

EL USO DE APLICACIONES TECNOLÓGICAS EN LA VALORACIÓN FISIOLÓGICA Y BIOMECÁNICA DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO

TECHNOLOGY APPLICATIONS IN PHYSIOLOGICAL AND BIOMECHANICAL SPORT PERFORMANCE VALUATION

INTRODUCCIÓN

Es un hecho constatado que cada vez existe una mayor profesionalización de los deportistas, lo que lleva aparejado una continua exigencia de mayor rendimiento, superación de récords y mejora de marcas personales.

Sin embargo el potencial humano no es ilimitado, por lo que, llegado un nivel de entrenamiento, para obtener pequeñas mejoras de los resultados deportivos es preciso utilizar diversos medios y recursos adicionales, que pueden representar un revulsivo, contribuyendo a optimizar la preparación y lograr que el rendimiento de los atletas siga aumentando. Por otra parte, también cabe destacar la gran igualdad que caracteriza en la actualidad a los deportistas de élite (en numerosas ocasiones un solo punto, gol, centímetro o centésima, marcan la diferencia entre el ganador y el segundo clasificado), por lo que el resultado final de una competición viene determinado por pequeñas diferencias que, cada vez con mayor frecuencia, se deben a la utilización de medios auxiliares en la preparación del deportista o durante la propia competición^(24, 26).

Este proceso de evolución ha llevado al deporte de élite a precisar ineludiblemente de la asistencia y ayuda de diversas ciencias y áreas de conocimiento, llevándose a cabo numerosas investigaciones y trabajos de carácter científico sobre diversos campos de estudio como, las adaptaciones al esfuerzo^(13, 20), la valoración del rendimiento deportivo^(10, 39), la aplicación de novedosos sistemas y metodologías de entrenamiento^(2, 12), el análisis de la eficacia de los movimientos deportivos^(5, 41), el estudio de la influencia de

factores psicológicos durante la competición⁽¹⁹⁾, o la prevención de lesiones deportivas⁽³⁸⁾, que han contribuido a un mejor conocimiento del fenómeno deportivo. Así, en la actualidad el *Deporte* no puede ser entendido sin la aportación y participación de ciencias como la Fisiología, Biomecánica, Psicología, o la Pedagogía, entre otras, que han pasado a desempeñar un papel relevante en el marco de la investigación deportiva.

Por otro lado, de forma paralela al fomento de la investigación en el ámbito deportivo, durante las dos últimas décadas ha tenido lugar un espectacular



Dr. Juan Carlos Morante Rábago⁽¹⁾,

Dr. José Gerardo Villa Vicente⁽²⁾,

Dr. Juan García López⁽³⁾.

⁽¹⁾ Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Profesor del Instituto de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad de León.

inejmr@unileon.es

⁽²⁾ Doctor en Medicina. Especialista en Medicina Deportiva. Profesor del Instituto de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de León.

dmpjiv@unileon.es

⁽³⁾ Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Profesor del Instituto de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de León.

inejgl@unileon.es

CORRESPONDENCIA:

Dr. Juan Carlos Morante Rábago. Universidad de León. Instituto de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Campus Universitario de Vegazana, s/n. 24071 LEÓN. Tlfno.: 987 29 30 00. E-mail: inejmr@unileon.es

Aceptado:
21.03.02

proceso de tecnificación del *Deporte*, desarrollándose y aplicándose numerosas innovaciones tecnológicas^(14, 26). Hoy en día el denominado «*Deporte de Élite*» se encuentra estrechamente vinculado a la utilización de sofisticada tecnología, destacando el empleo de medios informáticos.

La gran expansión experimentada por la *Informática* en los años ochenta (como consecuencia de la aparición en el mercado de los ordenadores personales y el abaratamiento de los costes de producción del *software*), supuso una revolución en la aplicación de medios informáticos en todas las actividades humanas que, aunque más tímidamente que en otros ámbitos, también tuvo su reflejo en el *Deporte*, en donde comenzaron a surgir los primeros *programas informáticos* de aplicación específica, con una orientación predominante hacia el alto rendimiento⁽³⁾. Durante esta época, según afirma Sharp⁽³³⁾, el escaso *software* que vio la luz, se desarrolló con un propósito sumamente específico, que lo convertía en herramientas poco flexibles y polivalentes, lo que supuso un notable freno para su difusión.

A lo largo de las últimas décadas, diversos investigadores han identificado en la *Informática* un gran potencial de aplicación en el ámbito deportivo, destacando la aportación que el *software* y las nuevas tecnológicas llegarían a tener en las valoraciones fisiológicas y biomecánicas de los deportistas, como instrumento de monitorización y *feedback* en los tests o pruebas de valoración funcional⁽²²⁾.

La gran mayoría de los *programas informáticos* que se desarrollaron en la década de los ochenta fueron diseñados con una marcada orientación hacia el campo de la investigación deportiva, siendo concebidos con una finalidad básica de servir de herramienta de medición y registro del rendimiento. Sharp en 1996⁽³³⁾, constató la mayor existencia y utilización de *software* específico entre los investigadores de las áreas fisiológica y biomecánica:

- **Área fisiológica:** en ella se han empleado aplicaciones informáticas y tecnológicas encaminadas a la medición y monitorización de la capacidad aeróbica y anaeróbica, determinación del consumo de oxígeno,

análisis del ritmo cardíaco, análisis dietético, valoración de la fuerza, test máximos y submáximos de condición física, valoración de variables antropométricas y composición corporal, análisis electromiográfico, conocimiento de hábitos y estilo de vida, etc.⁽⁶⁾.

- **Área biomecánica:** el *software* y aplicaciones tecnológicas desarrollados en este área se han orientado a la digitalización y análisis cinemático 2D y 3D de movimientos deportivos, valoración de la precisión y eficacia de la técnica, mediciones en plataformas de fuerza, y test aerodinámicos e hidrodinámicos, valoración ergonómica, etc.^(5, 31).

De esta forma, entre *Deporte* e *Informática* surgió una gran vinculación a través de los instrumentos de medición y valoración del rendimiento. Soto⁽³⁴⁾, afirma que «*el ordenador se ha convertido en la herramienta indispensable en cualquier investigación científica ya que, entre otras ventajas, permite la eliminación del factor contaminador producido por el experimentador en procesos como la toma de datos, gestión de la información y obtención e interpretación de resultados*».

Hoy en día, el uso de ordenadores y nuevas tecnologías aún sigue estando más extendido entre los *investigadores* del *Deporte* que entre los propios *entrenadores*⁽²⁴⁾. La gran mayoría del *software* utilizado en la investigación deportiva se comercializa integrado con instrumental específico, formando paquetes o unidades *software-hardware*¹, que han de utilizarse de forma conjunta; estos sistemas informáticos se caracterizan por tener un elevado grado de estandarización, una gran robustez y fiabilidad, así como por su altísima precisión en la medición de variables y parámetros⁽⁹⁾.

En la actualidad, en el campo de la valoración fisiológica y biomecánica del rendimiento deportivo se están utilizando y desarrollando un número creciente de aplicaciones informáticas y tecnológicas que podemos agrupar en dos bloques:

¹ Por ejemplo el *software* «Biofoot-IBV 3.1» desarrollado por el IBV (Instituto Biomecánico de Valencia) se integra dentro de un sistema de medición compuesto por un juego de cuatro plantillas instrumentadas (con sensores piezoeléctricos), un equipo electrónico de acondicionamiento de la señal y una tarjeta de adquisición de datos; este sistema se emplea para el registro y análisis de la distribución de presiones plantares en la práctica deportiva, teniendo numerosas aplicaciones entre las cuales se destaca el diagnóstico de patologías y disfunciones en deportistas, el estudio y optimización de los gestos técnicos, y el diseño de calzado deportivo (Consejo Superior de Deportes, 1998).



A) Software para la valoración funcional del deportista y medición del rendimiento deportivo.

En este bloque, vinculadas al área de la Fisiología, se incluyen las aplicaciones informáticas y tecnológicas orientadas a la evaluación del potencial y valoración funcional del deportista, en su mayor parte encaminadas a la medición de los procesos energéticos y metabólicos del sujeto, con el fin de explicar y comprender las adaptaciones orgánicas al esfuerzo, así como conocer, administrar y, en definitiva, optimizar el gasto energético durante la competición (22).

Este tipo de *software*, que en sus orígenes fue diseñado y utilizado por científicos y aplicado mayoritariamente en las «modalidades deportivas cerradas»², en la actualidad ha experimentado una notable difusión, siendo empleado no sólo por investigadores sino que, una parte de él, también es usado por los entrenadores, habiéndose generalizado su uso en un elevado número de disciplinas deportivas.

Los programas informáticos y aplicaciones tecnológicas recogidos en el presente grupo incorporan utilidades encaminadas a facilitar y estandarizar la

realización de test de condición física (11, 29, 40), que se emplean para valorar las capacidades funcionales del deportista y determinar su estado de forma o capacidad de rendimiento en un momento determinado de la temporada, constatar su evolución con el entrenamiento, detectar lagunas en su preparación física, monitorizar el esfuerzo del deportista, e incluso en la captación temprana de talentos deportivos.

Habitualmente este tipo de *software* no se presenta de manera independiente, sino que forma parte de un «sistema de medición», y se comercializa en combinación con sofisticado aparataje periférico (analizador de gases, plataformas de contacto, plataformas de fuerza, barreras de células láser, pulsómetros, etc.) (9, 11), que es el encargado de la captación de señales externas (tiempo, fuerza, velocidad, aceleración, pulso cardiaco, etc.) y que se dispone conectado al ordenador para el envío de dichas señales para su posterior interpretación y tratamiento con el *software* específico (6).

Como características esenciales de los citados sistemas de medición, se pueden señalar su fiabilidad, reproductividad, y precisión de la medida, así como la elevada estandarización de las condiciones en que se realizan los test; el *software* desempeña funciones relacionadas con el control de la realización de los test, representando una herramienta de monitorización del esfuerzo que aporta un *feedback* inmediato tanto al deportista como al responsable de la prueba.



² Las denominadas «modalidades deportivas cerradas», se caracterizan por tener una elevada estandarización en sus condiciones de realización (ausencia de factores perturbadores como variabilidad del medio o presencia de adversarios). Lo que unido a la alta implicación del potencial físico-condicional en el rendimiento, explica el hecho de que las primeras investigaciones sobre la valoración funcional del deportista se centrasen en este tipo de disciplinas.

Algunos ejemplos:

- «Chrono-Win»⁽³⁷⁾.
- «BreezeEx: Cardiorespiratory Diagnostic Software»⁽²¹⁾.
- «Dinascan-IBV»⁽¹⁶⁾.
- «Polar HR Analysis SW 5.0»⁽³⁰⁾.
- «Biofoot-IBV»⁽¹⁷⁾.
- «SportJUMP 1.0»⁽⁷⁾.
- «TVREF v1.0: Test de Valoración de la Resistencia Específica en el Fútbol»⁽²³⁾.
- «DSD Laser System»⁽⁸⁾.

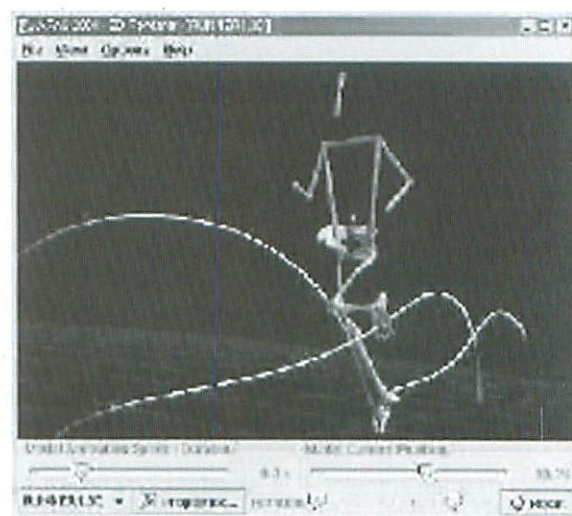
B) Software para el análisis de movimientos deportivos.

Vinculados al área de la Biomecánica, se han desarrollado diversos sistemas para el análisis de movimientos deportivos, que se llevan a cabo preferentemente en situaciones estandarizadas («Modalidades Deportivas Cerradas»), a partir de filmaciones con cámaras cinematográficas de alta velocidad o vídeo.

Estos sistemas se componen, además del *software* para el tratamiento de los datos (algoritmos de cálculo, suavizado de trayectorias, reconstrucción gráfica del movimiento, tratamiento estadístico, etc.), de la utilización de diversos periféricos como cámaras de alta velocidad, marcadores y sistemas de referencia, tabletas digitalizadoras, tarjetas de captura de imágenes de vídeo, scanners, plotters o impresoras⁽³¹⁾.



La mayor parte de los sistemas desarrollados se basan en el *registro indirecto* del movimiento, es decir, realizando una digitalización manual de la posición (coordenadas X-Y) de los segmentos corporales a partir de imágenes de cine o vídeo, posibilitando posteriores análisis 2D y 3D, cálculo de variables cinemáticas y dinámicas, reconstrucción (alámbrica, cilíndrica o realista) del movimiento⁽¹⁵⁾.



Otros sistemas ofrecen la posibilidad de *registro directo*, mediante un *software* que capta y digitaliza de forma automática el movimiento, por medio de la colocación de diversos marcadores epidérmicos (objetos reflectantes, «*leds*» luminosos, etc.) en los puntos articulares del atleta, e incluso en los implementos deportivos utilizados. Estos sistemas de rastreo automático del desplazamiento de marcadores epidérmicos poseen la ventaja de que minimizan la contaminación del investigador, pero aún poseen muchas limitaciones al ser métodos en cierta medida «invasivos», por lo que no pueden ser empleados en situaciones reales de competición.

Algunos ejemplos:

- «SELSPOT II: Selective light Spot recognition»⁽³²⁾.
- «PEAK5: Peak Performance System»⁽²⁷⁾.
- «MONO3D»⁽³⁵⁾.

- «POLARIS Optical Tracking System»⁽²⁵⁾.
- «CODA mpx30: Motion Tracking System»⁽⁴⁾.
- «PEAK Motus: Optical Real-Time coordinate acquisition systems»⁽²⁸⁾.
- «APAS: Ariel Performance Analysis System»⁽¹⁾.
- «The MotionMonitor»⁽¹⁸⁾.
- «3D Analyzer»⁽³⁶⁾.

RESUMEN

En el deporte moderno es preciso no dejar al azar ningún factor en la preparación de los atletas, por lo que la *Informática* ha ido tomando un papel relevante

para solventar las necesidades de control en el entrenamiento de los deportistas. En el campo de la investigación deportiva, y vinculado a las áreas de la Fisiología y la Biomecánica, paralelamente se han desarrollado en los últimos años un elevado número de aplicaciones informáticas y tecnológicas encaminadas a la valoración del rendimiento deportivo, que en la actualidad son empleadas tanto por científicos e investigadores como por los propios entrenadores. La progresiva incorporación de medios informáticos y tecnológicos en el ámbito de la Fisiología y la Biomecánica ha contribuido a estandarizar las situaciones de medición y ha aportado objetividad en las valoraciones, disminuyendo o minimizando posibles fuentes de contaminación en la valoración y registro del rendimiento.

Palabras clave: software deportivo, tecnología, fisiología, valoración funcional, biomecánica, análisis del movimiento.

B I B L I O G R A F I A

- 1 ARIEL, G.: "APAS: Ariel Performance Analysis System". Ariel Dynamics Inc., California. 1998. <<http://www.arielnet.com/main/adw-04.html>> [Consulta: 07/05/01].
- 2 BOSCO, C.: "Nuove metodologie per la valutazione e la programmazione dell'allenamento". Rivista di Cultura Sportiva, 1991. 22: 13-22.
- 3 BRODIE, D.S., THORNHILL, J.J.: "Microcomputing in sport and physical education". 1983. Lepus Books, Wakefield, West Yorkshire.
- 4 CHARNWOOD DYNAMICS: "CODA mpx30: Motion Tracking System". Charnwood Dynamics Ltd., Loughborough. 1997. <<http://www.charmdyn.com/products/>> [Consulta: 17/07/01].
- 5 DAPENA, J.: "El uso de la computadora en la biomecánica". Archivos de Medicina del Deporte, 1985; 3 (9): 55-60.
- 6 DONNELLY, J.E.: "Microcomputer Applications in Exercise Physiology", en "Using Microcomputers in Physical Education and the Sports Sciences" de Donnelly, J.E. (Editor). 1987. Human Kinetics Publishers, Inc., Champaign, Illinois.
- 7 DSD: "SportJUMP 2.0". Desarrollo de Software Deportivo (DSD), León. 1999. <<http://www.dsd.es/softwa.htm>> [Consulta: 17/07/01].
- 8 DSD: "DSD Laser System". Desarrollo de Software Deportivo (DSD), León. 2001. <<http://www.dsd.es/dsdlaser.htm>> [Consulta: 17/07/01].
- 9 FAINA, M., PISTELLI, R., FRANZOSO, G., PETRELLI, G., DAL-MONTE, A.: "Validity and reliability of a new telemetric portable system with CO2 analyzer (K4-COSMED)", en "First annual congress, frontiers in sport science, the European perspective" de Marconnet, P. (Editor). 1996. European College of Sport Science, Niza.
- 10 GARCÍA-LÓPEZ, J., LÓPEZ, J.L., MEANA, M., MORANTE, J.C., AGUADO, X., VILLA, J.G.: "Validación de un nuevo sistema de registro de saltos verticales: SportJUMP". Archivos de Medicina del Deporte, 1999; 16: 554.
- 11 GARCÍA-LÓPEZ, J., VILLA, J.G., MORANTE, J.C., MORENO, C.: "Perfil de fuerza explosiva y velocidad en futbolistas profesionales y amateurs antes y después de la pretemporada". Revista Training Fútbol, 1999; 41: 34-46.
- 12 GONZÁLEZ-BADILLO, J.J.: "Intensidades máximas y rendimiento deportivo". Revista de Investigación y Documentación sobre las Ciencias de la E.F. y del Deporte, 1987; 3 (6): 83-94.
- 13 GONZÁLEZ-GALLEGO, J. (EDITOR): "Fisiología de la Actividad Física y el Deporte". 1992. McGraw Hill-Interamericana. Madrid.
- 14 GUTERMAN, T.: "Informática y Deporte". 1998. INDE Publicaciones, Barcelona.
- 15 GUTIÉRREZ-DÁVILA, M.: "Desarrollo de un sistema computerizado de análisis cinematográfico y su sincronización con los registros directos para el análisis del movimiento humano". 1992. Tesis Doctoral inédita. Universidad de Granada.

- 16 **IBV:** "Dinascan-IBV, v8.0". Instituto Biomecánico de Valencia (IBV), Valencia. 1997. <<http://www.ibv.org/productos/>> [Consulta: 23/06/01].
- 17 **IBV:** "Biofoot-IBV, v3.1". Instituto Biomecánico de Valencia (IBV), Valencia. 1998. <<http://www.ibv.org/productos/>> [Consulta: 23/06/01].
- 18 **IST:** "The MotionMonitor". Innovate Sports Training, Inc., Chicago. 1998. <<http://www.innsportstraining.com/prod02.htm>> [Consulta: 04/08/01].
- 19 **MÁRQUEZ, S.:** "Adaptación española de los cuestionarios de antecedentes, manifestaciones y consecuencias de la ansiedad ante la competición deportiva". *Revista de Psicología del Deporte*, 1993; 3: 31-40.
- 20 **MAURIZ, J.L., TABERNEIRO, B, GARCÍA-LÓPEZ, J., JORQUERA, F., VILLA, J.G., GONZÁLEZ-GALLEGO, J.:** "Physical exercise and improvement of liver oxidative metabolism in the elderly". *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 2000; 81: 62-66.
- 21 **MEDGRAPHICS:** "BreezeEx, v3.04; Cardiorespiratory Diagnostic Software". Medical Graphics Corporation, St. Paul. 1996. <http://www.medgraph.com/products_main.html> [Consulta: 17/07/01].
- 22 **MOORE, M.:** "Computerisation of sports medicine". *Physician and Sports Medicine*, 1981; 9: 118-123.
- 23 **MORANTE, J.C., GARCÍA-LÓPEZ, J., VILLA, J.G.:** "TVREF v1.0: Test de Valoración de la Resistencia Específica en el Fútbol". 2000. Junta de Castilla y León. Dirección General de Deportes. León.
- 24 **MORANTE, J.C.:** "Elaboración y validación de un programa informático interactivo de apoyo al entrenamiento deportivo". 2000. Tesis Doctoral inédita. Universidad de León.
- 25 **NDI:** "POLARIS Optical Tracking System". Northern Digital Inc., Waterloo, Ontario. 1996. <<http://www.ndigital.com/polaris.html>> [Consulta: 23/06/01].
- 26 **PALLÁS, R.:** "La electrónica en el deporte". *Mundo Electrónico*, 1992; 229/230: 91-117.
- 27 **PEAK PERFORMANCE TECHNOLOGIES, INC.:** "PEAK5: Peak Performance System, v5". PEAK Performance Technologies Inc., Englewood, Colorado. 1994. <<http://www.peakperform.com/>> [Consulta: 02/03/00].
- 28 **PEAK PERFORMANCE TECHNOLOGIES, INC.:** "PEAK Motus: Optical Real-Time coordinate acquisition systems". PEAK Performance Technologies Inc., Englewood, Colorado. 1998. <http://www.peakperform.com/biomech_prods_espanol.htm> [Consulta: 02/07/01].
- 29 **PEPPER, M.L., HOUSH, T.J., JOHNSON, G.O.:** "The accuracy of the critical velocity test for predicting time to exhaustion during treadmill running". *International Journal of Sports Medicine*, 1992; 13 (2): 121-124.
- 30 **POLAR ELECTRO OY.:** "Polar HR Analysis SW 5.0". Polar Electro Oy, Kempele. 1997. <<http://www.polar.fi/>> [Consulta: 17/07/01].
- 31 **RICHARDS, J.:** "Microcomputer Applications in Biomechanics", en "Using Microcomputers in Physical Education and the Sports Sciences" de Donnelly, J.E. (Editor). 1987. Human Kinetics Publishers, Inc., Champaign, Illinois.
- 32 **SELCOM AB:** "SELSHOT II: Selective light Spot recognition". Selcom AB, Partille. 1990.
- 33 **SHARP, B.:** "The use of computers in sports science". *British Journal of Educational Technology*, 1996; 27 (1): 25-32.
- 34 **SOTO, V.M.:** "Desarrollo de un sistema para el análisis biomecánico tridimensional del deporte y la representación gráfica realista del cuerpo humano". 1995. Tesis Doctoral inédita. Universidad de Granada.
- 35 **SOTO, V.M.:** "MONO3D". Edición del Autor, Granada. 1995.
- 36 **SPORT ACADEMY:** "3D Analyzer". SportAcademy, Barcelona. 2000. <<http://www.sportacademy.net/>> [Consulta: 22/01/02].
- 37 **THIVENT, B., DENIS, G.:** "Chrono-Win". S.E.R.I.A. NANCY, Nancy. 1996.
- 38 **VAQUERO, J.L.:** "Manual de Medicina Preventiva y Salud Pública". 1992. Editorial Pirámide, Madrid.
- 39 **VILLA, J.G., DE PAZ, J.A., GONZÁLEZ-GALLEGO, J.:** "Bases para la evaluación de la condición física y la preparación deportiva", en "Libro Olímpico de Medicina Deportiva" de C.O.E. 1992. Comité Olímpico Español, Madrid.
- 40 **VILLA, J.G., GARCÍA-LÓPEZ, J., MORANTE, J.C., MIGUEL, J., DE PAZ, J.A., PÉREZ, R., YAGÜE, J.M.:** "Aplicación informática para realizar el test de Probst con futbolistas y verificar un hipotético umbral anaeróbico". 1997. Actas del IV Congreso Internacional sobre Entrenamiento Deportivo, I.N.E.F. de Castilla y León, León.
- 41 **ZATSORSKI, V.M.:** "Metrología deportiva". 1989. Editorial Pueblo y Educación, La Habana.