de los países latinoamericanos frente a otros lugares del mundo pueden desembocar en abordajes teóricos y prácticos distintos y adaptados a las realidades de nuestros deportes (Opizzo & González, 2022).

La complejidad y los sistemas complejos en el deporte

Un sistema complejo es “cualquier sistema formado por componentes interconectados de los que emerge un comportamiento colectivo que no puede inferirse de sus componentes” (Balagué & Torrents, 2011, p. 32). Este comportamiento puede ser simple o complejo, según el estado del sistema. En el caso de un partido de fútbol entre equipos de un mismo nivel, bajo determinados parámetros el comportamiento puede ser previsible y presentar cierta simplicidad, mientras que pequeños cambios desencadenan situaciones impredecibles, como puede ser el caso de la expulsión de un jugador.

La complejidad es un equilibrio fino entre el orden y el desorden. Se dice que la complejidad se encuentra en el borde del caos, donde se manifiestan las propiedades emergentes. Durante un partido, la posibilidad de flexibilidad y adaptación de un equipo a las situaciones podría disminuir en dos sentidos, hacia un mayor orden, rigidez y predictibilidad de sus acciones, o por el contrario hacia la aleatoriedad o caos donde los jugadores presentan una gran desorganización. En ambos casos, esos extremos suponen una disminución del rendimiento.

Estudiar la complejidad trata de conocer sus mecanismos de auto-organización y auto-regulación en la variabilidad y la incertidumbre. Como plantean Martín & Lago (2005) “la correcta aplicación del paradigma de la complejidad significará un gran salto en la comprensión de los deportes de equipo, en la elaboración de su teoría de rendimiento y desarrollo metodológico” (p.13). El paradigma de la complejidad implica un tránsito entre la distinción/conjunción, escapando tanto de las miradas abstractas holísticas como del simple reduccionismo.

El estudio del deporte colectivo desde el paradigma de la complejidad entiende el juego deportivo colectivo como un sistema alejado del equilibrio, flexible y rápido. Busca encontrar y expresar posibilidades de evolución de jugadores, equipos, partidos, entrenamientos, etc. teniendo en cuenta tanto la falta de certidumbre de los sistemas reales como las relaciones causales que están presentes (Martín & Lago, 2005).

Considerando la teoría sistémica, el comportamiento de los jugadores está influenciado por sus compañeros y adversarios. Así, pequeños cambios individuales pueden generar efectos agregados que generan incertidumbre y constantes adaptaciones de todos los participantes del sistema. Más aún, según el principio de interdependencia, todos los elementos están en relación con el nivel que les precede, con el que le sigue y con su entorno global (Balagué & Torrents, 2011). Por ejemplo, las posibilidades de actuación de un jugador dependen de sus capacidades condicionales, técnicas y tácticas; sus conductas posibles estarán condicionadas por la actividad de sus compañeros y adversarios, y estarán constreñidas por los sistemas de juego en que se encuentre organizado el equipo.

Los constreñimientos son de tres tipos: del organismo, del medio ambiente y de la tarea (Davids et al. citado en Balague y Torrents, 2011). Los primeros refieren a las características individuales, fenotipo, y genotipo, emociones, motivaciones,

habilidades. Los segundos al entorno, lo que incluye, situaciones propias del juego como resultado, tiempo de juego y otros factores propios de la competición. Por último, de la tarea refiere a las variables en relación al uso del campo de juego, de sus medidas, de las distancias de juego, de cantidad de jugadores involucrados.

A partir de la interacción que se produce con el medio y el resto de participantes, Parlebas (2008) establece tres criterios para la clasificación de los juegos deportivos: incertidumbre procedente del medio físico, interacción con compañeros y oposición de los adversarios. En los deportes psicomotores el medio es estable y no hay oposición directa (salto de altura, 100 m. llanos, etc.). En los deportes sociomotores se distinguen tres grandes grupos: deportes de cooperación (escalada, natación sincronizada, remo, etc.), de oposición (judo, tenis, etc.) y de cooperación-oposición (fútbol, handball, voleibol, etc.). En estos últimos, donde aparecen equipos que se oponen con objetivos contrapuestos se pueden considerar tres contextos de análisis: el microsistema, la lucha entre atacante y defensor (situaciones 1x1); el mesosistema interacciones parciales, que integra los enfrentamientos entre grupos reducidos de jugadores en zonas determinadas (2x2, 3x3, etc.); y por último, el macrosistema equipo, que supone un nivel superior de organización, y donde se manifiesta la táctica de equipo o estrategia (Martín & Lago, 2005).

Mientras en los deportes psicomotores la ejecución técnica es central, en los deportes de cooperación-oposición, durante la realización de una acción de juego, la técnica y la táctica se dan conjuntamente y son dos formas distintas de interpretar la misma acción. Para Riera (1995) la táctica aparece en la toma de las decisiones que permitan superar a los rivales en colaboración con los compañeros dentro de una situación de juego concreta. Por otra parte, la técnica es la ejecución, interacción con la dimensión física del entorno y la eficacia para alcanzar los objetivos tácticos; se pone de manifiesto en la realización de la acción. Desde este punto de vista, la decisión táctica solo se manifiesta en presencia de un oponente u oponentes, siendo esencial la rapidez para vencer en el enfrentamiento.

A diferencia de los deportes psicomotores donde la ejecución se ajusta a un modelo técnico, en los deportes de cooperación-oposición la táctica es adaptativa. El contexto de juego es relevante en el repertorio táctico y las posibilidades de respuestas de un jugador, que además estará influenciado por los planteamientos estratégicos del entrenador, las características de la institución o del deporte del país y la idiosincrasia de su población (Espasandín, 2010).

Atendiendo a la complejidad, la utilización de técnicas matemáticas avanzadas permite contrastar la importancia de un mecanismo explicativo concreto en un contexto o perfeccionar la estimación de los parámetros relevantes de diferentes modelos. Además, como veremos más adelante, otras metodologías de investigación son necesarias para profundizar en el conocimiento del rendimiento deportivo (Martín & Lago, 2005).

En este sentido, son múltiples los caminos para alcanzar un rendimiento óptimo tanto durante el entrenamiento como durante la competición. Por tanto, no se puede determinar un único camino, estrategia o modelo. Por el contrario, es posible probar que un programa es mejor que otros para unas personas o equipos en un momento

determinado, es decir, es posible determinar su “óptimo local” (Balagué & Torrents, 2011). Este proceder presenta importantes consecuencias para el entrenamiento, la evaluación y el análisis deportivo: se trata de alcanzar óptimos individuales a través de procesos individuales, lo que implica no repetir ni la misma técnica, ni la misma táctica en deportistas y equipos diferentes en contextos cambiantes.

Deporte de rendimiento e inteligencia artificial

Actualmente, la inteligencia artificial (IA) ha ganado terreno en la evaluación y predicción en deportes a través de algoritmos matemáticos que ayudan a integrar la complejidad del juego, incluyendo los constreñimientos individuales, ambientales y de la tarea. Se utilizan métodos de redes neuronales artificiales (RNA), árbol de decisión (DT), “*support vector machine*” (SVM) y otros. Estos se utilizan en el deporte para prever factores que inciden en el rendimiento de capacidades condicionales, predecir rendimiento de jugadores y ganadores de partidos. Por ejemplo, Rein & Memmert (2016), a partir de un recorrido a través de múltiples investigaciones que han analizado aspectos parciales en el análisis táctico en el fútbol destacan la importancia de incorporar modelos de “*big data*” que integran y almacenan importantes cantidades de información: variables de posicionamiento y desplazamiento, frecuencia cardíaca, aspectos psicológicos, características del rival, etc. La principal característica de los modelos propuestos es que ofrecen la posibilidad de extraer, reducir y simplificar la información relevante que es utilizada por técnicos, entrenadores y jugadores.

El método de las redes neuronales artificiales permite la integración de una vasta cantidad de información a la vez que pueden modelar dinámicas no lineales. Inspirado en el sistema nervioso biológico, las redes neuronales artificiales son “modelos de cálculo caracterizados por algoritmos muy eficientes que operan de forma masivamente paralela y permiten desarrollar tareas cognitivas como el aprendizaje de patrones, la clasificación o la optimización” (Flórez & Fernández, 2008, p. 17). Las RNAs también pueden definirse matemáticamente a través de la teoría de grafos mediante una red de nodos y conexiones.

La mayor potencialidad que presentan las redes neuronales es su capacidad de aprendizaje. En los últimos años la utilización de las redes RNAs para la evaluación y control del rendimiento deportivo ha sido extensa (Dutt-Mazumder, Button, Robins, & Bartlett, 2011). En el análisis de las acciones técnico-tácticas, la evolución ha sido considerable, desde la utilización de mapas autoorganizados aplicados al bádminton (Perl, 2002) hasta redes más complejas usadas en básquetbol (Perl, Tilp, Baca, & Memmert, 2013; Kempe, Grunz, & Memmert, 2015); handball (Schrapf & Tilp, 2013); fútbol (Grunz, Memmert, & Perl, 2012; Perl, Grunz, & Memmert, 2013) y voleibol (Jäger & Schöllhorn, 2012).

A partir de estos antecedentes, González & Bermúdez (2016b) consideran que la investigación utilizando redes neuronales artificiales debe aprovechar las grandes ventajas que presenta. Por ejemplo, ahorra mucho tiempo en el análisis de los equipos y los jugadores; permite el análisis de precisión de forma diferenciada para cada

equipo y jugador atendiendo a su propio contexto; detecta patrones, clasifica y pondera la importancia de las variables de juego atendiendo al contexto; integra muchas variables al análisis (fisiológicas, contextuales, semánticas); y es muy aplicable al entrenamiento, analizando nuestro propio equipo y nuestros jugadores. Entre los inconvenientes, debemos considerar que el diseño de la red es complejo y requiere de equipos multidisciplinares (técnicos deportivos, programadores informáticos, estadísticos, etc.). Además, algunos resultados pueden ser difíciles de interpretar. Por otra parte, la incorporación de todas las posibilidades presenta un elevado coste económico (video/radio tracking, acelerómetros, pulsómetros, etc.). De todas formas, los medios tecnológicos están evolucionando rápidamente y ya son parte habitual de muchos equipos y deportistas en Uruguay.

Implicaciones en la enseñanza universitaria

Los “sistemas complejos adaptativos” cambian con el tiempo, se adaptan y aprenden. (Balagué & Torrents, 2011). Este es el caso de los deportistas, equipos y clubs. Esta perspectiva compleja incide sobre la enseñanza con ideas esenciales que se manifiestan en el entrenamiento y la competición. Además de variables sobre las que intervenir (se definen los constreñimientos), se debe buscar generar una plena apropiación de las situaciones de juego por parte de los jugadores potenciando todas las interacciones (Botejara & González, 2014).

Siguiendo a Balagué & Torrents (2011) compartimos aspectos prácticos que se deben tener en cuenta. Se entiende que cada deportista es un sistema complejo en sí mismo, que se comporta de forma no lineal y se adapta. Su respuesta es variada e individual según su contexto y por tanto no se pueden esperar homogeneidades. Por otra parte, también es parte de un nivel superior del sistema, por lo que su comportamiento debe contribuir a conseguir soluciones eficaces y eficientes. Estas respuestas se generan de forma proactiva y son parte de su autoregulación. Sin un deportista implicado en la actividad es imposible mejorar su rendimiento y afecta a otras partes del sistema.

En los deportes colectivos, la coordinación de todas las partes determina el éxito individual y colectivo. Por tanto, las posibilidades de mejora están en relación a sus compañeros, pero también depende de sus entrenadores. Cada deportista desde su lugar aporta al rendimiento que emerge y es resultado de todas las interacciones. Este rendimiento es fluctuante, no estable. Desde la perspectiva compleja se enfatiza en el deportista como protagonista del proceso de entrenamiento y por tanto debe implicarse en las mejoras del equipo.

Las ciencias de la complejidad han incidido además en otros aspectos clave en el ámbito del rendimiento. Se han establecido modelos como el

“aprendizaje diferencial” y “la dinámica ecológica” que estudian la práctica variable donde los movimientos emergen por la manipulación de constreñimientos que favorecen un acoplamiento percepción-acción y no viene impuesta por el exterior. De esta manera las

configuraciones del movimiento promueven las adaptaciones al contexto (Balagué & Torrents, 2011, p. 69).

El papel del profesor y entrenador también debe ser considerado (Botejara & González, 2014). Estos autores señalan que: 1) Son un componente más de un sistema que se auto-organiza. 2) Son claves por el nivel de intensidad con el que interactúan y son interdependientes con los deportistas. 3) Deben identificar las dinámicas propias de cada deportista y reconocer sus posibilidades reales. 4) Determinan los parámetros de orden para planificar el entrenamiento. Eligen el principio de actuación que se prioriza para ataque y defensa, lo mismo para las fases del juego. 5) Diseñan tareas que implican y promueven la resolución autónoma del deportista. Así se manipulan los estreñimientos, no las respuestas.

Algunas de las ideas expuestas ya han sido incorporadas en la formación de licenciados en Educación Física. Por ejemplo, en los deportes colectivos, a partir del análisis de la lógica interna de los deportes se incide en el estudio de los principios de juego, y las propiedades emergentes que se generan en las tareas a partir de la variación de los elementos estructurales. Discusiones sobre la técnica, la táctica y la estrategia; y la percepción y toma de decisiones en los deportes colectivos son parte de los temarios de nuestra disciplina. Un aspecto relevante son los aportes de la perspectiva de la complejidad en la enseñanza de los deportes colectivos en referencia a la toma de decisiones y la creatividad (Mermert, 2015).

Un vínculo que consideramos relevante continuar desarrollando es con la formación de técnicos deportivos. Conceptos teóricos básicos de la teoría de los sistemas complejos y su aplicación en los deportes colectivos, así como el análisis de situaciones de entrenamiento y competición a través de la metodología observacional son aportes que refuerzan estas propuestas.

Por otra parte, los conceptos de complejidad fueron profundamente estudiados en asignaturas como “bases teóricas del deporte” y “creatividad y toma de decisiones en el deporte” dentro de la Maestría en Educación Física y Deporte del Instituto Universitario de la Asociación Cristiana de Jóvenes (IUACJ). Además, la inclusión de la ciencia de datos y la inteligencia artificial en los deportes son tratados en el seminario de “perspectivas y avances en el estudio del rendimiento en deportes de equipo” en el Programa de Maestría en Educación Física del ISEF. Como desarrollamos más adelante en el apartado de investigación, la valoración de la técnica y la táctica, así como la evaluación de la condición física, y su integración y explicación dentro de los sistemas complejos son importantes líneas de trabajo a desarrollar desde la investigación.

Propuestas y desarrollo de investigación

En el marco de la Teoría de los Juegos Deportivos Colectivos de Martín y Lago (2005) planteamos dos grandes objetivos. Por un lado, describir el rendimiento de los jugadores y equipos según los contextos de competición y entrenamiento, así como identificar los posibles efectos causales a partir de los datos observados. Por otro, se

pretende realizar inferencias tanto descriptivas como explicativas que permitan establecer modelos que contribuyan a la mejora del entrenamiento y anticipen el rendimiento en competición.

Para alcanzar estos objetivos se establecen estrategias complejas que explican el rendimiento en su propio contexto. Más allá de las inalcanzables explicaciones con leyes científicas universales, se enfatiza en la validez local de los estudios sobre los mecanismos sociales e individuales que generan y explican las conductas desarrolladas por los deportistas en su propio contexto de competición (Martín & Lago, 2005).

El análisis de precisión hace referencia a conocer profundamente cada uno de los equipos, de tal manera que las decisiones técnico tácticas y los procesos de entrenamiento puedan mejorar el rendimiento individual de cada equipo en su contexto. No todos los equipos son iguales, ni todos los planteamientos técnicos y tácticos deben seguir un único patrón. Los patrones técnicos y tácticos deben adaptarse a las circunstancias del equipo y a las características del rival y de la competición (González & Bermúdez, 2016a).

Partiendo de la perspectiva de la complejidad, la investigación se desarrolla acorde a diferentes metodologías. En este sentido, las técnicas de análisis no lineales son imprescindibles (grafos, redes neuronales artificiales, patrones temporales, etc.). Desde el punto de vista de las actividades de enseñanza y entrenamiento deportivo, en la actualidad está teniendo especial desarrollo la valoración de la creatividad, analizando la aparición de conductas creativas, aquellas que son raras, diferentes, adaptativas, pero a la vez eficaces (Memmert, 2015).

Un enfoque metodológico simple pero riguroso es la utilización de la metodología observación (Anguera, Blanco Villaseñor, Losada, & Hernández Mendo, 2000; Anguera & Hernández Mendo, 2013). Esta metodología, cuyo carácter científico ha sido ampliamente reconocido, permite analizar los comportamientos espontáneos en su contexto. La posibilidad de construir herramientas observaciones “ad hoc” la convierte en una metodología muy potente para el análisis de las conductas deportivas y comportamentales en diferentes contextos.

Más allá de la simple observación, han emergido en los últimos años en el ámbito de la educación física y el deporte, las metodologías mixtas (*mixed methods*) (Anguera, Camerino, Castañer, & Sánchez, 2014; Camerino, Castañer, & Anguera, 2012; Castañer, Camerino, & Anguera, 2013). En muchos casos, la combinación de diferentes métodos es necesaria para alcanzar los objetivos de investigación que se proponen. Muchas de las preguntas formuladas requieren de enfoques amplios que permitan indagar en la realidad desde diferentes perspectivas. Los métodos mixtos suponen una integración de los modelos cuantitativo y cualitativo en diseños específicos que permiten profundizar en el conocimiento del objeto de estudio (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Avances en investigación sobre complejidad y deporte de rendimiento en Uruguay

En los últimos años, en Uruguay, se ha venido realizado un progresivo recorrido en la aproximación al análisis de los deportes colectivos atendiendo a su complejidad. Aunque en los primeros estudios descriptivos se buscaban relaciones lineales entre diferentes variables con estrategias matemáticas simples, progresivamente se han ido incorporando nuevas técnicas de análisis que profundizan en las características no lineales del juego. Por ejemplo, realizando “análisis secuenciales de retardos” donde se estudian las secuencias según su orden (González, Botejara, Puñales, Trejo, & Ruy López, 2013). En este caso, destacamos investigaciones realizadas en el ámbito de fútbol y hándbol de rendimiento. Además, estas mismas secuencias de orden pudieron ser modeladas utilizando la teoría de grafos (De Pablo, Trejo, & González, 2019).

Por otra parte, también se ha profundizado en los análisis predictivos basados en regresiones lógicas, combinando diferentes variables. Por ejemplo, ante la idea de un rendimiento lineal de los goleros de hándbol, hemos podido demostrar la relación matemática entre el rendimiento de los goleros y las acciones de sus compañeros en defensa como elementos que se conjugan para predecir la victoria (González, Bermúdez, Martínez, & Chiroso, 2017).

Antecedentes basados en la complejidad utilizando análisis de redes neuronales artificiales ya han sido presentados (González & Bermúdez, 2016b, 2016a). En un primer trabajo se aplicó una red neuronal de clasificación para identificar patrones en el contraataque en hándbol. Como resultado la red determinó cinco patrones distintos de desarrollo del contraataque. Lo más destacado del estudio fue que, al analizar la clasificación realizada por la red de cada una de las entradas, cuatro de los patrones mostraron una asociación significativa con la valoración previamente realizada por observadores expertos, que habían clasificado los contraataques como de primera, segunda y tercera oleada. Además, la red identificó los lanzamientos directos de arco a arco como un patrón distinto, coincidiendo con los antecedentes teóricos que tienen en cuenta estas cuatro formas de desarrollo del contraataque. En este caso, se debe destacar la capacidad de la red para clasificar las secuencias de contraataque de forma similar a la realizada por expertos con una mínima cantidad de información (posición de salida, acción, posición de llegada). Se debe tener en cuenta que la red no contaba con dos informaciones claves para los técnicos y entrenadores a la hora de realizar esta clasificación, la velocidad y la oposición de los rivales.

Por otra parte, Cabrera y González (2019) presentaron un análisis de indicadores de rendimiento en hándbol masculino a través de RNA. En este caso, a partir de la metodología observacional se analizaron 87 partidos de los campeonatos de Europa (2016 y 2018). El total de la información de la base de datos se distribuyó en 74 variables agrupadas en los siguientes grupos: 1) identificación; 2) ofensivo – eficacia de lanzamientos; 3) faltas – calidad de juego; 4) eficacia de ataque – contraataque; y 5) eficacia del portero. El análisis se realizó a través de *machine learning* con el modelo Perceptrón Multicapa (MLP) para RNA. Como resultados destacados se observó que las variables más importantes para la predicción del

rendimiento fueron la eficacia del portero, los lanzamientos recibidos, goles, eficacia de ataque, paradas del portero, eficacia del lanzamiento y las pérdidas de posesión.

Un punto destacado de nuestra propuesta de trabajo es la utilización y combinación del análisis técnico-táctico con aspectos relacionados con la condición física. En estos momentos trabajamos con la aplicación de modelos al ámbito de la fuerza y la coordinación con la idea de simplificar modelos complejos que puedan reducir las dimensiones y adaptar las propuestas de evaluación y entrenamiento. Un ejemplo en desarrollo es la utilización de instrumentos de inteligencia artificial para establecer modelos de análisis del juego que puedan predecir el rendimiento de futbolistas y equipos en su propio y único contexto de competición (cada equipo posee particulares circunstancias físicas, técnicas, tácticas y contextuales). Concretamente, junto a clubes de primera división se estudian los patrones presentes en las actividades de entrenamiento y juego a partir de los diferentes datos aportados por el monitoreo de los jugadores con GPS (desplazamientos, aceleraciones, distancias recorridas, etc.) y por estadísticas de partido (que incluyen aspectos técnicos y tácticos, como pases, remates, etc.). Se trabaja en la búsqueda de modelos y algoritmos de inteligencia artificial generados que sean de utilidad para (1) clasificar jugadores y eventos en ciertas categorías, (2) determinar la importancia relativa que diversos factores poseen en el rendimiento, (3) anticipar riesgos de lesiones y (4) brindar información relevante a entrenadores y preparadores físicos que facilite la toma de decisiones.

Consideraciones finales

En Uruguay, la incorporación de la perspectiva de la complejidad ha venido realizándose de forma progresiva en la enseñanza e investigación del deporte de rendimiento a nivel universitario. Actualmente la enseñanza e investigación en aspectos como la técnica, la táctica y la preparación física tienen los sistemas complejos como punto de partida, y está presente a lo largo de los diferentes niveles de formación: técnico deportivo, licenciado, magíster. Un punto relevante es el avance en los procesos de investigación que han ido incorporando herramientas de análisis no lineales que abordan la complejidad y la especificidad del contexto de juego y entrenamiento, con especial relevancia de los instrumentos basados en la inteligencia artificial.

Referencias

- Anguera, M. T., Blanco, Á., Losada, J. L., & Hernández Mendo, A. (2000). La metodología observacional en el deporte: Conceptos básicos. *efdeportes.com*, 24. <http://www.efdeportes.com/efd24b/obs.htm>
- Anguera, M. T., Camerino, O., Castañer, M., & Sánchez, P. (2014). Mixed methods en la investigación de la actividad física y el deporte. *Revista de Psicología del Deporte*, 23(1), 123-130.

- Anguera, M. T., & Hernández Mendo, A. (2013). La metodología observacional en el ámbito del deporte. *E-Balonmano. com: Revista de Ciencias del Deporte*, 9(3), 135-160.
- Balagué, N., Torrents, C., Hristowsky, R., Davids, K., & Araújo, D. (2013). Overview of complex systems in sport. *Journal of Systems Science and Complexity*, 26(1), 4-13.
- Balagué, N., & Torrents, C. (2011). *Complejidad y deporte*. Inde Publicaciones.
- Balagué, N., & Torrents, C. (2013). Unificar las ciencias del deporte. *Apunts Educación física y deportes*, (114), 7-22.
- Botejara, J., & González, A. (2014). *Puesta en práctica de las tendencias teóricas de entrenamiento en deportes colectivos. Preparación y competición, selección masculina absoluta de handball* [Presentación] XV encuentro nacional de investigadores en educación física y X internacional de investigadores en educación física, 2014, ISEF, Montevideo.
- Cabrera, I. & González-Ramírez, A. (2019) *Análisis de los indicadores de éxito en handball masculino a través de redes neuronales artificiales*. [Presentación en Actas] Ensenada: Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Departamento de Educación Física. En Memoria Académica. http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.12965/ev.12965.pdf.
- Camerino, O., Castañer, M., & Anguera, M. T. (Eds.). (2012). *Mixed methods research in the movement sciences: Case studies in sport, physical education and dance*, Routledge.
- Castañer, M., Camerino, O., & Anguera, M. T. (2013). Métodos mixtos en la investigación de las ciencias de la actividad física y el deporte. *Apunts Educación física y deportes*, 112, 31-36. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2013/2\).112.01](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2013/2).112.01)
- De Pablo, M., Trejo, A., & González, A. (2019). Patterns of play to score goals in uruguayan professional football. *Ibero-American Journal of Sports and Exercise Psychology*, 14(2), 179-183.
- Dutt-Mazumder, A., Button, C., Robins, A., & Bartlett, R. (2011). Neural network modelling and dynamical system theory. *Sports medicine*, 41(12), 1003-1017.
- Espasandín, A. (2010). La táctica: Los deportes colectivos y su complejidad. *Revista Universitaria de la Educación Física y el Deporte*, 3, 10-17.
- Famose, J.-P. (1999). Cognición y rendimiento motor. INDE.
- Flórez, R., & Fernández, J. M. (2008). *Las redes neuronales artificiales: Fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas*. Netbiblo.
- González, A., Bermúdez, G., Martínez, I., & Chiroso, L. J. (2017). Eficacia de los porteros en los Juegos ODESUR y Campeonato Panamericano de

- Balonmano Mayores Masculino 2014. *Apunts. Educación física y deportes*, (130), 95-105. [http://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2017/4\).130.08](http://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2017/4).130.08)
- González, A., & Bermúdez, G. (2016a). *Análisis de precisión de las acciones técnico-tácticas deportivas. Desarrollo de un instrumento observacional para voleibol playa*. [Presentación] XVI Encuentro Nacional y XI internacional de investigadores en Educación Física, 2016, ISEF, Montevideo.
- González, A., & Bermúdez, G. (2016b). *Redes neuronales artificiales aplicadas al análisis táctico del deporte*. [Conferencia] Congreso de Punta, Punta del Este.
- González, A., Botejara, J., Puñales, L., Trejo, A., & Ruy, E. (2013). Análisis de la finalización del ataque en partidos igualados de balonmano de alto nivel mediante coordenadas polares. *E-Balonmano.com: Revista de Ciencias del Deporte*, 9(2), 71-89.
- Grunz, A., Memmert, D., & Perl, J. (2012). Tactical pattern recognition in soccer games by means of special self-organizing maps. *Human Movement Science*, 31(2), 334-343. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.02.008>
- Hernández Moreno, J., & Rodríguez, J. P. (2004). *La Praxiología motriz: Fundamentos y aplicaciones*. INDE.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.a ed.). McGraw-Hill Education.
- Jäger, J. M., & Schöllhorn, W. I. (2012). Identifying individuality and variability in team tactics by means of statistical shape analysis and multilayer perceptrons. *Human Movement Science*, 31(2), 303-317. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2010.09.005>
- Kempe, M., Grunz, A., & Memmert, D. (2015). Detecting tactical patterns in basketball: Comparison of merge self-organising maps and dynamic controlled neural networks. *European Journal of Sport Science*, 15(4), 249-255. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.933882>
- Martín, R., & Lago, C. (2005). *Deportes de equipo: Comprender la complejidad para elevar el rendimiento*. INDE Publicaciones.
- Memmert, D. (2015). *Teaching tactical creativity in sport: Research and practice*. Routledge.
- Ministerio de Turismo y Deporte (2014). *Plan Nacional Integrado de Deporte de Uruguay 2012-2018*.
- Morante, J. C. (2004). La valoración de la eficacia técnica en el deporte. *Rendimientodeportivo.com*, 9. <http://www.rendimientodeportivo.com/N009/Artic044htm>
- Morin, E. (1990). *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa.
- Opizzo, G., González, A. (2022). *Avances en la implementación del Espacio de Formación Integral en el ámbito de deporte de rendimiento en el CURE*. XIX

- Encuentro Nacional XIV Internacional de Investigadores Educación Física V
Encuentro Nacional de Extensión en Educación Física, 2022, Montevideo.
- Parlebas, P. (2001). *Juegos, deportes y sociedades: Léxico de praxiología motriz*. Paidotribo.
- Perl, J. (2002). Game analysis and control by means of continuously learning networks. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 2(1), 21-35.
- Perl, J., Grunz, A., & Memmert, D. (2013). Tactics analysis in soccer—An advanced approach. *International journal of computer science in sport*, 12, 33-44.
- Perl, J., Tilp, M., Baca, A., & Memmert, D. (2013). Neural networks for analysing sports games. En T. McGarry, P. O'Donoghue, & J. Sampaio (Eds.), *Routledge Handbook of Sports Performance Analysis* (pp. 237-247). Routledge.
- Rein, R., & Memmert, D. (2016). Big data and tactical analysis in elite soccer: Future challenges and opportunities for sports science. *SpringerPlus*, 5(1).
<https://doi.org/10.1186/s40064-016-3108-2>
- Riera, J. (1995). Estrategia, táctica y técnica deportivas. *Apunts Educación Física y Deportes*, 39, 45-56.
- Schrapf, N., & Tilp, M. (2013). Action sequence analysis in team handball. *Journal of Human Sport and Exercise*, 8(Proc3), S615-S621.
<https://doi.org/10.4100/jhse.2013.8.Proc3.07>
- Uruguay (2019). Ley N°19828 de 26 de septiembre de 2019. *Régimen de fomento y protección del deporte*. <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/19828-2019>