

## Caracterización digital de la biomecánica de los gestos deportivos para el Boxeo

A.R. Carrillo Rivera\*, C.A. González Barrera\*, D.R. Murcia Torres\* y A. Torres Ruiz\*\*

\*Universidad Manuela Beltrán, Bogotá D.C., Colombia

\*\*Grupo de Instrumentación y Rehabilitación Biomédica / Universidad Manuela Beltrán, Bogotá D.C., Colombia

e-mail: andrea.torres@umb.edu.co

**Abstract:** This article presents the characterization of the gestures made by a sporting boxer. In order to do so an athlete's movements were captured through infrared cameras that detect markers located on the body surface. These signals allowed us to perform cinematic movement analysis, and establish position, speed, acceleration and angle of movement at different biomechanical axis in order to understand the biomechanics of the body in this high-impact sport.

**Palabras claves:** Biomecánica, Boxeo, Captura Digital, Cinemática.

### Introducción

En la actualidad el nivel deportivo está caracterizado por la capacidad de resistencia física, competitividad entre las disciplinas y lo más importante, la técnica utilizada en cada deporte para un mayor rendimiento y exigencia deportiva [1].

A través del Laboratorio de Biomecánica Digital BIOMED, se realiza la captura digital de los movimientos para el análisis de los gestos deportivos más relevantes de la técnica del boxeo y sus variables biomecánicas, para proporcionar una opinión valedera sobre las posibles correcciones en la técnica y evitar lesiones [1].

De forma práctica, se realizó la cinemática de los movimientos que ejecuta el deportista al momento de realizar su técnica, por medio de la obtención de curvas de posición que describen la trayectoria del movimiento, la velocidad y la aceleración en los ejes  $X$ ,  $Y$  y  $Z$  y los ángulos articulares en cada uno de los planos biomecánicos [2] (sagital, frontal y coronal) para el *jab*, *recto*, *cruzado* y *gancho*.

**Materiales y Métodos** – Se contaron como principales herramientas, con el Laboratorio de Biomecánica Digital BIOMED y con el deportista de alto rendimiento Andrés García Lara, de la categoría Walter Junior, quien voluntariamente accedió a participar en el estudio y firmó un consentimiento informado.

**Tecnología utilizada** – Para la captura de gestos deportivos, el laboratorio de biomecánica cuenta con seis cámaras optoelectrónicas de alta resolución, encargadas de registrar los marcadores que se ubican en la superficie corporal del deportista. Así mismo, el laboratorio cuenta con dos cámaras de video digital que registran el movimiento del deportista en diferentes planos. El laboratorio cuenta con el software Biomech®, que es el encargado de la digitalización de la información del movimiento de los marcadores en el espacio y en el tiempo, el software Tracklab®, permite visualizar la imagen en el espacio, las curvas de posición en  $x$ ,  $y$  y  $z$ , la aceleración y velocidad de cada uno de los marcadores ubicados en el paciente, también permite crear un archivo para visualizar el modelo biomecánico, el software SmartAnalyzer®, que realiza los cálculos espaciales de los puntos de referencia sobre el modelo biomecánico, y permite visualizar el resultado de la cinemática del movimiento en un espacio 3D [3].

**Captura y set de marcadores** – Inicialmente para realizar la captura del gesto deportivo, se establece un set de marcadores, como se muestra en la Figura 1, al lado derecho. En la misma figura, pero al lado izquierdo se puede apreciar la captura de cada uno de los marcadores en el espacio, gracias al software TrackLab®.

Para realizar la validación de los marcadores se tuvieron en cuenta cada una de las articulaciones que el boxeador utiliza para realizar los gestos, en total fueron 25 marcadores los cuales fueron distribuidos de la siguiente forma: 1) cabeza: fueron ubicados tres marcadores, dos en la parte de los huesos temporales y uno en la parte superior de la cabeza, 2) brazos: se ubicaron tres marcadores en cada extremidad superior que representan los puntos en codo, muñeca y puño, 3) tronco: fueron ubicados desde la posición de la vértebra  $c7$  hasta el cóccix, uno en cada hombro, uno en cada una de las crestas iliacas y uno en el cóccix, 4) piernas: fueron ubicados diez marcadores, dos en cada rodilla (parte externa e interna), uno en cada tobillo, uno en cada talón y uno en cada punta del pie.

A partir de este estudio se realizaron las capturas del movimiento real de un boxeador de alto nivel, con el cual se pudo analizar la biomecánica desarrollada en los gestos de *jab*, *recto*, *cruzado* y *gancho*. Para estos

análisis se tuvieron en cuenta los tres planos de movimientos ( $X$ ,  $Y$  y  $Z$ ) en donde se pueden estudiar los movimientos de flexo-extensión; aducción-abducción; rotación interna-externa; además de desplazamientos laterales; regresiones; progresiones; movimientos ascendentes y descendentes; de cada una de las articulaciones comprometidas con el gesto. Los cálculos se obtienen de un modelo biomecánico que sale de la manipulación del modelo 2D de la Figura 1, con el cual se obtiene un nuevo archivo que se manipula desde el software SmartAnalyzer® y se observa en la Figura 2.

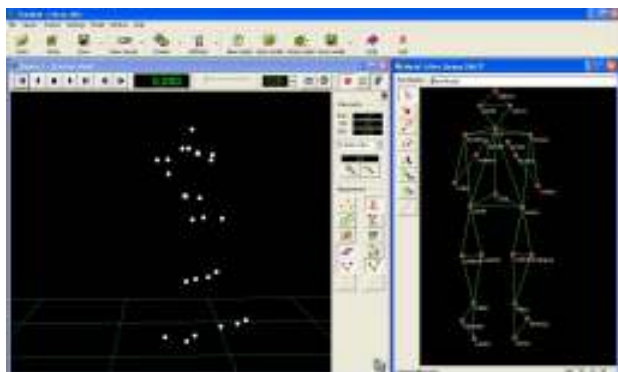


Figura 1: Captura y modelo 2D del set de marcadores para el gesto deportivo de boxeo.

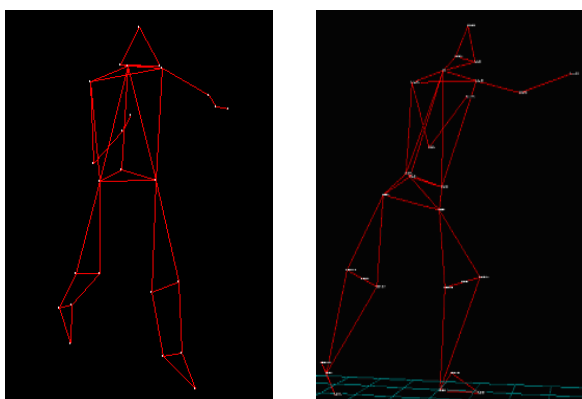


Figura 2: Modelo biomecánico utilizado para el cálculo biomecánico (vista frontal y lateral).

## Resultados

Para el análisis de la biomecánica del deportista se organizaron los gestos en tres grupos según los ejes de movimiento ( $X$ ,  $Y$ , y  $Z$ ). A partir de cada marcador se pudo analizar el desplazamiento, la aceleración, la velocidad y los ángulos de movimiento del deportista con cada golpe.

En el plano sagital se obtuvieron datos que ayudan al análisis de flexo-extensión, en plano frontal para abducción y aducción y en plano transversal para rotación [2].

Se implementaron ángulos de Euler en un punto fijo e imaginario a partir de la articulación a analizar en los diferentes planos a través del tiempo; y otros cálculos sencillos creando vectores, sistemas de referencia, escalares, puntos medios entre otros, para calcular los ángulos exactos de movimiento.

Se realizaron las capturas de los gestos deportivos de *jab*, *recto*, *cruzado* y *gancho* en una duración de 10 segundos cada una y una repetición más o menos de 8 veces por cada articulación, pero a continuación se explica únicamente la articulación del hombro derecho.

En la Figura 3, se puede apreciar la curva del ángulo del hombro derecho en el *jab*. Al crear un vector  $j$  en el hombro, se consigue un ángulo máximo de extensión, que geoméricamente es de  $175^\circ$  al inicio, luego pasa a un ángulo de flexión en  $90^\circ$  al lanzar el golpe, y vuelve a extenderse rápidamente a  $170^\circ$  aproximadamente, y se repite cíclicamente cada vez que se realiza un golpe, lo cual indica que la extensión máxima a  $0^\circ$ , nunca se realiza en este gesto.

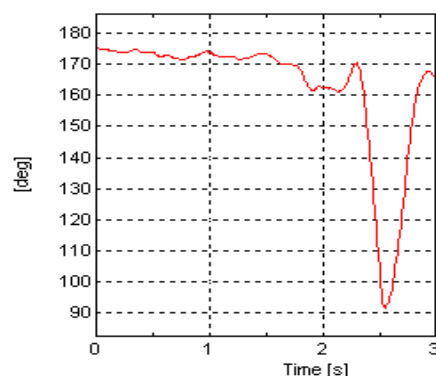


Figura 3: Ángulo de flexo-extensión (plano sagital) del hombro derecho para el gesto Jab.

En la Figura 4, se aprecia el ángulo de abducción y adducción, en el cual se tiene como referencia  $90^\circ$ , lo cual se logra con dos ejes perpendiculares entre codo y un punto imaginario paralelo al hombro; a partir de esto para analizar bien la flexo-extensión se restan los grados obtenidos en el programa con  $90^\circ$  (el ángulo complementario).

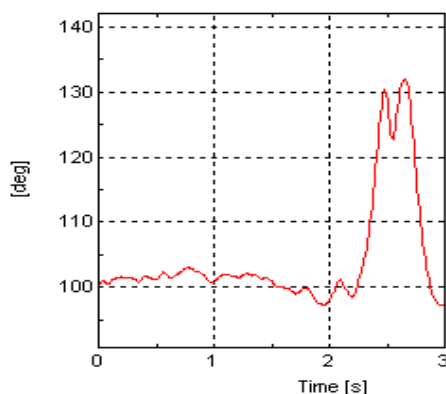


Figura 4: Ángulo hombro derecho de abducción-adducción (plano frontal) para el gesto Jab.

De ésta manera se obtiene al inicio de la etapa, un ángulo de  $10,1392^\circ$  que demuestra que está separado del miembro superior derecho y de su eje a medida que avanza en el tiempo, luego el brazo derecho se acerca o realiza un desplazamiento de aducción al eje inicial en preparación al lanzamiento del golpe, presentando un

ángulo de  $10.8424^\circ$  que aumenta a  $12.1881^\circ$  de abducción y se reduce a  $7.4949^\circ$  de aducción, luego el movimiento de abducción es el más prominente del análisis, debido a que es en este momento donde se genera el golpe, con un tiempo de respuesta mínimo el cual hace que el brazo retome su posición de arranque, la articulación del hombro encargada de generar el movimiento del brazo se encuentra a  $8.0330^\circ$  de abducción, aumentando a  $11.2913^\circ$  y se reduce rápidamente a  $8.3883^\circ$  para generar el golpe; a partir de este momento y en el 2,480s se produce una de las más grandes abducciones, en este caso de  $40.3673^\circ$ , vuelve a reducirse de acuerdo al desplazamiento del golpe a  $32.6833^\circ$  y aumenta de nuevo a  $42.0201^\circ$  mostrando la etapa final del golpe. Antes de terminar la etapa final, el brazo realiza un movimiento de aducción significativo alcanzando  $7.1738^\circ$ , el cual es el inicio del ciclo de varios golpes que genera el deportista. El rango total de movimiento es de  $34.8463^\circ$  [1].

En la Figura 5, se muestran las curvas de posición en los ejes X, Y y Z, para el hombro derecho en el gesto del *recto*. En el eje X, se aprecian movimientos de progresión al realizar el golpe, tan pronto se efectúa, hay un movimiento de regresión para volver a la posición inicial y sucesivamente se repite el gesto. El rango de movimiento de este gesto es de 0,38m. En el eje Y, se aprecia una señal estocástica, con pequeños movimientos ascendentes y descendentes, que se efectúan al flexionar las rodillas durante la preparación del impacto. En el eje Z, se producen movimientos laterales con rangos máximos de 0,10m.

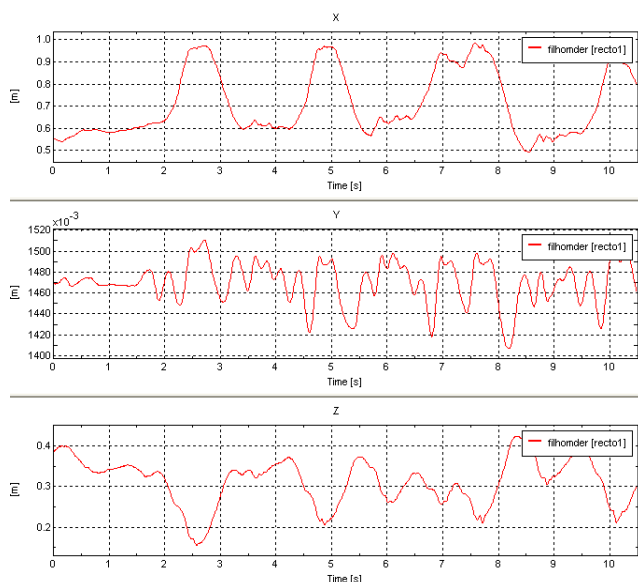


Figura 5: Posición en los ejes X, Y y Z, para el gesto del *recto*.

## Discusión

El análisis de movimiento por medio de sistemas de captura avanzados, se ha convertido en una de las formas más efectivas de controlar el comportamiento técnico de los deportistas [4].

Estudios similares a los que se presentan en esta investigación en la disciplina del boxeo, se realizan en Venezuela, mediante estudios en 3D a través de un software denominado Human®, que ayuda al análisis del movimiento biomecánico y específicamente del gesto deportivo. En el Laboratorio de Biomecánica de Carabobo, realizan el entrenamiento de los deportistas de taekwondo y boxeo, para determinar debilidades y fortalezas en el entrenamiento de la técnica deportiva y optimizar su rendimiento. El anterior objetivo apunta a la finalidad del trabajo que se presenta en este artículo, ya que mediante la captura digital del boxeo, se realiza un estudio cinemático de todas las características del gesto, con el cual se pueden encontrar fortalezas y debilidades para optimizar el rendimiento, como se realiza en el laboratorio de Carabobo en Venezuela [5].

Otro equipo de investigadores que trabaja actualmente estudiando a los campeones de las artes marciales, es el de la National Geographic. Este equipo se encarga de analizar las mejores técnicas mundiales de combate y descubrir cuál de esas disciplinas incluyen los golpes más duros, los movimientos más rápidos y las armas más letales, con el objetivo de revelar las estrategias de las más potentes técnicas de lucha del mundo y explorar a la vez la fisiología de estos maestros y el entrenamiento que hacen, mediante sistemas digitales de captura y animaciones tridimensionales avanzadas [6]. No se enfocan directamente en el boxeo, pero entregan herramientas que se podrían aplicar en el mismo de forma interesante con la investigación que se muestra y se complementaria, ya que para este estudio de boxeo, se utiliza un laboratorio de biomecánica digital con tecnología de punta, por medio del cual se pueden conocer mediante datos cuantitativos la velocidad de los golpes, aceleraciones, trayectorias del movimientos, entre otras variables, de tal forma que también se pueden obtener cuales son los movimientos más rápidos y se pueden evaluar las técnicas, las estrategias del deportista y obtener una animación digital en 3D, de forma similar a lo que realiza el equipo de la National Geographic.

Otros investigadores, entre los que se encuentran el grupo de la Universidad Politécnica de Valencia con el Instituto de Biomecánica de Valencia [4], el grupo STT de Ingeniería y Sistemas de España (con la colaboración de entidades como el Centro de Alto Rendimiento de San Cugat CAR), ambos proporcionan un conjunto de técnicas cinemáticas y dinámicas para la caracterización de cualquier tipo de movimiento humano mediante la utilización de software especializados, con las cuales se podría caracterizar el movimiento de cualquier disciplina deportiva [7,8], incluyendo el boxeo, pero no han emprendido el estudio en esta disciplina.

Son muy pocos los estudios biomecánicos del boxeo, mediante técnicas especializadas de captura digital, con el objeto de mejorar la técnica para el rendimiento y la salud del deportista, hay otras aplicaciones de la captura digital de boxeo pero son más direccionadas para hacer juegos de video, lo cual asigna a esta investigación un valor agregado de mucha importancia.

## Conclusiones

Con este análisis se guía a los boxeadores a mejorar su técnica y la necesidad de diferenciar las características propias de cada gesto, ayudando a denominar de forma específica la trayectoria, desplazamiento, función y acción que posee cada gesto al momento de su ejecución.

Teniendo en cuenta las leyes generales de la física, con las cuales se estudiaron los golpes y recorridos, se puede proporcionar una mejor habilidad y una mayor efectividad, sin embargo hay que tener en cuenta que este análisis es posible en el boxeo si se hace un estudio de todo el segmento óseo y muscular del deportista, ya que en este deporte el desplazamiento, la sincronización y la fuerza no dependen del entorno del deportista sino de la unión de toda la masa muscular que posea éste o la preparación del boxeador, y también puede afectar la respuesta, peso y agilidad del contrincante.

A través del análisis se puede concluir que el boxeador tiene movimientos que se encuentran en los rangos para evitar lesiones, en recto las articulaciones con mejor técnica son las de las extremidades superiores ya que poseen casi siempre el mismo ángulo a través del tiempo, y su desplazamiento es igual, mientras que las extremidades inferiores presentan discontinuidades y esto puede generar lesiones a futuro en rodilla y en columna, ya que la rotación de esta articulación se encuentra al límite de lo normal.

En gancho, el deportista se excede del límite de movimiento en las extremidades superiores, esto puede ocasionar una mala distribución de la fuerza y por ende de la efectividad del gesto, y en las extremidades inferiores se presenta una continuidad del movimiento y del valor del ángulo, sin embargo también se encuentra en el límite normal, esto puede ocasionar una pérdida de la estabilidad del cuerpo cuando se realiza algún desplazamiento.

En cruzado, la diferencia entre las articulaciones se ve más notoria en los hombros, ya que el desplazamiento y el ángulo varía a través del tiempo, esto puede generar la pérdida de fuerza con que se propulsa el brazo, y el deportista tiene y debe realizar mayor desplazamiento con las extremidades inferiores, haciendo que en este gesto la posición inicial del deportista cambie cada vez que desea realizarlo y esto ocasiona una mala técnica y un mayor cansancio muscular.

La posición del deportista ayuda a una buena realización del gesto y por ende a evitar la recepción de golpes que puedan afectar al boxeador y también para mantener el mismo nivel y velocidad del gesto a través del tiempo, de igual forma ayuda a evitar una rápida fatiga muscular, por esta razón para aclarar cuál es la mejor técnica en el boxeo se debe partir de la posición inicial o posición de defensa en la cual dependiendo si el deportista es diestro o ambidiestro, se detalla cuál es el brazo de fuerza y cuál es el brazo de resguardo, y así ayudar a través del análisis a mantener el movimiento

correcto en todo el gesto sin poseer pérdidas de potencia, estabilidad o impacto, y conservar una secuencia entre la preparación, lanzamiento y recuperación en cada golpe.

A través de este estudio se reconocieron y analizaron las principales lesiones que se pueden presentar en los boxeadores y ayudar a justificar cuál es la técnica correcta para evitar daños o posibles fallas para garantizar a futuro una excelente técnica.

## Agradecimientos

Al Laboratorio de Biomecánica Digital BIOMED de la Universidad Manuela Beltrán, que financió la investigación con las diferentes capturas y al boxeador Andrés García Lara, de la categoría Walter Junior, que colaboró con la investigación.

## Referencias

- [1] Carrillo R. Angélica R., González B. Camilo A., Murcia T. Dina R., Caracterización Digital de la Biomecánica de los Gestos Deportivos para el Boxeo, Universidad Manuela Beltrán, 2008.
- [2] Nihat Ozkaya, Margareta Nordin, Fundamentals of Biomechanics: Equilibrium, motion and deformation, 2a.Ed., 1999.
- [3] BTS Elite, Solución integral multifactorial para el análisis clínico del movimiento. BTS Bioengineering, Italia.
- [4] Instituto de Biomecánica de Valencia, disponible en: [http://www.ibv.org/Shop/usuario/productos/IBV/fic\\_haproducto21\\_aplicaciones.asp?idProducto=1157&acc=ver](http://www.ibv.org/Shop/usuario/productos/IBV/fic_haproducto21_aplicaciones.asp?idProducto=1157&acc=ver), acceso el 2 de Octubre de 2007.
- [5] Biomecánica optimiza rendimiento del deporte venezolanoABN. Caracas, Distrito Capital. Agencia Bolivariana de noticias, disponible en [http://www.abn.info.ve/go\\_news5.php?articulo=142100&lee=18](http://www.abn.info.ve/go_news5.php?articulo=142100&lee=18), acceso el 23 de julio de 2008.
- [6] National Geographic Channel, Artes Marciales, Expertos luchadores enfrentan al rival más duro: la ciencia, disponible en <http://www.natgeo.tv/especiales/artesmarciales/>, acceso el 12 de septiembre de 2008.
- [7] Meta Motion. Motion Captor software, disponible en <http://www.metamotion.com/software/motion-captor-software.htm>, acceso el 2 de Octubre de 2007.
- [8] Zheng N., Barrentine S. W. Biomechanics and motion analysis applied to sports. Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America, 2000, Vol 11 N° 2:309-322.