

Biomecánica integral para patinadores de carrera

José Acero Ms. Sc. & Sci.¹

Resumen

El objetivo central de este artículo es la presentación de un modelo de análisis biomecánico integral denominado BIOMIN-PATIN que está siendo experimentado en patinadores de carreras de alto, buen rendimiento deportivo y talentos especiales. Metodológicamente el modelo está basado en la concepción de integración del deportista morfológico DM (Antropometría Biomecánica), el deportista funcional (Fibrilación Muscular) y del deportista dinámico DD (Cualificación y Cuantificación del Movimiento Deportivo). El modelo BIOMIN-PATIN contiene cinco módulos integradores de evaluación biomecánica: (1) El módulo de Antropometría Biomecánica, ANTROBIO-PATIN, para conocer la estructura corpórea en sus mediciones y aplicarlas a los movimientos propios del patinador (24 medidas primarias y 31 variables calculadas de las cuales 17 son categorizadas); (2) El módulo de Postura Corporal, APIC-PATIN, que determina las asimetrías e imbalances de todo el cuerpo del patinador en cinco planos diferentes (100 variables medidas por digitalización y 80 variables derivadas); (3) El módulo de localización del centro de masas en tres planos (3P), CMC-PATIN, que sitúa la posición del centro de masas del patinador con y sin patines en los planos transversal, frontal y sagital y realiza la valoración del tipo pie (15 variables de medición directa y 10 variables calculadas); (4) el módulo DBL-PATIN que valora la funcionalidad de la potencia muscular y la capacidad de reclutamiento de fibras rápidas uni y bilateral de miembros inferiores (36 variables medidas directamente y 50 variables calculadas); y (5) el Módulo Dinámico, DINA-PATIN es la cualificación y cuantificación cinemática y cinética de la salida y el ciclo de patinado en recta y curva donde se evalúan fases y eventos críticos del movimiento a estudiar terminando con la selección y cuantificación de variables cinemáticas y cinéticas de esos mismos movimientos. El Modelo BIOMIN-PATIN es un modelo operativo, integrador y de gran ayuda en la optimización de la técnica deportiva del patinador, dada su capacidad de permitir analizar en detalle la estructura orgánica o corporal de un patinador, su funcionalidad y la dinámica de los movimientos objeto de estudio.

Palabras clave: Biomecánica Integral (BIOMIN), Deportista Morfológico, (DM) Deportista Dinámico (DM), Antropometría Biomecánica Predictiva (ABP), Funcionalidad Motora (FM), Análisis Cualitativo (ACL), Análisis Cuantitativo (ACT)

Introducción

¹ Director científico – Instituto de Investigaciones & Soluciones Biomecánicas, Cali- Colombia jace-ro2810@gmail.comjacero5@telmex.net.co

En el mundo actual y dentro de la vigencia académica, industrial y científica del análisis del movimiento humano alrededor de los países que han desarrollado esta área del conocimiento, se hace importante y justificada la aplicación de estos estudios biomecánicos a varios contextos básicos y avanzados de la medicina, la bioingeniería, el diseño industrial, la ergonomía, las ciencias del deporte y del ejercicio, la robótica, la animación virtual, el control motor, la rehabilitación física, la cine antropometría y la física.

Estas interpretaciones biomecánicas, fruto de los análisis cualitativos y cuantitativos han sido convertidas en aplicaciones directas que han favorecido los avances que tienen que ver con la eficiencia, la eficacia y la optimización del rendimiento deportivo. La enseñanza de los gestos técnicos en el deporte es tarea de los profesionales en deporte y la actividad física, los cuales deben ir acompañados de un conocimiento y entendimiento del movimiento cualitativa y cuantitativamente, para transmitir efectivamente las diferentes técnicas.

Según Carlos Lugea (2009), por técnica se entiende una adecuada y económica forma de trasladarse sobre los patines a fin de obtener altos resultados deportivos. La especial utilización de los efectos recíprocos de las fuerzas internas con aquellas externas (reacción del terreno, resistencia al avance de las ruedas, tipos de curvas, etc.) hacen que el conjunto de movimientos que forman la técnica sean determinantes para alcanzar una alta velocidad con valores bajos de energía. La técnica debe obviamente tener en cuenta la característica de las competencias, ya que es una disciplina muy táctica y se presta fácilmente para la colaboración de equipo en todo tipo de competencia, bien sea en la competencias donde se realiza salida grupal o en el recorrido del mismo. También en la técnica juegan un papel muy importante las leyes de la mecánica y las características individuales de los patinadores.

A nivel global en el patinaje de carreras los gestos técnicos que se han identificado son básicamente seis: salida, recta, curva, espagata o finalización, y en relevo observamos dos gestos técnicos que son: el patinador que empuja y el patinador que recibe. Igualmente en la práctica se visualizan algunos aspectos importantes a tener en cuenta en esta clasificación: 1) en la salida se observa la salida frontal (de frente) y la salida sagital (de lado); 2) en la recta se visualizan dos tipos de técnica: uno denominado la técnica tradicional o convencional y la otra la técnica del doble empuje; 3) con respecto a la curva se observa la tendencia de los movimientos a realizar la trenza, en el caso de la pista, y en el caso de la ruta depende básicamente del tipo de curva; y 4) en el caso del relevo es similar al que realizan los patinadores

Según Acero (2003) en términos de la Biomecánica Aplicada al patinaje de carreras se reportaron los siguientes artículos relacionados: tipos de pie y patines, Scarlet (1999); acumulación de la velocidad, Ryan (1999); ¿qué tan bajo puede ir usted?, Ryan (2000); el doble empuje, Publow (1999) y Matzger y Burger (2000); el modelo del empuje no lineal, Baum (1999), y el patinaje de la curva, Ryan (2000). Publow (1999) enuncia un cuasi-análisis cualitativo de los aspectos más importantes de la salida en patinaje de carreras, pero hasta la fecha no se han determinado las fases ni los elementos temporo-espaciales de este movimiento. Posteriormente, Palomino (2004) reportó los siguientes artículos relacionados: El doble empuje Speed Skating Santa Barbara, traducido por Mary Mendivil (1997), Influencia de la cadencia en el movimiento del patinador, desde una perspectiva física, por Sintés 2002 y Técnica de salida, por Ralston (FaSSkt 1997). También, Lozano, Dennis y Navarro (2005) realizaron una descripción antropométrica de los patinadores de velocidad sobre ruedas participantes en los Juegos Deportivos Nacionales de Venezuela, y Lozano y Dennis (2005) reportaron las características antropométricas de los patinadores de velocidad en línea en el Torneo Nacional de Transición, Cartagena de Indias, en Colombia.

Dados los presupuestos anteriores y los hallazgos bibliográficos, el objetivo de este trabajo investigativo fue exponer un modelo experimental integral de análisis biomecánico para patinadores de carrera (BIOMIN-PATIN) teniendo en cuenta los principios y las aplicaciones propios de esta actividad deportiva con una sustentación en la caracterización corporal y dinámica.

Sustento teórico central del modelo Biomin-Patin

Este modelo de Análisis Biomecánico Integral (BIOMIN según Acero 2002b) en patinadores de rendimiento y talentos especiales se sustenta en tres acercamientos científicos que integralmente se deben interpretar: (1) el deportista morfológico (DM), (2) el deportista funcional (DF) y el deportista dinámico (DD), cuyos conceptos y metodologías se integran e interrelacionan para determinar el tipo de rendimiento deportivo en el patinaje. Dentro del DM, existen unas variables antropométricas que según Acero (2002a), son del dominio exclusivo de la Antropometría Biomecánica Predictiva (ABP), y es cuando esas medidas toman un significado de proyección y de análisis de los factores cinemáticos y cinéticos propios del movimiento deportivo. El Deportista funcional (DF) hace referencia a las cualidades de su capacidad neuromotora, medidas y analizadas desde su funcionamiento de reclutamiento de las fibras rápidas y de algunas manifestaciones de la fuerza explosiva. En el marco del deportista dinámico, (DD) el movimiento humano puede verse desde la perspectiva

del análisis cualitativo y cuantitativo, teniendo en cuenta la cinemática y la cinética de sus movimientos

Conceptos, estructura y variables del modelo Biomin-Patin

El modelo BIOMIN-PATIN para patinadores de carrera es una metodología de análisis del movimiento humano que en forma práctica y científica establece una interdisciplinaridad y una trans-disciplinaridad de los factores estructurales, funcionales y dinámicos del deportista. En la figura 1, se establece el flujograma y ordenamiento de la medición y análisis de las variables biomecánicas contenidas en cinco módulos de valoración y análisis. Se comienza: (1) por el módulo de Antropometría Biomecánica, ANTROBIO-PATIN, para conocer la estructura corpórea en sus mediciones y aplicarlas a los movimientos propios del patinador (23 variables de medición directa y 29 variables calculadas); (2) el módulo de Postura Corporal, APIC-PATIN, que determina las asimetrías e inbalances de todo el cuerpo del patinador en cinco planos diferentes (100 variables medidas por digitalización y 80 variables derivadas); (3) el Módulo de localización del centro de masa en tres planos (3P), CMC-PATIN, que sitúa la posición del centro de masa del patinador en los planos transversal, frontal y sagital (10 variables de medición directa y seis variables calculadas); (4) el módulo DBL-PATIN que valora la funcionalidad de la potencia muscular y la capacidad de reclutamiento de fibras rápidas uni y bilateral de miembros inferiores (36 variables medidas directamente y 50 variables calculadas); y (5) el Módulo Dinámico, la cualificación y cuantificación cinemática de la salida y el ciclo de patinado, DINA-PATIN, en recta y curva, donde se evalúan fases y eventos críticos del movimiento a estudiar, terminando con la selección y cuantificación de variables cinemáticas y cinéticas de ese mismo movimiento (15 variables medidas directamente en forma de digitalización y 20 variables derivadas)

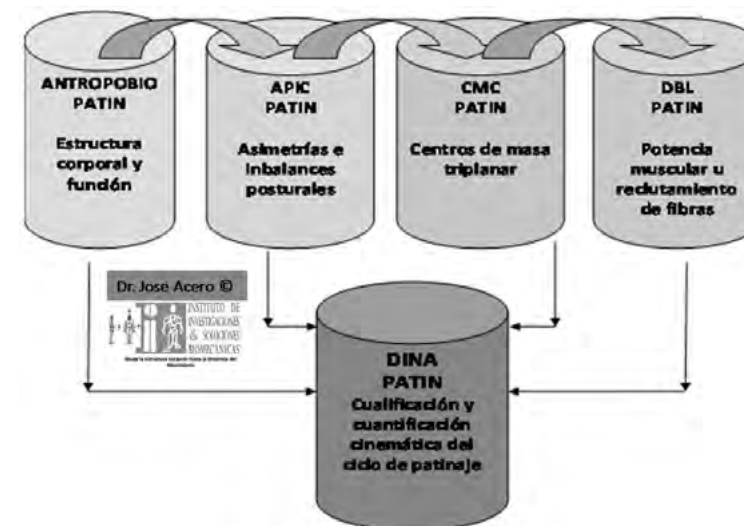


Figura 1. Estructura modular del modelo integral BIOMIN-PATIN para patinadores de carrera. (Acero, 2008)

Módulo Antropobio-Patin (deportista morfológico)

EL módulo ANTROBIO-PATIN fue creado por Acero & Palomino (2008) y es un seriado de variables de la inter-disciplina de la Antropometría Biomecánica que en forma interconectada refleja cuatro grandes grupos de variables de medición y análisis enfocadas directamente hacia el movimiento del patinador sobre ruedas: (1) macro-medidas corporales como factor estructural general; (2) grandes y pequeños diámetros óseos relacionados con el movimiento del patinaje sobre ruedas como factor estructural específico; (3) masas compartimentales totales de tejido graso, óseo, muscular, residual y activo que representan un componente cinético del tipo mórfico funcional, y (4) las longitudes, perímetros y masas segmentales de los miembros inferiores como sectores corporales que llevan una alta responsabilidad cinética motora en las acciones del patinador sobre ruedas. (ver figura 2)

El módulo de Antropometría Biomecánica (ANTROBIO-PATIN) específicamente diseñado para patinadores de carreras (8-20 años) basado en la concepción científica de que estas medidas corporales tienen una proyección sobre los patrones cinéticos y cinemáticos del patinador. El Módulo ANTROBIO-PATIN se estructuró metodológicamente sobre (1) El Sub- Módulo Promedial Primario (SUMPROP) constituido por 24 medidas primarias (ver tabla 1 del estudio Acero & Palomino, 2008) relacionadas con el componente

estructural general (macro-medidas), el componente estructural específico (Diámetros corporales), un componente cinético de masas compartimentales (Composición corporal para el movimiento) y un componente cinético de masas segmentales actuantes (longitudes, perímetros y masas de extremidades inferiores), y (2) el Sub- Módulo Promedial Derivado (SUMPROD) que calcula 31 variables o índices, de las cuales 17 son categorizadas (ver tabla 2 del estudio Acero & Palomino, 2008).

Este modelo ANTROBIOPATIN parte de un análisis del estado estatura-ponderal y sus índices derivados para obtener un perfil de la normalidad de la masa corporal o el sobrepeso (IMC) y la ectomorfia o grado de linealidad corporal (IP); a continuación, se miden y valoran los grandes y pequeños diámetros óseos más relacionados con los movimientos del tren superior e inferior del patinador, tanto en forma individual como en forma interrelacionada, a través de índices que indican el estado proporcional del tronco, los hombros y las caderas, relativos a su propia estatura.

Un tercer componente permite medir y evaluar la composición corporal compartimental a nivel de masa total de grasa, hueso, músculo, residual y activa, utilizando macro medidas, panículos, diámetros y números codificados que resultan en una comparación de orden cinético (masas actuantes) a través de índices especializados.

El último componente está referido a las longitudes, perímetros y masas segmentales localizados en los miembros inferiores que son protagónicos de los movimientos propios del patinador, índices de proporcionalidad entre la pierna y el muslo y de la longitud de los miembros inferiores, relativos a la estatura, caracterizan este cuarto grupo de variables.

De esta forma y seleccionando las variables de Antropometría Biomecánica más significativas para la proyección de los movimientos propios del patinaje de carreras sobre ruedas, se ha reconocido por parte de los autores de este artículo la importancia de estudiar transversalmente bajo la aplicación de un modelo, la condición de Antropometría Biomecánica de patinadores niños y jóvenes (8-18 años) en vías al rendimiento deportivo.

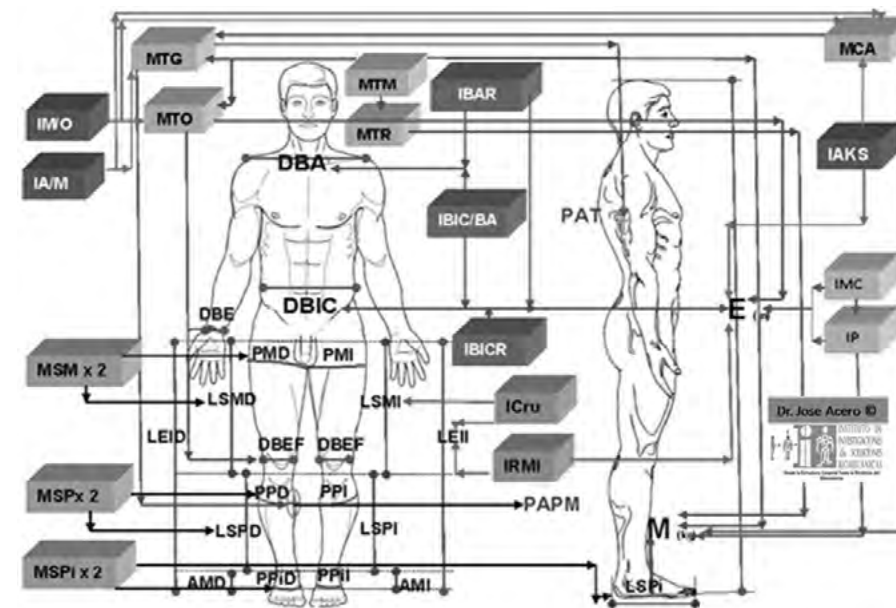


Figura 2. Concepción global del modelo ANTROBIOPATIN (Acero & Palomino , 2008)

Los instrumentos tecnológicos que se utilizan en este módulo son: estadiómetros, balanzas corporales, segmentómetros II&SB, cintas perimétricas con control de presión II&SB, adipómetros Slim guide, plataformas de reacción, y el software AN-TROBIO-PATIN v.1 II&SB creado por Acero (2008).

El modelo ANTROBIOPATIN aplicado inicialmente sobre 22 niñas patinadoras es analizado teniendo en cuenta 24 resultados primarios o el Sub-modelo Promedial Primario (SUMPROP) obtenidos directamente y aquellos calculados o derivados (índices) en el Sub-Modelo Promedial Derivado (SUMPROD) cuyos resultados enmarcan finalmente el estado antropométrico biomecánico de las patinadoras aquí propuesto. En la tabla 1, se determinaron los promedios de cada una de las 24 variables primarias para el conglomerado del total de las patinadoras. En la tabla 2 se calcularon los promedios de las 31 variables finales para la categorización de la tendencia promedial del grupo evaluado.

Tabla 1. Resultados promedios de las 24 variables primarias del modelo ANTROBIOPATIN (n= 22; niñas, 8-12 años; 2-4 años de experiencia) Sub-Modelo Promedial Primario (SUMPROP)

Variables de Medición Primarias	Promedio	DE ±	Max	Min
1. Edad Decimal (X,xx años)	10,8	1,12	13,45	8,74
2. Estatura (E) (m)	1,43	8,25	1,68	1,32
3. Masa Corporal (MC) (kg)	37,2	7,28	56,5	20,8
4. Diámetro bi-acromial (DBA) (cm)	27,9	2,97	34,7	20,4
5. Diámetro bi-estiloideo (DBE) (cm)	4,6	0,49	5,65	3,92
6. Diámetro bi-iliocrestal (DBIC) (cm)	21,1	2,08	27	18,60
7. Diámetro bimalleolar (DBM) (cm)	6,4	0,54	7,8	5,60
8. Diámetro del femur (DBEF) (cm)	8,0	0,86	9,8	6,80
9. Panículo del Tríceps (PAT) (mm)	35,7	3,40	44,2	29,8
10. Panículo Pierna Medial (PAPM) (mm)	33,4	2,41	39,7	28,5
11. Longitud Muslo Derecha (LMD) (cm)	22,4	1,55	26,6	19,6
12. Longitud Pierna Derecha (LPD) (cm)	5,6	0,45	6,55	4,9
13. Longitud Pie Derecha (LPiD) (cm)	35,4	3,06	43	29,9
14. Altura Maleolar Derecha (AMD) (cm)	33,6	2,47	40,5	28,9
15. Longitud Muslo Izquierdo (LMI) (cm)	22,7	1,43	26,1	20
16. Longitud Pierna Izquierda (LPI) (cm)	5,6	0,64	7,8	4,65
17. Longitud Pie Izquierdo (LPiI) (cm)	12,45	3,35	19,0	6
18. Altura Maleolar Izquierda (AMI) (cm)	13,98	3,82	22,0	6,5
19. Perímetro Muslo Derecha (PMD) (cm)	47,25	4,05	57,5	40
20. Perímetro Pierna Derecha (LPD) (cm)	29,9	2,23	36,0	25,7
21. Perímetro Pie Derecha (LPiD) (cm)	20,5	2,92	24,0	8,4
22. Perímetro Muslo Izquierdo (LMI) (cm)	47,1	4,21	58,0	39,8
23. Perímetro Pierna Izquierda (LPI) (cm)	29,9	2,26	36,2	25,6
24. Perímetro Pie Izquierdo (LPiI) (cm)	20,5	2,82	24,5	8,8

Tabla 2. Resultados promedios de las 31 variables derivadas del modelo ANTROBIOPATIN (n = 22; niñas, 8-12 años; 2-4 años de experiencia) Sub-Modelo Promedial Derivado (SUMPROD)

Variables Derivadas o Índices Corporales	x	DE ±	Max	Min	Valoración
1. Índice de Masa Corporal, IMC, (Kg/m ²)	17,92	2,08	21,21	11,92	
2. Percentil IMC	59,86	26,26	91,15	0,01	Peso Saludable
3. Índice Ponderal, IP, (m ³ /kg)	43,73	1,69	48,52	40,95	
4. Índice de Ectomorfia	3,43	1,23	6,94	1,39	Linealidad Moderada
5. Índice bi-iliocrestal / bi-acromial, IBIC/BA	76,31	9,82	100,00	55,33	Tronco Rectangular
6. Índice bi-acromial relativo a la estatura, IBAR	19,48	1,68	22,83	14,44	Hombros Estrechos
7. Índice bi-iliocrestal relativo a la estatura, IBICR	14,75	1,27	18,76	12,63	Pelvis Estrecha
8. Masa Total de Grasa, MTG, (kg)	7,86	2,44	14,37	3,51	Exceso
9. Masa Corporal Activa, MCA, (kg)	30,47	6,03	44,13	17,29	
10. Masa Total Ósea, MTO, (kg)	6,77	1,47	10,76	5,17	Normal
11. Masa Total Residual, MTR, (kg)	7,96	1,49	11,81	4,35	Normal
12. Masa Total Muscular, MTM, (kg)	14,56	3,23	23,14	6,48	Disminuida
13. Índice AKS, IAKS,	1,03	0,10	1,21	0,75	
14. Índice Musculo/Óseo, IM/O	2,20	0,50	3,51	1,00	Deficiente
15. Índice Adiposo/Muscular, IA/M	0,54	0,14	0,78	0,33	Aceptable
16. Longitud Extremidad Inferior Derecha, LEID, (cm)	74,72	5,47	90,45	67,10	
17. Longitud Extremidad Inferior Izquierda, LEII, (cm)	74,63	5,36	91,30	67,36	
18. Asimetría Longitud de Extremidades Inferiores	0,09	0,82	1,31	-1,53	Simetría Normal
19. Índice Crural Derecho, Icrud	93,86	7,51	113,76	82,40	Pierna Larga
20. Índice Crural Izquierdo, Icrul	95,17	7,30	114,33	80,53	Pierna Larga
21. Índice Relativo Miembro Inferior Derecho, IRMID	52,11	1,20	54,09	50,01	Extrem. Infer. Corta
22. Índice Relativo Miembro Inferior Izquierdo, IRMI	52,05	1,25	54,51	49,77	Extrem. Infer. Corta
23. Masas segmental Muslo Derecho MSMD (kg)	4,21	1,41	9,37	2,55	
24. Masas segmental Pierna Derecha MSPD (kg)	1,77	0,39	3,01	1,26	
25. Masas segmental Pie Derecho MSPiD (kg)	0,65	0,10	0,93	0,46	
26. Masas segmental Muslo Izquierdo MSMI (kg)	4,12	1,33	8,95	2,57	
27. Masas segmental Pierna Izquierda MSPI (kg)	1,78	0,40	3,10	1,27	
28. Masas segmental Pie Izquierdo MSPiI (kg)	0,65	0,11	0,92	0,46	
29. Masa miembro inferior derecho MMID (kg)	6,62	1,87	13,30	4,31	
30. Masa miembro inferior izquierdo MMII (kg)	6,56	1,81	12,98	4,30	
31. Asimetría Masas Extremidades Inferiores	0,06	0,24	0,55	-0,54	Simetría Normal

Módulo Apic-Patin (deportista morfológico)

El fundamento del movimiento deportivo del patinador de carrera reposa en la alineación postural bipodal (estructura morfológica de base). Esta medición y análisis debe operar bajo los principios de objetividad cuantificada y no en la sobre estimación subjetiva. De acuerdo a estos principios Ramón y Paris (2004) con complementos de Acero (2004) han desarrollado un Sistema Biomecánico denominado Análisis Postural Bipodal por Imagenología Computarizada (APIC) que mide y categoriza más de 80 variables corporales distribuidas en todo el cuerpo. La unidad de Posturografía Bipodal JOGUS® es un sistema de respaldo técnico y científico a la toma de datos por imágenes de la postural bipodal erecta con disposiciones espaciales y anatómicas respaldadas en la elaboración de los estudios biomecánicos estandarizados.

El software APIC V.2 es un proceso informático que permite traer imágenes tomadas con la técnica biomecánica a un PC y transformarlas bajo procedimientos de digitalización en kinegramas reales que representan en imágenes y datos la postura bipodal recta en cinco visiones del individuo (ver figura 3 y ejemplo en la figura 4)

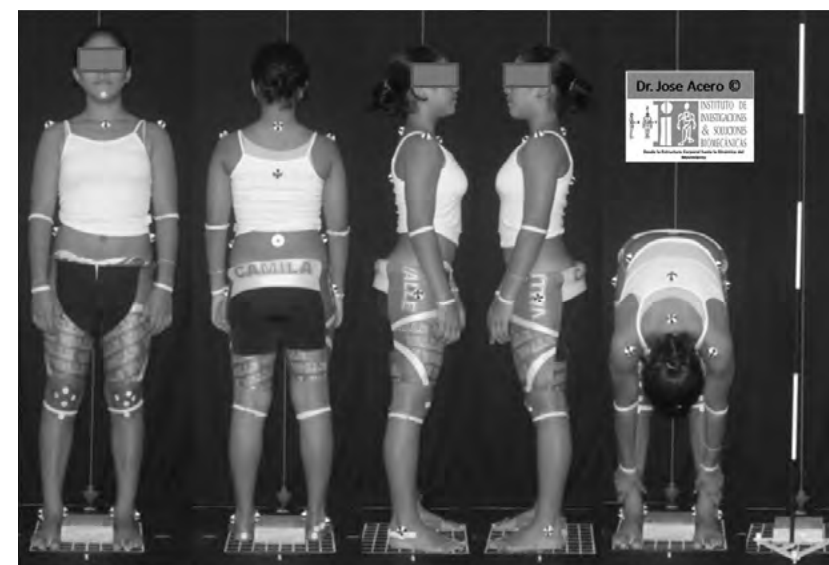


Figura 3. Tomas de imágenes digitales en cinco planos para análisis postural APIC- II&SB en patinadores (Acero 2008)

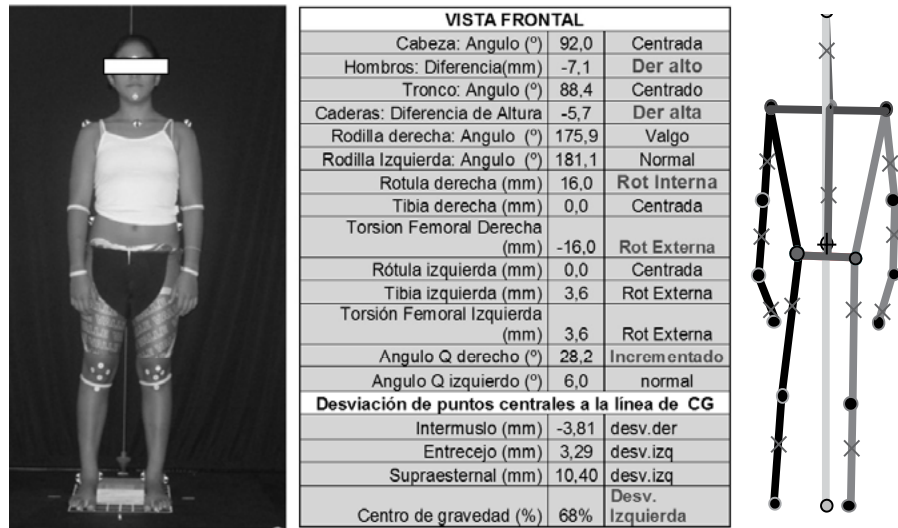


Figura 4. Ejemplo de proceso de toma, digitalización e interpretación de datos en APIC-II&SB, (Acero, 2008)

Módulo CMC-PATIN (deportista morfológico)

El centro de masa corporal es una variable muy importante en el conocimiento de cómo las masas segmentales están distribuidas en el patinador para hacer los ajustes necesarios de la postura dinámica. Con el objeto de medir la localización del centro de masa del patinador en los tres planos —sagital, frontal y transversal— se emplearán el Sistema de Plataformas Reactivas SPR-3P del Instituto de Investigaciones & Soluciones Biomecánicas (II&SB). Este sistema son plataformas elaboradas bajo los diseños y aplicaciones del Dr. José Acero®, 2000, que en forma científica y técnica localizan las líneas del centro de masa del cuerpo humano en sus tres planos: frontal, sagital y transversal (ver figura 5). Este cálculo y proceso se fundamenta (Lovett y Reynolds,1909; Cooper y Glasgow,1968; Luttgens & Wells,1982; Rash & Burke,1986 en Acero 2002a) en dos leyes físicas del equilibrio donde la sumatoria de fuerzas y momentos de un objeto son iguales a 0.

Dentro de las variables a medir en el patinador con y sin patines se encuentran:

- Localización del Centro de Masa Total Corporal (CMTC) el plano Transversal (altura del CMTC) (ver figura 7)
- Porcentaje de la altura del CMTC con respecto a la estatura corporal (ver figura 7)
- Área de la base de sustentación para la posición bipodal (ver figura 7)
- Localización del CMTC en el plano sagital (Distancia PA ó Y) (ver figura 7)
- Localización del CMTC en el plano frontal (Distancia DL ó X) (ver figura 7)
- Coordenadas de migración del CMTC en los planos frontal y sagital (Intersección XY) (ver figura 7)
- Tipología del pie (ver figura 6, un ejemplo de un patinador elite mundial, utilizando el sistema PODOEST-DINA-II&SB Acero, 2008)
- Elaboración del Centrograma (ver figura 7)



Figura 5. Determinación de Centro de Masa (3P) por el método de reacción En Acero, 2002a

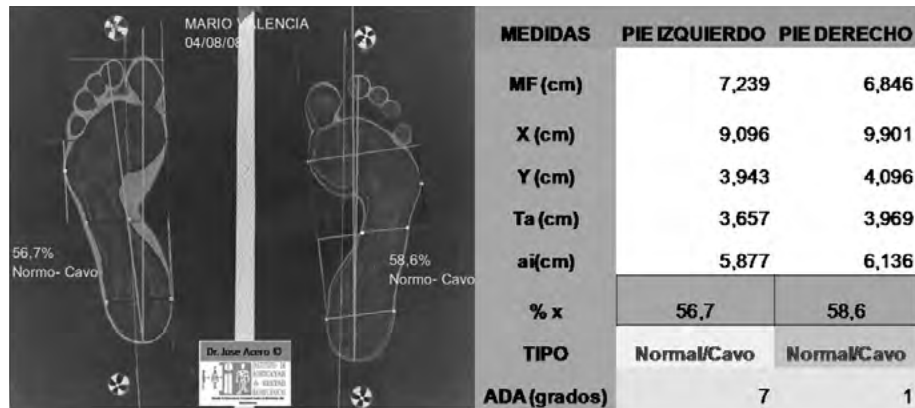
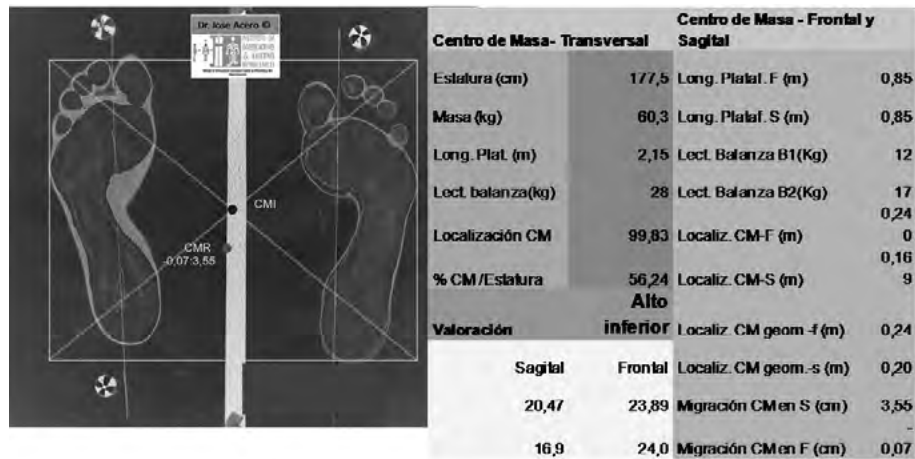


Figura 6. Tipología del pie (Herzco con Podoest_Dina-II&SB Acero, 2008)

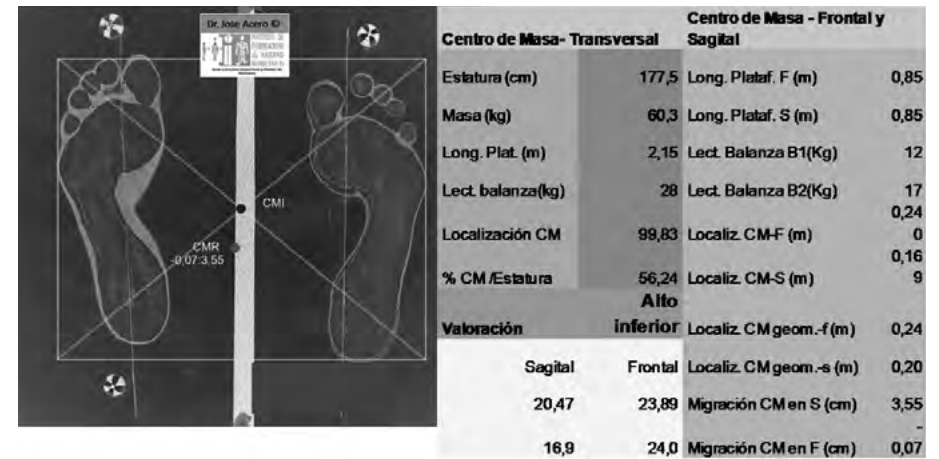


Figura 7. Centro de masas triplanar sin patines en un patinador elite (CMC con Podoest_Dina-II&SB Acero, 2008)

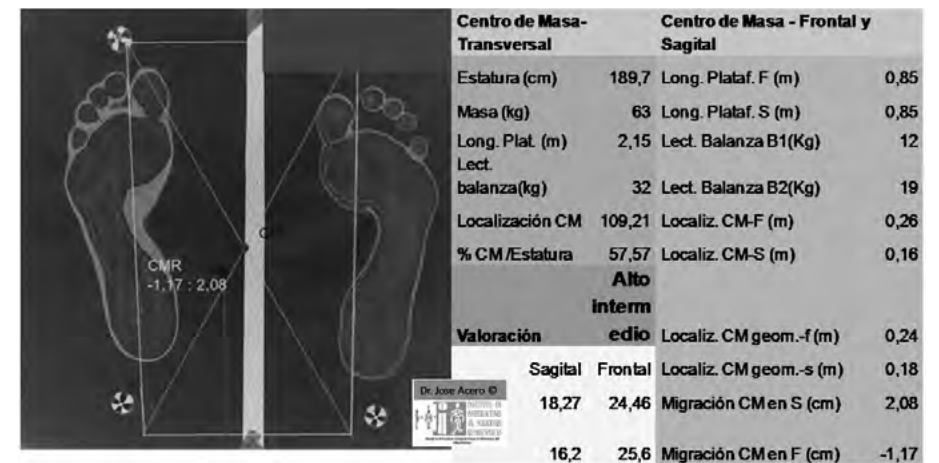


Figura 8. Centro de masas triplanar con patines en un patinador elite del mundo (Podoest_Dina-II&SB Acero, 2008)

Módulo DBL-PATIN (deportista funcional)

El módulo del déficit o facilitación bilateral para patinadores (DBL-PATIN) es un protocolo J. Ibargüen H. and Lozano B. (2002), modificado por Acero. tiene un total de 15 saltos con características internacionales a saber: 3 saltos máximos en el tipo Abalakov (ABK) bipodal, 3 unipodal derecho (ABK), 3 unipodal izquierdo (ABK) (ver fotos 3, 4 y 5), 3 en Contramovimiento (CMJ) bipodal (ver foto 6) y 3 en squat o sentadilla (SJ) bipodal (ver foto 7). Éste es realizado por cada uno de los patinadores actuando sobre un sistema de Evaluaciones Biomecánicas computarizado por plataforma de contactos (SISTEMA BIOSALTUS-II&SB Acero, 2007b). Este protocolo permite calcular: (1) el déficit o facilitación bilateral existente para deducir o estimar el estado de rapidez de inervación de las fibras rápidas (ver tabla 3 y 5); (2) la potencia de miembros inferiores independientemente (ver tabla 4) y simultáneamente; (3) establecer los lados dominantes y no dominantes (ver tabla 5); (4) determinar las contribuciones de la fuerza contráctil de base, la contribución de los brazos y el índice elástico (ver tabla 5).

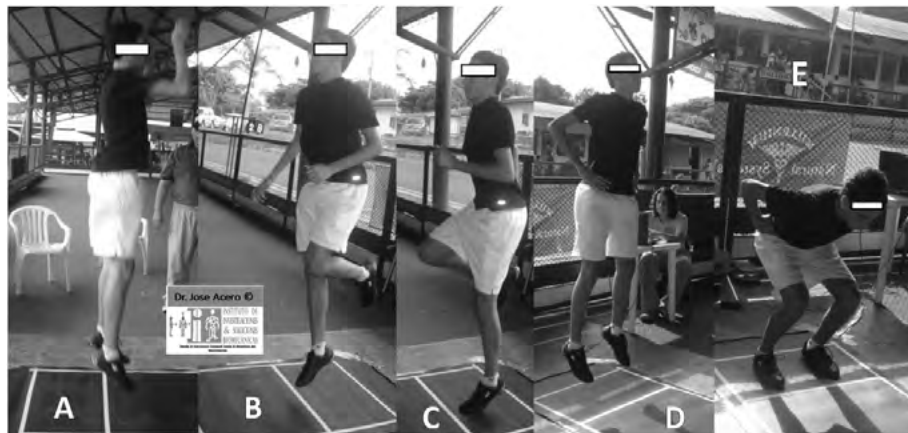


Figura 9. Tipos de saltos utilizados en DBL-PATIN(A) Abalakov, (B) Abalakov derecha (C) Abalakov Izquierda, (D) Contramovimiento Jump y (E) Squat Jump (Acero, 2008)

Tabla 3. Protocolo DBL-PATIN con resultados y valoraciones reales sobre un patinador elite del mundo

(Acero 2008)

Tipo de saltos	1S (cms)	2S (cms)	3S (cms)	Promedio	Mejor salto	Dif (cms)	Valoración
ABK	40,6	40,5	40,9	40,67	40,90	0,00	Promedio
CMJ	34,2	31,1	34,5	33,27	34,50	-6,40	Promedio
SQJ	32,6	32,6	32,6	32,60	32,60	-8,30	Promedio

ABK x C				
Salto	1	2	3	Mejor
Unipodal derecho	18,8	19,8	21,4	21,4
Unipodal izquierdo	17,1	18	18,4	18,4
Bipodal	40,6	40,5	40,9	40,9
% DBL (AS)		2,689		Facilitación BL

Promedios ABK (AS)			
MI Derecho	MI Izquierdo	Diferencia	Categoría
20,00	17,83	2,17	Dominancia significativa I
Promedios CMJ(AS)			
MI Derecho	MI Izquierdo	Diferencia	Categoría
12,33	12,40	-0,07	No Dominante
Promedios SJ(AS)			
MI Derecho	MI Izquierdo	Diferencia	Categoría
13,93	12,80	1,13	Dominancia Moderada

Tabla 4. Dominancias unilaterales en alturas saltadas (AS) de un patinador elite del mundo en diferentes tipos de saltos y su valoración (Acero, 2008)

Capacidad de fuerza miembros inferiores	Resultado	Valoración
% CC- Representa la capacidad contráctil o fuerza base ()	82	Normal
% CE. Capacidad elástica (CMJ-SJSc)	4,13	Insuficiencia
% CB. Capacidad de utilización de los brazos (ABK-CMJ)	13,91	Aprovechamiento

Tabla 5. Déficit Bilateral (DBL) por Potencia Mecánica Máxima indirecta (PMmi) y Manifestaciones de la fuerza explosiva en Miembros Inferiores de un patinador elite del mundo (Acero, 2008)

ABK (Pmmi)		
Salto	Mejor	PMmi (w)
Unipodal derecho	21,4	1673,46
Unipodal izquierdo	18,4	1487,76
Bipodal	40,9	2880,51
% DBL		-9,75
Bueno inferior		

Módulo DINA-PATIN (deportista dinámico)

Esta metodología de análisis se logra con un sistema de análisis videográfico computarizado y un paquete de software biomecánico. La estación científica AMI-II&SB (portátil, 2, 3 ó 4 cámaras biomecánicas, periféricos e instrumentación espacial) con un software biomecánico SC-PRO v.6; es utilizada por el analista biomecánico para medir y analizar las variables cinemáticas en forma bidimensional (2D) y por lo menos en dos planos: (2P). También es recomendable hacerlo en la metodología tridimensional (3D)

Las siguientes variables pueden ser medidas y analizadas con este sistema en cada movimiento estudiado: salida, recta y curva.

El análisis cualitativo es la observación sistemática y el juzgamiento introspectivo de la cualidad del movimiento humano con el propósito de proveer la intervención más apropiada para mejorar el rendimiento (Knudson & Morrinson, 1996). Este tipo de análisis del movimiento deportivo implica fases de movimiento, imágenes representativas reales, descripción de los movimientos corporales, errores y ventajas técnicas, eficiencia del movimiento, superposición de imágenes.

Por ejemplo, en la salida de la competencia 200 o 300 CRI y según lo reportado por Acero y Palomino, (2010) los velocistas pueden utilizar dos períodos, y dentro de ellos 7 fases de movimiento (ver figuras 10, 11 ,12 y 13)

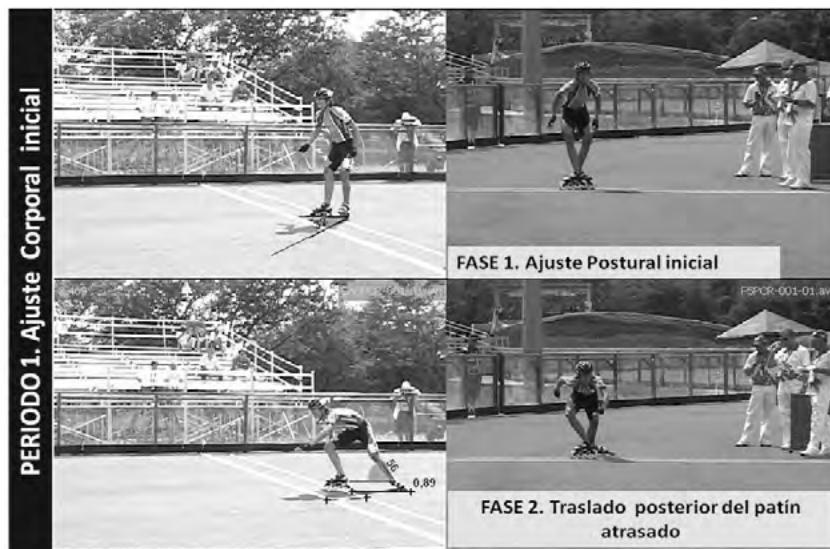


Figura 10. Período 1 de ajuste corporal inicial y sus correspondientes fases 1 y 2 de movimiento de la salida en un patinador campeón del mundo (Acero & Palomino 2010)

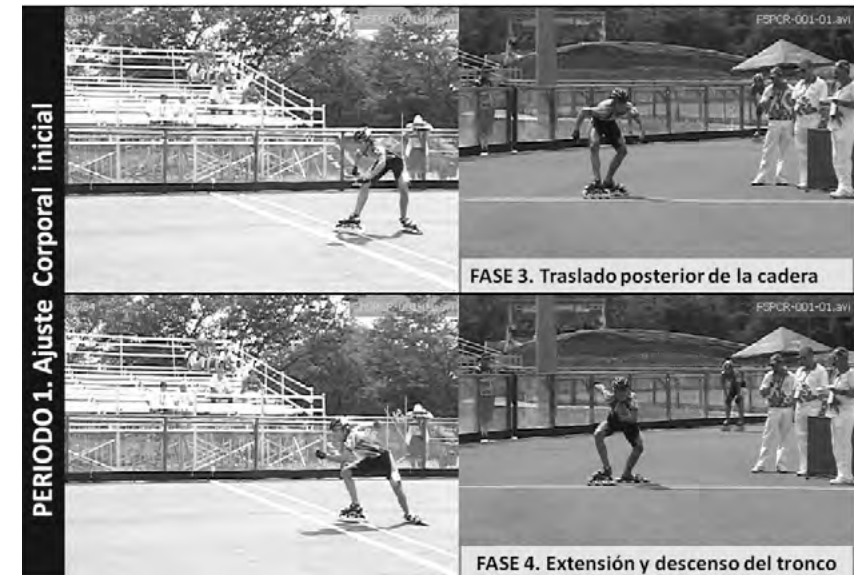


Figura 11. Período 1 de ajuste corporal inicial y sus correspondientes fases 3 y 4 de movimiento de la salida en un patinador campeón del mundo (Acero & Palomino 2010)

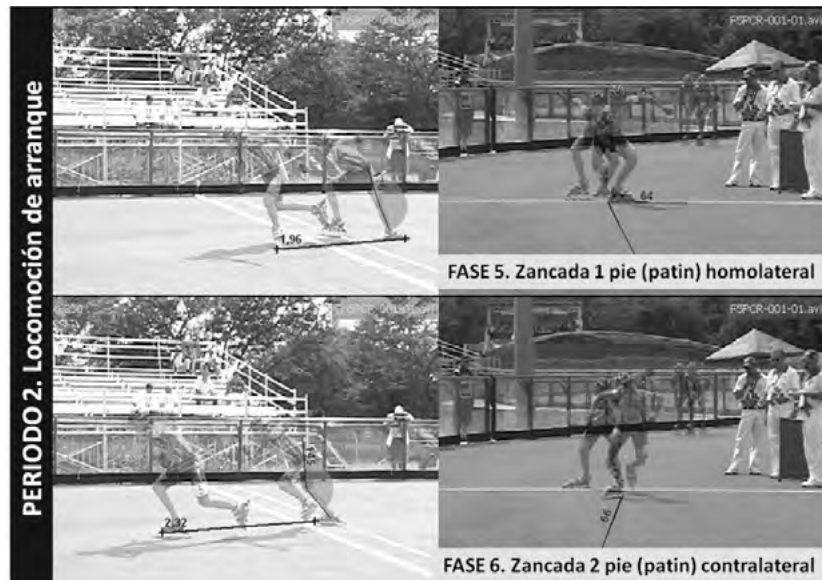


Figura 12. Periodo 2 de locomoción de arranque y sus correspondientes fases 5 y 6 de movimiento de la salida en un patinador campeón del mundo (Acero & Palomino 2010)

Otro ejemplo en el patinaje en línea es lo referente al análisis cualitativo del ciclo de empuje con la pierna derecha o izquierda en recta en un patinador con talento y en formación, y de acuerdo con los hallazgos de García, Bolívar y Acero (2011) se distinguieron cinco fases de movimiento en cada ciclo, a saber: (1) Fase 1 Preparación para el empuje; (2) Fase 2, máximo empuje; (3) Fase 3, despegue del patín; (4) Fase 4, recuperación hasta la parte posterior y (5) Fase 5, deslizamiento.



Figura 14. Fase 1: preparación para el empuje del ciclo derecho en recta (García, Bolívar y Acero, 2011)



Figura 13. Periodo 2 de locomoción de arranque y su correspondiente fase 7 de movimiento de la salida en un patinador campeón del mundo (Acero & Palomino 2010)

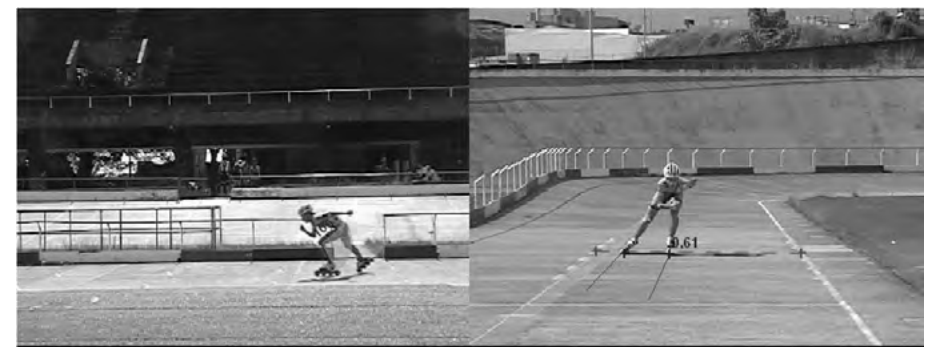


Figura 15. Fase 2: máximo empuje del ciclo derecho en recta (García, Bolívar y Acero (2011)



Figura 16. Fase 3: despegue del patín del ciclo derecho en recta (García, Bolívar y Acero (2011))



Figura 17. Fase 4: recuperación hasta la parte posterior del ciclo derecho en recta. (García, Bolívar y Acero, 2011)

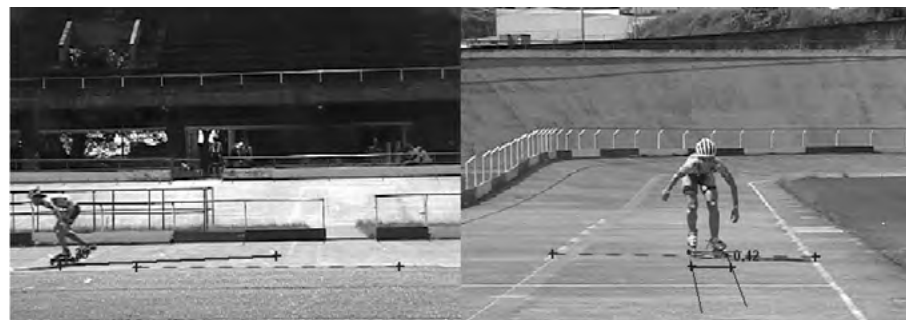


Figura 18. Fase 5: deslizamiento del ciclo derecho en recta (García, Bolívar y Acero (2011))

El análisis cuantitativo es el proceso de asignar números y magnitudes a las diferentes variables cinemáticas y cinéticas del gesto deportivo objeto del análisis. La cuantificación del movimiento deportivo debe resolver las dudas o hipótesis establecidas en el análisis cualitativo previo y debe ser de carácter selectivo, pues pueden aparecer muchas variables que no son muy significantes para el análisis ni para el gesto deportivo. Hoy en día la utilización de la videografía es muy frecuente para filmar las ejecuciones técnicas de los deportistas. Para realizar un análisis cinemático del movimiento humano en términos de distancias lineares y angulares, tiempo transcurrido, ángulos relativos, inter-segmentales y proyectados, velocidades lineares y angulares, aceleraciones lineares y angulares, curvas de velocidad-tiempo de cualquier segmento corporal y visualización de movimientos simultáneos desde diferentes ángulos o planos y dentro de los procesos de optimización.

En este sentido Acero y Palomino (2010) reportaron los siguientes datos en su estudio reciente sobre la salida 200 CRI y sus correspondientes valores cinemáticos 2D Y 2P . Este estudio cuantitativo se realizó con los 10 hombres y 7 mujeres mejores patinadores de Colombia. (ver tablas 6 y 7).

Tabla 6. Datos primarios de variables cinemáticas en salidas para patinadores velocistas (n= 10 H) (Acero & Palomino, 2010)

Patinadores 1º-10º	Tiempo de 200 CRI (s)	Tiempo de S of. a Z3 (s)	% de tiempo Sof./200 CRI	Tiempo total 7 fases (s)	Velocidad salida (m/s)	Velocidad Z1 (m/s)	Velocidad Z2 (m/s)	Velocidad Z3 (m/s)	Aceleración Z1-Z2 (m/s²)	Aceleración Z2-Z3 (m/s²)
1	16,643	0,617	3,71	4,45	6,86	4,90	6,63	10,12	6,22	10,45
2	16,75	0,651	3,89	4,605	6,84	3,78	8,32	12,00	7,26	12,26
3	16,817	0,651	3,87	3,65	7,45	6,32	8,31	13,67	8,36	17,84
4	16,83	0,701	4,17	5,72	6,63	4,61	9,07	11,35	9,63	6,83
5	17,02	0,651	3,82	5,27	7,14	5,59	9,50	10,09	11,17	1,77
6	17,027	0,667	3,92	6,323	6,75	5,10	7,84	9,43	6,18	4,54
7	17,095	0,801	4,69	4,821	5,74	5,23	6,74	11,32	5,90	13,71
8	17,191	0,684	3,98	4,771	5,85	3,76	5,85	9,88	4,96	12,06
9	17,223	0,651	3,78	7,808	5,44	4,80	7,31	8,83	7,91	4,82
10	17,28	0,584	3,38	2,669	7,19	4,30	6,64	10,81	5,25	14,68

Tabla 7. Datos primarios de variables cinemáticas en salidas para patinadoras velocistas (n = 7 M)

Patinadores 1º-7º	Tiempo de 200 CRI (s)	Tiempo de 5 of. a Z3 (s)	% de tiempo Sof./200 CRI	Tiempo total 7 fases (s)	Espacio salida a Z3(m)	Velocidad salida (m/s)	Velocidad Z1 (m/s)	Velocidad Z2 (m/s)	Velocidad Z3 (m/s)	Aceleración Z1-Z2 (m/s²)	Aceleración Z2-Z3 (m/s²)
1	18,338	0,851	4,64	6,19	4,92	5,78	3,78	6,60	10,54	5,40	10,75
2	18,898	0,751	3,97	7,07	4,12	5,49	4,10	5,85	9,73	4,97	11,61
3	18,976	0,784	4,13	5,539	4,29	5,47	4,48	3,51	8,15	1,59	11,14
4	19,071	0,634	3,32	5,172	3,11	4,91	3,65	4,80	5,80	4,01	2,41
5	19,116	0,717	3,75	5,622	4,6	6,42	3,58	4,86	8,66	3,54	8,76
6	19,215	0,817	4,25	6,006	4,84	5,92	4,56	6,30	7,91	4,63	3,88
7	19,27	0,667	3,46	3,954	4,81	7,21	4,16	5,87	8,94	3,92	7,38

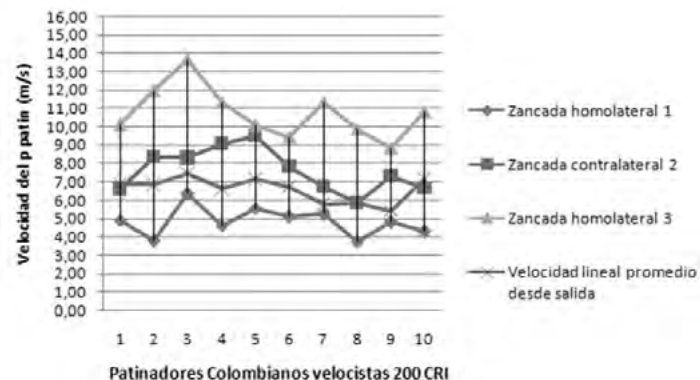


Figura 19. Distribución de las velocidades lineales del patín (m/s) para las tres zancadas y la velocidad promedio desde la salida (n = 10 Hombres)

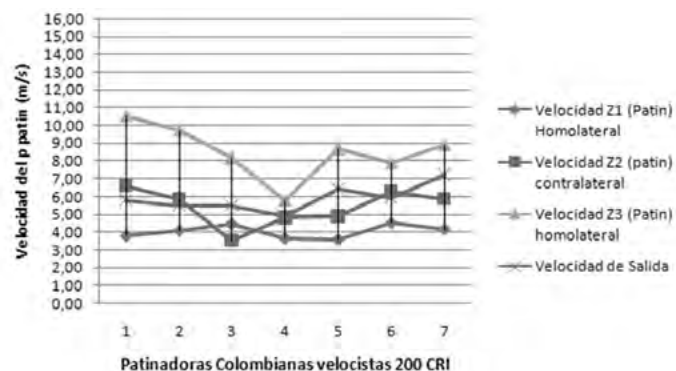


Figura 20. Distribución de las velocidades lineales del patín (m/s) para las tres zancadas y la velocidad promedio desde la salida (n = 7 Mujeres)

Los movimientos del ciclo de empuje en recta son los más utilizadas por el patinador, y la técnica denominada doble empuje es una de las más utilizadas. Según la versión de Publow (1997), el término doble empuje es denominado doble empuje – tracción, ya que se entiende por empuje la fuerza que realizan los miembros inferiores hacia la parte externa del cuerpo y como tracción la fuerza aplicada por los miembros inferiores hacia la parte interna del mismo, por lo tanto un paso está constituido por un empuje y una tracción de un miembro inferior. Sin embargo, para Acero (2003a) se realizan tres métodos del doble empuje. El primero es donde se requiere inicialmente un empuje con la pierna, mientras la contraria está sosteniendo el peso del cuerpo, para que posteriormente realice el empuje con la pierna contraria. Esta técnica es denominada el estilo clásico. El segundo es denominado doble empuje, pero la característica principal es que un patín realiza el empuje y posteriormente el contrario realiza una tracción, es decir, que el ciclo comprende un empuje y una tracción de cada pierna, pero el empuje y la tracción no se realizan de forma simultánea. El tercer método es denominado doble empuje simultáneo, la característica de este método es que en el momento de la realización del empuje la pierna contraria está realizando la tracción, es decir, que el empuje y la tracción se realizan de forma simultánea y en la misma fase, aumentando la fuerza de reacción.

Dentro de la cuantificación cinemática y demostrando la metodología del deportista dinámico en el ciclo de empuje en recta con la extremidad derecha e izquierda, García, Bolívar y Acero (2011) distribuyeron el análisis dinámico una serie de variables cinemáticas significativas y reportaron los siguientes resultados para un patinador talento y en proceso (ver tablas 8,9 y 10)

Tabla 8. Variables y resultados de medición en la recta de un patinador talento colombiano (fases 1 y 2). (García, Bolívar y Acero, 2011)

Fase 1		
	Ciclo derecho	Ciclo izquierdo
Distancia de los patines (m)	0,31	0,44
Distancia rueda final e inicial del patín de atrás (m)	0,09	0,14
Ángulo del tronco y la pierna (*)	77°	74
Fase 2		
Desplazamiento del patín con referencia a la posición inicial del patín contralateral (m)	0	0
Desplazamiento desde la posición del patín contralateral y posición final (m)	0,61	0,2
Distancia total y parcial recorrida por el patín (m)	0,23 - 0,21 - 0,17 =	
Ángulo muslo pierna izquierdo (*)	105	103

Tabla 9. Variables y resultados de medición en la recta de un patinador talento colombiano (fases 3 y 4). (García, Bolívar y Acero, 2011)

Fase 3		
--------	--	--

	Ciclo derecho	Ciclo izquierdo
Ángulo pie patín relativo a la horizontal en el plano frontal patín en despegue (°)	41	47
Ángulo hacia adentro del patín que está completamente apoyado (°)	83	79
Fase 4		
Ganancia de impulso del patín que no está recuperando (m)	3,29	4,48
Velocidad del cuerpo	8,225	11,2

Tabla 10. Variables y resultados de medición en la recta de un patinador talento colombiano (fase 5). (García, Bolívar y Acero 2011)

	Ciclo derecho	Ciclo izquierdo
Fase 5		
Desplazamiento lateral del patín apoyado (cm)	42	77
Ángulo Relativo a la horizontal del punto inicial y el final	7	17

Conclusiones

El Modelo BIOMIN-PATIN es un camino a la resolución integral de la medición y análisis del movimiento de los patinadores de carreras. Este modelo tiene una sustentación científica basada en el principio de complejidad del movimiento humano (Bernstein, 1940), en donde el análisis de la sola dinámica no es per se un componente para el mejoramiento deportivo sino también como efecto trans-disciplinar el estudio de lo morfológico-funcional del deportista.

Aunque está en evolución, el modelo BIOMIN-PATIN es un modelo práctico, profundo, integrador y objetivo para ejercer una función tripartita: (a) apoyar el rendimiento deportivo en la evaluación, monitoreo y control del entrenamiento deportivo; (b) indagar sobre las causas de las lesiones deportivas y (c) proveer herramientas tecnológicas y ergonómicas para ambos el rendimiento y la prevención de las lesiones deportivas.

El modelo BIOMIN-PATIN aquí sustentado es una herramienta biomecánica de mucha ayuda a la comprensión y a la metodología de la entrenabilidad de la técnica por parte de los entrenadores. La idea desactualizada de que los jugadores que ejecuten los gestos deportivos bajo una misma técnica o la técnica de un patinador exitoso debe ser reevaluada atendiendo a las diferencias significativas del orden morfológico-funcional y dinámico aquí expuestas. Es necesario, entonces, considerar que cada patinador tiene sus propios límites y ventajas biomecánicas con los que se deben contar para optimizar su nivel de eficiencia. Este fundamento, como otros en la práctica deportiva, debe ser entrenado inteligente y continuamente para

asegurar que exista realmente una condición evolucionante en la ejecución del gesto correspondiente

Referencias

Acero J. & Palomino A. (2010). Descripción motriz y cinemática de la salida de 200 metros en patinador@s elite de Colombia (progreso 1). Memorias 1er Congreso Iberoamericano de Biomecánica Deportiva. Ministerio Popular del Deporte e Instituto Nacional del Deporte de la República Bolivariana de Venezuela. 24 al 27 de Agosto. Mérida: Venezuela.

Acero, J. (2008). Evaluaciones biomecánicas integrales para patinadores (BIOMIN-PATIN). Estudio de casos. Instituto de Investigaciones & Soluciones Biomecánicas-Cali: Colombia.

Acero, J. & Palomino, A. (2008). Un modelo de aplicación para el estudio de Antropometría Biomecánica en patinadores de carreras (8-20 años). Segundo Congreso Internacional en Biomecánica Deportiva. Instituto Venezolano del Deporte (IND). Memorias. Septiembre 9 al 12. Isla Margarita: Venezuela

Acero, J. (2007). A 2D Geometry System to Measure Static and Dynamic Footprints. Proceedings in the 16th Annual Meeting of European Society for Movement in Adults and Children (ESMAC). Athens, Greece. September 24 to 29

Acero, J. (2007b). Sistema BIOSALTUS-II&SB para evaluaciones biomecánicas por tecnología de contactos. Instituto de Investigaciones & Soluciones Biomecánicas. Cali, Colombia.

Acero, J. (2002a). Bases biomecánicas para la actividad física y deportiva. Escuela Nacional del Deporte. Cali: Faid Editores.

Acero, J. (2002b). Modelo de Análisis Biomecánico Integral para Deportistas (BIOMIN). Maestría Ciencias de la Actividad Física. Universidad de Pamplona. Colombia

Acero, J. (2008). Software aplicativo ANTROBIOPATIN v.1, Instituto de Investigaciones y Soluciones Biomecánicas, Cali, Colombia.

Acero, J. (2003a). Aplicaciones biomecánicas en el patinaje de carreras sobre ruedas. Memorias. 1st Pan American Seminar on Roller Sports. Confederation of Pan American Roller Sport & Colombian Roller Skating Federation. 23 al 26 Enero, Bogotá, Colombia.

Acero J. & Palomino A. F. (2003b). Seminario-Taller en medición e interpretación de los movimientos del patinador de carreras utilizando videografía integrada. Memorias. 1st Pan American Seminar on Roller Sports. Confederation of Pan American Roller Sport & Colombian Roller Skating Federation. 23 al 26 Enero, Bogotá, Colombia.

- Acero, J., Ibargüen, H. & Lozano, B. (2002). El fenómeno del Déficit Bilateral (DBL) en Deportistas: Progresos 1 & 2. Memorias del Seminario Internacional en Ciencias del Deporte - Gatorade Sport Science Institute. AMEDCO, Bogotá – Colombia v 1, p. 12-34.
- Acero, J. (2000). Plataformas reactivas para determinación triplanar (3P) de la localización de los centros de masas. Instituto de Investigaciones & Soluciones Biomecánicas, Cali, Colombia.
- Lozano, R., Dennis, G. & Navarro, L. (2005) Descripción antropométrica de los patinadores de velocidad sobre ruedas participantes en los Juegos Deportivos Nacionales de Venezuela, diciembre de 2005, [http://www.efdeportes.com/Revista_Digital_Buenos_Aires_\(11\)_102](http://www.efdeportes.com/Revista_Digital_Buenos_Aires_(11)_102)
- Lozano, R. & Dennis, G. (2005). Características antropométricas de los patinadores de velocidad em línea. Torneo Nacional de Transición, Cartagena de Indias, <http://www.patincolombia.com/areamedica/medicina/investigacionkikelozano2.html>
- Federación Colombiana de Patinaje, (2003.) Historia de los mundiales de carrera, www.fedepatin.org.co
- IAAF. 2000. Técnicas y progresiones de la enseñanza.
- Lugea, C. (2009). Fundamentos de la técnica de patinaje de velocidad. Spagatta magazine. www.spagatta.com
- Sintes, L. 2002. Influencia de la cadena de movimiento del patinador desde una perspectiva física.
- García, K., Bolívar, J. & Acero J (2011). Comparación cinemática de los ciclos de empuje en patinadores competitivos, de 11 a 17 años, utilizando una tabla deslizante y la recta en pista. Tesis de grado en progreso. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias de la Salud. Programa Ciencias del Deporte y la Recreación. Pereira.
- Gowitzke, B., & Milner, M. (1981). Understanding the Scientific Bases of Human Movement. Baltimore USA: Williams & Wilkins.
- Grabiner, M. (1993). Current issues in Biomechanics. Champaign USA: Human Kinetics Publishers.
- Knudson, D. & Morrison, C. 1996. Qualitative analysis of human movement Human Kinetics. Champaign
- Mendivil, M. & Vega, J. 2002. Speed Skating Santa Bárbara, El doble empuje.
- Matzger & Burger. 2000. Fitness and speed skating times. El doble empuje, FaSSKT.
- Nelson, R. 1993. Beyond Research-Solutions to Human Problems. The American Academy Of Physical Education . USA.
- Norkin, C. & Levangie, P. (1992). Joint structure and Function. F. A. Davis Company.
- Palomino, A. (2004). Propuesta metodológica para la enseñanza de la salida en patinadores de carreras basados en análisis antropométricos y cinemáticos bidimensionales (2d) y biplanares (2p). Tesis de grado. Escuela Nacional del Deporte –Cali Colombia
- Publow, B. 1999. Fitness and speed skating times. El doble empuje. FaSSKT
- Publow, B. 2002. Pre – Olympic, Preguntas y respuestas. (12), 2
- Ralston, L. 1997. Fitness and speed skating times. La salida. FaSSKT
- Ryan, M. (1999). Fitness and speed skating times. Acumulación de la Velocidad. FaSSKT
- Ryan, M. (2000). Fitness and speed skating times, Qué tan bajo puede ir usted? FaSSKT
- Ryan, M. (2000) Fitness and speed skating times, El patinaje de la curva. FaSSKT.
- Ramón, G. & Acero, J. 2004. Análisis Postural Bipodal por Imagenología Computarizada. Memorias Curso APIC. II&SB. Cali- COLOMBIA
- Scarlet, J. (1999). D.P.M, Fitness and speed skating times, Tipos de pie, FaSSKT.
- Vaughman, C., Davis, B., & O'Connor, J. (1992). Gait Analysis Laboratory. Human Kinetics
- Widule, C. (1994). Biomechanical Foundations of Motor Skills. Learning Systems, West Lafayette IN, USA.
- Zatsiorsky, V. (1994). Advanced Sport Biomechanics. The Pennsylvania State University, Biomechanics Laboratory, PA, USA.