

La aplicación de la biomecánica al entrenamiento deportivo mediante los análisis cualitativo y cuantitativo. Una propuesta para el lanzamiento de disco.

Biomechanical applications of sport training based on qualitative and quantitative analysis. A purpose of discus throwing.

Ferro Sánchez, Amelia

Universidad Autónoma de Madrid

Floría Martín, Pablo

Universidad de Zaragoza

Resumen

El establecimiento de un nexo que relacione el lenguaje y las expresiones de los entrenadores con la terminología y los principios biomecánicos es la clave para el aprovechamiento de la información y de los resultados del trabajo realizado por entrenadores y biomecánicos, encaminado al control del entrenamiento, la mejora de la técnica y del rendimiento deportivo. El propósito de este estudio fue elaborar un cuadro de indicadores de eficacia que clasifique, ordene la información y permita la valoración de la técnica deportiva basándose en criterios biomecánicos, tomando como ejemplo el lanzamiento de disco. La metodología seguida se basó en un análisis cualitativo, pero asociado a datos cuantitativos procedentes de la bibliografía, y constó de varias etapas: 1. Recopilar información del gesto técnico; 2. Fijar su objetivo final; 3. Dividir el movimiento en fases; 4. Determinar los criterios de eficacia de cada fase; 5. Identificar los aspectos técnicos utilizados por los entrenadores para enseñar la técnica y mejorarla; 6. Identificar y definir las variables biomecánicas relacionadas con dichos aspectos técnicos; 7. Señalar los criterios de valoración de cada variable; 8. Anotar los valores aportados por la bibliografía para dichas variables biomecánicas, incluyendo los aportados por nuestro grupo de investigación. El resultado del estudio fue el diseño del que se denominó *Cuadro de Indicadores de Eficacia Técnica-Biomecánica* que permite: i) Relacionar el lenguaje de los entrenadores con el de los biomecánicos; ii) Facilitar la interpretación de variables biomecánicas y su valoración objetiva y iii) Contrastar los resultados procedentes de nuevos estudios con los de la literatura, ofreciendo soluciones claras a problemas concretos.

Abstract

The combined efforts of both trainers and biomechanical researchers have pursued to improve training control, technique development and performance. In order to take advantage of the outcomes of such studies, the establishment of a link connecting the language and expressions used by trainers to the terminology and the biomechanical principles can be defined as a key point. The purpose of this paper is to elaborate an efficacy indicators chart that classifies and organises the information available to allow an innovative assessment of the techniques applied to sports from a biomechanical approach, using discus throwing as an example. The methodology applied, based on qualitative analysis but associated to quantitative data belonged from bibliography, involved different stages: 1. Collect relevant information with regards to movement. 2. Set a final objective. 3. Divide the movement into phases. 4. Determine mechanical purposes of each phase. 5. Identify critical features used by trainers to help athletes improve their technique. 6. Match biomechanical variables to the previous technical points. 7. Point out assessment criteria for each variable. 8. Make note of the results arising from the bibliography for such biomechanical variables, including data provided by our discus throwing research group. The research delivered an *Efficacy Indicators Technique-Biomechanics Chart*. Main advantages of the design of the chart are as follows: i) It enables linking the trainers and biomechanical researchers language ii) It enables the interpretation and objective assessment of biomechanical variables iii) It facilitates the evaluation of results from new researches versus results shown on previous papers, providing neat solutions to concrete problems.

Palabras clave: biomecánica, análisis cualitativo, análisis cuantitativo, lanzamiento de disco, cinemática, entrenamiento deportivo, rendimiento deportivo

Key words: biomechanics, qualitative analysis, quantitative analysis, discus throwing, kinematics, sport training, sport performance.

Correspondencia/correspondence: Amelia Ferro Sánchez
Facultad de Formación de Profesorado y Educación. Dpto. Ecuación Física, Deporte y Motricidad Humana.
Despacho III-314. Universidad Autónoma de Madrid. C/ Francisco Tomás y Valiente, 3 - 28049. Madrid, España
E-mail: amelia.ferro@upm.es

Introducción

La biomecánica deportiva juega un papel importante en el logro de una técnica deportiva eficaz puesto que puede ayudar a comprenderla, a mejorar su enseñanza y su entrenamiento (Bartlett, 1997). En los años 70, cuando todavía la biomecánica no estaba tan extendida en el ámbito científico y deportivo como lo está actualmente, Nelson (1973) afirmó que las mayores mejoras en el rendimiento deportivo deberían producirse a través de la aplicación de los resultados de los estudios biomecánicos. Años más tarde, se ha comprobado que esta hipótesis era cierta, aunque con matices.

El conocimiento de la terminología, de las bases y de los principios biomecánicos por parte de los entrenadores resulta fundamental para el control del entrenamiento, la mejora de la técnica deportiva y del rendimiento. Para ello, el establecimiento de un nexo que relacione el lenguaje y expresiones de los entrenadores con las variables y principios utilizados por los biomecánicos, es la clave para el aprovechamiento de la información y de los resultados del trabajo realizado por ambos colectivos. La interpretación de los principios biomecánicos no es sencilla, por lo que es necesario trazar una estrategia que establezca la relación de dichos principios con la práctica deportiva. El análisis biomecánico cualitativo facilita la comprensión de los principios que rigen las habilidades motrices básicas y las deportivas. Si esa información se complementa con los resultados proporcionados por los estudios biomecánicos procedentes de los análisis cuantitativos, obtenidos utilizando tecnología sofisticada, la comprensión de dicha información será completa y dará una idea más global al entrenador sobre las claves que determinan la técnica.

Las evaluaciones sistemáticas del gesto deportivo, por parte de los entrenadores y científicos de apoyo al deporte, pueden contribuir de forma significativa al mantenimiento y mejora de la técnica. En consecuencia, toda planificación de entrenamiento deportivo debería incluir una serie de procedimientos sistemáticos que tuvieran como fin valorar dicha técnica (Mendoza y Schöllhorn, 1990, 1991; Ferro *et al.*, 1998b).

Para llegar a comprender la necesidad de este planteamiento, cabe destacar, como ejemplo aportado en este estudio, la prueba atlética del lanzamiento de disco. En ella, el atleta ejecuta, a una alta velocidad, complicados movimientos con una importante limitación de espacio, requiriendo por tanto, grandes demandas físicas y técnicas (Hay y Yu, 1995; Yu *et al.*, 2002). Según afirman Stepanek y Susanka (1987) la media de edad en la que un lanzador de disco consolida la técnica es de 27 años. Sin un control del entrenamiento y de la evolución de gesto sistemático, el atleta demoraría en demasía su proceso de aprendizaje y el logro del máximo rendimiento en competición.

Grosser *et al.* (1989) distinguieron cinco pasos sucesivos en el proceso de control y evaluación de la ejecución del movimiento: Diagnóstico de una ejecución, tanto en entrenamiento como en competición; establecimiento de los objetivos, planificación de entrenamientos y competiciones; ejecución de entrenamientos y competiciones; control y análisis del entrenamiento y de las competiciones por medio de la auto-observación y observación objetiva y evaluación, comparación de objetivos y corrección de errores. Para que esta tarea pueda llevarse a cabo, es necesario construir un perfil de las demandas del gesto donde se identifiquen las variables de eficacia del movimiento, decisivas para el rendimiento, así como las acciones realizadas por el deportista (Knicker, 1992; Ferro *et al.*, 1998a).

A pesar de la importancia de esta relación entrenador-biomecánico, son escasos los estudios científicos que se centran en analizar cómo deberían ser proporcionados los resultados de los análisis biomecánicos a los atletas y técnicos deportivos para que éstos puedan ser aplicados en la práctica diaria del entrenamiento deportivo (Gregor *et al.*, 1992; Bartlett, 1997).

Si bien los análisis biomecánicos de la técnica, por un lado, y las pruebas de campo realizadas por los entrenadores, por otro, podrían proporcionar dicha evaluación sistemática, no siempre se establece una comunicación fluida entre entrenadores y biomecánicos, no llegando a aprovecharse los conocimientos de ambos colectivos en beneficio del deportista de alto nivel. Este hecho ha sido puesto de manifiesto por algunos autores en sus publicaciones más relevantes, habiendo aportado soluciones para solventarlo. Cabe citar los trabajos de Hay (1993), Kreighbaum y Barthels (1996), Knudson y Morrison (2002) y McGuinnis (2005). Así mismo, la experiencia de nuestro grupo de investigación confirma este hecho, motivo por el que durante más de una década se ha venido trabajando en esta línea de actuación que se ha reflejado en algunas de las publicaciones de Ferro (2001), Ferro *et al.* (1998b), Floría (2006) y Floría y Ferro (2006).

Por lo que respecta a la aportación de los entrenadores, para facilitar el análisis de la ejecución técnica del gesto aparecen en la bibliografía las denominadas “*Check List*” que se podría traducir como lista de control técnico. Como ejemplo, se podría mencionar las aportadas para el lanzamiento de disco por McGill (1983), Bosen (1985), Bottcher (1993), Altmeyer *et al.* (1994), Tidow (1994) y Waters (1994).

Cabe destacar el trabajo de Tidow (1994) que presenta una propuesta de análisis del lanzamiento de disco en un intento de integrar los aspectos técnicos a observar en cada fase. Su lista de control la divide en cinco columnas (Figura 1). En la primera, representa dos esquemas, el primero de los cuáles hace referencia a la posición inicial y el segundo a la posición final de la fase que se describe. A continuación, define el nombre de la fase, lista los puntos de referencia que debe observar el técnico deportivo y enumera los criterios correctos para cada uno de los puntos de referencia anteriores. La última columna la reserva para la valoración del entrenador, disponiendo de tres ítems: bien (+), regular (0) o mal (-).

	FASE	REFERENCIA	CRITERIO	VALORACIÓN		
				+	0	-
	POSICIÓN DE INICIO	A 9 Brazo lanzador / disco	En el punto más retrasado y alto			
		A 10 Pierna balanceo / pie	Cargada / Apoyado con toda la planta			
		A 11 Pierna de pivote / pie	Sin peso / Apoyada con el metatarso del pie			
		A 12 Cuerpo	En torsión			
	POSICIÓN PUENTE	AB 13 Peso del cuerpo	Se dirige hacia la pierna de pivote			
		AB 14 Pierna de pivote / pie	Gira hacia el interior sobre el metatarso del pie			
		B 15 Rodilla	Flexionada			
		B 16 Brazo lanzador	Atrasado y elevado			

Figura 1. Fragmento de la *lista de control* del lanzamiento de disco propuesta por Tidow (1994).

Las valoraciones cualitativas aportadas son muy útiles para técnicos deportivos y atletas pero resultan limitadas cuando se trata de profundizar en el conocimiento de la técnica y de su soporte y fundamentación científica.

Por su parte, los científicos del deporte y los biomecánicos son conscientes de la dificultad de la aplicación de la biomecánica al ámbito del entrenamiento y del rendimiento deportivo, así como al de la enseñanza (Hay, 1993; Kreighbaum y Barthels, 1996; Luttgens y Wells, 1985; McGuinnis, 2005). En foros científicos se debate sobre los métodos de enseñanza utilizados para la comprensión de los principios biomecánicos ofreciendo soluciones relacionadas con la realización de análisis cualitativos, su aplicación al gesto deportivo e interpretación de la técnica (NASPE, 1992; Knudson, 2001).

Knudson y Morrison (2002) realizaron una revisión histórica de la evolución de los análisis biomecánicos destacando dos enfoques: el *comprensivo* y el *observacional*.

Los modelos de análisis cualitativos que se ajustan al enfoque comprensivo, tratan de dar información de cómo realizar las tareas más relevantes en el análisis del movimiento humano, como son la determinación del objetivo principal del movimiento, la preparación para la observación, la observación en sí, el proceso de evaluación, el diagnóstico de los errores y la forma de administrar la retroalimentación (Knudson y Morrison, 2002).

Los modelos observacionales se centran principalmente en detallar la tarea de observación dentro del análisis cualitativo, por lo tanto, se acoplan dentro de los modelos comprensivos. Algunos modelos observacionales incluyen partes de otras tareas, además de la de observación, como es el caso de los estudios de Abendroth-Smith *et al.* (1996) y Abendroth-Smith y Kras (1999) que analizaron la tarea del profesor dentro del proceso de observación: qué observar, cómo observar y cómo corregir, proponiendo, finalmente, una metodología (*B-BOAT* o *Biomechanically Based Observatin and Análisis for Teachers*).

Uno de los primeros autores que desarrolló un modelo de análisis cualitativo, con un enfoque comprensivo, fue Norman (1975, 1977) (citado por Knudson y Morrison, 2002) aunque el modelo de análisis más extendido entre los biomecánicos es, sin lugar a dudas, el propuesto por Hay y Reid (1982, 1988). Así mismo, autores como Luttgens y Wells (1985), Kreighbaum y Barthels (1996), McGuinnis (2005) y el propio Hay (1993) han contribuido con sus libros de texto a difundir el análisis cualitativo. En la misma línea, Sanders y Wilson (1989, 1990a, 1990b) propusieron, en una serie de artículos, unas claras pautas para la comprensión de los principios biomecánicos en la enseñanza y el entrenamiento; Knudson *et al.* (1994) y Knudson y Morrison (2002) aportaron, entre otros, ejemplos prácticos de aplicación de este tipo de análisis.

Luttgens y Wells (1985) propusieron un modelo de análisis kinesiológico para ayudar a comprender los elementos básicos y las necesidades de una habilidad motriz. En la tabla I se presentan los componentes básicos de este análisis.

Hay y Reid (1982, 1988) desarrollaron un modelo de análisis cualitativo comprensivo que consta de cuatro etapas: desarrollo de un modelo biomecánico, observación del movimiento e identificación de los errores, ordenación de los errores por importancia y correcciones de errores del deportista. Para la fase de desarrollo de un modelo biomecánico, los autores propusieron una estructura jerárquica para la ordenación de las variables biomecánicas que determinan el resultado final del movimiento (figura 2). En la cúspide se encontraría el propósito mecánico principal, resultado final o criterio de eficacia; en el caso del lanzamiento de disco sería la variable *distancia oficial*. A partir de este propósito principal se irían identificando las variables biomecánicas que determinarían directamente el resultado final. A su vez, cada una de estas variables, tendrían un nivel inferior en el que se hallarían aquellas que determinarían la variable del nivel superior.

Tabla I. Descripción del análisis kinesiológico propuesto por Luttgens y Wells (1985).

-
- A. Descripción de la realización de la destreza
1. Nombre y propósito primario de la actuación
 2. Clasificación
 3. Breve descripción oral de la destreza
- B. Análisis anatómico
1. Actuación de las articulaciones
 2. Participación muscular
 3. Consideraciones neuromusculares
 4. Principios anatómicos relacionados con la actuación segura y efectiva
- C. Análisis mecánico
1. Subrayar los objetivos mecánicos
 2. Naturaleza del movimiento y de la(s) fuerza(s)
 - a) Tipo(s) de movimiento(s)
 - b) Fuerzas involucradas
 3. Identificar los principios mecánicos que se aplican
 4. Violación de los principios
 - a) ¿Qué aplicación de principios se ha violado?
 - b) ¿Cuáles son los errores?
 - c) ¿Cuáles son las causas de los errores?
- D. Prescripción para mejorar la actuación. Indicar cómo se debe cambiar la actuación de modo que no se vuelva a violar los principios
-

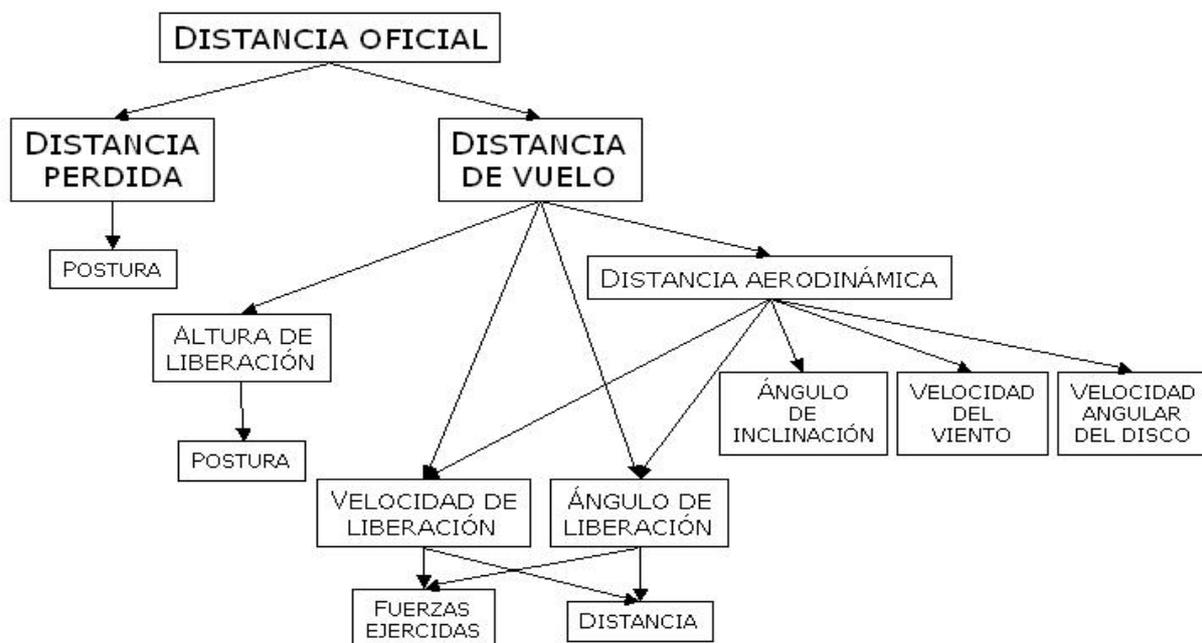


Figura 2. Modelo teórico de los factores que determinan la distancia oficial del lanzamiento de disco (modificado de Hay, 1993).

Este tipo de análisis, por resultar enormemente didáctico y útil en la práctica habitual, ha sido ampliamente extendido en el ámbito de la biomecánica deportiva, en la investigación del gesto y en el análisis de las técnicas deportivas, habiendo sido acuñado como método de partida, previo al análisis cuantitativo, por numerosos autores así como por nuestro grupo de investigación. Su aplicación ha proporcionado buenos resultados, tanto por la sistematización del análisis, como por la posterior interpretación de los resultados por parte de los entrenadores (Ferro, 1996, 2001; Ferro et al., 2003, 2004; Floría y Ferro, 2006; Floría, 2006).

McPherson (1990) presentó un modelo sistemático de análisis de la habilidad en cuatro etapas: preobservación, observación, diagnosis y corrección de errores, muy similares a las propuestas por Hay y Reid (1982; 1988).

Kreighbaum y Barthels (1996), por su parte, propusieron un análisis que consistía en estudiar el gesto deportivo vinculando varios factores entre sí: el propósito mecánico, los factores biomecánicos, los principios biomecánicos y las características críticas del gesto. Las fases del proceso de análisis son las siguientes:

1. Identificar el objetivo del movimiento. El objetivo general de rendimiento se expresa en términos mecánicos, por ejemplo, el objetivo del lanzamiento de disco es lanzar el implemento logrando la máxima distancia horizontal.
2. Dividir la habilidad en diferentes fases.
3. Identificar el propósito mecánico de cada fase de movimiento. Cada una de las fases tiene su propio propósito mecánico que facilita y contribuye el cumplimiento con éxito del objetivo general de rendimiento. En la medida que se consiga el propósito mecánico de cada una de las fases del movimiento se establecen las condiciones ideales necesarias para conseguir el objetivo general de rendimiento.
4. Elaborar una relación de los factores biomecánicos que determinan la consecución del propósito mecánico.
5. Identificar los principios biomecánicos que relacionan los factores biomecánicos con el rendimiento.
6. Elaborar una relación de las características críticas de cada componente. Las características críticas son esas acciones corporales que pueden ser observadas por el entrenador.

La propuesta de Kreighbaum y Barthels (1996) queda reflejada en la tabla II. Este tipo de análisis, así como la información aportada por sus autoras, ha sido de especial relevancia para el avance del conocimiento y la difusión de la biomecánica deportiva.

Tabla II. Cabecera de la tabla del análisis cualitativo propuesto por Kreighbaum y Barthels (1996).

Propósito Mecánico		
Factores biomecánicos	Principios biomecánicos	Características críticas

En lo referente al análisis biomecánico cuantitativo, si bien, en la última década el avance de la biomecánica ha sido considerable, son muchos los deportes que no han sido abordados desde esta perspectiva. Por otro lado, la interpretación de los resultados de los estudios de las técnicas deportivas que sí han sido estudiadas, entraña cierto grado de dificultad por parte de los entrenadores, si no están claramente delimitados los rangos entre los que se hallan los valores normales de cada variable y los criterios de valoración. Dicha interpretación se complica más aún, si se desconoce la definición y aplicación de la variable biomecánica estudiada.

En consecuencia, para solventar los obstáculos derivados de la interpretación de los principios biomecánicos y de su aplicación al entrenamiento y a la mejora del rendimiento se propone la siguiente línea de actuación encaminada a diseñar una estructura ordenada en forma de tabla o cuadro que relacione los aspectos técnicos, utilizados por los entrenadores en la mejora del rendimiento, con los indicadores de eficacia biomecánicos. Así se establecerá un nexo entrenador – biomecánico que permitirá una comunicación fluida, mediante un lenguaje comprensible, y un eficaz aprovechamiento de los resultados y de los conocimientos científicos proporcionados por ambos colectivos. Para ello, fue necesario identificar las variables biomecánicas de eficacia de la técnica, en el caso concreto del lanzamiento de disco, y elaborar un cuadro que clasifique, ordene la información y permita la valoración de la técnica basándose en criterios biomecánicos.

Así mismo, para obtener datos de referencia que sirvan de consulta y valoración se documentó el cuadro con datos procedentes de una revisión exhaustiva de la literatura científica y con resultados biomecánicos aportados por nuestro grupo de investigación entre los años 1995 y 2002. Estas investigaciones versaban sobre la técnica del lanzamiento de los mejores atletas de alto nivel seleccionados por la Real Federación Española de Atletismo (RFEA) ejecutados en competiciones nacionales (Campeonatos de España) e internacionales (Liga Europea de Atletismo) (Ferro *et al.*, 1998a, 1998b, 1999, 2004; García-Fogeda, 1998; Floría, 2006; Floría y Ferro, 2006).

Método

Con objeto de identificar, clasificar y ordenar las variables que permitirán el análisis y valoración biomecánica de la técnica del lanzamiento de disco se elaboró una estructura ordenada en forma de tabla o cuadro que albergaría indicadores de eficacia, tanto cualitativos y como cuantitativos. La creación de dicho cuadro se llevó a cabo a lo largo de las siguientes etapas (figura 3):

- Recopilar la información relevante del gesto técnico.
- Fijar el objetivo final del movimiento.
- Dividir el movimiento en fases.
- Fijar los criterios de eficacia biomecánica de cada fase.
- Identificar los aspectos técnicos utilizados por los entrenadores para enseñar la técnica y mejorarla.
- Identificar y definir las variables biomecánicas que están relacionadas con dichos aspectos técnicos.
- Señalar los criterios de valoración.
- Anotar los valores aportados por la bibliografía para esas mismas variables biomecánicas.

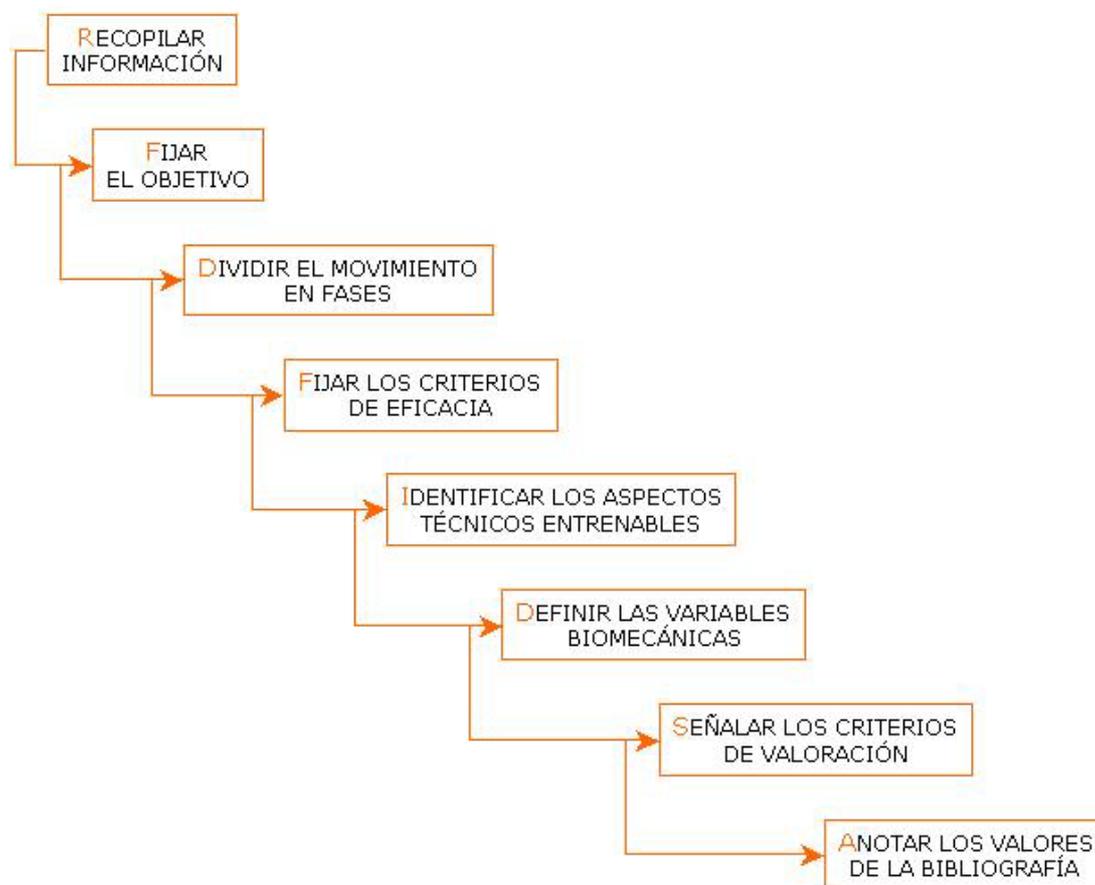


Figura 3. Metodología de diseño de la estructura o cuadro propuesto en el estudio.

1ª Fase

La fase de revisión y recopilación de la información consistió en un proceso exhaustivo de síntesis de información procedente de fuentes, como la propia observación *in situ* del lanzamiento de disco realizado durante la competición, de reuniones mantenidas con técnicos deportivos para conocer sus inquietudes y problemas a resolver y de la revisión bibliográfica sistemática y lectura de artículos relativos a la biomecánica y al entrenamiento de la técnica del lanzamiento de disco.

En la búsqueda de información se incluyeron textos escritos procedentes de una amplia variedad de fuentes y autores incluyendo artículos en revistas de biomecánica de impacto, entrevistas a técnicos deportivos y atletas, artículos escritos por los propios técnicos deportivos, artículos científicos, actas de congresos y eventos científicos, informes técnicos sobre campeonatos oficiales, consultas en foros especializados en Internet, etc. Entre los trabajos y autores consultados se encontraron algunas opiniones sin fundamentos científicos sólidos, por lo que éstos fueron tomados con cautela debido a que sus resultados y conclusiones podrían ser débiles. Con todo, la base bibliográfica obtenida fue extensa abarcando un gran número de artículos que trataban el lanzamiento de disco desde muy diferentes puntos de vista (biomecánico, alto rendimiento, pedagógico, médico...).

2ª Fase

La segunda fase de diseño del cuadro consistió en expresar con precisión el objetivo final del movimiento. Debido a que el lanzamiento de disco es un evento cuya demanda es lanzar el disco tan

lejos como sea posible, el objetivo último del atleta es incrementar esa distancia de lanzamiento.

3ª Fase

El siguiente paso fue dividir el movimiento en fases. Para ello se utilizaron los sucesivos contactos de los pies con el suelo como instantes característicos que acotaban cada una de las fases. Este mismo criterio de división ha sido habitualmente usado en la literatura científica para el lanzamiento de disco (Knicker, 1992; Dapena, 1993; Tidow, 1994; Hay y Yu, 1995; Dapena y Anderst, 1997; Dapena *et al.*, 1997; Knowles, 1997; Knicker, 1999; Yu *et al.*, 2002). Se eligió, como ejemplo para presentar el *Cuadro de Indicadores de Eficacia* en este artículo, el *instante de despegue o liberación del disco*, es decir, el momento en que el atleta, tras realizar un desplazamiento lineal y de rotación en el círculo de lanzamiento, suelta el disco para alcanzar la máxima distancia.

4ª Fase

Delimitadas las fases, se procedió a fijar el *criterio biomecánico de eficacia*. La consecución de dicho criterio conduce al logro con éxito del objetivo final.

5ª Fase

El siguiente paso fue identificar los aspectos técnicos críticos del movimiento. Los aspectos técnicos se han definido, en este estudio, como aquellos términos o expresiones correspondientes a fases o instantes de movimiento observables por los técnicos deportivos para evaluar si el lanzamiento ha sido ejecutado correctamente. Entre ellos, se podría poner como ejemplo los siguientes: “*Llevar el disco desde abajo hacia arriba en la última fase*”, “*completar, con el lado derecho, el giro alrededor del lado izquierdo*” o “*no inclinar el tronco en el instante de liberación*”. En este sentido se utilizaron las fuentes y la terminología específica de los técnicos deportivos.

Identificados los aspectos técnicos críticos, se ordenaron y clasificaron en el cuadro en función del *criterio biomecánico de eficacia*.

6ª Fase

A continuación se identificaron las variables biomecánicas que podrían cuantificar los aspectos técnicos expuestos anteriormente. La identificación se basó en la revisión bibliográfica, pero además se propusieron nuevas variables, definidas a partir de los trabajos de investigación previos realizados por nuestro grupo; por ejemplo, el ángulo de flexo-extensión de la rodilla del miembro inferior izquierdo en el instante de liberación. Posteriormente, se expondrá brevemente la metodología desarrollada. La ejecución de un movimiento sobre la base de unos principios biomecánicos tendrá como resultado la ejecución de un movimiento más eficaz desde un punto de vista biomecánico.

7ª Fase

En la siguiente fase se establecieron, para cada una de las variables biomecánicas, un criterio de valoración, con el fin de conocer cómo dichos valores podrían ir asociados a mejoras técnicas.

8ª Fase

Posteriormente, se anotaron los valores de cada variable biomecánica publicada en investigaciones recogidas de la bibliografía. Se incluyó, para cada variable analizada, en las categorías masculina y femenina, la media, la desviación estándar y los valores máximos y mínimos. Estos datos pretenden servir de referencia para que técnicos deportivos, de cualquier nivel, puedan obtener una valoración cuantitativa objetiva, precisa y fiable, de cada variable. De esta forma se facilita el estudio, el

análisis y la comparación de los resultados de los propios atletas en el caso de que sean sometidos a un análisis biomecánico.

9ª Fase

Finalmente, se creó una última columna con el objetivo de que el entrenador o atleta anote sus propios valores y puedan ser comparados con más facilidad con los aportados por la bibliografía.

Se debe destacar que el cuadro se diseñó pensando en su utilidad para los técnicos deportivos, por tanto, se buscó que la información fuese clara, concisa y fácil de interpretar y consultar, y el formato, fácil de manejar.

Metodología de análisis biomecánico de la 6ª fase

Como se indicó anteriormente, la fase 6 consistió en “*Identificar y/o definir las variables biomecánicas que están relacionadas con los aspectos técnicos*”. Para ello, se realizaron, durante varios años, análisis biomecánicos de la técnica del lanzamiento de disco en atletas de alto nivel. Estos análisis permitieron, tanto cuantificar variables cinemáticas descritas en la literatura y reportadas por diferentes autores (Knicker, 1992; Dapena, 1993; Tidow, 1994; Hay y Yu, 1995; Dapena y Anderst, 1997; Dapena *et al.*, 1997; Knowles, 1997; Knicker, 1999; Yu *et al.*, 2002) como definir y cuantificar nuevas variables (Ferro *et al.*, 1998a, 1998b, 1999, 2004; García-Fogeda *et al.*, 1998; Floría, 2006; Floría y Ferro, 2006).

Dichos estudios se centraron en el análisis cinemático de la técnica individual de los atletas españoles. Para ello, se partió del análisis cualitativo propuesto por Hay (1993) y se realizaron filmaciones sistemáticas de lanzadores de disco, de categorías masculina y femenina, seleccionados por la RFEA por su buen rendimiento deportivo, durante concentraciones y competiciones nacionales e internacionales celebradas entre 1995 y 2002. Para el registro de imágenes se utilizaron dos cámaras de cine de alta velocidad sincronizadas (*Photosonic-1PL*). Las filmaciones se realizaron a una frecuencia de 100fps en dos planos, formando las cámaras un ángulo de entre 60 y 120 grados para reconstruir la imagen tridimensional. Para la calibración del espacio se utilizó un sistema de referencia cúbico de dos metros de lado. Se definió un modelo antropométrico simplificado del deportista formado por 24 marcadores y 14 segmentos siguiendo el modelo propuesto por de Leva (1996) al que se le añadieron los marcadores disco y metatarsos derecho e izquierdo (Ferro *et al.*, 1998b). El proceso de obtención de coordenadas se realizó mediante el programa *Fotogram-IBV*. El cálculo de las coordenadas tridimensionales se realizó a partir de las coordenadas planas, de las dos secuencias sincronizadas y filmadas, utilizando el algoritmo de *Transformación Lineal Directa* de Abdel-Aziz y Karara (1971). Las coordenadas tridimensionales se suavizaron usando el método de *Generalized Cross – Validation* descrito por Woltring (1985) utilizando *splines* de 5º orden. El cálculo de las variables biomecánicas se realizó mediante una rutina de cálculo, diseñada para ese fin, denominada *BioDisc*, que permitió el diseño de los algoritmos y las salidas gráficas.

Las variables biomecánicas se organizaron en dos grandes grupos (tabla III): *Variables previas a la liberación* y *variables posteriores a la liberación*.

Tabla III. Organización de las variables biomecánicas definidas.

Previas a la liberación	Temporales	Intervalos de tiempo
	Espaciales lineales	Distancias entre marcadores
		Coordenadas del disco
	Espaciales angulares	Ángulos de torsión del atleta
		Patrón articular de los miembros superiores e inferiores
		Ángulos del disco
Espacio-temporales	Velocidades del disco	
	Velocidades de puntos articulares	
Posteriores a la liberación	Espaciales	Distancias recorridas por el disco en vuelo

Todos los resultados procedentes de los estudios se almacenaron en una base de datos denominada *Sistema de Información Biomecánica (SIB)* que permitió organizar la información y realizar las consultas necesarias.

Resultados

El resultado del estudio fue el diseño del cuadro que se denominó *Cuadro de Indicadores de Eficacia Técnica-Biomecánica (CIETEB)* cuya cabecera se presenta en la tabla IV.

Tabla IV. Cabecera del *Cuadro de Indicadores de Eficacia Técnica-Biomecánica*.

Criterio de eficacia	Aspectos técnicos	Variable biomecánica	Criterio de valoración	Datos			
				Bibliografía			Datos del Entrenador
				Media SD	Máx	Mín	

SD: Desviación estándar. Máx: Valor máximo. Mín: Valor mínimo.

El *Cuadro de Indicadores de Eficacia Técnica-Biomecánica*, con los datos del lanzamiento de disco incluidos, correspondientes al *Instante de liberación del disco*, se presenta en la tabla V.

Por otro lado, con el objetivo de que las variables biomecánicas pudieran ser comprendidas e interpretadas por los entrenadores, se presentan varias tablas que contienen el nombre, la definición, el algoritmo de cálculo y la representación gráfica de cada variable biomecánica reseñada en el *cuadro de Indicadores de Eficacia Técnica-Biomecánica* (tablas VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII).

Tabla V. Cuadro de Indicadores de Eficacia Técnica-Biomecánica (2)

INSTANTE DE LIBERACIÓN



Lanzador diestro

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN	BIBLIOGRAFÍA						DATOS DEL ENTRENADOR
				Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	
<p>Objetivo Fase 5: Transferir la máxima velocidad al disco. Alcanzar unas condiciones óptimas en el instante de liberación: patrón articular, posición disco y máxima velocidad del implemento</p>	No inclinar el tronco	Ángulo de flexión lateral del tronco	Valores cercanos a 90° o desviaciones laterales próximas a 0m indica que no hay inclinación	♀ 0.02m SD 0.13 Susanka <i>et al.</i> (1988)	0.24m	-0.14m	♂ 93° SD 12 Floría (2006)	113°	76°	
		Distancia horizontal entre el disco y centro de masas del sistema lanzador+disco		♂ elite 85.8° SD 6.7 ♂ júnior 84.5° SD 9.0 Silvestre y McCoy (1995)			♀ 85° SD 9 93°	67°		
		Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, de la distancia horizontal entre el disco y centro de masas del sistema lanzador+disco	A mayor valor, mayor alejamiento	♂ elite 1.05m SD 0.08 ♂ júnior 0.98m SD Silvestre y McCoy (1995)						
	Despegue pies/No despegue de pies (diferentes criterios)	Instante de despegue de los pies (caso de producirse) con relación al instante de liberación	No hay criterio claro				♂ 0.02s SD 0.03 ♀ 0.02s SD 0.03 Floría (2006)	0.08s	0.00s	
	Liberar el disco por encima de la altura de los hombros	Altura de liberación del disco	A mayor valor, mayor altura de liberación del disco	♂ 1.71m SD 0.11 Dapena y Anderst (1997)	1.94m	1.49m	♂ 1.49m SD 0.20 Floría (2006); Floría y Ferro (2006)	1.75m	1.06m	
				♀ 1.57m SD 0.15 Dapena <i>et al.</i> (1997)	1.79m	1.28m	♀ 1.40m SD 0.11 Floría (2006); Floría y Ferro (2006)	1.57m	1.18m	
		Porcentaje de la altura de liberación del disco con respecto a la estatura del sujeto		♂ 1.42m SD 0.17 ♀ 1.29m SD 0.17 Susanka <i>et al.</i> (1988)	1.67m	1.18m				
		Ángulo de abducción del hombro del lado ejecutor		♂ 89.5% SD 5.9 Dapena y Anderst (1997)	101,5%	80,5%				
				♀ 88.1% SD 6.1 Dapena <i>et al.</i> (1997)	97,0%	76,0%				
				♂ elite 108.3° SD 8.2 ♂ júnior 97.2° SD 9.6 Silvestre y McCoy (1995)			♂ 80° SD 9 ♀ 79° SD 9 Floría (2006); Floría y Ferro (2006)	95°	59°	

Tabla V. Cuadro de Indicadores de Eficacia Técnica-Biomecánica (3)

INSTANTE DE LIBERACIÓN



Lanzador diestro

CRITERIO DE EFICACIA	ASPECTO TÉCNICO	VARIABLE BIOMECÁNICA	CRITERIO DE VALORACIÓN	BIBLIOGRAFÍA						DATOS DEL ENTRENADOR
				Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	
<p>Objetivo Fase 5: Transferir la máxima velocidad al disco. Alcanzar unas condiciones óptimas en el instante de liberación: patrón articular, posición disco y máxima velocidad del implemento</p>	Liberar el disco a la máxima velocidad	Incremento de velocidad absoluta del disco en Fase 5	A mayor valor, mayor velocidad de liberación	♂ 16.16m/s SD 1.57 ♀ 15.34m/s SD 1.39 Hay y Yu (1995)			♂ 15.5m/s SD 1.7 ♀ 16.0m/s SD 2.3 Floría (2006)	18.6m/s 19.1m/s	12.7m/s 12.2m/s	
		Velocidad resultante del disco en la liberación		♂ 23.6m/s SD 0.6 ♀ 22.8m/s SD 0.9 Dapena <i>et al.</i> (1997)	24.7m/s 24.9m/s	22.0m/s 21.4m/s	♂ 22.8m/s SD 1.1 ♀ 22.3m/s SD 0.7 Floría (2006)	24.8m/s 23.3m/s	21.0m/s 21.0m/s	
		Velocidad horizontal del disco en la liberación		♂ 19.3m/s SD 0.8 ♀ 18.7m/s SD 1.0 Dapena <i>et al.</i> (1997)	20.6m/s 21.0m/s	17.4m/s 16.9m/s	♂ 18.0m/s SD 1.2 ♀ 18.0m/s SD 1.1 Floría (2006)	20.0m/s 19.3m/s	15.9m/s 15.5m/s	
		Velocidad vertical del disco en la liberación		♂ 13.6m/s SD 1.1 ♀ 13.0m/s SD 0.8 Dapena <i>et al.</i> (1997)	15.6m/s 14.4m/s	11.5m/s 11.5m/s	♂ 13.9m/s SD 1.0 ♀ 13.1m/s SD 0.9 Floría (2006); Floría y Ferro (2006)	15.1m/s 14.3m/s	12.3m/s 11.9m/s	
	Liberar el disco con un ángulo óptimo	Ángulo de liberación	El ángulo óptimo (depende de la altura y velocidad de liberación)	♂ 35° SD 3 ♀ 35° SD 2 Dapena y Anderst (1997) Dapena <i>et al.</i> (1997)	42° 39°	30° 31°	♂ 38° SD 3 ♀ 36° SD 3 Floría (2006)	43° 42°	33° 32°	
		Ángulo de inclinación		Entre 5 y 10° menor a ángulo de liberación	Estudios teóricos (Frolich, 1981)					
		Ángulo de ataque		Entre -9° y -10°	Estudios teóricos (Soong, 1976)					
	Liberar el disco próximo al perímetro del círculo de lanzamiento	Distancia perdida	A menor valor, menor distancia al borde del círculo	♂ 0.39m SD 0.21 ♀ 0.42m SD 0.22 Hay y Yu (1995)			♂ -0.03m SD 0.13 ♀ -0.28m SD 0.21 Floría (2006)	0.20m 0.12m	-0.24m -0.51m	
	Aprovechar las fuerzas aerodinámicas	Distancia Oficial	A mayor valor, mayores distancias de lanzamiento	♂ 59.07m SD 4.43 ♀ 57.90m SD 7.51 Hay y Yu (1995)			♂ 52.97m SD 4.00 ♀ 52.01m SD 2.12 Floría (2006); Floría y Ferro (2006)	62.00m 54.32m	47.52m 47.14m	
		Distancia teórica balística		♂ 55.49m SD 3.38 ♀ 51.34m SD 3.93 Dapena y Anderst (1997) Dapena <i>et al.</i> (1997)	62.00m 59.77m	46.38m 44.35m	♂ 52.78m SD 4.86 ♀ 49.91m SD 3.11 Floría (2006)	61.68m 55.64m	45.81m 46.42m	
		Distancia de vuelo		♂ 59.46m SD 4.38 ♀ 58.32m SD 7.64 Hay y Yu (1995)			♂ 53.00m SD 4.00 ♀ 52.28m SD 2.11 Floría (2006)	62.02m 54.56m	47.45m 47.31m	
		Distancia aerodinámica		♂ 2.42m SD 3.29 ♀ 4.05m SD 3.15 Hay y Yu (1995) ♂ 2.95m SD 3.02 ♀ 4.83m SD 3.07 Dapena y Anderst (1997) Dapena <i>et al.</i> (1997)	7.26m 11.72m	-3.57m -0.48m	♂ 0.22m SD 2.52 ♀ 2.38m SD 3.06 Floría (2006)	4.60m 5.41m	-4.72m -3.39m	

Tabla VI. Variables temporales previas a la liberación.

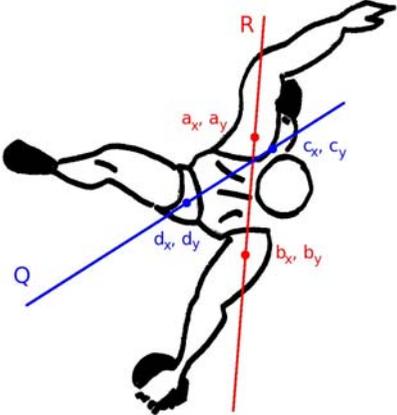
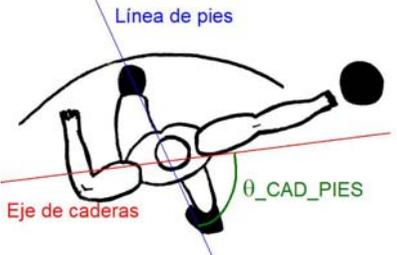
Variable biomecánica	Definición	Ecuación
LIB-DPIES Instante de despegue de los pies en relación al instante de liberación	Intervalo de tiempo desde el último fotograma en el que se observa claramente que el lanzador/a tiene los dos pies apoyados en el suelo hasta el último fotograma en el que el disco está claramente en contacto con la mano antes de la liberación	$LIB-DPIES = (Instante\ Liberación\ Disco) - (Instante\ Despegue\ Pie)$

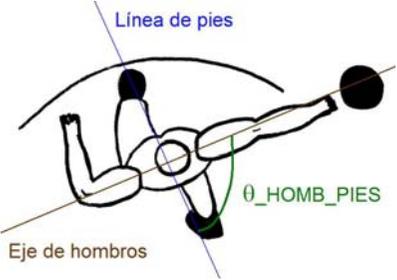
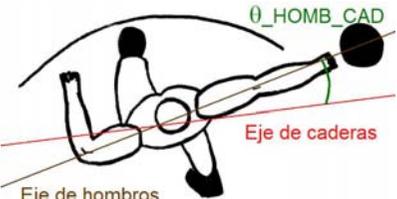
Tabla VII. Variables espaciales lineales previas a la liberación.

Variable biomecánica	Definición	Ecuación	Representación Gráfica
D_h_DISCO-CM Distancia horizontal entre el disco y el centro de masas del sistema lanzador+disco	Distancia proyectada en el plano horizontal entre el centro de masas del disco y el centro de masas del sistema formado por el lanzador y el disco	$D_{h_DISCO-CM} = \sqrt{(DISCO_x - CM_x)^2 + (DISCO_y - CM_y)^2}$	
D_h_DISCO-CMx100 Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, de la distancia horizontal entre el disco y centro de masas del sistema lanzador+disco	Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, de la distancia proyectada en el plano horizontal entre el centro de masas del disco y el centro de masas del sistema formado por el lanzador y el disco	$D_{h_DISCO - CMx100} = \frac{D_h DISCO - CM}{Estatura\ del\ sujeto} \times 100$	

Variable biomecánica	Definición	Ecuación	Representación Gráfica
<p>DISCO_z Altura del liberación del disco</p>	<p>Coordenada z del disco en el instante de liberación medida desde el suelo</p>		
<p>DISCO_zx100 Porcentaje de la altura de liberación del disco con respecto a la estatura del sujeto</p>	<p>Porcentaje, respecto a la estatura del sujeto, del valor de la coordenada z del disco en el instante de liberación</p>	$DISCO_z \times 100 = \frac{DISCO_z}{Estatura\ del\ sujeto} \times 100$	

Tabla VIII. Variables espaciales angulares previas a la liberación. Ángulos de torsión del atleta.

Variable biomecánica	Definición	Ecuación	Representación Gráfica
<p>Ángulo entre dos ejes cualesquiera Q y P</p>	<p>Posición angular proyectada sobre el plano horizontal del eje P con relación al eje Q</p>	$R = [(b_x - a_x), (b_y - a_y)]$ $Q = [(d_x - c_x), (d_y - c_y)]$ $\cos \theta = \frac{(R_x \times Q_x) + (R_y \times Q_y)}{ R \times Q }$	
<p>θ_CAD_PIES Ángulo entre el eje de caderas y la línea de pies en el instante de liberación</p>	<p>Posición angular proyectada sobre el plano horizontal del eje de caderas con relación a la línea de pies en el instante de liberación</p>	$\cos \theta = \frac{(ECAD_x \times EPIES_x) + (ECAD_y \times EPIES_y)}{ ECAD \times EPIES }$ <p>ECAD = Eje de caderas EPIES = Línea de pies</p>	

Variable biomecánica	Definición	Ecuación	Representación Gráfica
<p>θ_{HOMB_PIES} Ángulo entre el eje de hombros y la línea de pies en el instante de liberación</p>	<p>Posición angular proyectada sobre el plano horizontal del eje de hombros con relación a la línea de pies en el instante de liberación</p>	$\cos \theta = \frac{(EHOMB_x \times EPIES_x) + (EHOMB_y \times EPIES_y)}{ EHOMB \times EPIES }$ <p>EHOMB = Eje de hombros EPIES = Línea de pies</p>	
<p>θ_{BRAZO_PIES} Ángulo entre el miembro superior ejecutor y la línea de pies en el instante de liberación</p>	<p>Posición angular proyectada sobre el plano horizontal de la línea del miembro superior ejecutor con relación a la línea de pies en el instante de liberación</p>	$\cos \theta = \frac{(EBRAZO_x \times EPIES_x) + (EBRAZO_y \times EPIES_y)}{ EBRAZO \times EPIES }$ <p>EBRAZO = Línea miembro superior ejecutor EPIES = Línea de pies</p>	
<p>θ_{HOMB_CAD} Ángulo entre el eje de hombros y el eje de caderas en el instante de liberación</p>	<p>Posición angular proyectada sobre el plano horizontal del eje de hombros con relación al eje de caderas en el instante de liberación</p>	$\cos \theta = \frac{(EHOMB_x \times ECAD_x) + (EHOMB_y \times ECAD_y)}{ EHOMB \times ECAD }$ <p>EHOMB = Eje de hombros ECAD = Eje de caderas</p>	

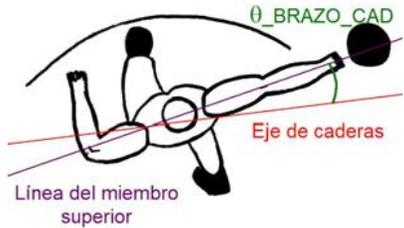
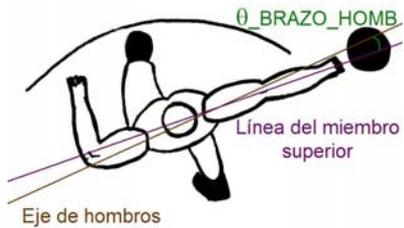
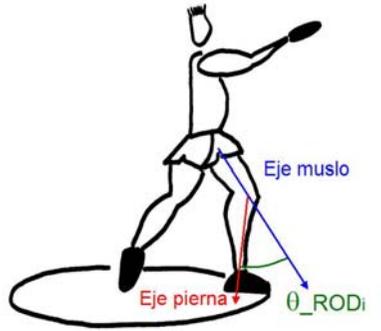
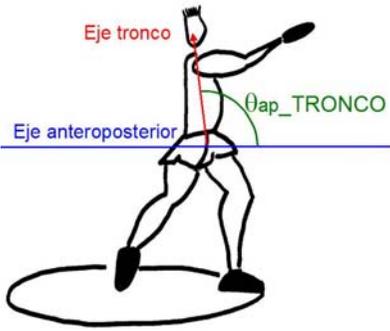
Variable biomecánica	Definición	Ecuación	Representación Gráfica
<p>$\theta_{\text{BRAZO_CAD}}$ Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de caderas en el instante de liberación</p>	<p>Posición angular proyectada sobre el plano horizontal de la línea del miembro superior ejecutor con relación al eje de caderas en el instante de liberación</p>	$\cos \theta = \frac{(EBRAZO_x \times ECAD_x) + (EBRAZO_y \times ECAD_y)}{ EBRAZO \times ECAD }$ <p>EBRAZO = Línea miembro superior ejecutor ECAD = Eje de caderas</p>	
<p>$\theta_{\text{BRAZO_HOMB}}$ Ángulo entre la línea del miembro superior ejecutor y el eje de hombros en el instante de liberación</p>	<p>Posición angular proyectada sobre el plano horizontal de la línea del miembro superior ejecutor con relación al eje de hombros en el instante de liberación</p>	$\cos \theta = \frac{(EBRAZO_x \times EHOMB_x) + (EBRAZO_y \times EHOMB_y)}{ EBRAZO \times EHOMB }$ <p>EBRAZO = Línea miembro superior ejecutor EHOMB = Eje de hombros</p>	

Tabla IX. Variables espaciales angulares previas a la liberación. Patrón articular de los miembros superiores e inferiores.

Variable biomecánica	Definición	Ecuación	Representación Gráfica
<p>θ_{ROD_i} Ángulo de flexo-extensión de la rodilla del miembro inferior izquierdo en el instante de liberación</p>	<p>Definido por la distancia angular entre la prolongación de la recta que une los marcadores cadera hacia rodilla, y la recta que une los marcadores rodilla hacia tobillo. La extensión se establece en 0 grados</p>	$MUSLO = [(ROD_x - CAD_x)(ROD_y - CAD_y)(ROD_z - CAD_z)]$ $PIERNA = [(TOB_x - ROD_x)(TOB_y - ROD_y)(TOB_z - ROD_z)]$ $\cos \theta = \frac{(MUSLO_x \times PIERNA_x) + (MUSLO_y \times PIERNA_y) + (MUSLO_z \times PIERNA_z)}{ MUSLO \times PIERNA }$ <p><i>ROD</i> = Marcador rodilla <i>CAD</i> = Marcador cadera <i>TOB</i> = Marcador tobillo</p>	 <p>Diagrama que muestra un atleta lanzando un disco. Se indica el eje de la pierna (Eje pierna) en rojo y el eje del muslo (Eje muslo) en azul. El ángulo de flexo-extensión de la rodilla (θ_{ROD_i}) se muestra en verde.</p>
<p>θ_{ap_TRONCO} Ángulo de flexo-extensión del tronco en el instante de liberación</p>	<p>Posición angular proyectada sobre el plano sagital de la línea del tronco con relación al eje anteroposterior en el instante de liberación</p>	$\cos \theta = \frac{(ETRONCO_x \times EAP_x) + (ETRONCO_z \times EAP_z)}{ ETRONCO \times EAP }$ <p><i>ETRONCO</i> = Línea del tronco <i>EAP</i> = Eje anteroposterior</p>	 <p>Diagrama que muestra un atleta lanzando un disco. Se indica el eje del tronco (Eje tronco) en rojo y el eje anteroposterior (Eje anteroposterior) en azul. El ángulo de flexo-extensión del tronco (θ_{ap_TRONCO}) se muestra en verde.</p>

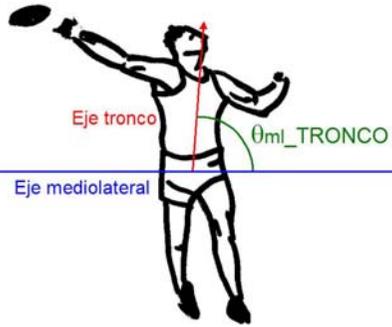
Variable biomecánica	Definición	Ecuación	Representación Gráfica
<p>θ_{mi_TRONCO} Ángulo de flexión lateral del tronco en el instante de liberación</p>	<p>Posición angular proyectada sobre el plano frontal de la línea del tronco con relación al eje mediolateral en el instante de liberación</p>	$\cos \theta = \frac{(ETRONCO_x \times EML_x) + (ETRONCO_z \times EML_z)}{ ETRONCO \times EML }$ <p>ETRONCO = Línea del tronco EML = Eje mediolateral</p>	
<p>θ_HOMB_d Ángulo de abducción del hombro del lado ejecutor en el instante de liberación</p>	<p>Esta definido por la distancia angular entre la recta que une los marcadores hombro hacia codo, y la recta que une los marcadores esternón hacia punto medio de caderas en el instante de liberación</p>	$BRAZO = [(COD_x - HOMB_x)(COD_y - HOMB_y)(COD_z - HOMB_z)]$ $TRONCO = [(1/2CAD_x - EST_x)(1/2CAD_y - EST_y)(1/2CAD_z - EST_z)]$ $\cos \theta = \frac{(TRONCO_x \times BRAZO_x) + (TRONCO_y \times BRAZO_y) + (TRONCO_z \times BRAZO_z)}{ TRONCO \times BRAZO }$ <p>COD = Marcador codo HOMB = Marcador hombro 1/2CAD = Marcador punto medio caderas EST = Marcador esternon</p>	

Tabla X. Variables espaciales angulares previas a la liberación. Ángulos del disco.

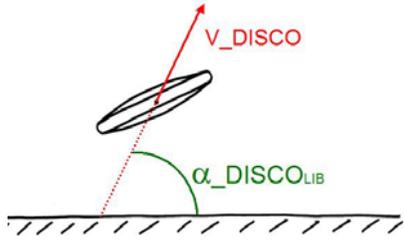
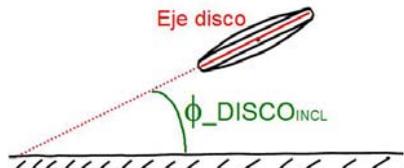
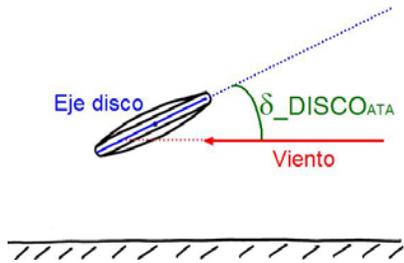
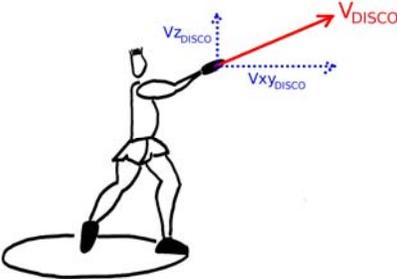
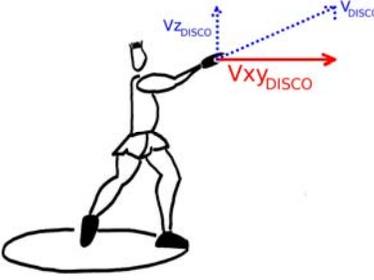
Variable biomecánica	Definición	Ecuación	Representación Gráfica
<p>$\alpha_{DISCO_{LIB}}$ Ángulo de liberación</p>	<p>Ángulo entre el vector velocidad y la horizontal en el instante de liberación</p>	$\tan \theta = \frac{V_{DISCO_z}}{\sqrt{V_{DISCO_x} + V_{DISCO_y}}}$	
<p>$\phi_{DISCO_{INCL}}$ Ángulo de inclinación en el instante de liberación</p>	<p>Ángulo entre el eje longitudinal del disco y la horizontal en el instante de liberación</p>	$\tan \theta = \frac{EJE_{DISCO_z}}{\sqrt{EJE_{DISCO_x} + EJE_{DISCO_y}}}$	
<p>$\delta_{DISCO_{ATA}}$ Ángulo de ataque en el instante de liberación</p>	<p>Ángulo entre el eje longitudinal del disco y la dirección relativa del viento en el instante de liberación</p>	$\cos \theta = \frac{(EJE_{DISCO_x} \times VIENTO_x) + (EJE_{DISCO_y} \times VIENTO_y) + (EJE_{DISCO_z} \times VIENTO_z)}{ EJE_{DISCO} \times VIENTO }$ <p><i>EJE_{DISCO}</i> = Eje longitudinal del disco <i>VIENTO</i> = Dirección relativa del viento</p>	

Tabla XI. Variables espacio-temporales previas a la liberación.

Variable biomecánica	Definición	Ecuación	Representación Gráfica
<p>V_{DISCO} Velocidad resultante del disco en el instante de liberación</p>	<p>Magnitud del vector velocidad del disco en el instante de liberación, calculada a partir de las tres componentes vectoriales de la velocidad</p>	$V_{DISCO} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta e}{\Delta t}$ $V_{DISCO} = \frac{\sqrt{(DISCO_{x_{final}} - DISCO_{x_{inicial}})^2 + (DISCO_{y_{final}} - DISCO_{y_{inicial}})^2 + (DISCO_{z_{final}} - DISCO_{z_{inicial}})^2}}{\Delta t}$	
<p>$V_{xyDISCO}$ Velocidad horizontal del disco en el instante de liberación</p>	<p>Componente horizontal de la velocidad resultante del disco en el instante de liberación</p>	$V_{DISCO} = \frac{\sqrt{(DISCO_{x_{final}} - DISCO_{x_{inicial}})^2 + (DISCO_{y_{final}} - DISCO_{y_{inicial}})^2}}{\Delta t}$	

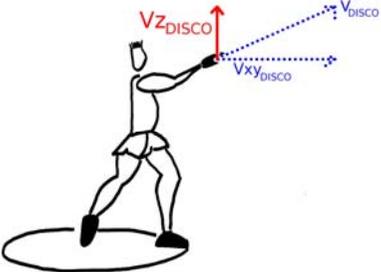
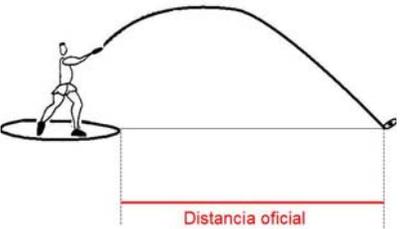
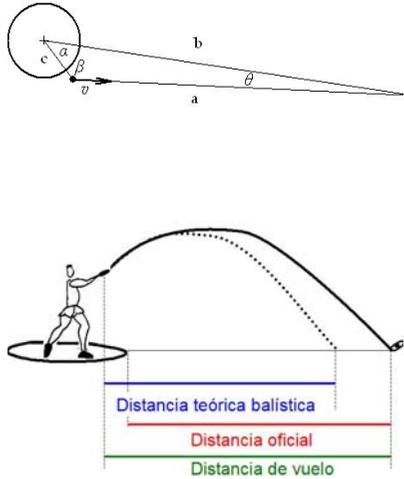
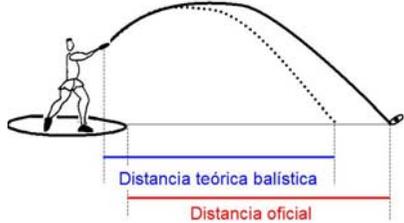
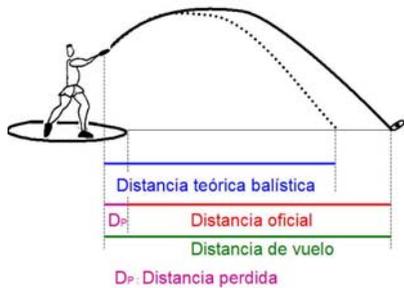
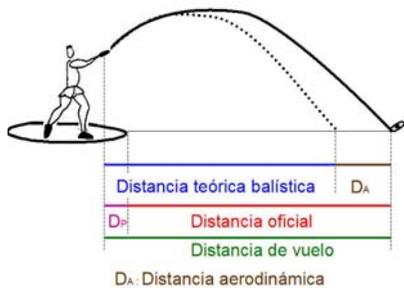
Variable biomecánica	Definición	Ecuación	Representación Gráfica
<p>V_{DISCO} Velocidad vertical del disco en el instante de liberación</p>	<p>Componente vertical de la velocidad resultante del disco en el instante de liberación</p>	$V_{DISCO} = \frac{\sqrt{(DISCO_{z_{final}} - DISCO_{z_{inicial}})^2}}{\Delta t}$	

Tabla XII. Variables espaciales posteriores a la liberación.

Variable biomecánica	Definición	Ecuación	Representación Gráfica
<p>D_o Distancia oficial</p>	<p>Distancia horizontal entre la huella más cercana, hecha por la caída del disco, y el borde interno de la circunferencia del círculo de lanzamiento</p>		

Variable biomecánica	Definición	Ecuación	Representación Gráfica
<p>D_v Distancia de vuelo</p>	<p>Distancia horizontal desde el centro del disco en el instante de liberación hasta la huella desde la que se mide la distancia oficial</p>	<p>a = Distancia de vuelo b = Distancia oficial + radio del círculo de lanzamiento c = Distancia desde el centro del círculo hasta el centro del disco en la liberación</p> $\beta = \cos^{-1} \left(\frac{c_x \times v_x + c_y \times v_y}{\sqrt{c_x^2 + c_y^2} \times \sqrt{v_x^2 + v_y^2}} \right)$ $\theta = \text{sen}^{-1} \left(\frac{ c \times \text{sen}(\pi - \beta)}{b} \right)$ $\alpha = \pi - \beta + \theta$ $a = \text{sen}^{-1} \frac{b \times \text{sen}(\alpha)}{\text{sen}(\beta)}$	
<p>D_{TB} Distancia teórica balística</p>	<p>Distancia horizontal recorrida por el disco en condiciones teóricas de vacío. Calculada a partir de las variables de liberación de velocidad, ángulo y altura del disco.</p>	$D_{TB} = \left\{ \frac{V_{DISCO}^2 \times \text{sen}(\theta_{DISCO_{LIB}}) \times \cos(\theta_{DISCO_{LIB}}) + V_{DISCO} \times \cos(\theta_{DISCO_{LIB}}) \times \left[V_{DISCO} \times \text{sen}(\theta_{DISCO_{LIB}}) \right]^2 + 2gDISCO_2}{g} \right\}^{1/2}$	

Variable biomecánica	Definición	Ecuación	Representación Gráfica
<p>D_p Distancia perdida</p>	<p>Distancia horizontal que recorre el disco en vuelo que no está acreditada en la medida de la distancia oficial</p>	$D_p = D_o - D_v$	 <p>Distancia teórica balística D_p Distancia oficial Distancia de vuelo D_p Distancia perdida</p>
<p>D_A Distancia aerodinámica</p>	<p>Distancia ganada o perdida debido a las fuerzas aerodinámicas ejercidas sobre el disco durante el vuelo</p>	$D_A = D_v - D_{TB}$	 <p>Distancia teórica balística D_A D_p Distancia oficial Distancia de vuelo D_A Distancia aerodinámica</p>

Los resultados derivados de la construcción del *Cuadro de Indicadores de Eficacia Técnica-Biomecánica* del lanzamiento de disco se sintetizan en los siguientes puntos (figura 4):

- Permitir relacionar el lenguaje de los técnicos deportivos con el de los biomecánicos. En este cuadro se relacionaron aspectos técnicos que utilizan los técnicos deportivos para enseñar, corregir y perfeccionar la técnica, con variables biomecánicas que representan indicadores de eficacia.
- Facilitar la interpretación de variables biomecánicas, puesto que junto a ellas se incluyeron unos criterios de valoración.
- Facilitar el análisis de datos cuantitativos, puesto que a la definición de las variables biomecánicas se anotaron resultados cuantitativos procedentes de estudios realizados con sofisticadas técnicas cinemáticas de registro y análisis.
- Facilitar la comprensión de las variables biomecánicas, puesto que se presenta, en unas tablas anexas, el listado de variables estudiadas con su nombre, definición, algoritmo de cálculo y su esquema.
- Permitir contrastar resultados. En el *Cuadro de Indicadores de Eficacia Técnica-Biomecánica* se presentan con claridad datos de las variables propuestas con el fin de que el técnico deportivo consulte e interprete los valores de sus atletas. Los resultados mostrados provienen, tanto de la bibliografía consultada, como de los resultados procedentes de varios años de investigación a cargo de nuestro grupo. Por lo tanto, se podría obtener una referencia del cualquier atleta nuevo analizado con relación al nivel nacional y al nivel internacional.

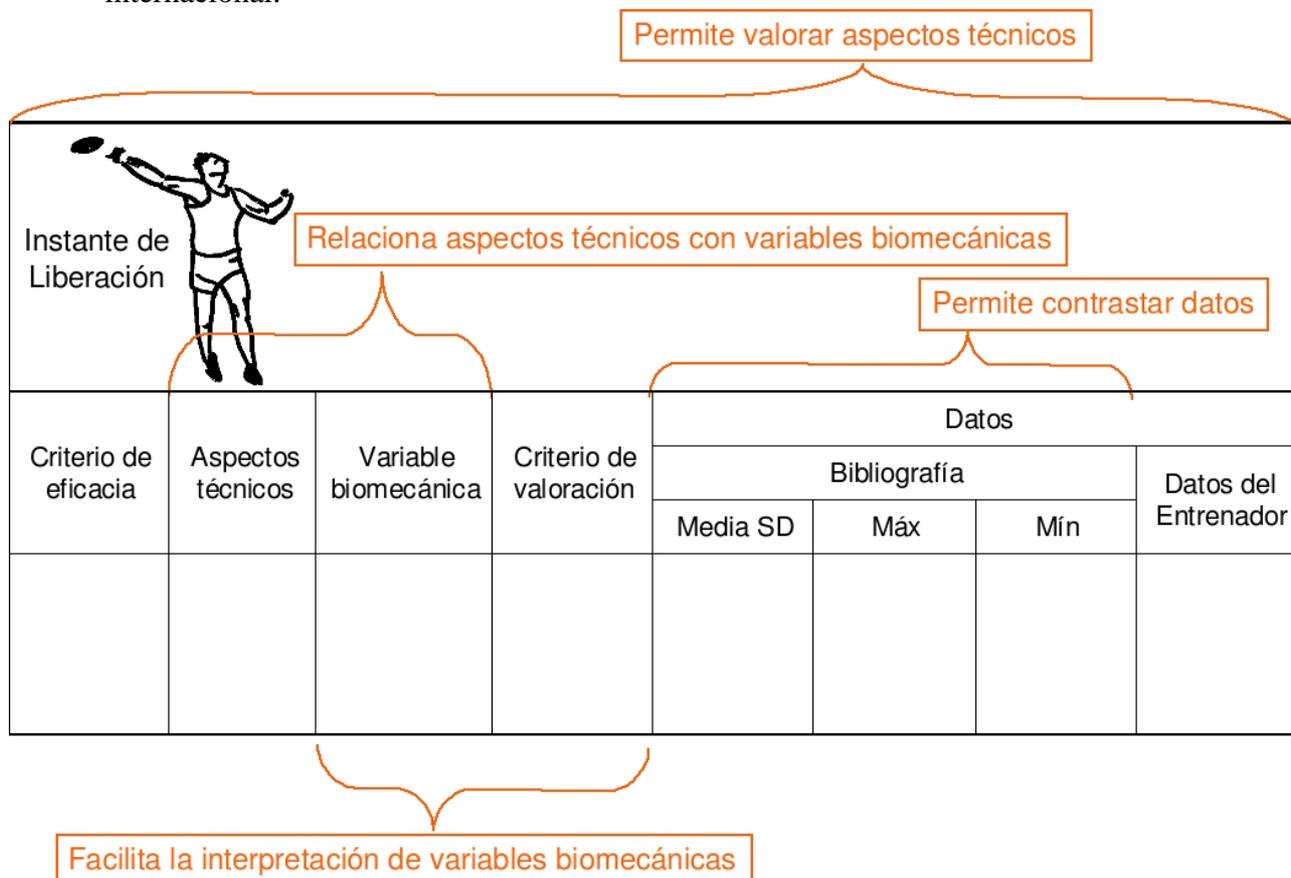


Figura 4. Resultados del *Cuadro de Indicadores de Eficacia Técnica-Biomecánica*.

Discusión

En numerosas ocasiones los resultados biomecánicos deportivos publicados en revistas científicas no son usados en el ámbito del entrenamiento. Una de las posibles causas de la falta de aplicación de esta información podría ser la desafortunada comunicación entre los científicos del deporte y los técnicos deportivos y, a su vez, con los deportistas. Ante la identificación de este obstáculo se planteó en este estudio la necesidad de diseñar un formato de presentación de resultados biomecánicos fácilmente comprensible por los técnicos deportivos. El *Cuadro de Indicadores de Eficacia Técnica-Biomecánica* creado en este trabajo intenta ser una posible solución a este problema estableciendo de una manera sencilla y clara nexos entre los aspectos técnicos observables por el técnico deportivo y las variables biomecánicas. Del mismo modo, el cuadro pretende establecer una base de datos que recoja valores de los parámetros biomecánicos de eficacia del lanzamiento de disco para que sirvan de referencia a técnicos deportivos y atletas. Adicionalmente, se incluye la definición, algoritmos de cálculos de las variables y representación gráfica que ayuda a entender el cálculo.

No cabe duda de que uno de los objetivos últimos del entrenamiento de la técnica es llegar a encontrar un modelo técnico deportivo individual y ser capaces de reproducirlo sistemáticamente en la competición para asegurar el máximo rendimiento y la marca deportiva. Sin embargo, la dificultad del logro de este objetivo reside en la complejidad técnica del lanzamiento, en las características físicas y psíquicas del deportista y en las condiciones ambientales de la competición. Teniendo en cuenta los puntos anteriores, no se tuvo la intención con este cuadro de fijar una técnica ideal para todos los lanzadores de disco. El ánimo del *Cuadro de Indicadores de Eficacia Técnica-Biomecánica* es, en todo caso, una propuesta, y la presentación de una herramienta que se considera útil, mediante la que se encuentren soluciones a problemas concretos. La valoración de la técnica del lanzamiento de disco se realiza por medio de la consulta de valores cuantitativos de referencia correspondientes a variables biomecánicas que a su vez están asociadas a acciones técnicas observables.

El cuadro propuesto en este trabajo es novedoso por no existir en la bibliografía consultada un diseño similar para el gesto técnico de lanzamiento de disco. En él se proponen relaciones entre aspectos técnicos críticos observables por los técnicos deportivos y variables biomecánicas medidas con fiabilidad y precisión; además se proporcionan valores reales de esas mismas variables cuantificadas en lanzadores de disco de cierto nivel. Existen en la bibliografía consultada diferentes cuadros para el análisis de la técnica del lanzamiento de disco (McGill, 1983; Bottcher, 1993; Altmeyer *et al.*, 1994; Tidow, 1994; Waters, 1994). McGill (1983), Tidow (1994) y Waters (1994) propusieron *listas de control* con una escala de puntuación que servía para evaluar aspectos técnicos planteados por los mismos autores. Ofrecer una escala de valores como método de evaluación facilita y simplifica su utilización, pero por el contrario, le otorga de una disposición de subjetividad del evaluador. Para contrarrestar la subjetividad presente en la evaluación de la técnica se utilizan las variables biomecánicas. Bottcher (1993) y Altmeyer *et al.* (1994) incluyeron en sus hojas de control técnico la medición de variables biomecánicas para evaluar aspectos críticos. Estas variables biomecánicas hacían referencia al patrón articular que debía adoptar el lanzador en ciertos instantes críticos seleccionados por los propios autores. Los autores apoyaban el uso de estas variables biomecánicas aportando un rango que incluía los valores aconsejados. Sin duda la inclusión de variables biomecánicas y una aproximación a los valores óptimos inspiraban a las hojas de control técnico de un cierto grado de objetividad. Con todo, éstas contenían únicamente variables que cuantificaban el patrón articular en instantes concretos, no quedando reflejados datos relacionados

con el tiempo, tampoco variables espaciales ni variables espacio-temporales. El *Cuadro de Indicadores de Eficacia Técnica-Biomecánica* propuesto contiene dicha información además de rangos máximos y mínimos que son una referencia añadida a los valores medios.

Conclusiones

1. Se han interrelacionado los estudios cualitativos procedentes de los técnicos deportivos con los estudios cuantitativos biomecánicos realizados con técnicas de campo y laboratorio fiables y precisas, permitiendo relacionar el lenguaje de los técnicos deportivos con el de los biomecánicos.
2. Se han identificado, definido y aportado valores de las variables de eficacia biomecánicas que guardan relación con la técnica en el *instante de liberación del disco* permitiendo la valoración de los aspectos técnicos.
3. El *Cuadro de Indicadores de Eficacia Técnica-Biomecánica* del lanzamiento de disco muestra un formato novedoso de aportar información dado que vincula aspectos técnicos observables con variables biomecánicas cuantificables en un mismo marco, ofreciendo soluciones claras a problemas concretos.
4. Con el diseño de este cuadro se abren nuevas líneas de investigación encaminadas, por un lado, a optimizar el proceso de retroalimentación biomecánica dirigida al técnico deportivo y al deportista y, por otro, a profundizar en el estudio biomecánico del lanzamiento de disco.

En memoria

El Dr. Alberto García-Fogeda, Responsable del Laboratorio de Biomecánica del INEFC de Lérida, falleció el pasado 27 de diciembre de 2006. Los autores de este artículo, consternados por la pérdida de su colega y amigo, expresan sus más sinceras condolencias a su Familia.

Referencias Bibliográficas

- Abdel-Aziz, Y.I. y Karara, H.M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close - range photogrammetry. En, ASP Symposium on Close Range Photogrammetry. Falls Church: American Society of Photogrammetry.
- Abendroth-Smith, J.; Kras, J. y Strand, B. (1996). Get aboard the B-BOAT (biomechanically based observation and analysis for teachers. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, 67 (8), 20-23.
- Abendroth-Smith, J. y Kras, J. (1999). More B-BOAT: The volleyball spike. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, 70 (3), 56-59.
- Altmeyer, L.; Bartonietz, K. y Krieger, D. (1994). Technique and training: the discus throw. *Track and Field Quarterly Review*, 94, 33-35.
- Bartlett, R.M. (1992). The biomechanics of the discus throw: A review. *Journal of Sports Sciences*, 10, 467-510.
- Bartlett, R.M. (1997). Current issues in the mechanics of athletic activities. A position paper. *Journal of Biomechanics*, 30, 477-486.
- Bosen, K.A. (1985). Coaching discus throwing technique. *Track and Field Quarterly Review*, 85, 26-28.
- Bottcher, G. (1993). East German technical model for the discus. *Thrower*, 60, 4-9.

- Dapena, J. (1993). New insights on discus throwing. *Track Technique*, 125, 3977-3983.
- Dapena, J. y Anderst, W.J. (1997). Discus throw #1 (Men). En, Report for Scientific Services Project (USATF). Indianapolis: USA Track & Field.
- Dapena, J.; LeBlanc, M.K. y Anderst, W.J. (1997). Discus throw #2 (Women). En, Report for Scientific Services Project (USATF). Indianapolis: USA Track & Field.
- Ferro, A. (1996). Análisis Biomecánico de la Técnica de la Carrera en Deportistas Ciegos Paralímpicos. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Ferro, A. (2001). La Carrera de Velocidad. Metodología de Análisis Biomecánico. Madrid: Librerías Deportivas Esteban Sanz.
- Ferro, A.; Floría, P.; Ferreruela, M. y Rivera, A. (2003). Evaluation of performance of high level long jumpers based in biomechanical analysis. En E. Muller, H. Schwameder, G. Zallinger y V. Fastenbauer (eds.), *Book of Abstracts of 8th Annual Congress European College of Sport Science*. Salzburg: Institute of Sport Science, University of Salzburg.
- Ferro, A.; Floría, P.; Ferreruela, M. y García-Fogeda, A. (2004). Longitudinal biomechanical analysis of individual athletes evolution of the distance of discus throw. En E. Van Praagh y J. Coudert (eds.), *Book of Abstracts of 9th Annual Congress European College of Sport Science* (p. 340). Clermont Ferrand: Université Blaise Pascal.
- Ferro, A.; García-Fogeda, A.; Blanco, M.I.; Valios, J.C. y Graupera, J.L. (1998a). Memoria de investigación del subproyecto "*Análisis biomecánico de la técnica individual de la técnica de lanzamiento de disco de los mejores atletas españoles de alto nivel*". (SAF-95-0721-CO4-03). Proyecto coordinado: "*Análisis biomecánico de la técnica individual de los lanzamientos atléticos (disco, jabalina, martillo y peso)*". *Plan Nacional de I+D*. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.
- Ferro, A.; García-Fogeda, A.; Valios, J.C.; Blanco, M. y Graupera, J.L. (1998b). Metodología y modelo de actuación en el proyecto de lanzamiento de disco. En X. Aguado (ed.), *Biomecánica Aplicada al Deporte I* (pp. 85-96). León: Universidad de León.
- Ferro, A.; Rivera, A.; García-Fogeda, A.; Pagola, I. y Valios, J.C. (1999). Influencia del cambio de peso en la técnica individual de lanzamiento. *Investigaciones en Ciencias del Deporte*, 22, 25-36.
- Floría, P. (2006). Análisis biomecánico del lanzamiento de disco. Categorización de variables de eficacia de la técnica. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Floría, P. y Ferro, A. (2006). Biomecánica de la técnica de lanzamiento de disco. Influencia de la trayectoria del disco en la velocidad de liberación. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 5(2), 53-75.
- Frohlich, C. (1981). Aerodynamic effects on discus flight. *American Journal of Physics*, 49, 1125-1132.
- García-Fogeda, A.; Ferro, A.; Valios, J.C.; Planas Anzano, A. y Olaso, S. (1998). El ritmo del lanzamiento de disco. En X. Aguado (ed.), *Biomecánica Aplicada al Deporte I* (pp. 97-100). León: Universidad de León.
- Gregor, R.V., Whiting, W.C., McCoy, R.W. (1985). Kinematic analysis of Olympic discus throws. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, 131-138.
- Gregor, R.J.; Broker, J.P. y Ryan, M.M. (1992). Performance feedback and new advances. En R.W. Christina y H.M. Eckert (eds.), *Enhancing Human Performance in Sport: New Concepts and Developments* (pp. 19-32). Champaign: Human Kinetics.
- Grosser, M.; Brüggeman, P. y Zintl, F. (1989). *Alto Rendimiento Deportivo*. Barcelona: Martinez Roca.

- Hay, J.G. (1993). *The Biomechanics of Sports Techniques*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Hay, J.G. y Reid, J.G. (1982). *The Anatomical and Mechanical Bases of Human Motion*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Hay, J.G. y Reid, J.G. (1988). *Anatomy, Mechanics, and Human Motion*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Hay, J.G. y Yu, B. (1995). Critical characteristics of techniques in throwing the discus. *Journal of Sports Sciences*, 13, 125-140.
- Knicker, A. (1992). Kinematic characteristics of the discus throw. *Modern Athlete and Coach*, 30, 3-6.
- Knicker, A. (1999). Biomechanical analysis of the throwing events. Discus throw. En G.P. Brüggemann, D. Koszewski y H. Müller (eds.), *Biomechanical Research Project Athens 1997. Final Report* (pp. 161-175). Oxford: Meyer & Meyer Sport.
- Knowles, D. (1997). Discus fundamentals. *Modern Athlete and Coach*, 35, 34-39.
- Knudson, D. (2001). Application of biomechanics in qualitative analysis. En J.R. Blackwell y D.V. Knudson (eds.), *Proceedings Fifth National Symposium on Teaching Biomechanics in Sports* (pp. 5-11). San Francisco: University of San Francisco.
- Knudson, D.; Luedtke, D. y Faribault, J. (1994). How to analyze the tennis serve. *Strategies*, 7(8), 19-22.
- Knudson, D.V. y Morrison, C.S. (2002). *Qualitative Analysis of Human Movement*. 2ª ed. Champaign: Human Kinetics.
- Kreighbaum, E. y Barthels, K.M. (1996). *Biomechanics: A Qualitative Approach for Studying Human Movement*. Needham heights: Allyn and Bacon.
- Leva, P. de (1996). Adjustments to Zatsiorsky - Seluyanov's segment inertia parameter. *Journal of Biomechanics*, 29, 1223-1230.
- Luttegens, K. y Wells, K. (1982). *Kinesiología. Bases Científicas del Movimiento Humano*. Madrid: Augusto E. Pila Teleña.
- McGill, K. (1983). Analysis chart for discus. *Track and Field Quarterly Review*, 83, 23.
- McGuinnis, P.M. (2005). *Biomechanics of Sport and Exercise*. 2ª ed. Champaign: Human Kinetics.
- McPherson, M. (1990). A systematic approach to skill analysis. *Science Periodical on Research and Technology in Sport*, 11(1), 1-10.
- Mendoza, L. y Schöllhorn, W. (1990). Technical training in the field of high performance athletes with a biomechanical feed back system. En G.P. Brüggemann y J.K. Rühl (eds.), *Proceedings of the First International Conference on Techniques in Athletics* (pp. 690-694). Colonia: Deutsche Sporthochschule.
- Mendoza, L. y Schöllhorn, W. (1991). Die ansteuerung räumlicher merkmale der diskuswurftechnik im hochleistungsbereich mit hilfe eines biomechanischen schnellinformationssystems. *Leistungssport*, 3, 18-22.
- National Association for Sport and Physical Education (1992). *NASPE/NCATE Physical Education Guidelines: An Instructional Manual*. 3rd ed. Reston, Va.: American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance.
- Nelson, R.C. (1973). Biomechanics of sport. En S. Cerquiglini, A. Venerando y J. Wartenweiler (eds.), *Biomechanics III* (pp. 336-341). Basel: Karger.
- Norman, R.W. (1975). Biomechanics for the community coach. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, 46(3), 49-52.

- Norman, R.W. (1977). An approach to teaching the mechanics of human motion at the undergraduate level. En C.J. Dillman y R.G. Sears (eds.), *Proceedings: Kinesiology: A National Conference on Teaching* (pp. 113-123). Champaign, Ill.: University of Illinois.
- Sanders, R. y Wilson, B. (1989). Some biomechanical tips for better teaching and coaching. Part 1. *New Zealand Journal of Health, Physical Education and Recreation*, 23(4), 14-15.
- Sanders, R. y Wilson, B. (1990a). Some biomechanical tips for better teaching and coaching. Part 2. *New Zealand Journal of Health, Physical Education and Recreation*, 24(1), 16-17.
- Sanders, R. y Wilson, B. (1990b). Some biomechanical tips for better teaching and coaching. Part 3. *New Zealand Journal of Health, Physical Education and Recreation*, 24(2), 19-21.
- Silvester, L.J. y McCoy, R. (1995). Paths of the discus: a comparison of elite and junior elite discus throwers. *Track Coach*, 133, 4238-4243.
- Susanka, P.; Dumbrovsky, M.; Barak, F.; Stepanek, J. y Nosek, M. (1988). Biomechanical analysis of the discus throw. Scientific Report on the Second World Championship in Athletics, Rome 1987. International Amateur Athletic Federation.
- Stepanek, J. y Susanka, P. (1987). Discus throw: results of a biomechanics study. *New Studies in Athletics*, 1, 25-36.
- Soong, T.C. (1976). The dynamics of discus throw. *Journal of Applied Mechanics*, 98, 531-536.
- Tidow, G. (1994). Model technique analysis sheets part IX: the discus throw. *New Studies in Athletics*, 9, 47-68.
- Waters, J.V. (1994). Critiquing the discus throw. Every thrower is provided with a complete checklist for individual critiquing. *Scholastic Coach*, 63, 84-85.
- Woltring, H.J. (1985). On optimal smoothing and derivate estimation from noisy displacement data in biomechanics. *Human Movement Science*, 4, 229-245.
- Yu, B., Broker, J. y Silvester, L.J. (2002). A kinetic analysis of discus-throwing techniques. *Sports Biomechanics*, 1, 25-46.