

La cibernética en las ciencias del deporte, la teoría del entrenamiento y la periodización deportiva: su evolución, desarrollo y perspectivas

Cybernetics in Sports Science, Training Theory and Sports Periodization: Its Evolution, Development, and Prospects

Cibernética na ciência do esporte, teoria do treinamento e periodização esportiva: sua evolução, desenvolvimento e perspectivas

Juan Manuel García-Manso¹
Pablo Arriaza-Marholz²
Camilo Andrés García-Torres³
Carlos Alberto Agudelo-Velásquez⁴

- ¹ Doctor en Ciencias de la Actividad Física. Departamento de Educación Física, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España. Correo electrónico: jgarciamanso@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4360-3384
- ² Licenciado en Psicología. Laboratorio de Investigación de la Actividad Física y el Deporte, Universidad de Playa Ancha, Chile. Correo electrónico: pablo.arriaza@alumnos.uv.cl
ORCID: 0000-0002-8972-7083
- ³ Magíster en Motricidad y Desarrollo Humano. Instituto Universitario de Educación Física y Deporte, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: camilo.garcia@udea.edu.co
ORCID: 0000-0003-2576-8895
- ⁴ Doctor en Innovación Didáctica y Formación del Profesorado. Instituto Universitario de Educación Física y Deporte, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: carlosa.agudelo@udea.edu.co
ORCID: 0000-0001-6980-3168

© Autores.



Esta obra está bajo la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0

Como referenciar

García-Manso, J. M., Arriaza-Marholz, P., García-Torres, C. A., y Agudelo-Velásquez, C. A. (2023). La cibernética en las ciencias del deporte, la teoría del entrenamiento y la periodización deportiva: su evolución, desarrollo y perspectivas. *Educación Física y Deporte*, 42(1), 1-35. <https://doi.org/10.17533/udea.efyd.e351716>

RESUMEN

Este texto ofrece un relato cronológico del surgimiento, en el marco de la antigua Unión Soviética, de la cibernética en el entrenamiento y la periodización deportiva, y analiza los acontecimientos y aportes que condujeron a la incorporación de esta ciencia al deporte. Dicho proceso resultó apasionante y brillante para muchos, pero también incómodo para otros, e incluso hizo tambalear algunos de los fundamentos científicos de la entonces Unión Soviética. Sin embargo, parece claro que el proceso terminó convirtiéndose en la base de algunas de las ciencias más importantes del entorno deportivo, un apoyo fundamental a las teorías del aprendizaje deportivo, un elemento fundamental de la biomecánica y, en general, de todas las ciencias que pretenden entender y fundamentar la preparación de atletas de rendimiento. Además, el texto permite entender algunos de los principios y leyes en los que se sustenta el entrenamiento deportivo, muy especialmente, el de alto rendimiento. El documento abre una línea de análisis e investigación que podría explicar, en buena parte, los actuales procesos de programación y periodización del entrenamiento deportivo.

PALABRAS CLAVE: cibernética, entrenamiento deportivo, informática, matemáticas, periodización.

ABSTRACT

Here we provide a chronological account of the advent, within the framework of the former Soviet Union, of cybernetics in sports training and periodization, and discuss the events and

insights leading to the incorporation of this science into sport. Many found such a process exciting and brilliant, yet uncomfortable for others, and it even shook some of the scientific foundations of the then Soviet Union. It seems clear, however, that the process eventually became the basis of some of the most important sciences in the field of sports, a fundamental support of the theories of sports learning, a fundamental element of biomechanics and, broadly speaking, of all sciences aiming to understand and support the preparation of high-performance athletes. The text also provides an understanding of some of the principles and laws on which sports training, especially high-performance training, is based. It is our belief that this work opens a line of analysis and research that could explain, to a large extent, the current processes of programming and periodization of sports training.

KEYWORDS: cybernetics, sports training, computer science, mathematics, periodization.

RESUMO

Neste artigo, apresentamos um relato cronológico do advento, na antiga União Soviética, da cibernética no treinamento e na periodização esportiva, e analisamos os eventos e as percepções que levaram à incorporação dessa ciência no esporte. Muitos acharam esse processo estimulante e maravilhoso, mas foi incômodo para outros e até abalou alguns dos fundamentos científicos da extinta União Soviética. Parece claro, no entanto, que o processo acabou se tornando a base de algumas das ciências mais importantes no campo dos esportes, um suporte fundamental das teorias de aprendizagem esportiva, um elemento fundamental da biomecânica e, em geral, de todas as ciências que visam entender e apoiar a preparação de atletas de alto desempenho. Além disso, o texto oferece uma compreensão de alguns dos princípios e leis nos quais se baseia o treinamento es-

portivo, especialmente o de alto desempenho. Acreditamos que este trabalho abre uma linha de análise e pesquisa que pode explicar, em grande parte, os processos atuais de programação e periodização do treinamento esportivo.

PALAVRAS-CHAVE: cibernética, treinamento esportivo, ciência da computação, matemática, periodização.

INTRODUCCIÓN

Cada vez son más comunes las opiniones que cuestionan las estrategias clásicas utilizadas en el *alto rendimiento deportivo* para el diseño y organización de los estímulos de entrenamiento para competir eficazmente en las competiciones más importantes. En este contexto, la cibernética ha hecho propuestas que se apoyan en la información emergente, la revisión permanente de la estrategia establecida, la informática y la inteligencia artificial. En este trabajo se revisa cómo fue apareciendo y desarrollándose en el campo del deporte esta nueva forma de plantear (programar) y organizar (periodizar) el entrenamiento.

El término *cibernética* fue utilizado por primera vez por Platón (427-347 a. C.) en *Las Leyes*, refiriéndose a «los principios de la gestión de personas». El término proviene del griego *κυβερνητική* (*kybernētiké*) que significa «gobierno», es decir, todo lo relacionado con *κυβερνάω* (*kybernáō*), que significa «controlar, navegar o gobernar». Siglos más tarde fue introducido en el campo de la ciencia por el físico y matemático francés André-Marie Ampère (1775-1836) en su obra *Essai sur la philosophie des sciences*, donde define a la cibernética como la ciencia de gobernar para el beneficio a los ciudadanos (Ampère et al., 1856).

Ya en el siglo XX, Gregory Bateson (1904-1980), en su libro *Steps to an Ecology of Mind*, identifica dos grandes acontecimientos que, en su opinión, cambiaron el mundo: el Tratado de

Versalles como precedente de la traición política internacional y el surgimiento de la cibernética (Bateson, 1972). También en este siglo el británico Anthony Stafford Beer (1926-2002) describió la cibernética como la ciencia de la organización eficaz (Beer, 1959) y Gordon Pask (1928-1966) amplió esta definición al incluir el flujo de información dentro de cualquier medio o sistema (Pask, 1961). Una definición más filosófica de la cibernética, propuesta en 1956 por el matemático francés Louis Pierre Couffignal (1902-1966) es «el arte de asegurar la eficacia de la acción» (Couffignal, 1969).

Hoy en día la cibernética se entiende como algo digital, mecánico o biológico que procesa, responde y cambia, o puede cambiar, para realizar mejor una tarea determinada. Uno de los logros más importantes de la cibernética ha sido el desarrollo y uso generalizado del método de modelado matemático en el estudio de sistemas complejos. Esto permite realizar experimentos no con modelos físicos reales de los objetos bajo estudio, sino con su descripción matemática en forma de programas para el estudio de cada tarea específica.

La cibernética contemporánea comenzó en los años 40 del siglo XX como un estudio interdisciplinario que vinculaba los campos de los sistemas de control, la teoría de redes eléctricas, la ingeniería mecánica, el modelado lógico, la biología evolutiva, la neurociencia y la teoría general de sistemas propuesta por el biólogo y filósofo austriaco Karl Ludwig von Bertalanffy (1989) (1901-1972). En mayo de 1942, se celebró el «Cerebral Inhibition Meeting» sobre cibernética auspiciado por la fundación Macy, antecedente de las Conferencias de Macy que se iniciaron en 1946 por iniciativa de Lawrence Kelso Frank (1890-1968) y Frank Fremont-Smith (1895-1974) y que se mantuvieron de forma regular hasta 1953 (Tudico, 2012).

El reconocimiento de la cibernética como disciplina científica corresponde principalmente al matemático estadounidense Norbert Wiener (1894-1964) tras su participación en un congre-

so sobre análisis armónico celebrado en Nancy, Francia, evento organizado por el colectivo Nicolas Bourbaki y el matemático francés de origen polaco Szolem Mandelbrojt (1899-1983). Por su participación en tal evento, al profesor se le ofreció escribir sobre el carácter unificador de esta área de las matemáticas aplicadas, donde se introduce el neologismo *cibernético* (Wiener, 1948).

A esta contribución de Wiener (1948), se añaden otras como la del psiquiatra inglés William Ross Ashby (1903-1972), el neurofisiólogo estadounidense Warren Sturgis McCulloch (1898-1969), el matemático inglés Alan Mathison Turing (1912-1954), el fisiólogo mexicano Arturo Rosenblueth Stearns (1900-1970), el matemático chino Qian Xuesen (1911-2009), los matemáticos soviéticos Andréi Nikoláievich Kolmogórov (1903-1987) y Víktor Mijáilovich Glushkov (1923-1982), el biólogo Piotr Kuzmich Anokhin (1898-1974) o el neurofisiólogo Nikolái Aleksándrovich Bernstein (1896-1966). Cabe destacar que estos dos últimos científicos soviéticos, como veremos más adelante, están íntimamente ligados a las ciencias del deporte y, por lo tanto, al origen de la *cibernética deportiva*.

Originalmente, la cibernética se dividió en tres ramas: ciencias cognitivas, ciencias del movimiento e inteligencia artificial. Los dos principios en los que se sustentan las diferentes ramas de la cibernética son la *caja negra* y la *ley de retroalimentación*. El principio de la *caja negra* fue introducido por el especialista en cibernética y pionero en el estudio de los sistemas complejos, Ashby (1957), cuando afirmaba que estudiar el comportamiento de un sistema al tiempo que permite evaluar cómo reacciona a las influencias externas y abstraerse de su estructura interna. La *ley de retroalimentación* radica en manipular las señales de entrada, permitiéndonos observar un cierto resultado de la operación del sistema en la salida (Clemson, 1991).

La cibernética en la URSS stalinista

Para comprender la cibernética deportiva es necesario comprender cómo se formó y se desarrolló la cibernética en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). En su origen, la cibernética, junto con otras áreas científicas como la relatividad general o la genética, llegó a ser calificada de doctrina reaccionaria y pseudocientífica que desempeñaba el papel de fiel sirviente del imperialismo reaccionario (Yusupov, 2008). Sin embargo, pese al ambiente hostil que rodeaba a la cibernética, algunos científicos relevantes no dudaron en apoyarla y promoverla.

El matemático Mijaíl Alekséievich Lavréntiev (1900-1980), primer director de la División Siberiana de la Academia de Ciencias de la Unión Soviética, pese a la dominante oposición oficial, escribió a Stalin planteándole la necesidad de acelerar la investigación en el campo de la tecnología informática y las perspectivas para el uso de la computadora, mostrándose partidario del desarrollo y apoyo de la cibernética (Osipov, 2001). Esta área del conocimiento, inicialmente prohibida por el gobierno soviético, fue posteriormente rehabilitada, surgiendo de una mezcla de componentes científicos y políticos que la convirtieron en una herramienta útil para promover los objetivos del comunismo. Así, la cibernética pasó de ser una ciencia propiamente dicha (ciencia pura) a un híbrido con fuerte influencia política que limitaba su validez científica (Gillespie, 1974).

En la primera mitad de la década del cincuenta del siglo XX, la percepción que aún se vivía respecto a la cibernética en la Unión Soviética era todavía bastante negativa. No obstante, tras la muerte de Iósif Vissariónovich Dzhughashvili, «Iósif Stalin», (1878-1953), las amplias reformas emprendidas por su sucesor, Nikita Serguéievich Jruschov (1894-1971), permitieron que la cibernética se legitimara como una *ciencia importante y seria*, dándose cuenta del potencial que poseía.

Una figura clave en la transición fue el coronel Anatoly Ivanovich Kitov (1920-2005). A principios de la década de 1950 trabajó como representante militar en la Oficina de Diseño Especial 245, donde se estaba diseñando la primera computadora soviética y donde conoció los trabajos de Wiener sobre cibernética que lo llevaron a tratar de popularizar la idea de la automatización del control. En 1955, junto a los matemáticos soviéticos Sergéi Lvóvich Sóbolev (1908-1989) y Alekséi Andréievich Lyapunov (1911-1973), Kitov, publicó *Las características principales de la cibernética* que tanto influyó en el desarrollo de la cibernética en la URSS (Sóbolev et al., 1955).

En 1959, Kitov envió una carta a Jruschov con una propuesta para construir una red informática para mejorar el sistema de gestión de la economía nacional que, al parecer, influyó en las posteriores decisiones del Comité Central del Partido Comunista de la Unión Soviética (PCUS). Sin embargo, Kitov no quedó satisfecho con los resultados y seis meses después envió una nueva misiva al Kremlin, proponiendo un programa detallado para la construcción de una red unificada, pero el escrito fue rechazado al contener críticas directas sobre la gestión del Ministerio de Defensa y Kitov fue despedido. Ese mismo año, Axel Ivánovich Berg (1893-1979), Lyapunov y el propio Kitov hicieron un informe en una reunión del *Presídium*, fruto del cual se tomó la decisión de establecer un Consejo Científico sobre Cibernética presidido por Berg (Berg et al., 1959). A partir de este momento comenzaron a proliferar laboratorios, institutos y departamentos de cibernética en toda la URSS, cuya consecuencia fue la aparición de una generación de nuevos cibernéticos (teóricos y prácticos, ingenieros, físicos, matemáticos y gerentes) que dieron un importante impulso a la ciencia emergente en la URSS.

La cibernética y las ciencias aplicadas al deporte

Para hablar de cibernética y deporte es necesario empezar destacando a los científicos rusos y soviéticos que, a finales del siglo XIX y en la primera mitad del siglo XX, hicieron una contribución significativa a esta rama de la ciencia, tan desconocida y en ocasiones rechazada y desprestigiada (Fedorov, 2007). Nos referimos concretamente al biólogo y fisiólogo Piotr Kuzmich Anokhin y al neurofisiólogo Nikolái Aleksándrovich Bernstein.

Piotr Kuzmich Anokhin (1898-1974)

Conocido por su teoría de los sistemas funcionales y el concepto de sistemagénesis, Anokhin (1964) se interesa por el campo de la cibernética desde 1932, es decir, tres lustros antes de la aparición de los trabajos de Wiener, estableciendo la existencia de retroalimentación en los sistemas funcionales de los organismos vivos. En ese año, Anokhin, en colaboración con el personal del Departamento de Fisiología de la Universidad Estatal de Nizhni Nóvgorod, realizó numerosos experimentos con anastomosis heterogéneas de nervios, descubriendo la existencia, en el organismo de diferentes animales, de sistemas funcionales en los que se verifica el principio de retroalimentación.

En 1935, Anokhin introdujo el concepto de *aferenciación sancionadora* (desde 1952 *aferenciación inversa* y, más tarde, en cibernética, *retroalimentación*). Estos hallazgos fueron publicados en una monografía colectiva del Departamento de Fisiología del Instituto Médico Gorky y también presentados en un informe que Anokhin, como director del departamento, realizó y publicó ese mismo año en el XV Congreso Fisiológico Internacional en Moscú.

En el prefacio de la monografía colectiva *El problema del centro y la periferia en la fisiología de la actividad nerviosa*, Anokhin (1935) da la primera definición de un sistema funcional planteando las leyes cibernéticas de la actividad de los seres

vivos. Una característica de la teoría del sistema funcional era la combinación de enfoques macro y micro para el estudio de las funciones biológicas. Al poseer arquitecturas operativas específicas, incluidos ciertos diagramas de bloques, hace posible estudiar la actividad de sistemas funcionales de cualquier grado de complejidad que van desde la autorregulación de las funciones vegetativas en el cuerpo hasta la actividad intencionada de animales y humanos altamente organizados.

Entre el 28 de junio y el 4 de julio de 1950, durante la Reunión Conjunta de la Academia de las Ciencias de la URSS y la Academia de las Ciencias Médicas, conocida como *sesión pavloviana*, se criticaron con extrema dureza las orientaciones científicas que, desde la óptica del materialismo dialéctico, se apartaban de las líneas marcadas en el campo de la biología por Iván Petróvich Pávlov (1849-1936). Entre los científicos purgados estaban los fisiólogos León Abgárovich Orbeli (1882-1958), considerado el *padre* de la fisiología del ejercicio en la URSS, Iván Beritashvili (1885-1974), Alexei Dmitrievich Speransky (1887-1961), Vladímir Solomónovich Farfel (1904-1979), Nikolái Vasílievich Zimkin (1899-1989), Georgy Karlovich Birzin (1887-1942), Alekséi Nikoláievich Krestovnikov (1885-1955) y el neurofisiólogo y biomecánico Nikolái Aleksándrovich Bernstein (1896-1966). Nótese que muchos de ellos fueron personas especialmente relevantes para las ciencias del deporte en la URSS de mediados del siglo XX (Alexandrov, 1993).

Como resultado de estos directos y duros ataques, Anokhin, al igual que el resto de sus colegas señalados, fue retirado del trabajo en el Instituto de Fisiología y enviado a Riazán, Rusia, donde hasta 1952 trabajó como profesor en el Departamento de Fisiología del Instituto Médico. No obstante, a pesar de que en la *sesión pavloviana* su teoría sobre los sistemas funcionales suscitó duras críticas, Anokhin no desistió y siguió trabajando en ella y justificó el concepto de sistemagénesis como patrón general del proceso evolutivo de los seres vivos (Anokhin, 1984).

Nikolái Aleksándrovich Bernstein (1896-1966)

Bernstein, hombre clave para cibernética en general y para la cibernética del deporte en particular, por su valiosa influencia en las ciencias del deporte y el entrenamiento deportivo, llegó a ser considerado el *padre* del aprendizaje y del desarrollo motor o la biomecánica del deporte (Bernstein, 1926). El propio Wiener, tras conocerlo durante su visita a Moscú en 1960 para realizar una serie de conferencias y conocer sus trabajos sobre el control motor, lo reconoció como un pionero clave en la rama teórica de la cibernética que se basa en un modelado de intercambios de información y principios de interacción que se relaciona más con el funcionamiento de todo el sistema que con el análisis de los componentes.

En esa línea, Bernstein contribuyó a esta ciencia con la descripción de la retroalimentación neuromuscular. En sus investigaciones había analizado y cuestionado parte de la teoría de los reflejos creada por Pávlov al analizarla desde un punto de vista diferente, ya que ampliaba el concepto pavloviano del aprendizaje. Bernstein planteaba que este proceso era tanto el resultado de la actividad como de la exploración espontánea de las posibles acciones que podía realizar el sujeto según el contexto. Para ello se centró en el análisis de la acción y la consecución de objetivos y no en un encadenamiento de reflejos.

Bernstein estudió medicina, practicó neuropsicología en Moscú y estudió matemáticas y música antes de ser llamado a unirse al Instituto Central del Trabajo (CIT) en 1922, y al Instituto de Cultura Física de Moscú. Estas instituciones habían sido creadas por el Estado soviético para centrarse en el estudio de los movimientos de los trabajadores, para hacerlos más eficientes y conseguir aumentar la producción y apoyar el desarrollo de los deportistas más destacados de la URSS, aportando avanzadas y novedosas propuestas de entrenamiento.

Bernstein (1964) entendía el movimiento como el espejo con el que se podía ver y entender el funcionamiento del cerebro. Esto lo llevó a criticar la teoría de Pávlov en el libro *Estudios contemporáneos sobre la fisiología del sistema nervioso* (Bernstein, 2003). Este trabajo, aunque escrito durante los años 30, no vio la luz hasta su fallecimiento tres décadas más tarde, por respetar la muerte de Pávlov acontecida pocos meses antes de su finalización y de la celebración de un debate público sobre los posicionamientos particulares de cada uno. En realidad, este texto de Bernstein no era tanto una crítica a las obras y posicionamientos de Pávlov, como el resultado de una propuesta que completaba y ampliaba sus posicionamientos.

Siguiendo las ideas desarrolladas por Iván Mijáilovich Séchenov (1829-1905), Bernstein se dio cuenta de que cuando el sistema nervioso genera una orden para comenzar cualquier movimiento, nunca lo deja sin control durante el resto de la ejecución, incidiendo constantemente y, si es necesario, corrigiéndolo inmediatamente de forma continuada. En 1928 llamó a este fenómeno *corrección sensorial*, concepto fundamental en el que se sustenta la cibernética. Este nivel de evolución aumenta las posibilidades de éxito del organismo en la lucha por la supervivencia (Bernstein, 1947). Sin embargo, este posicionamiento conceptual no fue admitido por Pávlov, quien criticó la teoría de Bernstein a pesar de que sus propuestas no destruían ni negaba la esencia de sus enseñanzas, sino que las hacía más precisas, las profundizaba e, incluso, podemos decir que las mejoraba, sus planteamientos eran evidentemente visionarios como se entiende en textos posteriores (Bongaardt et al., 2000). En cualquier caso, este acontecimiento le creó a Bernstein enormes problemas que condicionaron el futuro de su carrera científica y profesional. En la ya citada reunión conjunta de la Academia de las Ciencias de la URSS y la Academia de las Ciencias Médicas de 1950, Bernstein fue acusado de desviacionista y su trabajo y postulados fueron puestos en entredicho.

Cibernética vs. entrenamiento y periodización deportiva

Cabe señalar que el origen de la cibernética del deporte es la teoría del entrenamiento deportivo como disciplina teórica y práctica, basada en la aplicación e implementación de métodos matemáticos que llegó a configurarse como un área independiente de conocimientos teóricos y prácticos sobre el deporte. La implementación de este modelo, así como su revisión periódica hacia un nivel cualitativamente diferente, estuvo vinculada a una serie de circunstancias de las que hay dos especialmente significativas: 1) la información continua y precisa y la retroalimentación fiable que actúa sobre los cambios en el sistema controlado (atleta) y su dirección a lo largo de su proceso (entrenador y equipo técnico); 2) el procesamiento rápido y preciso de la información recibida y la elección de la opción más exitosa para realizar ajustes en el siguiente paso del programa de entrenamiento.

Para que este complejo proceso sea eficiente es necesario que se den las siguientes circunstancias:

- Descripción precisa y completa y, a ser posible, cualitativa de la actividad motriz para determinar los principales factores que condicionan el rendimiento en la modalidad que se desea entrenar.
- Construcción de un modelo inicial de intervención que refleje, con base en criterios objetivos, las principales características del sistema sobre el que se va a intervenir.
- Pronóstico del posible resultado deportivo que se pretende alcanzar al final del ciclo planificado.

Origen de la cibernética del deporte

Para hablar del origen de la cibernética deportiva hay que citar a Lyapunov y las dos conferencias que sobre este tema tuvieron lugar en 1965 y 1968. Lyapunov fue un matemático ruso, miembro de la Academia de Ciencias de la Unión Soviética (1964),

considerado uno de los principales fundadores de la cibernética soviética. A fines de la década del cincuenta del siglo XX formuló las principales direcciones del desarrollo de la cibernética, teniendo en cuenta las computadoras, la programación y otras áreas de la ciencia que se desarrollaron en las décadas siguientes.

Entre 1954 y 1964, Lyapunov organizó y dirigió un seminario sobre cibernética en la Universidad Estatal de Moscú. También desarrolló una organización jerárquica de los procesos vitales del organismo en partes y procesos elementales. Desde 1958, supervisó la publicación de la colección «Problemas de la cibernética», que corresponde a la serie de libros titulados *Cibernética en monografías*. Y fue el encargado de poner en marcha las primeras conferencias sobre cibernética deportiva (1965 y 1967) que fueron claves para el desarrollo de esta área de las ciencias del deporte.

Primera Conferencia de Ciencias y Deportes de 1965

Alrededor de 700 especialistas participaron en la conferencia, en la que se presentaron 120 informes incluyendo los trabajos de destacados expertos en las ciencias del deporte soviético de la época, pertenecientes a los campos de la biomecánica, bioquímica, morfología y fisiología del deporte, ingenieros, matemáticos, entrenadores y profesores de educación física, como Vladímir Mijáilovich Zatsiorsky, Nikolái Ivánovich Volkov, Vladímir Solomónovich Farfel, Sergei S. Kislitsyn, Vladímir Viktórovich Rosenblatt, Ígor Pávlovich Rátov, Dmitri Dmítrievich Donskói, Lev Albertovich Vainshtein, Yuri Vitali Verkhoshansky, entre otros (Timme et al., 2019).

Especialmente relevantes fueron los trabajos presentados por Volkov sobre el control de procesos bioquímicos durante el trabajo muscular mediante ecuaciones cinéticas (Volkov, 1965), y el propuesto por Kislitsyn (1965) sobre el modelo matemático

que describía los procesos de fatiga y reposo que tienen lugar en el músculo durante el ejercicio.

El objetivo de las jornadas fue desarrollar y proponer enfoques matemáticos para el análisis y la gestión de actividades deportivas, principalmente el desarrollo de modelos matemáticos en procesos fisiológicos vinculados al ejercicio; la simulación de la condición física en atletas (evaluación de condición física); el modelado de procesos de formación; la simulación de actividades deportivas, y los métodos de recogida y tratamiento de datos en el deporte. La conferencia inaugural «Papel de la investigación cibernética en la actividad motora humana» fue impartida por Bernstein y como consecuencia del éxito de la conferencia se creó el Comité Científico de toda la Unión sobre Problemas de Cibernética bajo la dirección del Consejo Científico y Metodológico de la Unión de Sociedades y Organizaciones Deportivas de la URSS. Este organismo funcionó hasta 1968, momento en que se disolvió la Unión de Sociedades y Organizaciones Deportivas y se formó el Comité Unión-Republicano para la Cultura Física y el Deporte bajo la dirección del Consejo de Ministros de la URSS.

Segunda Conferencia de Ciencias y Deportes de 1967

Esta segunda reunión fue organizada por el Comité Científico de Cibernética de la URSS, creado tras la conferencia anterior. La actividad se centró en los aspectos teóricos generales del uso potencial de las computadoras en el deporte, el análisis estadístico multivariante de los resultados de la investigación en el deporte y el uso de las computadoras para resolver problemas biomédicos. Participaron más de 100 especialistas en representación de 39 instituciones de 27 ciudades.

La conferencia de clausura fue dictada por Aleksándor Aleksándrovich Nóvikov (en 1945), jefe del Departamento de Teoría de la Educación Física del Centro Estatal de Educación Física, cen-

trándose en la creciente importancia de las matemáticas estaban alcanzando en la investigación sobre la teoría y la práctica de los deportes señalando las limitaciones que por entonces existían.

La celebración de esta segunda conferencia sobre cibernética deportiva puede considerarse como un hito histórico que da un significativo impulso a esta ciencia apareciendo en la URSS una línea de investigación en la comprensión y el desarrollo de las ciencias del deporte.

Escuela soviética de cibernética deportiva

A finales de la década del 60 del siglo anterior surge en la URSS una potente y novedosa línea de estudio de las ciencias del deporte, especialmente relacionada con la comprensión y el diseño científico de estrategias de entrenamiento y su organización, en la que destacan dos importantes escuelas que podemos situar, principalmente, en Rusia y Ucrania. Entre sus figuras más destacadas podemos señalar a los siguientes autores.

Vladimir Mijáilovich Zatsiorsky (1932-)

Destacado biomecánico ruso que inició su carrera deportiva en el Instituto de Cultura Física de Leópolis (Ucrania), pasando posteriormente a la cátedra de biomecánica del Instituto de Moscú hasta la disolución de la URSS en el verano de 1991, durante cuya última etapa trabajó en el Laboratorio de Kinesiología de la Universidad Estatal de Pennsylvania (EEUU).

Con relación a la cibernética, Zatsiorsky asistió a la primera conferencia Cibernética y Deporte de 1965 con el trabajo *Modelización de algunos aspectos del entrenamiento deportivo* (Zatsiorsky, 1965). Cuatro años más tarde, publicó la primera monografía existente sobre cibernética del deporte: *Cibernética, matemáticas, deportes* (Zatsiorsky, 1969), el cual desempeñó un

papel fundamental en la configuración de la perspectiva de los científicos del deporte en la URSS.

El libro presentaba diferentes ejemplos del uso de la cibernética y las matemáticas existentes en ese momento en los deportes, los cuales habían sido probados y validados en el campo práctico. Planteaba que la metodología del entrenamiento deportivo debería ser una ciencia exacta (Zatsiorsky, 1969). No obstante, dos décadas después, cuando la aplicación de las matemáticas en el deporte ya había recorrido un cierto camino, señaló el riesgo de su uso inadecuado y, más específicamente, de la estadística, destacando tres razones para ello, que siguen siendo relevantes en la actualidad: 1) la disponibilidad de computadoras; 2) los bajos requerimientos de los revisores, y 3) la escasa preparación que por entonces tenía el personal científico.

En consecuencia, en su opinión surgen dos peligros. El primero es la creencia de que los métodos matemáticos en sí mismos provocarían una revolución en las ciencias del deporte. El segundo es el falso o equívoco uso de los métodos actuales que sustentan la cibernética, centrándose solo en su terminología para la descripción de constructos ya conocidos desde hace mucho tiempo (Zatsiorsky, 1969).

Ígor Pávlovich Rátov (1929-2000)

Este biomecánico, hijo del destacado lanzador de disco Pável Vasilyevich Rátov (1896-1959) y padre del campeón soviético de sambo Vladislav Igórevich Rátov (1960-2010), escribió *Teoría del entorno de control artificial y características biomecánicas de la deportividad* (1971). Analizó los problemas de la enseñanza de los movimientos deportivos en *Mejora de los movimientos en los deportes* (1991) y *Métodos y medios para desarrollar habilidades técnicas en el deporte* (1990), y el uso y diseño de medios técnicos para el entrenamiento de los deportistas en *Simuladores deportivos* (1976) y *El uso de dispositivos facilitadores no tra-*

dicionales en el proceso del entrenamiento de atletas (1989). En su producción cuenta con 67 certificados de derechos de autor y patentes de invención y entre 1978 y 1981 trabajó como director del Instituto de Investigación de Cultura Física y Deportes de Rusia.

Yuri Vasilievich Verkhoshansky (1928-2010)

Es uno de los teóricos del entrenamiento y la periodización deportiva del siglo XX. A sus aportaciones al entrenamiento de la fuerza con el entrenamiento pliométrico o *shock training* (Verkhoshansky, 1977) y la periodización del entrenamiento o modelo de bloques (Verkhoshansky, 1990) hay que añadir sus aportaciones a la cibernética del deporte. Su vinculación a la ciencia surge desde sus primeros años de ejercicio profesional, siendo uno de los asistentes a la primera conferencia sobre «Cibernética y Deporte» celebrada en Moscú en 1965 y manteniendo un contacto directo con Bernstein hasta poco antes de su fallecimiento en 1966.

Hablar de Verkhoshansky y cibernética deportiva es hablar de Mel C. Siff (1944-2003), profesor de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Witwatersrand de Johannesburgo (República Sudafricana). En su extenso currículum destaca un doctorado en fisiología con especialización en biomecánica, una maestría en matemáticas aplicadas a la investigación del cerebro, una licenciatura con honores en matemáticas aplicadas y una licenciatura en ciencias. Su participación en Internet comenzó cuando ideó el concepto único de educación electrónica en la ciencia del deporte, que se apoyaba en los modelos de *análisis proposicional* iniciados por los antiguos filósofos griegos. En la actualidad el análisis proposicional se ha diseñado para identificar las ideas principales de una organización de acuerdo con su contenido lógico y conceptual, mediante el análisis de proposiciones.

En el campo deportivo, Siff destaca como entrenador especialista en el entrenamiento de la fuerza. Aunque su propuesta sobre entrenamiento de la fuerza se sustenta en el trabajo de bloques, hace un planteamiento novedoso en el que propone un enfoque objetivo-subjetivo que denominó *periodización cibernética*, donde las zonas de intensidad de la carga de trabajo se planifican con anticipación, pero su aplicación se iba ajustando y modificando según fuera necesario en función de la evaluación que realiza el entrenador durante su aplicación, así como por la retroalimentación del rendimiento que realiza el atleta con respecto a la percepción de esfuerzo y fatiga que tenía durante su entrenamiento (Siff, 1995).

Siff y Verkhoshansky (2000) discutieron el concepto de este modelo de periodización alternativo, en el que se utilizan varias formas de retroalimentación para tomar decisiones en los protocolos de entrenamiento. Los métodos de recopilación de información incluyen la *escala de esfuerzo percibido* (RPE), que el atleta calcula a partir de una escala del 1 al 5. Otro método para recopilar información es la *tasa de técnica*, a partir de la cual el entrenador puntúa la eficacia técnica del deportista en el momento de ejecución del gesto técnico que se quiere entrenar. Esto se puede hacer usando diferentes escalas de calificación previamente seleccionadas.

La información recopilada para la toma de decisiones incluía, entre otros parámetros, la frecuencia cardíaca, percepción del dolor, presión arterial, capacidad de trabajo en sentadilla, tiempo de reacción tiempo o la velocidad del atleta. Conceptualmente, Siff se apoyó en la *teoría de juegos* para elaborar su propuesta. Esta teoría proporciona un marco teórico útil que minimiza los problemas con el diseño de programas de prueba y error. Uno de los problemas más conocido y popular en la teoría de juegos es el que plantea John Forbes Nash Jr. (1928-2015), conocido como *equilibrio de Nash*, *equilibrio de Cournot* o *equilibrio del miedo* (Nash, 1950).

Dmitri Dmítrievich Donskói (1910-2007)

Este célebre alpinista y biomecánico deportivo ucraniano, también fue represaliado tras la *sesión pavloviana* de 1950 y enviado al exilio en Omsk, donde comenzó a trabajar como jefe del Departamento de Anatomía del Instituto de Cultura. Su propuesta se sustenta en el modelo de Nikolái Bernstein y las ideas de Piotr Fránzevich Lesgaft (1837-1909). En 1965 fue uno de los asistentes a la primera conferencia de cibernética del deporte celebrada en Moscú.

Los mayores logros metodológicos de Donskói en biomecánica fue desarrollar un concepto de construcción de movimientos vivos como objeto sociocultural basado en un enfoque sistémico-estructural, que llevó a la formulación de nuevos problemas como el estudio de los aspectos psicofisiológicos de las acciones motrices de un deportista y la formación de mecanismos reflexivos y psicosemánticos en la biomecánica pedagógica. La biomecánica pedagógica deportiva propuesta por Donskói (1958) surge de un enfoque sistémico-estructural que tiene su origen en la escuela científica de Bernstein, cuyo esquema de la estructura de los sistemas de movimiento se complementó con estructuras de retroinformación (redes neurales) que actúan como mecanismos de autocontrol de los movimientos (Donskói, 1985).

Desde este punto de vista, el concepto de biomecánica del movimiento fue aceptado como un medio de análisis (establecimiento del sistema en movimiento) y síntesis (identificación de sus estructuras biofísicas y psicomotoras). Así, se realizó la transición de la mecánica de los sistemas vivos a los *movimientos vivos*, lo que supone aceptar que los organismos vivos son capaces de autoorganización, autodesarrollo y autorregulación en las esferas perceptiva, motora e intelectual. Ello supone implementar la interpretación cibernética del funcionamiento de los sistemas vivos.

El principal objetivo del paradigma técnico y tecnológico de la biomecánica propuesta por Donskói fue asegurar la máxima eficiencia de los sistemas de control del movimiento, en los que el deportista era considerado como un «ser vivo en movimiento» (Donskói, 1968).

Valentín Petrovski (1922-2009)

Uno de los primeros en aplicar los métodos matemáticos y los principios de la cibernética en los deportes fue este exatleta y profesor del Departamento de Atletismo del Instituto de Educación Física de Kiev (Ucrania), conocido internacionalmente por ser un entrenador sumamente innovador, que alcanzó gran popularidad por los logros del mejor velocista soviético de la historia, Valeri Filíppovich Borzov (1949-), campeón olímpico de 100 y 200 metros de los juegos olímpicos de Múnich en 1972.

Tras la Segunda Guerra Mundial, Petrovski llegó a Kiev, donde, por indicación del entrenador ucraniano Volodymyr Yukhymovich Kozlovskiy (1920-2000), ingresó a la Escuela de Entrenadores y, posteriormente, se hizo cargo de muchos destacados atletas ucranianos. En la década de los 60 logró desarrollar un modelo de entrenamiento basado en criterios matemáticos en el que se incluían parámetros que obtenía del control médico, fisiológico y funcional del atleta (Petrovski, 1973).

En 1959 publicó su trabajo *Alternancia de trabajo y descanso en el entrenamiento deportivo* (Petrovski, 1959), basado en la escuela fisiológica ucraniana de Georgy Vladimírovich Folbort (1882-1960), alumno de Pávlov. Petrovski desarrolló una dirección científica que es fundamentalmente importante para el deporte de alto nivel, sentando las bases para la construcción racional de los programas de entrenamiento y las perspectivas por usar el método de intervalos para el desarrollo de las cualidades físicas más importantes: capacidades de velocidad y resistencia especial. La influencia de Petrovski en el Instituto de Kiev queda

reflejada en las aportaciones realizadas por Lobanovski en la preparación física de jugadores de fútbol profesional.

Valeri Vasílievich Lobanovski (1939-2002)

Gracias a los programas de entrenamiento desarrollados sobre criterios científicos, el equipo Dynamo de Kiev pudo lograr su mayor éxito del fútbol ucraniano ganando la Supercopa de Europa de 1975. Logró crear un exitoso e innovador equipo técnico en el que destacaron Anatoli Mijáilovich Zelentsov (1934- 2006), alumno de Petrovski y director del Centro de Investigación del Dynamo de Kiev, y Oleg Petrovich Bazílevich (1938-2018).

Por su metodología de trabajo, Lobanovski y su equipo son considerados unos de los fundadores de la cibernética deportiva. Hoy en día, los métodos matemáticos son utilizados por muchos clubes de fútbol y otros deportes de equipo, sin embargo, en los tiempos anteriores a la era de las computadoras, el sistema creado por la escuela científica desarrollada en el Dynamo de Kiev encontró una fuerte resistencia.

Es necesario destacar que Lobanovski había estudiado ingeniería. Como estudiante de una universidad técnica, utilizó fórmulas físicas para calcular la trayectoria de la pelota y calculó matemáticamente el punto en el que debe ser golpeada la pelota para que pudiera describir la trayectoria balística correcta en un lanzamiento de esquina (Arkadyev, 2009). Desde el comienzo de su carrera como entrenador, planteó la cuestión de crear modelos de entrenamiento y competición no solo para un jugador en concreto, sino para todo el equipo, ya que enfatizaba en el trabajo en equipo para lograr el éxito deportivo, aunque no se disponga de los mejores jugadores. Por ello, durante su etapa en el Dynamo, donde permaneció durante 16 temporadas, introdujo un componente científico en el trabajo de un club profesional de fútbol. Es de destacar que fue uno de los primeros entrenadores del mundo en utilizar un equipo para el análisis

de partidos y entrenamientos, algo que hoy en día, medio siglo después es habitual en los equipos profesionales de diferentes modalidades deportivas.

En enero de 1976 tuvo lugar la primera reunión de trabajo entre Lobanovski y el matemático soviético y pionero de la cibernética Víktor Mijáilovich Glushkov (1923-1982) en el Instituto de Cibernética de la Academia de Ciencias de la RSS de Ucrania. Debemos de tener en cuenta que Glushkov, ya citado, había reformulado los principios de arquitectura de computadoras propuesto por el matemático húngaro-estadounidense John von Neumann (1903-1957). Se da la circunstancia que Glushkov era muy aficionado al fútbol, lo que favoreció la colaboración entre ambas instituciones convirtiendo al deporte ucraniano en uno de los más relevantes en la cibernética del deporte durante esos años. Sin embargo, es necesario entender que la cooperación entre Lobanovski y Glushkov tuvo más el formato de consultas y asistencia de expertos entusiastas que el trabajo conjunto oficial del instituto académico y el centro científico creado por el Dynamo de Kiev. Los resultados de dicha cooperación se pueden identificar en las siguientes áreas: desarrollo de sistemas técnicos de gestión y seguimiento del juego; desarrollo de estadísticas específicas de fútbol; mejora de la efectividad del entrenamiento a través de la simulación del juego; simulación de táctica y estrategia de un partido de fútbol (Kolyada, 2020).

En esta línea, Zelentsov desarrolló un modelo para analizar el resultado de las acciones realizadas por el jugador durante el partido. El 18 de enero de 1984, Bazílevich (estudiante de posgrado de Zelentsov) defendió su tesis sobre la gestión del entrenamiento de jugadores de fútbol basada en la simulación del proceso de entrenamiento. Por primera vez en el fútbol se justificó el método de impacto selectivo de la carga sobre el organismo de los futbolistas, y se propusieron combinaciones de ejercicios técnicos y tácticos, cuya implementación conduce a efectos previamente determinados (Bazílevich 1983).

En la monografía *Táctica y estrategia en el fútbol*, Zelentsov, Lobanovski, Tkachuk y Kondratiev consideraron la gestión del fútbol desde el punto de vista de la cibernética y la teoría de juegos, como juego de coalición (Zelentsov et al., 1989). Años más tarde, en una monografía dedicada a modelar el entrenamiento en el fútbol, Zelentsov y Lobanovski (1985) anunciaron el surgimiento de la cibernética deportiva. Para ello, se consideró un partido de fútbol como la interacción de dos subsistemas de 11 elementos (jugadores) que interactuaban entre sí en un campo de fútbol donde se dan diferentes subespacios.

Para comprender y evaluar la forma y efectividad de juego los autores del trabajo filmaron diferentes partidos con 2 y 4 cámaras de video (voz e imagen) para posteriormente ser analizados. Las estrategias de juego, así como las acciones individuales de los jugadores, componían una matriz de hasta 1000 códigos (Zelentsov y Lobanovski, 1985). Los jugadores también fueron evaluados durante las sesiones de entrenamiento y partidos para determinar el número de acciones tácticas y técnicas, así como por el porcentaje de su éxito que mostraban en las mismas.

Víktor Nikoláievich Seluyanov (1946-2017)

Este especialista en el campo de la biomecánica, antropología y la cultura física para la salud, propuso un modelo especulativo (nivel lógico-verbal) y matemático. En 1979 defendió su tesis doctoral sobre las *Características inerciales de masa y su relación con las características antropométricas* en el Instituto de Antropología de la Universidad Estatal de Moscú. Ya en 1992 presentó una disertación para el título de doctor en Ciencias Pedagógicas con el título de «Métodos para construir el entrenamiento físico de atletas altamente calificados basados en modelos de simulación» que sorprendentemente fue rechazada.

No obstante, su principal y más fructífera línea de investigación fue la *adaptología deportiva*. En ella se proponen modelos

de simulación holísticos de procesos adaptativos agudos y crónicos. Los modelos de adaptación aguda los realiza a partir de información que obtiene de las fibras musculares, el sistema cardiovascular, el sistema respiratorio y el sistema nervioso central. Los modelos de procesos adaptativos a largo plazo los desarrolla a partir de los datos procedentes de las miofibrillas (hipertrofia), las mitocondrias en fibras musculares y miocardiocitos y las glándulas del sistema endocrino (Seluyanov, 2009).

Estos conceptos fueron la base para la propuesta de dos nuevas disciplinas: adaptología deportiva y adaptología deportiva y pedagógica, que fueron desarrolladas para la elaboración de métodos de entrenamiento a partir de criterios biológicos. La adaptología deportiva (ciencia del comportamiento holístico del organismo de los deportistas) es una estrategia científica que estudia los cambios morfológicos, bioquímicos, fisiológicos y biomecánicos del cuerpo de los atletas cuando realizan entrenamientos y acciones motoras competitivas, así como las consecuencias a largo plazo de la práctica deportiva. En su propuesta aplica las matemáticas para resolver problemas en los que el cambio de las variables se puede modelar en un continuo numérico y estudia el comportamiento holístico de los sistemas y órganos de un atleta en forma de procesos adaptativos que se observan en la competición y la recuperación, permitiendo determinar la variación de estos elementos en diferentes momentos, fases o intervalos específicos.

En estos modelos se presentan secuencias de gestión para seleccionar las estrategias más adecuadas para resolver problemas concretos, teniendo en cuenta el entorno, el estado de cada sistema y la capacidad del organismo, y así poder implementar un plan de capacitación que permita obtener los máximos resultados. Comprende las siguientes cinco etapas: 1) selección de un modelo conceptual y matemático que se ajuste al propósito de entrenamiento; 2) estudio de métodos de entrenamiento y selección de opciones racionales usando la simulación; 3) desa-

rollo de microciclos y su estudio en el curso de modelado desarrollado en la simulación; 4) planificación de la preparación, y 5) estudio y evaluación experimental de la eficacia de un programa de formación innovador.

Sobre la base de estos modelos de respuesta adaptativa, Seluyanov desarrolló programas de entrenamiento para los miembros de las selecciones nacionales de la URSS de diferentes deportes (sambo, judo, hockey sobre hielo, hockey sobre césped, fútbol, fútbol sala), gracias a los cuales esos deportistas ganaron medallas en competiciones nacionales e internacionales.

Cibernética deportiva internacional

Si bien asumimos que la cibernética deportiva tiene su origen en el campo socialista del deporte, no es menos cierto que existieron otras interesantes aportaciones en el campo occidental. Así, en 1960 la Unesco creó en Roma la Association for Sports Information International (IASI). Con la base del constante progreso de las matemáticas y la informática y el incremento del poder de cómputo de los ordenadores durante esa década, surge el término *informática en los deportes* o *informática deportiva*. En las primeras etapas, tal y como ya señalamos, la biomecánica del deporte desempeñó un papel importante en este cuerpo de conocimiento y, posteriormente, varios científicos comenzaron a analizar juegos deportivos recopilando, examinando e interpretando datos tomados en entrenamiento y competiciones con cámaras de video.

En la década de los 90 se establecieron muchas nuevas organizaciones nacionales e internacionales relacionadas con la informática en el deporte. Así, en 1998, el ingeniero británico Stephen John Haake de la Universidad de Sheffield creó la Asociación Internacional de Ingeniería Deportiva (ISEA), llevando la ingeniería deportiva al nivel de disciplina académica reconocida

(aplicación técnica de las matemáticas y la física para resolver problemas deportivos).

En su tesis investigó métodos para medir el impacto de las pelotas de golf en el césped (Haake, 1989). Muchos de los miembros de la ISEA provienen de la ingeniería mecánica, pero la ingeniería deportiva no se limita a este campo y, a menudo, también puede vincularse a disciplinas como la física, las matemáticas, la biomecánica, la informática y la ingeniería aeronáutica, por nombrar algunas. El factor común de todos ellos es que todos sus miembros están aplicando sus habilidades de investigación y conocimientos previos en el mundo del deporte. Recientemente la ISEA ha creado una comunidad de ingenieros deportivos, científicos y profesionales del deporte, avanzando en el campo de la ingeniería deportiva creando la revista *Sports Engineering* y organizando diferentes conferencias sobre tecnologías deportivas.

A finales del siglo XX aparecieron en España algunas propuestas de modelos cibernéticos aplicados al entrenamiento, entre ellos, los *organigramas lógicos* y el *modelo DIPER*. Los organigramas lógicos fueron propuestos por el equipo de Juan Manuel García-Manso utilizando los diagramas de flujo propuestos por los matemáticos Herman Heine Goldstine (1913-2004) y John von Neumann (1903-1957) y aplicando la simbología propuesta por el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI) (García-Manso et al., 1996; Flores y Redondo, 2020). El modelo DIPER emplea una herramienta informática para el entrenamiento de la resistencia que se apoya en ocho zonas o áreas funcionales que pueden ser fácilmente determinadas a través de una prueba de campo (test DIPER).

En 2003, tras la celebración del 4^º Simposio Internacional de Ciencias de la Computación en Deporte celebrado en Barcelona (España), se fundó la International Association of Computer Science in Sport (IACSS), asumiendo las actividades de su antecesor, el Grupo de Trabajo de Informática en el Depor-

te (COSISP). Esta asociación es una estructura que agrupa a diez asociaciones nacionales (austriaca, alemana, china, india, inglesa, croata, turca, portuguesa, suiza, y rusa) que tiene por objetivo mejorar la cooperación internacional en el campo de las Ciencias de la Computación en el Deporte, centrándose en la difusión del conocimiento científico, la celebración de foros para el intercambio de ideas, el cierre de brechas entre investigadores y profesionales, la recopilación y difusión de información, conocimientos y materiales científicos, el asesoramiento sobre el uso de la informática para apoyar el desarrollo de la teoría y práctica de deportes. Entre sus actividades más importantes destacan la organización de los congresos celebrados en Colonia (1997), Viena (1999), Cardiff (2001), Barcelona (2003), Hvar (2005), Calgary (2007), Canberra (2009), Shanghai (2011), Estambul (2013), Loughborough (2015), Constanza (2017) y Moscú (2019). Una de las aportaciones más interesantes de la IACSS es la creación de su publicación *International Journal of Computer Science in Sport*.

En Alemania, Andreas Hohmann, Martin Lames y Manfred Letzelter propusieron a principios del presente siglo un interesante modelo cibernético aplicado al entrenamiento deportivo. Su modelo está sustentado en una estrategia de trabajo sin interrupciones utilizando un sistema regulador que parte del supuesto de que el rendimiento deportivo se debe controlar y corregir de forma precisa y continuada manipulando adecuadamente la carga de entrenamiento y de esta forma lograr los objetivos programados (Hohmann et al., 2005).

Un aspecto interesante de esta propuesta es que aborda el entrenamiento desde la óptica de los sistemas complejos, donde es necesario realizar el adecuado procesamiento de datos de diferentes niveles de escala y el mapeo adecuado de relaciones complejas que configuran redes complejas particularmente interesantes. Nótese que la aplicación de la teoría de redes al análisis del deporte de equipo es una realidad creciente en la teoría

del entrenamiento deportivo y enriquece sensiblemente la forma de abordar el control, la programación y la organización del entrenamiento. Sin embargo, esto impone grandes exigencias a la calidad y al número de registros de datos que se obtienen.

Más recientemente, un grupo de investigadores europeos y estadounidenses se han unido en el grupo MathSport International, que desde 2007 organiza cada dos años conferencias sobre temas que unen las matemáticas y el deporte: modelos matemáticos y físicos aplicados al deporte, medidas y modelos de rendimiento, optimización del rendimiento deportivo, modelos estadísticos y de probabilidad, modelos de análisis de resultados de competiciones, estrategia competitiva, modelos teóricos de juegos, diseño y programación óptimos de concursos, sistemas de apoyo a las decisiones, análisis de reglas y adjudicación, econometría en el deporte, análisis de tecnologías deportivas, educación matemática y deporte, valoración financiera en el deporte, *e-sports*, apuestas y deporte y *marketing* deportivo cuantitativo. A la sombra de esta institución nacieron otras organizaciones regionales entre las que destacan ANZIAM MathSport Australia-Nueva Zelanda y MathSport Asia, las cuales de forma periódica también organizan congresos y talleres especializados con el objetivo de difundir e intercambiar conocimientos e información sobre todo tipo de temas relacionados con esta disciplina interdisciplinar.

No podemos terminar este repaso sin citar las aportaciones que los últimos años vienen realizando el Massachusetts Institute of Technology (MIT) con sus líneas de investigación y las 16 conferencias desarrolladas hasta la actualidad (Annual MIT Sloan. Sports Analytics Conference).

CONCLUSIÓN

La cibernética, su origen y evolución se constituye en sí misma en un campo de investigación e innovación para organizar, enlazar y explicar coherentemente el proceso metodológico del entrenamiento deportivo, sus procesos más complejos frente al fenómeno de la preparación de atletas de nivel y todo su sistema interno de conexión de informaciones, realimentaciones y posibles resultados, cercanos a lo ideal.

Su verdadera dificultad es que, si bien tiene una larga historia, es claro que no se ha terminado de *inventar* y, en la actualidad, podría decirse vive un nuevo resurgir con las propuestas emergentes sobre el diseño del entrenamiento que han sido planteadas en los últimos años.

REFERENCIAS

1. Alexandrov, V. Y. (1993). *Трудные годы советской биологии: Записки современника* [Los difíciles años de la biología soviética: apuntes de un contemporáneo]. Nauka.
2. Anokhin, P. K. (1935). *Проблема центра и периферии в современной физиологии нервной деятельности* [El problema del centro y la periferia en la fisiología de la actividad nerviosa]. Departamento de Fisiología del Instituto Médico Gorky.
3. Anokhin, P. K. (1964). Systemogenesis as a General Regulator of Brain Development. *Progress in Brain Research*, 9, 54-86. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)63131-3](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)63131-3)
4. Anokhin, P. K. (1984). *Идеи и факты в разработке теории функциональных систем* [Ideas y hechos en el desarrollo de la teoría de los sistemas funcionales]. <https://www.keldysh.ru/pages/BioCyber/RT/Anokhin/Anokhin.htm>
5. Arkadyev, D. (2009). *Эпоха Лобановского* [La era de Lobanovski]. Editorial AST.

6. Ampère, A. M., Sainte-Beuve, C. A., y Littré, É. (1856). *Essai sur la philosophie des sciences : ou Exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines*. Mallet-Bachelier.
7. Ashby, W. R. (1957). *An Introduction to Cybernetics*. Chapman & Hall.
8. Bateson, G. (1972). *Steps to an Ecology of Mind*. The University of Chicago Press.
9. Bazílevich, O. P. (1983). *Управление подготовкой высококвалифицированных футболистов на основе моделирование тренировочного процесса* [Gestión de la preparación de futbolistas altamente calificados basada en la modelación del proceso de formación] [trabajo de especialidad, VNIIFK]. <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/3556>
10. Beer, A. S. (1959). *Cybernetics and Management*. English Universities Press.
11. Berg, A. I., Kitov, A. I., y Lyapunov, A. A. (1959). *О возможности автоматизации управления народным хозяйством* [Sobre las posibilidades de automatizar la gestión de la economía nacional]. *Проблемы кибернетики*, (6), 83-100. <http://elib.ict.nsc.ru/jspui/bitstream/ICT/891/3/kitov2.pdf>
12. Bernstein, N. A. (1926). *Общая биомеханика. Основы учения о движениях человека* [Biomecánica general. Fundamentos de la doctrina de los movimientos humanos].
13. Bernstein, N. A. (1964). Математический аппарат биологической кибернетики [Sobre la perspectiva de las matemáticas en la biocibernética]. En V. Shernish, y A. Napalkov, *Математический аппарат биологической кибернетики* [El aparato matemático de la cibernética biológica] (pp. 3-30).
14. Bernstein, N. A. (2003). *Sovremennye iskaniya v fiziologii nervnogo protsessa* [Estudios contemporáneos sobre la fisiología del sistema nervioso]. Smysl.
15. Bongaardt, R., Pickenhain, L., y Meijer, O. G. (2000). Bernstein's Anti-reductionistic Materialism: On the Road towards a Biology of Activity (1965). *Motor Control*, 4(4), 377-406. <https://doi.org/10.1123/mcj.4.4.377>

16. Clemson, B. (1991). *Cybernetics: A New Management Tool. Volume 4*. Abacus Press.
17. Couffignal, L. (1969). *La cibernética*. A. Redondo Editor.
18. Donskói, D. D. (1958). *Биомеханика физических упражнений* [Biomecánica de los ejercicios físicos]. FiS. <http://sport-history.ru/physicalculture/item/f00/s00/e0000232/index.shtml>
19. Donskói, D. D. (1968). *Дмитрий Донской. Законы движений в спорте. Очерки по теории структурности движений Подробнее* [Leyes del movimiento en los deportes. Ensayos sobre la teoría de la estructuralidad movida]. FiS.
20. Donskói, D. D. (1985). *Строение действия (биомеханическое обоснование строения спортивного действия и его совершенствования). Учебно-методическое пособие* [La estructura de acción (base biomecánica de la estructura de acción deportiva y su perfeccionamiento). Manual didáctico y metodológico]. РГАФК.
21. Fedorov, V. I. (2007). Physiology and Cybernetics: The History of Mutual Penetration of Ideas, Modern State and Prospects. For the 60th anniversary of the writing of Wiener's book "Cybernetics" by N. Wiener. *Uspekhi Fiziologicheskikh Nauk*, 38(3), 72-86. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17977233/>
22. Flores, F. J., y Redondo, J. C. (2020). Proposal for Selecting Weightlifting Exercises on the Basis of a Cybernetic Model. *International Journal of Advanced Research*, 8(4), 906-914. <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/10857>
23. García-Manso, J. M., Navarro-Valdivielso, M., y Ruiz-Caballero, J. A. (1996). *Planificación del entrenamiento deportivo*. Gymnos.
24. Gillespie, R. D. (1974). The Politics of Cybernetics in the Soviet Union. En A. H. Teich (ed.), *Scientists and Public Affairs* (pp. 239-298). MIT.
25. Haake, S. J. (1989). *Apparatus and Test Methods for Measuring the Impact of Golf Balls on Turf and their Application in the Field* [Tesis doctoral, Aston University]. <https://research.aston.ac.uk/en/studentTheses/apparatus-and-test-methods-for-measuring-the-impact-of-golf-balls>

26. Hohmann, A., Lames, M., y Letzelter, M. (2005). *Introducción a la ciencia del entrenamiento*. Editorial Paidotribo.
27. Kislitsyn, F. S. (1965). Principles of mathematical modeling of fatigue and rest. En *Proceedings of the scientific conference "Cybernetics and sport"*, pp. 13-15. SCOLIPE, Moscú.
28. Kolyada, I. (2020). Валерій Лобановський як педагог [Valeriy Lobanovskyi as an educator]. *Bulletin of the Kamianets-Podilskyi Ivan Ohiienko National University. Physical Education, Sport and Human Health*, (19), 23-30. <https://doi.org/10.32626/2309-8082.2020-19.23-30>
29. Nash, J. F. (1950). Equilibrium points in n -person games. En *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 36(1), 48-49. <https://doi.org/10.1073/pnas.36.1.48>
30. Osipov Y. S. (2001). 100 лет со дня рождения академика М.А. Лаврентьева. Путь, исполненный свершений [100 años del nacimiento del académico M. A. Lavrentiev. Un camino lleno de logros]. *Вестник Российской академии наук*, 71(5), 424-442. https://www.ras.ru/publishing/rasherald/rasherald_articleinfo.aspx?articleid=c961128d-0be8-42f4-ae89-a2afd0d26389
31. Pask, G. (1961). *An Approach to Cybernetics*. Harper & Brothers.
32. Petrovski, V. V. (1973). *Кибернетика и спорт* [Cibernética y deporte]. Zdorov'ya.
33. Petrovsky, V. V. (1959). *Alternancia de trabajo y descanso en el entrenamiento deportivo*. Editorial Gosmedgiz.
34. Rátov, I. P. (1971). *Теория искусственной управляющей среды и биомеханические характеристики спортивного мастерства* [Teoría del entorno de control artificial y características biomecánicas de la deportividad]. Физкультура и спорт.
35. Rátov, I. P. (1976). *Спортивные тренажеры* [Simuladores deportivos]. Физкультура и спорт.
36. Rátov, I. P. (1989). *Использование нетрадиционных вспомогательных средств в тренировочном процессе спортсменов* [El uso de dispositivos facilitadores no tradicio-

- nales en el proceso del entrenamiento de atletas]. Советский спорт.
37. Rátov, I. P. (1990). *Методы и средства развития технических навыков в спорте* [Métodos y medios para desarrollar habilidades técnicas en el deporte]. Физкультура и спорт.
 38. Rátov, I. P. (1991). *Совершенствование движений в спорте* [Mejora de los movimientos en los deportes]. Изд-во им.Ибн Сины.
 39. Seluyanov, V. N. (2009). *Курс лекций по спортивной адаптации* [Curso de conferencias sobre adaptología deportiva]. МФТИ в лаборатория «Информационные технологии в спорте». <https://www.twirpx.com/file/1546647/>
 40. Siff, M.C. (1995). *Facts and Fallacies of Fitness*. University of Witwatersrand.
 41. Siff, M. C., y Verkhoshansky, Y. (2000). *Superentrenamiento*. Paidotribo.
 42. Sóbolev, S. L., Kitov A. I., y Lyapunov A. A. (1955). Основные черты кибернетики [Características básicas de la cibernética]. *Вопросы философии*, (4), 1-24. <http://elib.ict.nsc.ru/jspui/bitstream/ICT/1192/1/Lyapunov32.pdf>
 43. Timme, E., Dayal, E., y Kukushkin, Y. (2019). *Whether cybernetics in sport existed in the USSR? Models released in 1965*. 12th International Symposium on Computer Science in Sport. 8-10 July. (pp. 2-3). Book of Abstracts. State public institution of the city of Moscow “Center for sports innovative technologies and training of national teams” of the Department of Physical Culture and Sports of the city of Moscow (Russia).
 44. Tudico, C. (2012). *The History of the Josiah Macy Jr. Foundation*. Josiah Macy Jr. Foundation. <https://macyfoundation.org/assets/img/macy-history-book-final-2012.pdf>
 45. Verkhoshansky, Y. V. (1977). *Основы специальной силовой подготовки в спорте* [Fundamentos del entrenamiento de fuerza especial en el deporte]. Советский спорт. <https://djuv.online/file/0eOFOJZTppGGQ>
 46. Verkhoshansky, Y. V. (1990). *Entrenamiento deportivo: planificación y programación*. Ediciones Martínez Roca.
 47. Volkov, N. I. (1965). Математическое моделирование

- энергетического обмена человека при мышечной деятельности [Mathematical modeling of Human Energy Metabolism in Muscle Activity]. En *Proceedings of the Scientific Conference "Cybernetics and sport"* (pp. 12-13). SCOLIFE.
48. Von Bertalanffy, L. (1989). *Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. Fondo de Cultura Económica.
49. Wiener, N. (1948). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/11810.001.0001>
50. Yusupov R. M. (2008). *История информатики и кибернетики в Санкт-Петербурге (Ленинграде)* [Historia de la ciencia de la información y la cibernética en San Petersburgo (Lenin-grado)]. Nauka.
51. Zatsiorsky, V. M. (1965). Modelización de algunos aspectos del entrenamiento deportivo. En *Actas de la Conferencia Científica "Cibernética y Deportes"* (pp. 27-34). Moscú (Rusia).
52. Zatsiorsky, V. M. (1969). *Кибернетика, математика, спорт (применение математических и кибернетических методов в науке о спорте и в спортивной практике)* [Cibernética, matemáticas, deportes (aplicación de métodos matemáticos y cibernéticos en la ciencia y la práctica del deporte)]. Физкультура и спорт. <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/7258>
53. Zelentsov, A. M., y Lobanovski, V. V. (1985). *Моделирование тренировки в футболе* [Modelado del entrenamiento en el fútbol]. Здоровье.
54. Zelentsov, A. M., Lobanovski, V. V., Tkachuk, V. G., y Kondratiev, A. I. (1989). *Тактика и стратегия в футболе* [Táctica y estrategia en el fútbol]. Здоровье.