

**Núm. Orden:** 0126

**Título: Análisis cinemático y cálculo del consumo metabólico mediante métodos indirectos, de un aparato deportivo, el hango**

**Autores:** Javier Gámez Payá; Pedro Pérez Soriano Antonio Martínez Marhuenda; Enrique Alcántara Alcover.

**Procedencia:** Instituto de Biomecánica de Valencia.

**Correo:** jgamez@ibv.upv.es

**RESUMEN:**

De la familia de los patines surge un nuevo e innovador modelo, "El Hango". Éste consiste en un vehículo de tres ruedas y ligero peso cuyo desplazamiento se genera a partir de un movimiento simétrico y coordinado de carga alternante similar al realizado en otros deportes como el esquí o el patinaje. La actividad desarrollada con el Hango presenta diversos interrogantes con relación a los efectos tanto fisiológicos como biomecánicos que provoca en el organismo del usuario del Hango.

El presente trabajo se estructura en dos partes. En la primera se analiza el patrón de movimiento del individuo durante el manejo del Hango. Para ello se ha realizado un estudio cinemático en tres dimensiones, sobre una muestra de 4 sujetos, utilizando el IBV.KINESKAN DIGITAL 1.1. La segunda parte consistió en la valoración del consumo metabólico, mediante métodos indirectos, a partir de datos de frecuencia cardíaca, del esfuerzo que manifiestan los sujetos durante la realización de la actividad a distintas velocidades (10, 11 y 12 km/h) en un circuito cerrado de 1500 m. En la realización de las pruebas participaron 3 sujetos, usuarios habituales del hango. Los registros cardíacos fueron obtenidos mediante pulsómetros POLAR ACCUREX PLUS. A partir de estos datos se estimó el consumo metabólico de acuerdo a normas UNE-EN 28996, "Determinación de la producción de calor metabólico" (ISO 8996: 1990).

Los resultados han permitido la descripción cinemática del movimiento así como la estimación del esfuerzo realizado y su comparación con otras actividades deportivas.

Todo ello permite concebir el Hango como un vehículo adecuado para el desplazamiento urbano y para la práctica de actividad físico deportiva.

**PALABRAS CLAVE:** Hango, consumo metabólico, biomecánica, cinemática.

**INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.**

Se han observado durante los últimos años, dos fenómenos importantes en la práctica deportiva ofrecida al público en general. Por un lado han aparecido en el mercado numerosos artulugios orientados a la realización de actividad física. Por otro lado, el deporte urbano ha experimentado un enorme auge. Sin embargo y pese a esta evolución, no existe literatura que garantice que la utilización de dichos artefactos no presenta efectos perniciosos para el organismo, y comprobar cuales son los efectos positivos derivados de su uso. Por consiguiente, ante tal vacío de conocimiento y frente al desarrollo de un nuevo aparato de la familia de los patines, este trabajo pretende estudiar de forma objetiva, los efectos que se derivan de la práctica de actividad física utilizando el Hango (figura 1),

catalogado dentro del ámbito de la actividad física como medio para mejorar la salud y susceptible de ser incluido en la amplia familia del deporte urbano.

El hango es un patinete que tiene 2 ruedas traseras, sobre cada ruedas se sitúa una plataformas donde se apoyan los pies y una rueda delantera sobre la cual se inserta el manillar. De cada rueda trasera sale un tubo que se une en la base del manillar, este punto de unión está articulado, de este modo permite el peculiar movimiento del aparato (figura 1).

En este estudio se realiza un análisis cinemático, que ayuda a describir el patrón de movimiento del usuario que conduce el Hango; junto con una prueba de esfuerzo que permitió conocer los efectos a nivel cardiovascular. Además mediante un método indirecto se obtuvo el gasto energético durante el transcurso de la actividad. Por último se muestra una comparación el Hango con otros deportes, que a priori manifiestan similitudes en relación con el aparato de estudio.



Figura 1. Hango

## **MATERIAL Y MÉTODOS.**

Este trabajo consta de dos partes. La primera parte consta de un estudio cinemático en tres dimensiones en el que participaron 3 sujetos con experiencia en la conducción del aparato, realizaron 4 pasadas una misma velocidad ( $\pm 10\%$ ). Dicho estudio consistió en: una filmación con cuatro cámaras, sincronizadas entre sí; realizada a una frecuencia de 25 fotogramas por segundo (50 Hz), seguida de un proceso de digitalización con la ayuda del un software (KINESCAN/IBV 2001). para dicho estudio se utilizó un sistema de referencia de  $2 \times 8 \times 1.95$  (x,y,z) y un modelo anatómico alámbrico de 26 marcadores reales y 2 marcadores virtuales calculados, que incluía al Hango y al sujeto de estudio (Figura 2); como marcadores se utilizaron esferas de corcho de 3 cm de diámetro. El estudio se realizó en una superficie plana y sin irregularidades.. Para este estudio se han utilizado 18 variables, las de mayor interés son: ángulo de rodilla, velocidad del hombro, velocidad de la cadera, velocidad de la rodilla, velocidad del tobillo, trayectoria del hango en el eje X, la posición del tobillo en el eje Z y la aceleración del hango en el eje Y, la cual ha sido el criterio que se ha seguido para fraccionar el movimiento completo, debido a las diferencias que en dicha variable han sido encontradas entre el giro y las fases previa y posterior a éste. Con la ayuda de dichas variables: se calculó el rango de movimiento (ROM) de la rodilla,

para compararlo con los datos aportados por la bibliografía sobre otras actividades con cierta similitud; se ha dividido el gesto técnico en varias fases, en función de la aceleración en el eje Y; se ha obtenido la relación temporal entre los picos de velocidad del hombro, cadera, tobillo y rodilla durante el movimiento; se ha comprobado la simetría de movimiento así como la ausencia de impactos en la actividad. Las variables utilizadas en el estudio, se han obtenido del KINESCAN/IBV 2001. Mediante el SPSS 10.0 se realizó la estadística descriptiva.

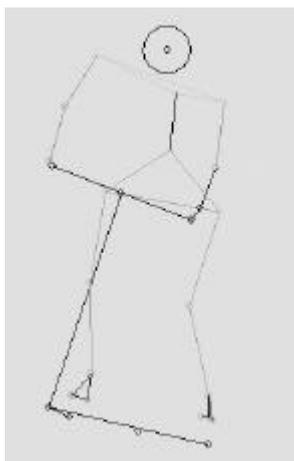
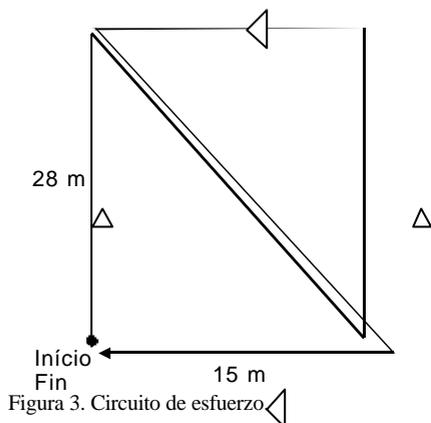


Figura 2. Modelo anatómico.

La segunda parte del estudio consistió en unas pruebas de esfuerzo, que se realizaron mediante la medición de la frecuencia cardiaca utilizando para ello un pulsómetro deportivo Polar modelo Accurex Plus, el cuál consta de dos elementos un emisor en forma de banda que se ajusta al pecho del sujeto y un receptor en la muñeca que almacena la frecuencia cardiaca a intervalos de tiempo prefijados. En este caso, se fijó un intervalo de almacenaje de 5 segundos. La información almacenada se transfirió posteriormente a un ordenador para su tratamiento mediante el software Polar Training Advisor.

Tres sujetos participaron en estas pruebas realizando un circuito (Figura 3) con un recorrido total de 150 metros al que se dieron 10 vueltas hasta completar 1500 metros en un tiempo de 10 minutos ( $\pm 5$  seg), lo que supone una velocidad media de 9 km/h. En primer lugar utilizaron el Hango para recorrer el circuito y posteriormente, tras una recuperación completa, realizaron la misma prueba mediante carrera continua. El ritmo de carrera y hango se fue controlando cada vuelta para que fuera uniforme (1 vuelta/minuto  $\pm 10\%$ ). El recorrido tenía 28 x 15 metros e incluyó giros a derecha e izquierda.



El procesado de la información consistió en obtener las curvas para cada gesto y de éstas la frecuencia cardiaca máxima, media y mínima. Se analizaron los estadísticos descriptivos de los valores medios y las diferencias entre los extremos y la media para estudiar la variabilidad del gasto energético. A partir de estos datos se estimó el consumo metabólico según la norma UNE-EN 28996 de Ergonomía. Determinación de la producción de calor metabólico (ISO 8996: 1990), para lo cuál se utilizó la siguiente fórmula:

$$M = 4,0 FC - 255$$

Donde M es el consumo metabólico en  $W/m^2$  y FC la frecuencia cardiaca media en latidos x minuto.

Se obtuvo M (consumo metabólico) para cada sujeto y el valor medio de los cuatro para su comparación con otros gestos tanto deportivos como de la vida diaria. Se obtuvo además la diferencia entre Hango y carrera para los sujetos del estudio. Para tal fin se calculó la diferencia entre Hango y carrera para cada sujeto y luego se obtuvieron estadísticos descriptivos.

**RESULTADOS.**

El manejo de este aparato presenta atributos destacables, uno de ellos es sin duda su trayectoria ondulada, dibujando en el plano horizontal una onda, cuyos periodos son casi idénticos en amplitud y frecuencia, lo que le da una trayectoria cíclica y simétrica, siempre y cuando no se varíe la velocidad ni el estilo de conducción del aparato.

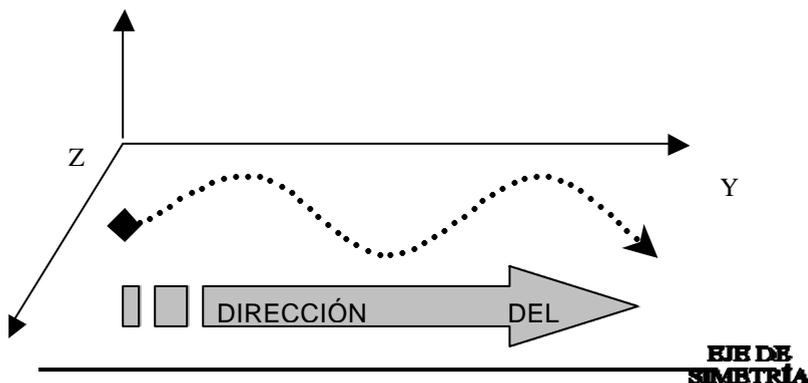


Figura 4. Trayectoria del hango

Para simplificar el estudio de la secuencia de movimientos del Hango, se ha dividido cada mitad del periodo completo (semiperiodo), en 4 fases, que se repiten constantemente debido al carácter cíclico del movimiento, de modo que el periodo completo tendrá 8 fases, en las 4 primeras corresponderán al semiperiodo derecho y las 4 siguientes pertenecerán al semiperiodo izquierdo, la referencia para determinar la lateralidad del semiperiodo, está marca por el eje de simetría de la onda (figura 4.). Cabe destacar que cada giro que conlleva la práctica del Hango, se realiza para avanzar además de para cambiar de dirección o sentido.

La secuencia que sigue la aceleración y que determina las fases es la siguiente: partiendo de la posición neutra, sigue una fase de aceleración, posteriormente continúa una fase de deceleración que coincide con el giro, a continuación, da comienzo una etapa de aceleración que llegará hasta la posición neutra; a partir de aquí se repetiría la secuencia debido a que se está describiendo un movimiento cíclico, como ya se ha comentado con anterioridad (figura 5).

Las partes en la que se ha dividido un semiperiodo son (Figura 5):

1. Posición neutra
2. Fase de impulso de entrada al giro.
3. Fase de giro.
  - 3.1. Entrada al viraje.
  - 3.2. Posición máxima de giro.
  - 3.3. Salida al viraje.
4. Fase de impulso de salida del giro.

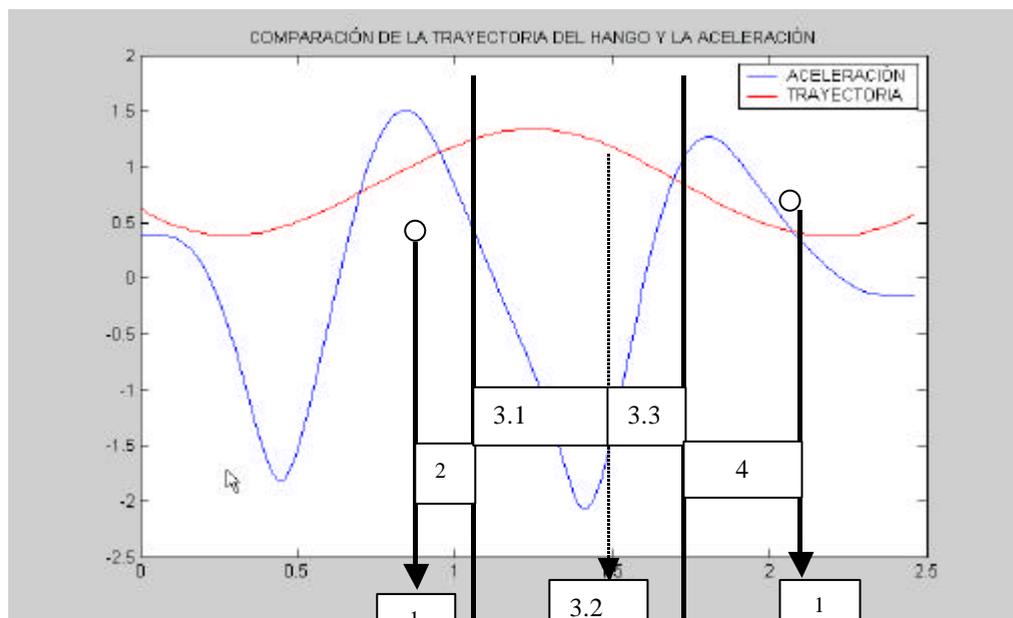


Figura 5. fases del movimiento.

1=Posición neutra; 2=Fase de impulso de entrada al giro; 3.1 Entrada al giro. 3.2= posición máxima de giro; 3.3=Salida del giro; 4= Fase de impulso de salida del giro.

Seguidamente veremos los datos cuantitativos que van a servir de apoyo para analizar el movimiento. La media del módulo de la velocidad máxima del hombro es de 3.26 m/s, conseguida a los 0.2 sg después de la posición neutra. Mientras que la media del módulo de la velocidad máxima del tobillo es de 3.91 m/s, conseguida a los 0.41 sg después de la posición neutra. Este hecho ayuda a conocer que el movimiento sigue la estructura de una cadena cinética cerrada. Por otra parte, La media de la angulación máxima de la rodilla es de 161° y la mínima es de 119°, lo cual significa que la rodilla manifiesta un ROM de 42° de media.

Cabe destacar que durante la práctica de actividad física mediante el Hango, no se observan impactos del aparato locomotor contra el suelo. La figura 8 muestra una gráfica correspondiente a la posición del tobillo en el eje vertical, se comprueba que la curva resultante no presenta cambios bruscos, se observa que prácticamente el tobillo se mueve en el mismo plano.

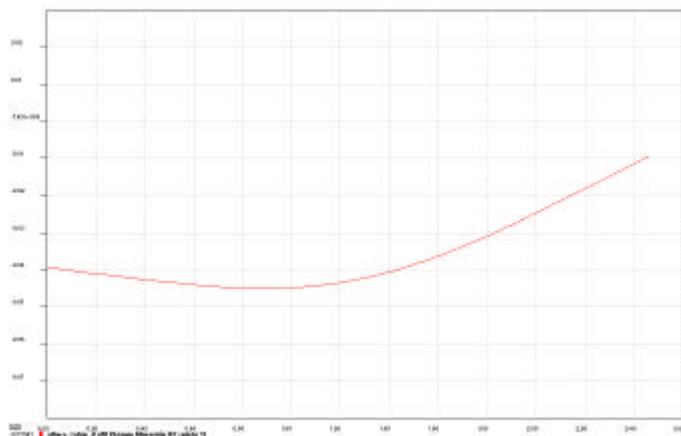


Figura 6. Posición del tobillo en el eje vertical.

Los resultados de la prueba de esfuerzo son los siguientes. La frecuencia cardiaca media resultante de la carrera continua es de 137,3 ppm, mientras que la frecuencia cardiaca media del Hango es de 98 ppm, cabe recordar que ambas pruebas se realizaban a 9 km/h. Por otro lado el gasto metabólico fue de 314,92 W/m<sup>2</sup> y de 136,25 W/m<sup>2</sup> para la carrera y el Hango respectivamente. La diferencia media entre sujetos fue de 172 W/m<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 69.74% y un coeficiente de variación del 40.6 %. La variabilidad de la carrera sin embargo es mayor, ya que la diferencia entre la frecuencia máxima y la media presentó un coeficiente de variación mucho mayor (37.3 % frente a 5.1% del Hango) (tabla 1).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos.

Actividad	Variable	Media	SD	Rango	COV (SD/mean) x 100
Hango	M (W/m <sup>2</sup> )	136.25	39.46	72	28.96
	Fc max –Fc med	11,32	0,58		5.1
	Fc med- Fc min	20.43	7.51		36.74
Carrera	M (W/m <sup>2</sup> )	314.92	68.97	136	21.93
	Fc max –Fc med	12.1	4.51		37.3
	Fc med- Fc min	64.93	19.67		30.3

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

Los resultados del estudio muestran algunas características del Hango, que se consideran ventajas frente a otras actividades de estructura mecánica o finalidad similar, una de éstas, es su carácter simétrico, esto permite que el organismo actúe de forma similar tanto en la parte derecha como la parte izquierda, a lo largo del gesto técnico; por consiguiente se puede garantizar que el desarrollo muscular derivado de la practica del “hanging” será equilibrado; es decir, las adaptaciones en las estructuras corporales que se produzcan en la parte derecha del organismo, de igual modo se obtendrán en la parte izquierda, con lo cual no parece posible que se produzcan patologías por desequilibrios en la musculatura.

Debido al parecido existente entre el Hanging y otro deportes consolidados como el ski alpino, el patinaje de velocidad y el ski de fondo; y teniendo en cuenta los datos ofrecidos por la bibliografía, se ha comparado el rango de movimiento, la máxima y la mínima angulación de la rodilla entre todas las actividades previamente citadas. Comprobando que dichas variables guardan gran similitud con todos los deportes anteriormente mencionados (Boer et al (1987); Smith, Brian (1994);Koning et al (1991); Smith, Nelson (1989); Koning et al (1989); Maxwell (1989); Muller (1994)). Por todo lo comentado anteriormente y teniendo en cuenta que las tendencias actuales del entrenamiento deportivo, apuestan por la utilización de tareas con la mayor especificidad posible al gesto de la competición, el Hango puede ser un instrumento interesante para el desarrollo de la resistencia de base I en especialidades como el ski de fondo, el ski alpino o patinaje de velocidad.

Los resultados obtenidos en la prueba de esfuerzo permiten concluir que el manejo del Hango es una actividad física aeróbica, bastante homogénea y que básicamente lleva asociado un gasto energético menor que la mayoría de deportes, siendo cercano al trekking y a bajar escalones (tabla 2). Hay que destacar que circulando a la misma velocidad (9km/h), el consumo metabólico durante la carrera es superior al consumo metabólico del Hango, y por lo tanto representa una actividad menos eficaz, desde el punto de vista

energético. En la tabla 4 se puede observar la relación en el consumo metabólico del Hango comparado con otras actividades físicas y deportivas.

Tabla 2. Comparativa de consumo metabólico con actividades básicas

Actividad	M (W/m <sup>2</sup> )	M (Kcal/minxm <sup>2</sup> )
Hango	136.3	1,9
Caminar cuesta arriba a 3 Km/h a 5°	130	1,82
Caminar cuesta abajo a 5 Km/h a 5°	130	1,82
Andar con peso a 4Km/h y 10 Kg	185	2,17
Bajar escalones (80 por minuto)	155	2,2
Caminar en llano a 4 Km/h	200	2,8
Caminar en llano 3,5-5,5 Km/h	235-360	3,3-5
Carrera pruebas (9 Km/h)	315	4,4
Carrera 9Km/h	435	6,1
Esquiar en llano 7 Km/h	350	4,9
Patinar sobre hielo 12 Km/h	225	3.15
Canoa (6.5 Km/h)	214-500	3-7
Squash	750	10.5
Natación braza	821.5-1000	11.5-14
Natación libre, espalda	714-1428	10-20
Remo (97 m/min)	357-786	5-11
Tenis	286-786	4-11
Gimnasia	250-714	3,5-10
Fútbol	536-714	7,5-10

En numerosas acciones deportivas, se observan cadenas cinéticas de movimiento, Hochmuth define este efecto como “efecto arrastre”. La técnica del Hango sigue la estructura de una cadena cinética, donde el tobillo, como segmento más próximo al aparato, adquiere la mayor velocidad de todos los segmentos y de una manera retardada, tal y como describía Hochmuth (Hochmuth 1984, Hochmutn 1973).(figura 7). Por otra parte, el hecho de que el movimiento siga las pautas de una cadena cinética, favorece al preestiramiento de las partes no contráctiles del músculo, con la consecuente mejora en la tensión muscular resultante de la acción.

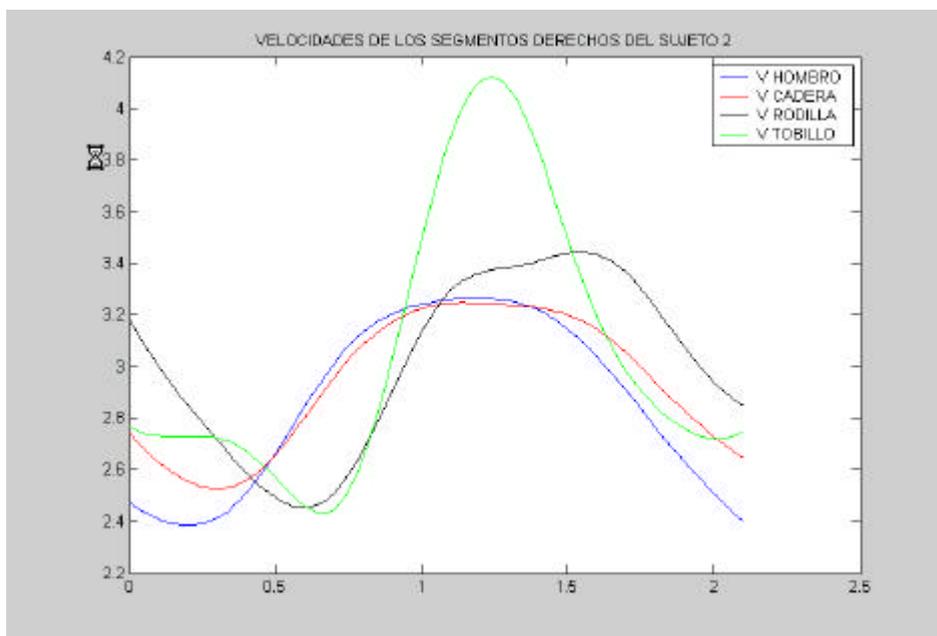


Figura 7. Velocidades de diferentes segmentos corporales.

Por todo lo comentado anteriormente se cree conveniente destacar, este nuevo aparato puede encajar en dos usos: en primer lugar, como medio de locomoción para la vida diaria, puesto que gracias a sus características este equipo se muestra idóneo para desplazamientos de corto y medio recorrido por el interior de los núcleos urbanos. Su utilización a velocidad moderada (9 km/h) aunque suficiente para desplazamientos urbanos, se relaciona con gastos energéticos similares a los producidos cuando se anda cuesta arriba sobre superficies ligeramente inclinadas (5%). En segundo lugar el Hango se puede utilizar como medio para practicar actividad física recreativa,

Si unimos todas las características que hemos descrito en los párrafos anteriores, vemos que el hango, si se realiza por superficies lisas y la conducción del aparato se realiza de manera suave y cíclica, se presenta como una actividad saludable, aplicable como actividad terapéutica y de tonificación muscular, sobretodo en miembro inferior. Además puede ser un elemento de apoyo interesante para la preparación física, en periodos iniciales del entrenamiento, en algunos deportes.

No obstante es necesario conocer la limitaciones de este estudio, de modo que en un futuro sería interesante estudiar la actividad eléctrica muscular mediante EMG; el consumo metabólico a distintas intensidades y por distintos terrenos. Del mismo modo, se debería realizar un análisis de los riesgos que presenta el aparato para sus posible usuarios.

## BIBLIOGRAFÍA.

Aguado, X. Educación Postural de tareas cotidianas en la enseñanza primaria: Una visión ergonómica. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. (1989)

- Astrand, P.D. Rodahl.K. Fisiología del trabajo físico. Médica Panamericana. Buenosaires. (1985)
- BOER, R.W. VOS, E. HUNTER, W. GROOT, G. INGEN SCHENAU, G. J. Physiological and biomechanical comparison of roller skating and speed skating on ice. *Eur J appl physiol.* 56. (1987).pp.562-569.
- CAMPOS, J. [Ed]. Biomecánica y deporte. Ayuntamiento de Valencia. Valencia. (2001).
- HOCHMUTH,D. Biomechanics Of Athletic Movement. Berlin: Sportverlag. (1984)
- KONING, J. GROOT, G. INGEN SCHENAU,G. J. Coordination legs during speed skating. *J biomechanics.* 24. 2, pp. 137-146. (1991)
- MAXWELL, S.M. HULL, M.L. Measurement of strength and loading variables on the knee during alpine skiing. *J biomechanics.* 22.6/7, pp. 609-624. (1989).
- MULLER, E. Analysis of the biomechanical characteristics of different swinging techniques in alpine skiing. *J sports sciences,* 12,pp. 261-278. (1994)
- Norma UNE-EN 28996 de Ergonomía. Determinación de la producción de calor metabólico (ISO 8996: 1990)
- SMITH, G.A. HEAGY, B.S.. Kinematic analysis of skating technique of olympic skiers in the men's 50-km race. *J appl biomechanics,* 10, pp.79-88. (1994)
- SHOSHANI, Y. GIVOL, N. TAICHER, S. Sport-related maxillofacial fractures. *Harefuah,* 1999 Dec 1; 137 (11): 535-7, 591. (1999).