

## Alternativa ecológica en la evaluación del salto de longitud de atletas paralímpicos

### Ecological alternative in measuring long jump of paralympics athletes

### Alternativa ecológica para avaliar salto longas o Paralympians atletas

Miguel Angel Torralba Jordán<sup>1\*</sup>, José María Padullés Riu<sup>2</sup>, José Luis Losada López<sup>3</sup> y José Luis López del Amo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Educación. Universidad de Barcelona (UB). <sup>2</sup> Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC), Universitat de Barcelona. <sup>3</sup> Facultad de Psicología. Universidad de Barcelona (UB). <sup>4</sup> SPARG Universidad de Vic

**Resumen:** Los Juegos Paralímpicos constituyen el máximo exponente a nivel mundial del deporte de competición practicado por personas con discapacidad. En este trabajo exponemos la investigación realizada en los Juegos Paralímpicos de Londres 2012, analizando las acciones de los atletas ciegos en el salto de longitud. Para la toma de datos se utilizaron 4 cámaras Exilim F1 (Casio, Japan), grabando 2 en alta velocidad (512x384 píxeles a 300 Hz) y 2 en alta definición (1280x720 píxeles a 30 Hz), permitiendo no interferir en la competición. El tratamiento y extracción de datos cinemáticos de las imágenes se realizó con el programa Kinovea 0.8.15 (disponible en <http://kinovea.org>). Las variables analizadas en el último paso de la carrera de aproximación fueron: velocidad de paso, Vp (m/s); velocidad resultante, Vr (m/s); frecuencia de paso, Fp (Hz); longitud de paso, Lp (m); tiempo de contacto, Tc (s); tiempo de vuelo, Tv (s), tiempo de paso, Tp; altura del centro de masas, BCM h1(m); ángulo de batida, a1(°); y la duración de la batida, Tc0 (s). Se ha observado una influencia positiva en las variables Tc1, Tv1 y Vp1 y negativas en a1, Lp1, Tp1 y Tc0. Los resultados obtenidos han permitido identificar las variables determinantes del rendimiento en salto de longitud de atletas ciegos y comparar éstas con los ya existentes de deportistas sin discapacidad y de similar habilidad técnica. La metodología utilizada se ha mostrado fiable, válida y precisa, siendo de gran utilidad en los ámbitos competitivos por no interferir en el espacio deportivo.

**Palabras clave:** Sistemas ecológicos, deporte adaptado, salto de longitud, ciegos.

**Abstract:** The Paralympic Games are the maximum exponent of worldwide competitive sport practiced by people with disabilities. In this paper we present the research conducted during 2012 London Paralympic Games, analysing the actions performed by blind athletes in the long jump, using four Exilim F1 (Casio, Japan) cameras for data collection. We used two of them to record at high speed (512x384 pixels at 300 Hz) and two at high definition (1280x720 pixels at 30 Hz), allowed us not to interfere in the competition. The analysis and extraction of the kinematic image data was performed using the Kinovea V0.8.15 software (available at <http://www.kinovea.org>). The variables analysed in the last step of the approach run were:

Step speed, Vp (m / s); Resulting speed, Vr (m / s); Step frequency, Fp (Hz); Stride length, Lp (m); Contact time, Tc (s); Flight time, TV (s), Step time, Tp; BCM height h1 (m); take off angle, a1 (°) and take off duration, TC0 (s). It has been a positive influence in the Tc1, Tv1 and Vp1 and negative one in: a1, Lp1, TP1 and TC0 variables. The results have identified the variables that determine performance in horizontal jumping with existing athletes without disabilities and similar technical skills. The methodology has been showed reliable, valid and accurate being very useful in competitive areas not to interfere in the sports area

**Keywords:** Ecological systems, adapted sports, long jump, blind.

**Resumo:** Os Jogos Paraolímpicos são o auge do esporte competitivo a nível mundial praticado por pessoas com deficiência. Neste artigo apresentamos uma pesquisa realizada nos Jogos Paraolímpicos de Verão de 2012, analisando as ações dos atletas cegos no salto em distância. Para a coleta de dados foram utilizadas 4 câmeras de gravação de alta velocidade F1 Exilim (Casio, Japão), 2 gravando em alta velocidade (512x384 pixels a 300 Hz) e 2 em alta definição (1280x720 pixels a 30 Hz), permitindo não interferir na competição. A análise dos dados de imagem cinematográfica foi realizada com o programa Kinovea 0.8.15 (disponível em <http://kinovea.org>). As variáveis analisadas no último passo da corrida de aproximação foram: velocidade, Vp (m / s); velocidade resultante, VR (m / s); frequência de passada, Fp (Hz); comprimento do passo, Lp (m); tempo de contato, Tc (s); tempo de voo, TV (s), tempo de intervalo Tp; altura do centro de gravidade, h1 BCM (m); ângulo do passo preparatório, a1 (°); e a duração do ataque, TC0 (s). Se há observado uma influência positiva no Tc1, na TV1 e no Vp1 e negativa na a1, variáveis Lp1, TP1 e TC0. Os resultados encontrados permitiram identificar as variáveis que determinam o rendimento do salto em distância de atletas cegos e compará-los com os resultados de atletas sem deficiência, com habilidades técnicas semelhantes. A metodologia utilizada se mostrou confiável, válida e precisa, sendo muito útil nos âmbitos competitivos por não interferir na área de competição.

**Palavras-chave:** Sistema Ecológico, desporto adaptado, salta em distância, ciegos.

## Introducción

La observación directa implica una “transducción” de lo real, gozando de un suficiente nivel de observabilidad (Anguera, Blanco, Losada y Hernández-Mendo, 2000; Anguera, Blan-

co-Villaseñor, Hernández-Mendo y Losada, 2011) y cumpliendo el objetivo de describir la situación y el contexto. El criterio que aquí tenga mayor trascendencia, probablemente sea el de total perceptibilidad de la conducta. Corresponde a un objeto de observación formado por conductas manifiestas y, por tanto, susceptibles de ser percibidas a través de nuestros

Dirección para correspondencia [Correspondence address]: Miguel Angel Torralba Jordán. Campus de la Vall d'Hebrón. Pg Vall d'Hebrón 171. 08035. Barcelona (España). E-mail: [torralba@ub.edu](mailto:torralba@ub.edu)

órganos sensoriales. Se trata de un proceso que se inició con la percepción de un evento, conducta o situación que dio lugar a un registro determinado.

Según Longabaugh (1980), es observable la conducta que, si ocurre en presencia de otro sujeto, tiene la capacidad de actuar como estímulo para dicho sujeto, el cual puede obtener de ella un registro de conducta. Para Mucchielli (1974, p. 6), “observación es la percepción de la realidad desde la perspectiva del observador”. En primer lugar, para hacer viable la recogida de datos, tendrá que desencadenarse el correspondiente proceso representacional, que proporciona un retrato de la realidad - según Bernard (1976, p. 41), “el observador debe ser como el fotógrafo de los fenómenos”, para lo cual se precisa del mecanismo representacional, que actúa selectivamente e implica tanto aspectos orgánicos (cada individuo, ya que sus representaciones son puras y totalmente propias, y no pueden ser vividas por otra persona) como inorgánicos (mecanismos autónomos de registro), y se manifiesta mediante signos de diverso orden (sensaciones, elementos convencionales, etc.) que, en cualquier caso, estarán insertos en un contexto de representación que fijará las dimensiones básicas espacio-temporales, etc.

La Metodología Observacional (MO) ha evolucionado notablemente en las últimas décadas (Anguera, Blanco, Losada y Hernández-Mendo, 2000; Anguera, Blanco-Villaseñor, Hernández-Mendo, y Losada, 2011). Esta perspectiva queda maximizada en el aspecto tecnológico, donde la proliferación de software y tecnologías de diversa índole han aumentado notablemente. El rápido avance en el desarrollo de las tecnologías informáticas y del tratamiento de las imágenes, que convierten a estos últimos años en “la década tecnológica”, no está recogido ni implementado en la mayor parte del software existente. Así, la implementación de la observación del mismo evento realizado desde perspectivas diferentes aumenta sin duda las opciones de enriquecer y mejorar la calidad de las

investigaciones (Hernández-Mendo, Anguera y Bermúdez-Rivera, 2000; Castellano, Perea, Alday y Hernández-Mendo, 2008).

Los Juegos Paralímpicos constituyen el máximo exponente a nivel mundial del deporte de competición practicado por personas con discapacidad. Tras los Juegos Olímpicos, representan el acontecimiento deportivo internacional más importante, en cuanto a complejidad, duración y número de participantes. En él participan todas aquellas personas discapacitadas que tienen afectado uno de los parámetros mental, motor o visual. Debido a ello participan atletas ciegos o con deficiencia visual, con parálisis cerebral, amputados, en silla de ruedas y con discapacidad intelectual en 24 deportes de verano y 5 de invierno (International Paralympic Committee, 2015).

El atletismo es una de las disciplinas emblemáticas del deporte de personas con alguna discapacidad. Las pruebas que lo componen se agrupan en las modalidades de carreras, saltos, lanzamientos y pruebas combinadas, desarrollándose bajo las normas que establece la Asociación Internacional de Asociaciones de Atletismo (IAAF) y las adaptaciones que propone el Comité Paralímpico Internacional (IPC) y la Asociación Internacional de Deportes para Ciegos (IBSA) (Comité Paralímpico Español, 2006).

En el colectivo de discapacitados visuales, los ciegos totales (T11) y los deficientes visuales (T12) pueden realizar las actividades de carreras (velocidad o fondo) con un guía que, claramente identificado por un peto, los dirige. En saltos y lanzamientos son orientados en su ejecución mediante un guía que utiliza la voz, palmas o cualquier otro sonido. Los atletas con deficiencia visual más leve (T13) no necesitan de esta ayuda, por lo que compiten igual que los atletas sin discapacidad (tabla 1. Federación Española de Deportes para Ciegos, 2002).

**Tabla 1.** Clasificación atletas con discapacidad visual.

T11	Son aquellas personas que no perciben luz en ambos ojos, o tienen percepción de la luz pero con incapacidad para reconocer la forma de una mano a cualquier distancia.
T12	Se consideran deficientes visuales los que tienen capacidad para reconocer una mano hasta una agudeza visual de 2/60 y/o un campo visual de menos de 5 grados.
T13	Aquellos que tienen un campo visual reducido, pero con cierta visibilidad

En este trabajo nos ceñiremos al análisis del salto de longitud que realizan las personas ciegas. Los atletas de la categoría T11, ciegos totales, realizan el salto de longitud de acuerdo con las normas de competición de la IAAF, con la excepción de que el área donde realizan la batida consiste en un rectángulo de 1.00 m x 1.22 m y los competidores puede utilizar un guía que les orienta por la voz o algún otro medio acústico durante la carrera de aproximación. La longitud del salto se

valora desde la huella que ha dejado el saltador en el rectángulo de batida hasta la huella que deja en la caída en el foso de arena (Torralba, Padullés, Braz y Robert, 2015).

En los Juegos Paralímpicos de Londres 2012 hemos analizado las acciones que los atletas ciegos han realizado en el salto de longitud, prueba compuesta por una carrera de aproximación, batida, vuelo y caída. La carrera de aproximación a la zona de batida en esta prueba atlética es una habilidad que

desempeña un papel importante en el éxito del salto. Ésta depende principalmente de la consistencia de la longitud del paso, el número de éstos, y el patrón de desarrollo de la velocidad en todos los intentos (Hay, 1986; Bridgett y Linthorne, 2006). Pero desde los años 80 del pasado siglo, y dada la importancia de las últimas zancadas en el resultado del salto, se ha diferenciado una quinta fase, llamada preparación de la batida, que ha tenido un tratamiento independiente dentro de la carrera de aproximación, siendo lo más frecuente centrarse en el análisis de las últimas zancadas, considerándolas como la preparación de la batida (Mendoza y Nixdorf, 2011; Schiffer, 2011). El análisis de éstas se ha relacionado con la batida y la distancia oficial y efectiva del salto.

En el salto de longitud en todas las categorías, excepto en T11 y T12, la medición se realiza desde la línea de batida hasta la señal más próxima que el atleta deja en el foso de caída. Como el atleta no puede sobrepasar la línea de batida, ya que en este caso el salto se considera nulo, el saltador debe ajustar su carrera para acercarle lo más posible a la línea de batida sin sobrepasarla. Si el salto se efectúa lejos de la línea, la distancia desde el punto en que efectúa el salto y la línea de batida (llamada GAP), es una distancia perdida. Es por ello que hay que diferenciar entre el salto real (distancia efectiva), desde el punto de batida hasta el de caída, y el salto que aparece en los resultados oficiales (distancia oficial), desde la línea de batida a la marca de caída. En el caso de los atletas ciegos la medición del salto es desde la marca que dejan en una superficie de 1,22 metros cuadrados y la señal dejada en el foso de caída, con lo que la distancia efectiva y oficial coinciden.

La fase final de la carrera sirve para preparar la batida, por lo que se producen ciertos cambios en las características de los últimos pasos. Los atletas sin discapacidad visual pueden hacer un ajuste visual de su carrera en el último paso con el fin de iniciar el salto lo más cerca posible de la línea de batida sin sobrepasarla, lo cual obliga a ciertos cambios en la longitud del último paso. Los atletas ciegos no pueden hacer el ajuste visual por lo que se puede expresar la hipótesis de que las modificaciones en el último paso se deben atribuir a la preparación de la batida sin interferencia del ajuste final de la carrera.

El objetivo del presente trabajo es estudiar las condiciones de la última zancada antes de la batida en la carrera del salto de longitud de los atletas de la categoría ciegos (T11) en condiciones de competición, medidas a través de un conjunto de variables recogidas con instrumentos que no interfieren en la ejecución (ecológicos) y que se pueden obtener fácilmente en los circuitos comerciales a precios bajos (bajo coste) y en qué medida afectan en la longitud del salto. Para el tratamiento y análisis de los datos se han utilizado programas libres y gratuitos.

### Criterios éticos

El estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad de Barcelona (Institucional Review Board IRB00003099). Los participantes recibieron información respecto al protocolo prospectivo de forma escrita aceptando la participación y consintiendo la utilización de sus datos, preservando el anonimato, respetando los acuerdos de la Declaración de Helsinki en su revisión de octubre del año 2000, elaborada por la Asociación Médica Mundial.

### Método

#### Participantes

La muestra estuvo compuesta por 12 atletas masculinos de la categoría ciegos (T11), participantes en la final del salto de longitud en los XIV Juegos Paralímpicos celebrados en Londres en el año 2012, representando a 10 países.

#### Instrumentos

Para su estudio utilizamos 4 cámaras Exilim F1 (Nojima, 2011) situadas sobre trípodes Manfrotto 141RC (Cassola, Italy) 2 de las cuales (HS) grabaron en alta velocidad (512x384 píxeles a 300 Hz), en barrido siguiendo al atleta desde el comienzo de la carrera de aproximación hasta la finalización del salto en el foso, con el fin de obtener datos temporales, y 2 cámaras fijas en grabación en alta definición (1280x720 píxeles a 30 fps). Se situaron todas ellas fuera de la zona de competición, perpendiculares al pasillo de saltos, a una altura de 5 m y a una distancia de 20 m del pasillo de saltos. Las cámaras utilizadas ofrecen imágenes de muy alta calidad con la ventaja de que se pueden obtener en comercios por un bajo precio.

La calibración de la carrera de aproximación se realizó utilizando marcadores blancos (5x5 cm) colocados en la parte externa y a ambos lados del pasillo de aproximación a la batida y separados una distancia de un metro entre ellos. La captura de imagen y de velocidad se hizo sin interferir en la competición, no se usaron marcadores sobre los atletas, ni objetos que pudieran molestar.

El instrumento de registro utilizado para la extracción de los datos mecánicos a partir de las imágenes fue el programa Kinovea 0.8.15 ([www.kinovea.org](http://www.kinovea.org)) libre y gratuito (Balsalobre-Fernández, Tejero-González, del Campo-Vecino y Bavaresco, 2014.).

#### Instrumento de observación

Se grabaron los últimos pasos de la carrera de aproximación con el fin de obtener la información sobre las características mecánicas del último paso antes de la batida.

Las variables analizadas para explicar las características del último paso fueron temporales: tiempo de contacto (Tc) y tiempo de vuelo (Tv) y a partir de estas el tiempo total del paso (Tp) y la frecuencia de dicho paso (Fp). Se midió la distancia del paso

(Lp) y se calculó la frecuencia (Fp) y la velocidad del paso (Vp). A partir de los datos anteriores se calculó la velocidad vertical (Vy), la velocidad resultante (Vr), el ángulo de despegue (a) y la altura del centro de gravedad en la fase de vuelo (fig. 2).

**Tabla 2.** Parámetros biomecánicos, las abreviaturas utilizadas en el estudio y las definiciones y métodos para determinar los parámetros (Padullés, elaboración propia).

Parámetros (unit)	Definición y método
Resultado (m)	Longitud del salto
Tiempo de contacto (s) Tc1, Tc0	El tiempo de apoyo del pie en el suelo. Se mide desde el momento de la toma de contacto (el primer fotograma de vídeo en el que el pie de aterrizaje contacta con el suelo) hasta el momento del despegue (el último cuadro de vídeo donde el pie ha contactado con claridad en el suelo).
Tiempo de vuelo (s) Tv1	El tiempo que el atleta está en el aire durante el último paso. Se mide desde el momento del despegue (el primer fotograma de vídeo en el que el pie ha dejado claramente el suelo) hasta el momento de la toma de contacto (el último cuadro de vídeo donde el pie de aterrizaje está claramente en el aire).
Tiempo de paso (s) Tp1	La suma de Tc1 + Tv1.
Longitud de paso (m) Lp1	Distancia en el eje X entre el punto de despegue de la punta de la zapatilla hasta el siguiente punto de despegue, en el último paso de aproximación a la batida.
Frecuencia de paso (Hz) Fp1	El número de pasos que el atleta realiza por segundo. En el último paso $Fp1 = 1/Tp1$ .
Velocidad de paso (m/s) Vp1	Velocidad durante el último paso medido desde el primer contacto con el suelo del último paso al primer contacto con el suelo del apoyo de la batida (fase de contacto + fase de vuelo), para el último paso ( $Lp / Tp$ ) respectivamente ( $Fp * Lp$ ).
Velocidad vertical durante el último paso (m/s) Vy1	Velocidad del centro de masas (BCM) en el eje Y en el momento del despegue para el último paso.
Velocidad resultante (m/s) Vr1	$\sqrt{Vx^2 + Vy^2}$ para el último paso.
Altura del centro de masas (BCM) (m) h1	Altura del centro de masas (BCM) en el eje Y en la fase de vuelo para el último paso ( $1,226 * Tv1^2$ ).
Angulo de batida (°) a1	Ángulo de velocidad en el despegue del último paso: $\tan^{-1} (Vy/Vx)$ .

**Procedimiento**

Para la captura de las imágenes las cámaras se situaron en los espacios reservados para las cámaras de televisión, bajo la tribuna. Las cámaras 1(HS) y 2(HD) se situaron perpendicularmente al pasillo de saltos frente al último paso de la carrera. Las cámaras 3(HS) y 4(HD) se situaron perpendicularmente al pasillo a una distancia de 10m de la zona de batida. Todas las cámaras se activaban cuando el atleta iniciaba la carrera.

Los Tc y Tv se obtuvieron del análisis posterior por medio de la herramienta de medida de tiempos del programa. La Lp se obtuvo con la herramienta de medición del programa a partir de la calibración previa utilizando las referencias situadas sobre la pista y con corrección de la perspectiva mediante la calibración con “rejilla en perspectiva”.

Tp (s) se calculó a partir de  $Tp = Tc + Tv$

Fp (Hz) se obtuvo de  $Fp = 1/Tp$

Vp (m/s) se calculó  $Vp = Fp \times Lp$  y se comprobó mediante

$$Vp = Lp / Tp$$

Vy (m/s) se calculó a partir del Tv mediante  $Vy = g \cdot Tv / 2$

$$= 4,9 \times Tv$$

h (m) se calculó  $h = \frac{1}{2} g \times (Tv/2)^2 = 1,226 \times Tv^2$

Vr (m/s) se calculó  $Vr = (Vp^2 + Vy^2)^{0,5}$

a (°) se calculó  $a = \tan^{-1} (Vy/Vx)$

**Análisis de datos**

Se pretende conocer la influencia de cada una de las variables anteriores (tabla 2), en la ejecución del salto de longitud. Para ello se seleccionó la variable “Resultado” como variable explicada, y el resto de variables como explicativas, y así poder aplicar un modelo de regresión lineal múltiple.

Se realiza un análisis preliminar para conocer si existe algún tipo de relación lineal entre la variable explicada y las variables explicativas.

Se suprimen de forma ordenada, las variables que no aportan información al modelo, comprobando cómo se modifica el conjunto de parámetros. Esta operación se realiza de forma repetida hasta obtener un modelo donde todas las variables aportan información significativa, y se comprueba que es un buen modelo explicativo y predictivo de los datos. Esta verificación se basa una serie de fases que se inician con un análisis numérico a través de correlaciones simples y parciales. Posteriormente, se estudia el ajuste del modelo mediante la estimación de los distintos  $\beta$  que configuran el modelo. Otro apartado importante a estudiar es la bondad de ajuste del modelo, a través de diferentes formas: el error estándar residual (error pequeño), el ANOVA, el *p-value* asociado a la tabla, y el coeficiente de determinación  $R^2$ . Finalmente, se realiza el diagnóstico de los residuos, verificando si se comprueban las hipótesis de homocedasticidad, normalidad, no correlación y medias de los residuos igual a 0. El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el software R con el paquete “*lmtest*” (Zeileis y Hothorn, 2002).

### Resultados

Todo modelo de regresión lineal múltiple tiene una variable explicada (y) con dos o más de dos variables explicativas (x1, x2, x3 ...). La formulación del modelo es:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_{n-1}x_{n-1} + \varepsilon$$

El modelo teórico está formado por las variables explicativas que tienen una relación significativa con la variable explicada:

$$\text{RESULT} = \beta_0 + \beta_1 a1 + \beta_2 fp1 + \beta_3 h1 + \beta_4 Lp1 + \beta_5 Tc0 + \beta_6 Tc1 + \beta_7 Tp1 + \beta_8 Tv1 + \beta_9 Vp1 + \beta_{10} Vr1$$

Se eliminan, de forma ordenada, las variables que no aportan información al modelo teórico planteado. Como resultado de este proceso se obtiene el modelo aplicado:

Tabla 3. Parámetros de las variables del modelo aplicado.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
Intercept	-5,99	7,20	-3,196	0,024 *
a1	-1,34	0,65	-2,674	0,001 **
Lp1	-2,86	0,86	-3,799	0,012 *
Tc0	-1,12	7,31	-1,641	0,002 **
Tc1	1,41	1,71	2,333	0,001 **
Tp1	-1,89	1,54	-2,604	0,002 **
Tv1	2,11	2,42	3,78	0,001 **
Vp1	1,17	0,80	2,697	0,014 *

p<0,0001 \*\*\* p<0,001 \*\* p<0,05 \*

$$\text{RESULT} = -5,99 - 1,34 a1 - 2,86Lp1 - 1,12 Tc0 + 1,41Tc1 - 1,89 Tp1 + 2,11Tv1 + 1,67Vp1$$

Manteniendo fijas el resto de variables del modelo, al aumentar en un grado el ángulo de velocidad en el despegue durante el período previo al último paso (a1), la variable resultado del salto disminuirá en 1,34 m. Al aumentar un metro la distancia en el eje X entre el punto de despegue de la punta de la zapatilla hasta el siguiente punto de despegue (Lp1), la variable resultado del salto disminuirá -2,86 m. Aumentando Tc0 un segundo el resultado del salto disminuiría en 1,12 m. Al aumentar 1s el tiempo de apoyo del pie en el suelo para el último paso (Tc1) el resultado del salto aumentaría 1,41 m. Al aumentar un segundo el tiempo de paso (Tp1), el resultado del salto disminuirá 1,89 m. Aumentando un segundo el tiempo de vuelo (Tv1), aumentaría la distancia del salto en 2,11 m. Finalmente, el aumento de un segundo en la velocidad de paso, aumentaría en 1,17 m la longitud en el salto.

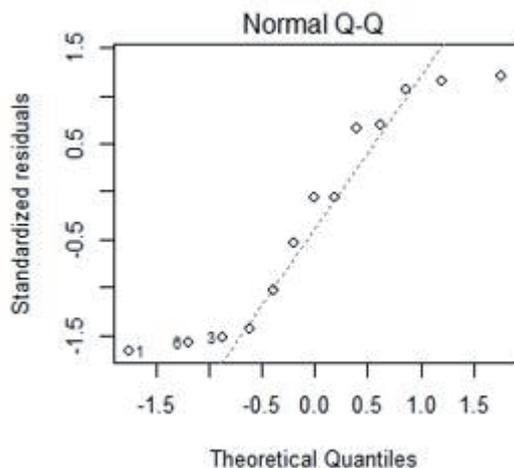
### Validación del modelo

Como contraste de hipótesis se observa que el valor del *p-value* obtenido en el resumen del modelo es de 0,006. Por lo tanto se pueden rechazar en todos los casos que los coeficientes  $\beta$  son iguales a 0.

Para comprobar la bondad de ajuste podemos realizarlo utilizando el criterio del cálculo del error estándar residual ( $\varepsilon$ ) del modelo, que es igual a 0,155. Interesa un error estándar pequeño. Para ello se calcula el coeficiente de variación asociado  $cv=100*(0,155/5,802)= 2,67\%$ , por lo tanto el error estándar es más pequeño que el 5%. Una última evidencia del ajuste de este modelo es el coeficiente de determinación que mide la capacidad de explicar de la variabilidad total de los datos que explica el modelo, que en este caso es de un 94,53%, es decir que explica prácticamente la variabilidad total de los datos, Se calcula un  $R^2$  ajustado, que penaliza el número de variables predictivas. En este caso su valor es de un 86,87%, es decir, no hay diferencias entre los dos. Por lo que queda verificada la bondad de ajuste del modelo.

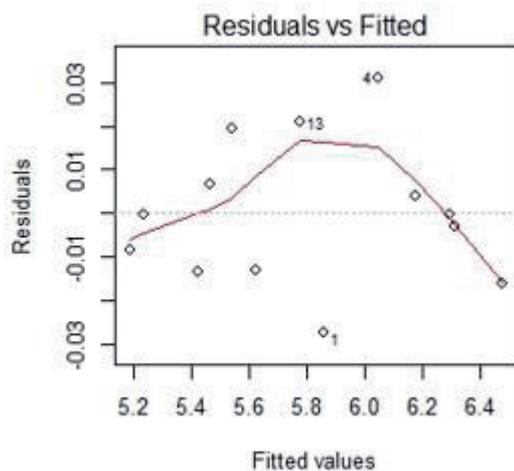
Finalmente, para el diagnóstico del modelo se estudia la normalidad a través de un gráfico Q-Qplot (fig.1) y se observa que la secuencia de puntos no sigue la línea de referencia, generando dudas sobre su normalidad.

Figura 1. Gráfico Q-Qplot de residuales.



Se aplicó el test de Shapiro-Wilk con un valor de  $W = 0,8878$ , y un  $p\text{-value} = 0,1105$ , que es mayor que 0,05, y por lo tanto siguen una distribución normal. Para comprobar la homocedasticidad (hipótesis de varianza constante), se utiliza un gráfico de residuales ajustados donde se observa que la anchura de los puntos representados parece no tener grandes diferencias (fig. 2).

Figura 2. Representación de los residuales y sus ajustados.



Como prueba concluyente se aplicó el test de Breusch-Pagan, cuyo valor es  $BP = 7,4415$ ,  $df = 6$ ,  $p\text{-value} = 0,2819$ , mayor que 0,05. Por lo tanto el criterio de homocedasticidad se cumple.

Para verificar la no correlación (incorrelación) de los residuales se aplicó el test de Durbin-Watson, cuyo valor es  $DW = 2,3201$ , con un  $p\text{-value} = 0,7284$ , mayor que 0,05, por lo tanto no hay correlación entre residuales. Finalmente la verificación de que la media de los residuales es 0, resulta automá-

tica al haber utilizado el método de máxima verosimilitud, ya que esta condición se cumple siempre.

## Discusión

Los resultados obtenidos nos permiten observar cuáles son las variables espacio-temporales del último paso de la carrera que actúan sobre el resultado del salto de longitud, siendo obtenidos sin interferencia en el espacio de la actividad atlética y sin ser invasivos, como los que encontramos en la literatura obtenidos por medio de plataformas de fuerza (Hatze, 1998; Ferro, Rivera y Pagola, 1999) o células fotosensibles situadas a ambos lados de la carrera del salto (García-Fojeda, Biosca y Válios, 1997). Por otro lado se ha utilizado una mayor precisión, 200 Hz, en la captura de las imágenes que otros autores, 50 Hz (Bradshawa y AisbettBra, 2006) o 100Hz (Nolan y Lees, 2007).

Respecto a la longitud del último paso ( $L_p$ ) se observa que sigue el mismo patrón descrito en la literatura sobre atletas sin discapacidad (Mendoza y Nixdorf, 2011; Schiffer, 2011), siendo el último paso más corto. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede observar que al aumentar en 10 cm la distancia en el eje X, entre el punto de despegue de la punta de la zapatilla hasta el siguiente punto de despegue de la batida ( $L_{p1}$ ), la variable resultado del salto disminuirá en 28 cm.

Al aumentar el tiempo de paso ( $T_{p1}$ ) en 0,1s, el resultado del salto disminuirá 18,9 cm, ya que el aumento del tiempo del paso es inversamente proporcional a la frecuencia de dicho paso.

El aumento de 1 m/s en la velocidad de paso, aumentaría en 1,17 m la longitud en el salto. Estos valores son coincidentes con los estudios anteriores del mismo grupo de investigación en atletas mujeres ciegas y con discapacidad visual (Torralba et al, 2015), si bien contrastan con investigaciones de otros autores con atletas de alto nivel no discapacitados, donde se observa una pérdida de velocidad en la última zancada (Mendoza y Nixdorf, 2011). En estos estudios la velocidad se ha medido sobre el centro de masas, la cual no coincide con la velocidad del paso, debido al cambio de posición del tronco del atleta antes de la batida.

Al analizar el tiempo de contacto ( $T_{c1}$ ) en el último paso en el grupo de Londres, se observa un valor medio de 0,139 s ( $\pm 0,016$ ). Estos datos se compararon con los datos publicados referidos a los Juegos Olímpicos de Seúl 1988, que también presentan un aumento en el tiempo  $T_c$  de 0,103 s ( $\pm 0,008$ ) (Nixdorf y Brüggemann, 1990). El  $T_{c1}$  para los atletas sin discapacidad es obviamente menor porque su velocidad es mayor. Al aumentar 0,1 s en el tiempo de apoyo del pie en el suelo para el último paso ( $T_{c1}$ ) el resultado del salto aumentaría 14,1 cm.

También se puede observar que al aumentar en un grado el ángulo de velocidad en el despegue del último paso de

carrera (a1) previo a la batida, la variable resultado del salto disminuirá en 1,34 m.

Al analizar el tiempo de contacto en la batida del salto (Tc0) se puede observar que si aumentamos éste en 0,1 s el resultado del salto disminuiría en 11,2 cm. Comparando el Tc0 de los atletas ciegos ( $0,134 \pm 0,016$  s) con los resultados de los atletas sin discapacidad, finalistas del Campeonato del Mundo de Berlín 2009 (Mendoza y Nixdorf, 2011), se observa que estos últimos tienen unos tiempos menores ( $0,119 \pm 0,008$  s), lo que corrobora que un menor tiempo de batida influye positivamente en el resultado del salto.

## Conclusiones

El modelo de Regresión Lineal Múltiple ha mostrado que las variables espacio-temporales del último paso de la carrera influyen en el resultado del salto. Las que tienen mayor influencia son Lp1, Tp1, Tv1, Tc1, a1, Vp1 y Tc0.

Se observa que al aumentar la longitud del último paso (Lp1), el tiempo del paso (Tp1), el ángulo de despegue (a1) y el tiempo de contacto en la batida (Tc0) disminuye el resultado del salto. Mientras que el aumento de la velocidad del último paso aumenta el resultado.

La visión, indica Codina (2004), se considera el sistema perceptivo espacial por excelencia, siendo la modalidad perceptiva que más anticipación proporciona y la que permite al individuo prever los obstáculos, detectar puntos de referencia a cierta distancia y también realizar actividades simultáneas. Los atletas ciegos no pueden hacer el ajuste visual, por lo que

se puede expresar la hipótesis de que las modificaciones en el último paso se deben atribuir a la preparación de la batida sin interferencia del ajuste final de la carrera.

El modelo es un buen predictor de los saltos de longitud en discapacitados invidentes T11.

## Propuestas de futuro

Dado que estos instrumentos han resultado válidos y fiables para el análisis espacio-temporal de la carrera del salto de longitud con unos costes mucho más bajos que otros instrumentos, que se han utilizado para estudios similares, y que permite una precisión temporal de hasta 1/1200 s, superior a la mayoría de los sistemas que hemos manejado en laboratorio, y sin interferencia en el desarrollo de la competición, proponemos que se utilicen en actividades de un mayor recorrido y complejidad, tales como la carrera de 100 m, desplazamientos en fútbol, etc., y en personas con y sin discapacidad.

El estudio fue financiado con el apoyo de la Universidad de Barcelona (UB), el Institut Nacional d' Educació Física de Catalunya (INEFC) y la Fundación CIDIDA. Este estudio también ha sido patrocinado por el Comité Paralímpico Internacional (IPC) y realizado dentro del proyecto «Observación de la interacción en deporte y actividad física: avances técnicos y metodológicos en registros automatizados cualitativos-cuantitativos», subvencionado por la Secretaría de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación del Ministerio de Economía y Competitividad (DEP2012-32124).

## Referencias

1. Anguera, M.T., Blanco-Villaseñor A., Losada, J.L. y Hernández-Mendo, A. (2000). La metodología observacional en el deporte: conceptos básicos. *Lecturas: EF y Deportes. Revista Digital*, 24. Recuperado el 10/10/2014 de <http://www.efdeportes.com/efd24b/obs.htm>
2. Anguera, M. T., Blanco-Villaseñor, A., Hernández-Mendo, A., y Losada, J.L. (2011). Diseños observacionales: ajuste y aplicación en psicología del deporte. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 11(2), 63-76.
3. Balsobre-Fernández, C., Tejero-González, C.M., del Campo-Vecino, J. y Bavaresco, N. (2014). The Concurrent Validity and Reliability of a Low-Cost, High-Speed Camera-Based Method for Measuring the Flight Time of Vertical Jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(2) 528-533.
4. Bernard, C. (1976). *Introducción al estudio de la medicina experimental* (ed. orig., 1865). Barcelona: Fontanella.
5. Bradshawa, E. y AisbettBra, B. (2006). Visual guidance during competition performance and run-through training in long jumping. *Sports Biomechanics*, 5, 1-14.
6. Bridgett, L. A. y Linthorne, N. P. (2006). Changes in long jump take-off technique with increasing run-up speed. *Journal of Sports Sciences* 24(8): 889-897.
7. Castellano, J., Perea, A., Alday, L. y Hernández-Mendo, H. (2008). The measuring and observation tool in sports. *Behavior Research Methods* 40 (3), 898-905.
8. Codina, M. (2004). Discapacidad visual. En Torralba, M.A. *Atletismo adaptado para personas ciegas y deficientes visuales*, 15-27. Barcelona: Paidotribo.
9. Comité Paralímpico Español (2006). *Paralímpicos*. Madrid: Autor.
10. García-Fojeda, A.; Biosca, F.; Vàlios, J.C. (1997). La biomecánica: una herramienta para la evaluación de la técnica deportiva. *Apunts: Educación Física y Deportes*, 47: 15-20
11. Federación Española de Deportes para Ciegos (2002). *Deportes para personas ciegas y deficientes visuales*. Madrid: ONCE.
12. Ferro, A., Rivera, A. y Pagola, I. (1999). Metodología para el análisis cinético de saltos específicos de gimnasia rítmico-deportiva. *Colección ICD: Investigación en ciencias del deporte*, 21. Consejo Superior de Deportes.
13. Hatze, H. (1998). Validity and reliability of methods for testing vertical jumping performance. *J Appl Biomech* 14:127-40.
14. Hay, J.G. (1986) The biomechanics of the long jump. *Exercise and Sports Science Reviews*; 14: 401-446.
15. Hernández-Mendo, A., Anguera, M.T. y Bermúdez-Rivera, M.A. (2000). Software for Recording Observational Files. *Behavior Research Methods Computers & Instruments*, 32(3), 436-445.
16. International Paralympic Committee. (2015). Paralympic Sports. Recuperado el 24/04/2015 de <http://www.paralympic.org/sports>
17. Longabaugh, R. (1980). The systematic observation of behavior in naturalistic settings. In H.C. Triandis & J.W. Berry (Eds.), *Handbook of cross-cultural psychology. Vol. 2: Methodology* (pp. 57-126). Boston: Allyn & Bacon.

18. Mendoza, L. y Nixdorf, E. (2011). Biomechanical Analysis of the Horizontal Jumping Events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 26(3/4), 25-60.
19. Mucchielli, R. (1974). *L'observation psychologique et psychosociologique*. Paris: ESF.
20. Nixdorf, E. y Brüggemann, G.P. (1990). *Biomechanical analysis of the long jump Scientific Research Project at the Games of the XXIVth Olympiad - Seoul 1988*. IAAF. Italy: 263-301.
21. Nojima, O. (2011). Development of High Speed Digital Camera: EX-LIM EX-F1. *Journal of The Society of Photographic Science and Technology of Japan*, 72(3), 195-198.
22. Nolan, L. y Lees, A (2007) The influence of lower limb amputation level on the approach in the amputee long jump. *Journal of Sports Sciences*, 25:4, 393-401.
23. Schiffer, J. (2011). The horizontal jumps. *New Studies in Athletics*, 26(3/4), 7-24.
24. Torralba, M.A., Padullés, J.M., Braz, M. y Robert, M. (2015). Cinemática del salto de longitud de personas ciegas. *EFDeportes.com, Revista Digital. Buenos Aires*, 19 (201). Recuperado el 22/5/2015 de <http://www.efdeportes.com/>
25. Zeileis, A. y Hothorn, T. (2002). Diagnostic Checking in Regression Relationships. *R News* 2(3), 7-10.