



universidad  
de león



TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

Curso Académico 2016/2017

Análisis cuantitativo de la salida de relevos en natación con el dispositivo  
OMEGA-OSB11

Quantitative analysis of the relay start in swimming with the start device  
OMEGA-OSB11

Autor: Pedro Guillermo Sánchez Sahelices.

Tutor: Alfonso Salguero del Valle.

Fecha: 05/07/2017

VºBº TUTOR

VºBº AUTOR

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE ABREVIATURAS, TABLAS Y FIGURAS</b> .....	2
<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	6
1.1. Dispositivo de salida: Omega-OSB11.....	6
<b>2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA:</b> .....	7
2.1. Contextualización.....	7
2.2. Salida de relevos en natación.....	8
2.3. Estado de la cuestión.....	9
2.4. Análisis cuantitativo de la salida de relevos en natación.....	11
<b>3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO</b> .....	12
3.1. Objetivo principal.....	12
3.2. Objetivos secundarios.....	12
3.3. Competencias.....	12
<b>4. METODOLOGÍA</b> .....	13
4.1. Muestra.....	13
4.2. Protocolo y procedimiento.....	13
4.3. Instrumentos de medida y material utilizado en el estudio.....	18
4.4. Análisis e informe de valoración.....	20
<b>5. RESULTADOS</b> .....	21
5.1. Efecto de los diferentes tipos de salida de relevos sobre los tiempos.....	21
5.2. Efecto de los diferentes tipos de salida de relevos sobre la velocidad de despegue y ángulo de despegue.....	21
5.3. Efecto de los diferentes tipos de salida de relevos sobre la velocidad de entrada y ángulo de entrada.....	22
<b>6. DISCUSIÓN</b> .....	24
6.1. Tiempos de salida de relevo.....	24

6.2. Velocidad horizontal, vertical y ángulo en la fase de despegue.....	25
6.3. Velocidad horizontal, vertical y ángulo en la fase de entrada.....	26
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>27</b>
<b>8. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....</b>	<b>27</b>
8.1. Limitaciones del presente estudio.....	28
8.2. Aplicabilidad práctica y valoración personal.....	28
<b>9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>29</b>
<b>10. ANEXO.....</b>	<b>31</b>

### **ABREVIATURAS**

**FINA:** Federación Internacional de Natación.

**JJ.OO:** Juegos Olímpicos.

**COI:** Comité Olímpico Internacional.

**C.A.R.D:** Centro de Alto Rendimiento Deportivo.

**CTN M-86:** Centro Especializado de Tecnificación Deportiva M-86 de la Federación Madrileña de Natación.

**Hz:** Hercio, unidad de frecuencia del Sistema Internacional de Unidades.

**S1:** Salida sin paso con pies juntos.

**S2:** Salida sin paso con pies separados.

**S3:** Salida con paso con pies separados.

**2D:** Espacio de dos dimensiones.

**IBV:** Instituto de Biomecánica de Valencia.

**T5:** tiempo a los 5 metros.

**T10:** tiempo a los 10 metros.

**T15:** tiempo a los 15 metros.

**Vx:** Velocidad horizontal.

**Vy:** Velocidad vertical.

### **INDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Programa de pruebas de relevos en el Campeonato del Mundo.....	10
<b>Tabla 2.</b> Ventajas e inconvenientes del modelo determinístico.....	11
<b>Tabla 3.</b> Descripción de los tres tipos de salidas de relevos para el estudio.....	13

<b>Tabla 4.</b> Descripción del modelo de 14 segmentos propuesto por Zatsiorsky-Seluyanov y de los porcentajes de masa y porcentaje de localización de los centros de masas parciales.....	15
<b>Tabla 5.</b> Descripción de las imágenes claves para su posterior digitalización.....	16
<b>Tabla 6.</b> Variables cinemáticas de influencia en el rendimiento de la salida en natación.....	17
<b>Tabla 7.</b> Valores medios y desviación estándar de las variables temporales.....	22
<b>Tabla 8.</b> Valores medios y desviación estándar de las variables cinemáticas durante el despegue.....	22
<b>Tabla 9.</b> Valores medios y desviación estándar de las variables cinemáticas durante la entrada.....	23

### **INDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Diferencia entre "Grab Start" y "Track Start".....	6
<b>Figura 2.</b> Dispositivo Omega-OSB11 homologado por la FINA.....	7
<b>Figura 3.</b> Posición inicial del nadador saliente con los brazos estirados apuntando hacia el nadador entrante.....	8
<b>Figura 4.</b> Lanzamiento de brazos hacia atrás del nadador saliente.....	8
<b>Figura 5.</b> Sincronización de la llegada y despegue.....	9
<b>Figura 6.</b> Modelo determinístico de la salida en natación.....	11
<b>Figura 7.</b> Marcación de los sujetos con cinta Kinesiotape.....	14
<b>Figura 8.</b> Calibración de las coordenadas utilizando el Sistema de referencia.....	16
<b>Figura 9.</b> Variables cinemáticas en la fase del despegue y la entrada que influyen en la salida en natación.....	17
<b>Figura 10:</b> Software utilizado para el cálculo de coordenadas reales a partir de las coordenadas en píxeles.....	18
<b>Figura 11:</b> Captura del software Kinovea 0.8.25 utilizado para medir los tiempo 5, 10 y 15m.....	18
<b>Figura 12.</b> Cámara Casio empleada para la filmación de las salidas.....	19
<b>Figura 13.</b> Tubos ensamblados formando el sistema de referencia empleado para la calibración de las cámaras.....	20

### **RESUMEN**

En el presente estudio se ha llevado a cabo la realización de un análisis cuantitativo de la salida de relevos en natación, diferenciando tres tipos de salidas diferentes. El objetivo principal de este estudio es analizar el efecto que el dispositivo Omega OSB11 produce sobre las variables cinemáticas de los tres tipos de salida de relevos.

En el estudio participaron 11 nadadores, 5 hombres y 6 mujeres, de categoría Junior de nivel nacional e internacional, pertenecientes al grupo de entrenamiento junior del Centro Especializado de Tecnificación Deportiva M-86 de la Federación Madrileña de Natación (CTN M-86). Para llevar a cabo el estudio se realizó la grabación en vídeo de 3 tipos de salidas para su posterior procesamiento mediante digitalización manual de instantes claves de la fase aérea a través del software Kinovea. Una vez obtenidos los datos correspondientes a cada tipo de salida, se realizó un análisis de las variables de rendimiento de la salida (tiempos de paso en 5, 10 y 15 metros), de las velocidades horizontales, verticales y ángulos tanto de despegue como de entrada. Los resultados obtenidos nos permiten concluir que la realización de las salidas con paso producen una ligera mejora sobre los tiempos en la salida sin paso y la salida con pies separados provoca un aumento de la velocidad vertical en el despegue. Estos resultados servirán de ayuda al entrenador del grupo de entrenamiento para tratar de mejorar el rendimiento en las pruebas de relevo y, en concreto, de la salida de los relevos en competición.

**Palabras clave:** natación, salida relevo, técnica, OSB11, análisis cuantitativo.

## **ABSTRACT**

The present study has been carried out by conducting a quantitative analysis of the relay start in swimming, differentiating three types of different starts. The main objective of this study is to analyze the effect produced by the Omega OSB11 device on the kinematic variables of three different types of relay start.

The research study has been conducted due to a participation of 11 swimmers, 5 male and 6 female, from Junior category of national and international level, belonging to a junior training group of the Specialized Sports Technification Centre M-86 of the Madrileña Swimming Federation (CTN M-86). To carry out the study, there has been conducted the video-recording of 3 types of starts for further processing by manual digitization of key moments of the aerial phase through the Kinovea software. Once the data corresponding to each type of start was obtained, there has been made an analysis of the performance variables of the start (step time in 5, 10 and 15 meters), horizontal and vertical speeds and take-off and entry angles. The results obtained allow us to conclude that the realization of the starts with step produce a slight improvement over the times in the start without step and the start with separate feet causes an increase of the vertical velocity at start. These results are intended as an aid for the training group's coach in trying to improve the performance in the relay tests and, in particular, the relay start in competition.

**Keywords:** swimming, relay start, technique, OSB11, quantitative analysis.

## 1. INTRODUCCIÓN

La **salida en natación** se define como el tiempo desde una señal de inicio hasta que la cabeza del nadador alcanza los 15m (Cossor y Mason, 2001). Es el **segmento más rápido** de cualquier prueba en natación y se ha demostrado que su óptimo rendimiento tiene una influencia de importancia práctica en el resultado final de la prueba (Veiga y Roig, 2016), sobre todo en pruebas cortas ya que por ejemplo constituye aproximadamente un 25% del tiempo total en carreras de 25 metros, un 10% en las de 50 metros o el 5% en las de 100 metros (Maglischo, 2009).

Existen dos tipos de salidas; la **salida de agarre** o "*Grab Start*" y la **salida de atletismo** también llamada salida americana o "*Track Start*" (Maglischo, 2009). La diferencia principal entre los dos tipos de salidas es que en la primera los pies se colocan juntos de forma paralela al borde de la plataforma y en la segunda uno de los dos pies se coloca en la parte posterior de la plataforma (Takeda y Nomura, 2006). Hoy en día, todos los nadadores de alto nivel utilizan la salida tipo americana para beneficiarse de las ventajas que tiene colocar uno de los pies en el taco posterior de la plataforma OSB11.



**Figura 1.** Diferencia entre "Grab Start" (izquierda) y "Track Start" (derecha).

### 1.1. Dispositivo de salida: OMEGA-OSB11.

En la natación de competición todos los nadadores comienzan sus pruebas desde un dispositivo de salida. A partir de los Juegos Olímpicos de Pekín de 2008, gracias a los avances tecnológicos y del reglamento de la Federación Internacional de Natación (FINA, 2009) se estableció un nuevo modelo de dispositivo de salida, el **Omega OSB11**. Este poyete de salida se utilizó por primera vez en los Campeonatos del Mundo en Roma (Italia) en 2009. La principal característica de este dispositivo es la incorporación de una **plataforma posterior ajustable que permite aplicar fuerza horizontal** al pie más retrasado en la salida de atletismo en natación (Arellano, 2009). Este nuevo poyete, instaurado por la FINA en todas las competiciones de carácter nacional e internacional ha hecho que todos los nadadores de alto nivel hayan tenido que adaptarse a este nuevo dispositivo y maximizar sus ventajas.



**Figura 2.** Dispositivo Omega-OSB11 homologado por la FINA (2009).

## **2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

### **2.1. Contextualización.**

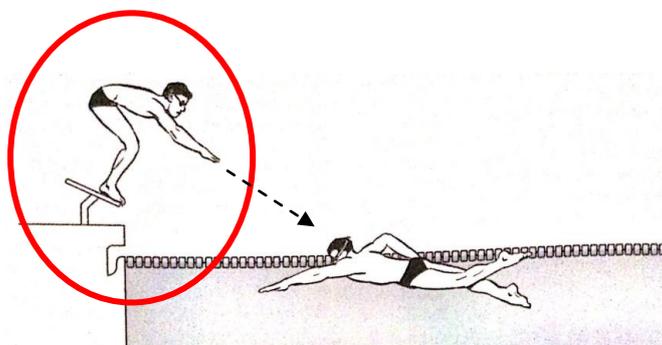
El análisis de las salidas de natación en un asunto de actualidad y su importancia es evidente, por ello algunos estudios han analizado los cambios en la técnica de salida debido a la utilización de los nuevos dispositivos, como por ejemplo Nomura, Takeda y Takagi (2010) donde muestran que gracias al taco posterior el tiempo de reacción es menor y también el centro de masas se desplaza más rápido antes del despegue lo que conlleva a una mayor aceleración horizontal. Takeda, Takagi y Tsubakimoto (2012), analizaron el efecto de la posición de colocación horizontal del taco en la plataforma donde hubo diferencias significativas en el ángulo de despegue, la velocidad o el tiempo de salida pero respecto a la inclinación del taco posterior no hubo diferencias. Otro estudio investigó que la fuerza generada en la plataforma sugiere que los nadadores que generan un promedio de pico más alto de fuerza tienen más probabilidades de producir más fuerza horizontal al colocar la pierna en el taco en un ángulo de rodilla entre los 100-110° y más fuerza vertical al colocar la pierna en el taco en un ángulo entre los 80-90° (Slawson, Conway, Cossor, Chakravorti y West, 2013).

Comparando la nueva plataforma con el taco y la plataforma antigua sin él, se ha llegado a la conclusión de que con el dispositivo OSB11 la salida es significativamente más rápida generando una **mayor velocidad y fuerza horizontal** lo que implica que los nadadores realicen los primeros 15m de prueba en un menor tiempo pero se recomienda que los entrenadores y los nadadores necesitan de tiempo para adaptarse y entrenar la técnica de la salida con este dispositivo (Honda, Sinclair, Mason y Pease, 2010). También se ha observado que los hombres registran tiempos más rápidos y velocidades más altas que las mujeres tanto para el tiempo de reacción como para el despegue (García-Hermoso, Escalante, Arellano, Navarro, Domínguez y Saavedra, 2013 y Honda et. al, 2010).

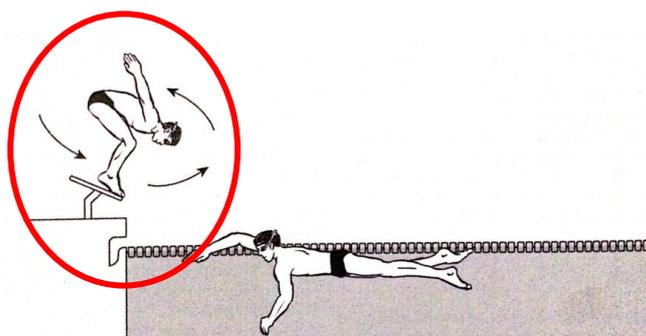
## 2.2. Salida de relevos en natación.

Hay que diferenciar que existen salidas de pruebas individuales y salidas de pruebas de relevos. La diferencia principal entre ambas se basa en que las primeras se componen por un nadador/a y éste siempre comienza la prueba con una señal de inicio en posición estática, mientras que en las pruebas de relevos se componen por cuatro nadadores o nadadoras y el reglamento permite que el segundo, tercero y cuarto de los nadadores comiencen su salto de salida antes de que el nadador preliminar haya finalizado totalmente su carrera. Es decir, el nadador que sale puede moverse pero sus pies deben permanecer en la plataforma hasta que el nadador entrante haya tocado la pared pudiendo ahorrar entre 0.60 a 1segundo que la salida individual, esto significa que entre los 4 nadadores podrían nadar entre 2 y 3 segundos más rápido en total que la suma de sus mejores marcas (Maglischo, 2009).

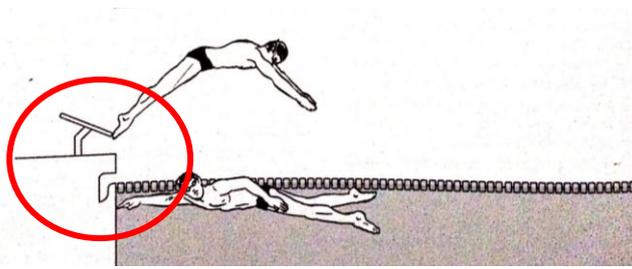
Las **fases del cambio de relevos en natación** se muestra a continuación (Maglischo, 2009; Mills, 2005; Pope y Sharples, 2014):



**Figura 3. Posición inicial** del nadador saliente con los brazos estirados apuntando hacia el nadador entrante. (Adaptado de Maglischo, 2009, p. 290).



**Figura 4. Lanzamiento de brazos** hacia atrás del nadador saliente. (Adaptado de Maglischo, 2009, p. 290).



**Figura 5.** Sincronización de la **llegada y despegue.** (Adaptado de Maglischo, 2009, p. 290).

Las pruebas de competición a las que menos preparación se le dedica y sin embargo son las más espectaculares son los relevos. Una buena llegada de cada nadador y unos intercambios eficaces son fundamentales en el resultado de la prueba. Una salida óptima en relevos implica poseer habilidades motrices como fuerza explosiva, coordinación, aceleración, estabilización y flexibilidad (Marsh, 2007).

### **2.3. Estado de la cuestión.**

Sin embargo, se desconoce el impacto de los nuevos dispositivos de salida sobre las variables biomecánicas de salida en los relevos. Varios artículos de carácter divulgativo explican la técnica de salida en los relevos (Mills, 2005; Pope y Sharples, 2014) pero existen pocas publicaciones científicas que hablen sobre el tiempo de intercambio y los factores de rendimiento en la salida de relevos en natación (García-Hermoso et. al, 2013; McLean, Holthe, Vint, Beckett, y Hinrichs, 2000 y Takeda, Takagi y Tsubakimoto, 2010).

Un entrenador con nadadores de competición desconoce qué variables ha de recomendar a sus nadadores a la hora de utilizar los dispositivos nuevos de salida y además dedican poco tiempo a preparar la salida de relevos ya que generalmente sólo se entrena en la época previa a una competición importante.

Existe una corriente actual entre los entrenadores que priorizan tener un pico de fuerza horizontal mayor que tener un tiempo de cambio mínimo. Un reciente estudio (Fischer, Braun y Kibele, 2017) comparó estas dos estrategias: realizar una salida agresiva reduciendo el tiempo de contacto o realizar una salida más conservadora para maximizar el pico de fuerza horizontal. Los resultados mostraron una clara ventaja en la estrategia de generar más fuerza a realizar un tiempo de cambio corto.

A partir de 2013, la FINA ha incorporado en su programa del Campeonato Mundial las carreras de relevos mixtos, los cuales se constituye por dos nadadores y dos nadadoras.

El programa de eventos en piscina de 50m en los Campeonatos del Mundo y los Juegos Olímpicos (JJ.OO) para las pruebas de relevos se componen de (FINA, 2015):

**Tabla 1.** Programa de pruebas de relevos en el Campeonato del Mundo (FINA, 2015).

<b>RELEVOS</b>	<b>MASCULINO</b>	<b>FEMENINO</b>
<b>LIBRES</b>	4x100m, 4x200m	4x100m, 4x200m
<b>ESTILOS</b>	4x100m	4x100m
<b>MIXTOS</b>	4x100m Libres y 4x100m Estilos*	
<b>TOTAL</b>	<b>8 pruebas de relevos</b>	

Viendo el número de pruebas de relevos que existen actualmente en la natación de competición es evidente darle la importancia a la salida y más cuando recientemente la Asamblea del Comité Olímpico Internacional (COI, 2017) ha aprobado la incorporación del relevo 4x100m Estilos Mixto\* en el programa Olímpico apostando por la participación de mujeres y la igualdad de género.

En la actualidad, los nadadores de alto nivel utilizan el método en la salida de relevos de dar un paso hacia adelante ya que se ha demostrado que antes del despegue se aumenta la altura del salto que realizándolo sin pasos de aproximación (Maglischo, 2009). Varios son los investigadores que han estudiado cómo influye la técnica de relevos utilizando uno o dos pasos antes de realizar la salida (McLean et. al, 2000; Takeda et. al, 2012) pero aunque se observaron tendencias a favor de la salida con paso, la investigación no fue concluyente respecto a si las salidas con paso son mejores que a la tradicional sin paso porque la diferencia en la velocidad de despegue tuvo un nivel de confianza de 0.02 cuando el nivel fijado para indicar significación es 0.01. El estudio señaló un aspecto negativo de las salidas con paso que era que la mayoría de los sujetos aplicaban al movimiento de lanzamiento de brazos menos energía durante las fase preparatoria y el despegue. Apuntaron que esto se debió a que la mayoría de la muestra no tuvo tiempo de adaptación a las salidas con paso excepto dos sujetos de la muestra que si, por lo que mostraron los datos de éstos y se observó que tenían ángulos de despegue y velocidades de despegue con las salidas con un paso notablemente mejores que los de los demás sujetos (McLean et. al, 2000).

La insuficiente investigación sobre este aspecto hace que no se pueda afirmar de forma irrefutable que las salidas con paso son mejores que las salidas sin paso (McLean et. al, 2000) por lo que es preciso examinar estudiar más sobre este tema.

## 2.4. Análisis cuantitativo de la salida de relevos en natación.

El análisis biomecánico es un proceso de obtención y tratamiento de información con el objetivo de investigar y evaluar el movimiento humano. Para la optimización de la técnica deportiva existen tres tipos de análisis biomecánicos (Veiga, 2016):

- Análisis biomecánico teórico (modelo determinístico y modelo ecológico)
- Análisis biomecánico observacional.
- Análisis biomecánico instrumental.

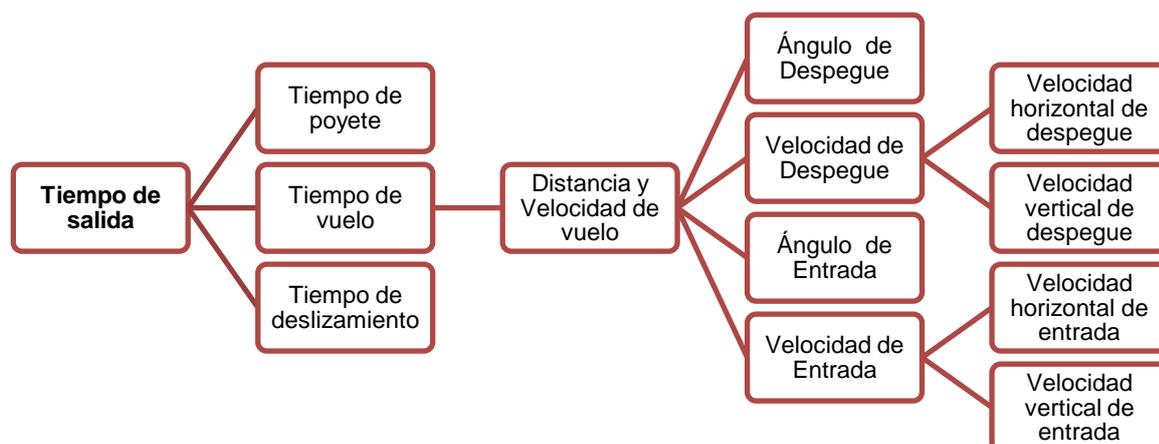
Dentro del teórico, el modelo determinístico es aquel que relaciona el resultado de un movimiento con los factores biomecánicos que definen ese movimiento. Su objetivo es "explicar" el gesto deportivo y no sólo "describir". Los pasos para llevar a cabo este modelo son los siguientes (Veiga, 2016):

1. Identificar el criterio de eficacia del gesto deportivo.
2. Centrarse en el análisis de un deportista.
3. Establecer las fases del movimiento.
4. Identificar los factores (medibles) que determinan el resultado.

**Tabla 2.** Ventajas e inconvenientes del modelo determinístico.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Evitar selección de parámetros de rendimiento de forma arbitraria	Modelo de rendimiento Vs. Modelo de técnica (qué hacer Vs. cómo hacerlo)
Programar entrenamiento de técnica	Aspectos coordinativos
Adecuado para deportes individuales	Aspectos ecológicos

En el estudio de la salida en natación los **factores biomecánicos** son:



**Figura 6.** Modelo determinístico de la salida en natación (Adaptado de Hay y Guimaraes, 1983).

### **3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

En base a lo expuesto anteriormente, en el presente estudio de investigación enunciaremos los siguientes objetivos, tanto generales como específicos, que pretendemos alcanzar con el presente estudio, así como las competencias que estimo he alcanzando:

#### **3.1. Objetivo principal**

- Realizar un análisis cuantitativo observando las variables cinemáticas (segmentarias y del centro de masas) en instantes clave de tres tipos de salida de relevos diferentes en natación con el nuevo dispositivo OSB-11.

#### **3.2. Objetivos secundarios**

- Elaborar un informe de valoración sobre las variables cinemáticas obtenidas de los diferentes tipos de salida con el nuevo dispositivo OSB-11.
- Analizar los ángulos y velocidades tanto de despegue como de entrada en la salida con el dispositivo Omega OSB-11.
- Detectar fortalezas y debilidades de cada nadador para facilitar la toma de decisiones y establecer propuestas de trabajo individualizado.

#### **3.3. Competencias**

- (B480) Interpretar resultados y controlar variables utilizando diferentes métodos y técnicas instrumentales de medición o estimación, tanto de laboratorio como de campo, y aplicarlas en sus futuras tareas profesionales en diferentes grupos de población: docencia, salud, entrenamiento y rendimiento deportivo.
- (B494) Comprender la literatura científica del ámbito de la actividad física y del deporte.
- (B495) Saber aplicar las tecnologías de la información y comunicación al ámbito de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.
- (B502) Aplicar los principios fisiológicos, biomecánicos, comportamentales y sociales a los diferentes campos de la actividad física y del deporte.
- (B505) Desarrollar hábitos de excelencia y calidad en el ejercicio profesional, actuando con respeto a los principios éticos necesarios.

## 4. METODOLOGÍA

La presente investigación es un estudio transversal del análisis cinemático de la fase aérea con diferentes tipos de salida de relevos en natación.

### 4.1. Muestra

La muestra se compone de 11 nadadores de competición (5 hombres y 6 mujeres de edades comprendidas entre los 14 y los 17 años) cuyas mejores marcas oscilan entre los 762.4±31.0 puntos FINA. Todos ellos pertenecen al grupo de entrenamiento Júnior del Centro Especializado de Tecnificación Deportiva M-86 de la Federación Madrileña de Natación (CTN M-86). Entre los sujetos participantes en el estudio se encontraban diferentes campeones de España de edades así como 8 nadadores internacionales participantes en el Campeonato de Europa Junior o el Festival Olímpico de la Juventud Europea. Todos los sujetos dieron la expresa autorización antes de comenzar el estudio mediante la firma de un consentimiento informado (ver Anexo para más detalles).

### 4.2. Protocolo y Procedimiento

La toma de datos se realizó en la piscina del Centro de Alto Rendimiento Deportivo (C.A.R.D.) de Madrid, se colocaron 2 cámaras de vídeo fijas perpendiculares al plano de movimiento apoyadas sobre un trípode en el lateral de la piscina. La primera cámara filmó el sistema de calibración así como todas las salidas de relevos realizadas por el grupo de nadadores del CTN M-86 a una frecuencia de **filmación de 100Hz**, es decir, 100 imágenes por segundo. Y la segunda cámara filmó el tiempo de los nadadores a los 5, 10 y 15m. grabando a una frecuencia de 30Hz. Los 11 nadadores recibieron instrucciones de cómo realizar las diferentes salidas de relevos para el estudio:

**Tabla 3.** Descripción de los tres tipos de salidas de relevos para el estudio.

TIPO DE SALIDA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
<b>S1</b> <b>"SIN PASO</b> <b>PIES JUNTOS"</b>	Sin paso colocando los dos pies de forma paralela en la parte anterior de la plataforma, simulando la salida tradicional.	

<p align="center"><b>S2</b></p> <p align="center"><b>"SIN PASO PIES SEPARADOS"</b></p>	<p>Sin paso colocando un pie en la parte anterior y otro en la parte posterior de la plataforma, simulando la salida americana.</p>	
<p align="center"><b>S3</b></p> <p align="center"><b>"CON PASO PIES SEPARADOS"</b></p>	<p>Con paso colocando un pie en la parte anterior y otro en la parte posterior de la plataforma, antes de saltar el pie posterior realiza un paso y lo coloca paralelo al anterior.</p>	

A continuación se procedió al marcaje de todos los sujetos con cinta Kinesiotape (Intertaping, Valencia), como se muestra en la figura 7, en los puntos articulares de interés para que fuesen más fácilmente visibles en la posterior digitalización de los vídeos.



**Figura 7:** Marcación de los sujetos con cinta Kinesiotape (Intertaping, Valencia) en los puntos articulares de interés.

El modelo mecánico utilizado para analizar el movimiento de los sujetos fue el modelo de un punto representado por el centro de masas. Para su cálculo se utilizó el método de segmentación que consiste en calcular el centro de masa de cada segmento del cuerpo para, posteriormente, realizar una suma ponderada que facilite la posición del centro de masas. El modelo utilizado constó de 14 segmentos (tabla 4) delimitados por un total de 21 puntos articulares siguiendo el modelo propuesto por Zatsiorsky-Seluyanov (De Leva, 1996):

**Tabla 4.** Descripción del modelo de 14 segmentos propuesto por Zatsiorsky-Seluyanov y de los porcentajes de masa y porcentajes de localización de los centros de masas parciales.

SEGMENTO	% MASA	PUNTOS ARTICULARES		% LOCALIZACIÓN (PROX.-DISTAL)
CABEZA	M: 6.68	Proximal:	Cuello-mentón	M: 41.06
	H: 6.94	Distal:	Vértex	H: 40.24
TRONCO	M: 42.57	Proximal:	Punto medio art. coxofemoral	M: 58.49
	H: 43.46	Distal:	Supraesternal	H: 55.14
BRAZOS	M: 2.55	Proximal:	Articulación escapulo humeral	M: 57.54
	H: 2.71	Distal:	Articulación codo	H: 57.72
ANTEBRAZOS	M: 1.38	Proximal:	Articulación codo	M: 45.59
	H: 1.62	Distal:	Articulación muñeca	H: 45.74
MANOS	M: 0.56	Proximal:	Articulación muñeca	M: 74.74
	H: 0.61	Distal:	Art. tercer metacarpiano-dedo	H: 79.00
MUSLOS	M: 14.78	Proximal:	Articulación coxofemoral	M: 36.12
	H: 14.96	Distal:	Articulación rodilla	H: 40.95
PIERNAS	M: 4.81	Proximal:	Articulación rodilla	M: 43.52
	H: 4.33	Distal:	Articulación tobillo	H: 43.95
PIES	M: 1.29	Proximal:	Punto posterior talón	M: 40.14
	H: 1.37	Distal:	Extremo dedo largo (2º, 3º)	H: 44.15

El protocolo de la toma de datos consistía en realizar **3 series de 25 metros a sprint**. Cada serie realizando un tipo de salida de relevo diferente pero de forma aleatoria, es decir, no realizaban siempre la misma secuencia todos los sujetos. Siempre en cada salida existía un nadador entrante, el cual entregaba el relevo al nadador saliente colocado en la plataforma de salida. Se les cronometraba para certificar que el sprint era a la máxima velocidad. Antes de las grabaciones los sujetos realizaron un calentamiento en el agua de 20 minutos con el objetivo de evitar lesiones y practicar las salidas. El tiempo de descanso entre salida y salida era hasta que completaran todos los sujetos un tipo de salida.

Las imágenes de los diferentes tipos de salida fueron digitalizadas manualmente utilizando el software informático Kinovea 0.8.25 por el mismo observador experimentado. La fiabilidad del digitalizador fue comprobada digitalizando repetidamente la misma secuencia de imágenes. La digitalización consta de un total de **33 salidas**, es decir, **231 fotogramas** y **4851 puntos** (7 imágenes x 21 puntos en 3x11 secuencias).

Se analizaron las diferentes imágenes clave para luego obtener las variables biomecánicas de interés a través del programa Kinovea:

**Tabla 5.** Descripción de las imágenes claves para su posterior digitalización.

IMAGEN CLAVE	DIGITALIZACIÓN
1. Posición inicial	
2. Pre-despegue 3. Despegue 4. Post-despegue	
5. Pre-entrada 6. Entrada 7. Post-entrada	

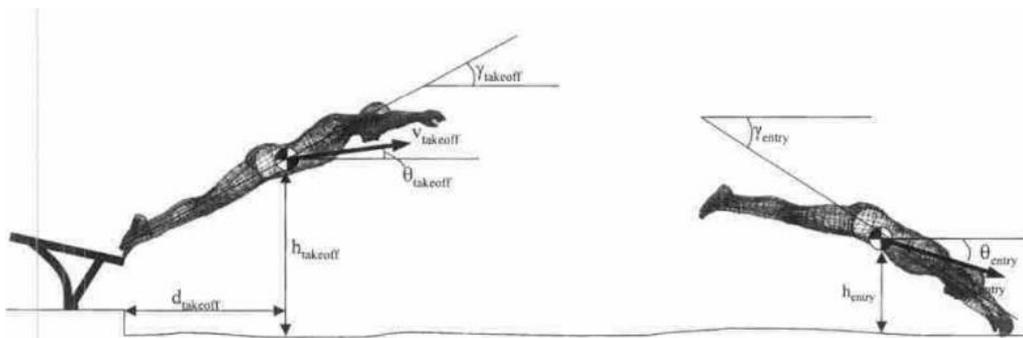
Las coordenadas 2D en píxeles de cada una de las imágenes clave fueron transformadas en coordenadas reales en metros utilizando algoritmos DLT-2D. Para ello, se utilizó 3 puntos de control establecidos por un objeto de calibración (Sistema del Instituto de Biomecánica de Valencia, IBV) situado en el plano de movimiento, es decir, por donde salen los nadadores.



**Figura 8:** Calibración de las coordenadas utilizando el Sistema de referencia (IBV).

**Tabla 6.** Variables cinemáticas de influencia en el rendimiento de la salida en natación.

VARIABLE DE RENDIMIENTO	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE
<p><b>Tiempo de cambio</b> <i>García-Hermoso et. al (2013)</i></p>	<p>Tiempo transcurrido desde que el nadador entrante toca la pared hasta que el nadador saliente despegue de la plataforma (último contacto del pie en el poyete)</p>
<p><b>Ángulo de despegue/Ángulo de entrada</b> <i>McLean et. al (2000)</i></p>	<p>Ángulos de despegue y entrada se definieron como el ángulo del vector de velocidad del centro de masa con respecto a la horizontal en el instante de despegue y entrada de agua respectivamente</p>
<p><b>Velocidad de despegue/ Velocidad de entrada</b> <i>McLean et. al (2000)</i></p>	<p>La velocidad del centro de masas en el despegue y la entrada se define como la magnitud del vector de velocidad resultante del centro de masa en estos instantes.</p>



**Figura 9.** Variables cinemáticas en la fase del despegue (izquierda) y la entrada (derecha) que influyen en la salida en natación (McLean et. al, 2000).

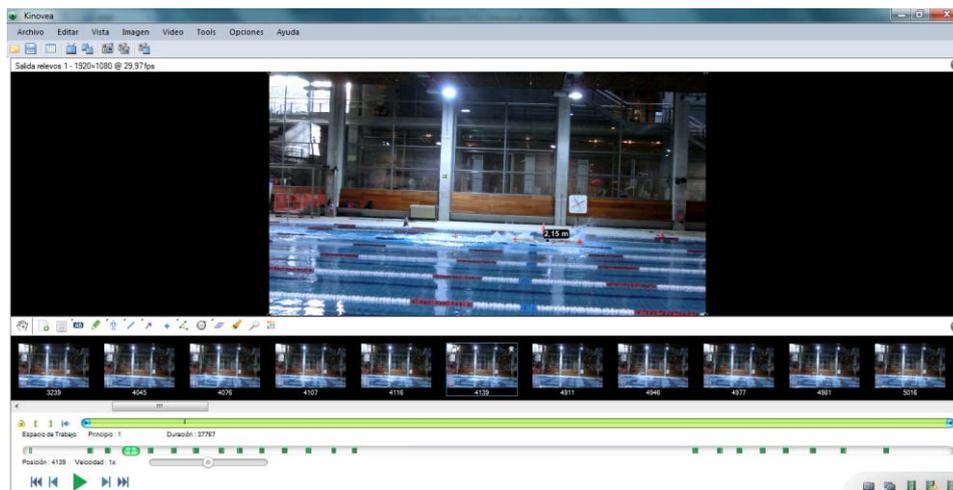
Una vez obtenidas las coordenadas 2D en píxeles de los puntos articulares, dichas coordenadas fueron almacenadas en archivos formato ASCII. Para ello, se emplearon los puntos de control establecidos en el sistema de referencia del IBV para la calibración. Dichos puntos permitieron reconstruir un plano XY en dos dimensiones por el cual el nadador se desplazó durante la salida. Mediante el software Biomec desarrollado por el Profesor Enrique Navarro en el laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Universidad

Politécnica de Madrid, se utilizaron algoritmos DLT-2D (Abdel Aziz y Karara, 1971) para transformar las coordenadas en píxeles del nadador a coordenadas reales en metros con ayuda de los datos de las dimensiones reales del objeto de calibración. Las coordenadas reales en dos dimensiones (X,Y) del nadador se almacenaron en archivos ASCII a partir de los cuales se realizaron cálculos en formato Excel para el cálculo de la posición del centro de masas en cada instante de interés.



**Figura 10:** Software utilizado para el cálculo de coordenadas reales a partir de las coordenadas en píxeles.

La segunda cámara situada en el lado opuesto de las grabaciones de las salidas sirvió para medir los tiempos que realizaban los nadadores a los 5, 10 y 15m y con los tiempos poder cuantificar la influencia en el rendimiento de cada uno de los tipos de salidas.



**Figura 11:** Captura del software Kinovea 0.8.25 utilizado para medir los tiempo 5, 10 y 15m.

### 4.3. Instrumentos de medida y material utilizado en el estudio.

El material empleado para la realización del análisis cuantitativo de la salida de relevos estuvo compuesto de los siguientes elementos:

- Cámara digital de alta velocidad modelo Casio EXILIM ZR EX-ZR800 con 16.1 megapíxeles de definición que nos permitió grabar a 100 fotogramas por segundo.



**Figura 12.** Cámara Casio empleada para la filmación de las salidas.

- Un trípode Manfrotto 116Mk3 (Manfrotto Bassano, Italia).
- Piscina de competición 50x25m.
- Corcheras de 50m cuya función es delimitar las diferentes calles de la piscina.
- Dispositivo de salida Omega OSB-11: dispositivo oficial de competición anteriormente descrito en la introducción del trabajo.
- Banderines de salida: situados a 5 metros de la pared.
- Cronómetros manuales: únicamente empleados para dar referencias en los 25 metros a los nadadores para que puedan conocer si están realizando buenas o malas marcas.
- Programa informático Microsoft Excel: utilizado para ordenar todos los datos y realizar bases de datos con toda la información.
- Programa informático Biomec: empleado para transformar los datos obtenidos en Kinovea y transformar las coordenadas en píxeles a coordenadas en metros, gracias a los datos obtenidos con el sistema de calibración.
- Sistema de referencia del Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV): utilizado para calibrar la digitalización de los puntos clave, forma un cuadro con unas dimensiones de 2x2 metros.



**Figura 13.** Tubos ensamblados formando el sistema de referencia empleado para la calibración de las cámaras.

- Programa informático Kinovea 0.8.25: hemos utilizado la versión más actualizada de este programa para proceder al análisis de los videos grabados. Permite visionar los videos fotograma a fotograma para que sea más sencillo poder observar los pequeños cambios que se producen entre una imagen y la siguiente. Permite digitalizar todos los puntos importantes o "key events" y también analizar gran cantidad de datos y de variables (tiempos, distancias, ángulos...) muy útiles a la hora de analizar los datos.

#### **4.4. Análisis e informe de valoración.**

A partir de todos los datos obtenidos, se elaboró una base de datos a través de una hoja de cálculo excel y se llevó a cabo el procedimiento de análisis para conseguir los resultados propuestos en los objetivos. Se desarrolló un análisis de tipo descriptivo para comprender los resultados generales de nuestro estudio sobre los valores de cada variable presentados a partir de la media aritmética y de la desviación estándar para cada uno de los tres tipos de salidas.

A continuación se elaboró un informe de valoración sobre las distintas variables de rendimiento obtenidas de los diferentes tipos de salida para con ello, dar un feedback directo, detectar fortalezas y debilidades de cada nadador, para facilitar la toma de decisiones y establecer propuestas de trabajo individualizado.

La sinergia Entrenador-Investigador que desarrollo actualmente, me demuestra que no sólo hacen falta estudios descriptivos sino también estudios que tengan una aplicabilidad práctica que permitan mejorar el proceso de entrenamiento-rendimiento, de ahí que el informe de valoración resulte una herramienta muy útil para el entrenador y el deportista.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Efecto de los diferentes tipos de salida sobre los tiempos de salida de relevos.

La tabla 7 muestra los valores medios y desviación estándar de los tiempos a los 5, 10 y 15 metros que se han obtenido al realizar el análisis de las grabaciones de las diferentes salidas de relevos.

Tabla 7. Valores medios y desviación estándar de las variables temporales.

Variables temporales	TIPO DE SALIDA		
	S1	S2	S3
T5 (s)	<b>2.69</b> ± 0.68	<b>2.55</b> ± 0.44	<b>2.68</b> ± 0.48
T10 (s)	<b>5.55</b> ± 0.92	<b>5.38</b> ± 0.57	<b>5.51</b> ± 0.58
T15 (s)	<b>8.36</b> ± 1.11	<b>8.29</b> ± 0.66	<b>8.35</b> ± 0.63

Podemos observar que el tiempo más rápido se realiza con la salida **S2** (Salida sin paso con los pies separados) para los tiempos a los 5, 10 y 15m.

### 5.2. Efecto de los diferentes tipos de salida de relevos sobre los tiempos.

La tabla 8 muestra los valores medios y desviación estándar de las velocidades horizontal, vertical y también el ángulo durante la fase del despegue que se han obtenido al realizar el análisis de las grabaciones de las diferentes salidas de relevos.

Tabla 8. Valores medios y desviación estándar de las variables cinemáticas durante el despegue.

Variables cinemáticas	TIPO DE SALIDA		
	S1	S2	S3
Vx Despegue (m/s)	<b>3.85</b> ± 0.40	<b>3.90</b> ± 0.65	<b>4.22</b> ± 0.34
Vy Despegue (m/s)	<b>0.26</b> ± 0.41	<b>0.39</b> ± 0.33	<b>0.24</b> ± 0.39
Ángulo Despegue (°)	<b>183.93</b> ± 5.92	<b>186.04</b> ± 5.71	<b>183.31</b> ± 5.29

Podemos observar que la velocidad horizontal (Vx) de despegue es mayor con la salida **S3** (Salida con paso pies separados). Sin embargo, la velocidad vertical (Vy) de despegue es mayor con la salida **S2** (Salida sin paso con los pies separados). Por último, la salida que tiene un mayor ángulo de despegue es la salida **S2** (Salida sin paso con los pies separados).

### 5.3. Efecto de los diferentes tipos de salida de relevos sobre la velocidad de entrada y el ángulo de entrada.

La tabla 9 muestra los valores medios y desviación estándar de las velocidades horizontal, vertical y también el ángulo durante la fase de entrada que se han obtenido al realizar el análisis de las grabaciones de las diferentes salidas de relevos.

**Tabla 9. Valores medios y desviación estándar de las variables cinemáticas durante la entrada.**

Variables cinemáticas	TIPO DE SALIDA		
	S1	S2	S3
Vx Entrada (m/s)	<b>3.98</b> ± 0.68	<b>3.51</b> ± 0.55	<b>3.97</b> ± 0.51
Vy Entrada (m/s)	<b>3.03</b> ± 0.47	<b>3.11</b> ± 0.54	<b>3.04</b> ± 0.75
Ángulo Entrada (°)	<b>217.44</b> ± 5.22	<b>221.51</b> ± 4.23	<b>216.97</b> ± 6.35

Podemos observar que la velocidad horizontal (Vx) de entrada es mayor con la salida **S1** (Salida sin paso pies juntos). Sin embargo, la velocidad vertical (Vy) de entrada es mayor con la salida **S2** (Salida sin paso con los pies separados). Por último, la salida que tiene un mayor ángulo de entrada es la salida **S2** (Salida sin paso con los pies separados).

A continuación se muestra un ejemplo de informe de valoración de la salida de relevos en natación realizado sobre uno de los sujetos del estudio con las distintas variables cinemáticas de las velocidades horizontales, verticales y los ángulos de las fases de despegue y entrada. También refleja las variables temporales de rendimiento obtenidas de los diferentes tipos de salida con la finalidad de:

- Proporcionar un feedback al entrenador y nadador.
- Detectar fortalezas y debilidades de cada sujeto.
- Observar la técnica de salida en cada instante clave.
- Detectar y corregir errores técnicos.
- Facilitar la toma de decisiones.
- Establecer propuestas de trabajo individualizado.



## EJEMPLO DE INFORME DE VALORACIÓN DE LA SALIDA DE RELEVOS EN NATACIÓN



DATOS PERSONALES									
Nombre:	A.			Apellidos:	G.M.				
Fecha de la prueba:	10/12/2016			Edad:	16	Talla:	1.77	Peso:	71Kg
Años de experiencia:				Club o Entidad:					
DATOS DEL ESTUDIO									
VARIABLES	DATOS REFERENCIA			DATOS SUJETO			REPRESENTACIÓN GRÁFICA		
	S1*	S2*	S3*	S1*	S2*	S3*			
Vx (m/s) Despegue	3.85	3.90	4.22	3.30	4.10	4.36			
Vy (m/s) Despegue	0.26	0.39	0.24	0.18	0.10	0.05			
Ángulo (º) Despegue	183.93	186.04	183.31	183.15	181.44	179.29			
Vx (m/s) Entrada	3.98	3.51	3.97	3.21	3.10	3.85			
Vy (m/s) Entrada	3.03	3.11	3.04	2.16	3.21	2.04			
Ángulo (º) Entrada	217.44	221.51	216.97	213.92	226.05	207.9			
Tiempo 5m	2.69	2.55	2.68	2.16	2.48	2.64			
Tiempo 10m	5.55	5.38	5.51	4.66	4.95	5.14			
Tiempo 15m	8.36	8.29	8.35	7.16	7.58	7.71			
INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS									
FORTALEZAS				ASPECTOS A MEJORAR					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nadador rápido, todos sus tiempos por debajo de los datos de referencia.</li> <li>Su mejor salida (S1) posee un ángulo de despegue similar al de referencia.</li> <li>Genera una buena velocidad horizontal sobre todo en las salidas S2 y S3.</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>Necesita mejorar su velocidad vertical en los tres tipos de salidas.</li> <li>Debería mejorar su entrada al agua, ya que sus ángulos están por debajo en la S2 y S3.</li> </ul>					
OBSERVACIONES									
<p>Nadador con buenos tiempos en cada una de las salidas pero debería de mejorar su velocidad vertical. Se recomienda que practique salidas generando fuerza hacia arriba sin perder mucha velocidad horizontal.</p> <p>En el momento de la entrada se recomienda que los pies se sitúen en una posición más elevada para que su ángulo de entrada sea más eficiente.</p>									

**\*S1: Salida sin paso pies juntos.**

**\*S2: Salida sin paso pies separados.**

**\*S3: Salida con paso pies separados.**

## 6. DISCUSIÓN

El objetivo principal de este estudio fue analizar el efecto de diferentes tipos de salida de relevos y las modificaciones que conllevan en las variables cinemáticas con el nuevo dispositivo OSB11.

### 6.1. Tiempos de salida de relevo.

Los tiempos de salida de relevos analizados para el presente estudio han sido tomados cuando la cabeza de cada nadador pasaba por los 5, 10 y 15 metros, hay que destacar que no en todos los estudios se realizan las mismas mediciones, ya que en algunos solo toman con referencia el tiempo en 10 metros, en otros además de los ya mencionados incluyen el tiempo en 7.5 metros y algunos estudios toman el pase del tiempo con la mano en vez de con la cabeza como hemos realizado nosotros.

Los valores que fueron registrados en nuestro estudio para el tiempo a los **5 metros** fueron:  $2.69 \pm 0.27$  para la salida S1,  $2.55 \pm 0.44$  para la salida S2 y  $2.68 \pm 0.48$  para la salida S3 al paso de la cabeza por los 5 metros, mientras que los valores obtenidos por Honda et al. (2010) para una muestra de 14 nadadores de elite australianos con un promedio de 850 puntos FINA fueron  $1.62 \pm 0.01$  en el paso de 5 metros. Las diferencias existentes entre los tiempos de ambos estudios se deben a una diferente metodología de toma de datos, aunque en ambos estudios el tiempo en 5 metros se toma cuando la cabeza alcanza dicho punto, existe la diferencia de que en el estudio de Honda et al. (2010) se realiza una salida individual (sin relevo) donde compara la salida con el dispositivo Omega-OSB11 y en nuestro estudio el inicio comenzó cuando los brazos del nadador saliente comenzaban a moverse.

Los valores obtenidos en nuestro estudio para el tiempo a los **10 metros** fueron:  $5.55 \pm 0.92$  para la salida S1,  $5.38 \pm 0.57$  para la salida S2 y  $5.51 \pm 0.58$  para la salida S3 al paso de la cabeza por los 10 metros. En el caso del estudio realizado por McLean et al. (2000) se tomaron referencias temporales al paso por los 10 metros, donde valores registrados fueron  $3.61 \pm 0.28$  para la salida S1 y  $3.52 \pm 0.25$  para la salida S3, de una muestra de 10 nadadores masculinos jóvenes. Las diferencias existentes entre los tiempos de ambos estudios se deben a una diferente metodología de toma de datos, ya que en el estudio de McLean et al. (2000) el tiempo a los 10 metros se toma cuando la mano alcanza dicho punto y no la cabeza como hemos tomado nosotros.

Los valores registrados en nuestro estudio para el tiempo a los **15 metros** fueron:  $8.36 \pm 1.11$  para la salida S1,  $8.29 \pm 0.66$  para la salida S2 y  $8.35 \pm 0.63$  para la salida S3 al paso de la cabeza por los 15 metros. En el caso del estudio realizado por Vantorre, Seifert,

Fernandes, Boas, Vilas y Chollet (2010) se tomaron referencias temporales al paso por los 15 metros, donde valores registrados fueron de  $6.95 \pm 0.56$  para la salida S1 pero sin relevo, de una muestra de 5 nadadores masculinos de élite. Las diferencias existentes entre los tiempos de ambos estudios se deben a una diferencia metodológica de toma de datos, ya que en el estudio de Vantorre et al. (2010) el tiempo a los 15 metros se realiza con una salida individual y no de relevos como ha sido la nuestra, pero las dos metodologías utilizaron la cabeza como referencia.

## **6.2. Velocidad horizontal, vertical y ángulo en la fase de despegue.**

Los valores obtenidos en nuestro estudio para la **velocidad horizontal durante el despegue** fueron:  $3.85 \pm 0.40$  para la salida S1,  $3.90 \pm 0.65$  para la salida S2 y  $4.22 \pm 0.34$  para la salida S3, mientras que los valores obtenidos por Takeda, T., Takagi, H., & Tsubakimoto, S. (2010) para una muestra de 8 nadadores universitarios bien entrenados de salidas de relevos como nuestro estudio fueron  $4.09 \pm 0.35$  para salida S1 y  $4.09 \pm 0.31$  para la salida S3. La diferencia existente entre la toma de datos es que en el estudio de Takeda et. al (2010) utilizaron una plataforma de fuerza con la que midieron también la velocidad de despegue y nosotros utilizamos la diferencia del centro de masas del siguiente con el anterior fotograma al despegue para calcular la velocidad. Aún así, no existen grandes diferencias de velocidades entre ambos estudios e incluso nuestro estudio presenta mejores valores de velocidad horizontal para la salida S3 que el estudio de Takeda et. al (2010). Otro estudio como el realizado por Honda et al. (2010) donde no realiza salida de relevos sino individual con el dispositivo Omega-OSB11 se registraron valores de  $4.48 \pm 0.04$ . En el estudio de McLean et al. (2000) se tomaron velocidades horizontales de despegue de  $4.2 \pm 0.3$  para la salida S1 y  $4.3 \pm 0.3$  para la salida S3 con la misma metodología empleada por nosotros utilizando el centro de masas para calcular las velocidades.

Para la **velocidad vertical durante el despegue** nuestros datos fueron:  $0.26 \pm 0.41$  para la salida S1,  $0.39 \pm 0.33$  para la salida S2 y  $0.24 \pm 0.39$  para la salida S3, mientras que los valores obtenidos por McLean et al. (2000) para una muestra de 10 nadadores masculinos jóvenes fueron:  $0.3 \pm 0.3$  para salida S1 y  $0.3 \pm 0.3$  para la salida S3. Como se puede observar en los datos recogidos, son valores muy parecidos entre el estudio de McLean et al. (2010) y el realizado por nosotros. Otro estudio como el realizado por Nomura et. al (2010) para una muestra de 10 nadadores de elite y una salida individual con dispositivo con taco posterior fueron de  $0.65 \pm 0.45$ . La diferencia existente entre el estudio de Nomura et. al (2010) es que ellos utilizaron salida individual y nuestra salida fue de relevos. Pese a ello, las velocidades son relativamente parecidas.

Los valores obtenidos en nuestro estudio para el **ángulo de despegue** fueron:  $183.93 \pm 5.92$  para la salida S1,  $186.04 \pm 5.71$  para la salida S2 y  $183.31 \pm 5.29$  para la salida S3, mientras que los valores obtenidos por McLean et al. (2000) para una muestra de 10 nadadores masculinos jóvenes fueron:  $4.0 \pm 6.3$  para salida S1 y  $4.5 \pm 3.2$  para la salida S3. Las diferencias existentes entre los valores de ambos estudios se debe a una diferente metodología de toma de datos, ya que en nuestro estudio la cámara de grabación estaba situada de tal forma que los nadadores se proyectaban hacia la izquierda y en el estudio de McLean et. al, (2010) los nadadores se proyectaban hacia la derecha. Pero si invertimos nuestros ángulos, observamos que para la salida S1 sería de  $3.93^\circ$  ( $183.93-180$ ), para la salida S2 de  $6.04^\circ$  ( $186.04-180$ ) y para la salida S3 de  $3.31^\circ$  ( $183.31-180$ ) lo que demuestra que son datos similares a los obtenidos en el estudio de McLean et. al, (2010).

### **6.3. Velocidad horizontal, vertical y ángulo en la fase de entrada.**

Para la **velocidad horizontal durante la entrada** los datos obtenidos en nuestro estudio han sido:  $3.98 \pm 0.68$  para la salida S1,  $3.51 \pm 0.55$  para la salida S2 y  $3.97 \pm 0.51$  para la salida S3, mientras que los valores obtenidos por McLean et al. (2000) fueron de:  $4.7 \pm 0.3$  para salida S1 y S3. Se puede observar en los datos, que los valores del estudio de McLean son un poco más elevados a nuestro estudio.

Los datos obtenidos para la **velocidad vertical durante la entrada** en nuestro estudio han sido:  $3.03 \pm 0.47$  para la salida S1,  $3.11 \pm 0.54$  para la salida S2 y  $3.04 \pm 0.75$  para la salida S3, mientras que los valores obtenidos por McLean et al. (2000) fueron de:  $3.6 \pm 0.3$  para salida S1 y S3. Como se puede observar en los datos recogidos, son valores muy parecidos entre nuestro estudio y el realizado por McLean et al. (2010).

Los valores obtenidos en nuestro estudio para el **ángulo de despegue** fueron:  $217.44 \pm 5.22$  para la salida S1,  $221.51 \pm 4.23$  para la salida S2 y  $216.97 \pm 6.35$  para la salida S3, mientras que los valores obtenidos por McLean et al. (2000) fueron de:  $-40.0 \pm 3.2$  para todas sus salidas. Las diferencias existentes entre los valores de ambos estudios se debe a una diferente metodología de toma de datos, ya que en nuestro estudio la cámara de grabación estaba situada de tal forma que los nadadores se proyectaban hacia la izquierda y en el estudio de McLean et al. (2010) los nadadores se proyectaban hacia la derecha. Pero si invertimos nuestros ángulos, observamos que para la salida S1 sería de  $37.44^\circ$  ( $217.44-180$ ), para la salida S2 de  $41.51^\circ$  ( $221.51-180$ ) y para la salida S3 de  $36.97^\circ$  ( $216.97-180$ ) lo que demuestra que son valores similares a los obtenidos en el estudio de McLean et al. (2010).

## **7. CONCLUSIONES**

Una vez analizados y discutidos los resultados obtenidos en el estudio y en relación con los objetivos fijados, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Las salidas S2 (sin paso pies separados) y S3 (con paso pies separados) que tienen en común la utilización del taco posterior del dispositivo Omega-OSB11 producen una ligera mejora sobre los tiempos de salida en los relevos respecto a la salida S1 (sin paso pies juntos) en esta muestra. También con estos dos tipos de salidas se observan mejoras en la velocidad horizontal de despegue respecto a la salida S1.
- El uso de la salida S2 (sin paso pies separados) provoca un aumento de la velocidad vertical en el despegue respecto a las otras dos salidas, lo que produce que al realizar este tipo de salida se incremente el ángulo de despegue. Posiblemente debido a que el apoyo del pie posterior en el taco del dispositivo Omega-OSB11 permite ejercer una mayor fuerza vertical.
- La utilización de la salida S3 (con paso pies separados) produce una mayor velocidad horizontal de despegue respecto a los otros dos tipos de salidas en esta muestra, esto se debe posiblemente a que los sujetos este tipo de salida es la que más dominan cuando realizan salidas de relevos.
- El cálculo de velocidades y ángulos a través del centro de masas es un método cuantitativo preciso para la obtención de variables cinemáticas, ya que la obtención de datos por medio de la digitalización es bastante fiable.
- El informe de valoración de la salida de relevos en natación resulta una buena herramienta para describir de forma clara y concisa a los entrenadores cuáles son las fortalezas y debilidades que deben de mejorar sus nadadores, sobre todo de cara a maximizar el rendimiento a nivel competitivo. También es una excelente herramienta para los nadadores ya que pueden recibir un feedback directo respecto a sus progresiones y así focalizar de forma eficiente sus objetivos lo que junto con un incremento de la práctica deliberada puede conllevar a una mejora del rendimiento.

## **8. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.**

El objetivo de este trabajo es que pueda servir como ayuda o guía a otros estudios relacionados con la natación y concretamente con la salida de relevos. Es positivo continuar investigando sobre esta línea de trabajo para descifrar cual de los diferentes tipos de salidas

en los relevos contribuye a la mejora de tiempos y resultados en la alta competición. Una futura línea de estudio es realizar un seguimiento continuo de las velocidades del centro de masas así como los ángulos en los instantes claves como se ha llevado a cabo en el presente estudio para poseer mayores datos de referencia además ampliar con más variables cinemáticas para acercarse de forma más exacta cuál es la salida más eficiente y maximizar su rendimiento en la competición.

### **8.1. Limitaciones del presente estudio**

Los datos de cada tipo de salida de relevo en el presente estudio sólo se obtuvieron de una toma, sería interesante realizar varias tomas más para poseer más datos y contrastar.

También cabe destacar que muchos estudios científicos consultados emplean una plataforma de fuerzas para realizar las mediciones, dispositivo del que nosotros no disponíamos. Por tanto, sería muy interesante emplear dicha tecnología con el nuevo implemento para conocer las diferencias de aplicación de fuerza en las diversas posiciones del dispositivo y respecto a los diferentes tipos de salidas de relevos.

### **8.2. Aplicabilidad práctica y valoración personal**

Lo que he intentado buscar con este trabajo es proporcionar a través de los datos obtenidos y del informe de valoración un feedback individualizado tanto a entrenadores como a nadadores donde puedan observar sus fortalezas y debilidades para una eficiente búsqueda del rendimiento así como facilitar la toma de decisiones y establecer propuestas de trabajo de cara a la competición.

La sinergia de entrenador-investigador en la que me encuentro actualmente, me ha hecho ser consciente de que la mayoría de los estudios científicos relacionados con la investigación en natación, en concreto con las salidas, son generalmente trabajos descriptivos de una muestra concreta y los resultados se realizan de forma conjunta. De este modo se llega al conocimiento y a la búsqueda del rendimiento pero hay que saber que cada deportista posee unas condiciones y cualidades diferentes al resto de sujetos y el entrenador debe conocer qué parámetros o variables indicar a cada uno de sus deportistas.

Desde mi punto de vista, recomendaría a los entrenadores dedicar un poco de trabajo todas las semanas a las salidas para llegar a mejorar detalles técnicos, tanto salidas individuales como salidas de relevos, y no solamente en el período pre-competitivo.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Abdel-Aziz, Y. I. & Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into space coordinates in close range photogrammetry. *In: American Society of Photogrammetry (Ed.), Proceedings of the Symposium on Close Range Photogrammetry. Falls-Church, E.E.U.U.*
- Arellano, R. (2009). *Entrenamiento Técnico de Natación*. Madrid: Real Federación Española de Natación - Cultiva Libros: Madrid.
- Blanksby, B., Nicholson, L. and Elliott, B. (2002). Biomechanical analysis of the grab, track, and handle swimming starts: An intervention study. *Sports Biomechanics*, 1(1), 11-24.
- COI (2017) <https://www.olympic.org/news/tokyo-2020-event-programme-to-see-major-boost-for-female-participation-youth-and-urban-appeal>
- Cossor, J. M., & Mason, B. R. (2001). Swim start performances at the Sydney 2000 Olympic Games. *Paper presented at the International Symposium on Biomechanics in Sports ISBS, San Francisco, CA.* pp. 70–73.
- De Leva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of biomechanics*, 29(9), 1223-1230.
- Federation Internationale de Natation (FINA) (2009). *FINA handbook*. Lausanne: FINA Office.
- Federation Internationale de Natation (FINA) (2015). *FINA General Rules*. Lausanne: FINA Office.
- Fischer, S. Braun, C. Kibele, A. (2017). Learning relay start strategies in swimming: What feedback is best? *European Journal of Sport Science*, 17(3), 257-263.
- Garcia-Hermoso, A.; Escalante, Y.; Arellano, R.; Navarro, F.; Domínguez, A.; Saavedra, J. (2013). Relationship between final performance and block times with the traditional and the new starting platforms with a back plate in Internacional Swimming Championship 50-M and 100-M Freestyle events. *Journal of Sports Science & Medicine*, 12 (4), p698.
- Hay, J. G., Guimaraes, A. C. S., & Grimston, S. K. (1983). A quantitative look at swimming biomechanics. *Swimming technique*, 20 (2), 11-17.
- Honda, K.E.; Sinclair, P.J.; Mason, B.R.; Pease, D.L. (2010). A Biomechanical Comparison of Elite Swimmers Start Performance Using the Traditional TrackStart and the New Kick Start. *XIth International Symposium for Biomechanics & Medicine in Swimming*, Issue 11, p94.
- Maglischo, E.W. (2009). *Natación: técnica, entrenamiento y competición*. Editorial: Paidotribo. Badalona (España).

- Marsh, D. (2007). Entrenamiento de relevos. En D. Hannula y N. Thornton. *Entrenamiento óptimo en natación*. (pp. 278-283) Editorial Hispano Europea. Barcelona.
- McLean, S. P., Holthe, M. J., Vint, P. F., Beckett, K. D., & Hinrichs, R. N. (2000). Addition of an approach to a Swimming Relay Start. *Journal of Applied Biomechanics*, 16 (4), 342-355.
- Mills, G. (2005) Relay Swing Start. *Swimming World*, 46 (7), 202.
- Nomura, T., Takeda, T., & Takagi, H. (2010). Influences of the back plate on competitive swimming starting motion in particular projection skill. *Paper presented at the XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming, Oslo*. pp. 135–137.
- Pope, I.; Sharples, D. (2014). Relay Changeovers in Swimming. *Swimming in Australia*, 30 (4), p147.
- Slawson, S.; Conway, P.; Cossor, J.; Chakravorti, N.; West, A. (2013). The categorisation of swimming start performance with reference to force generation on the main block and footrest components of the Omega OSB11 start blocks. *Journal of Sports Sciences*, 31 (5), 468–478.
- Takeda, T., y Nomura, T. (2006). What are the differences between grab and track start? *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6 (Suppl. 2), 102–105.
- Takeda, T., Takagi, H., & Tsubakimoto, S. (2010). Comparison among three types of Relay Starts in Competitive Swimming. In *Biomechanics and medicine in swimming XI: proceedings of the XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming, Oslo* (pp. 170-172).
- Takeda, T.; Takagi, H.; Tsubakimoto, S. (2012). Effect of inclination and position of new swimming starting block's back plate on track-start performance. *Sports Biomechanics*, 11 (3), p370.
- Vantorre, J.; Seifert, L.; Fernandes, R. J.; Boas, J. P. Vilas; Chollet, D. (2010). Comparison of Grab Start between Elite and Trained Swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 31 (12), 887.
- Veiga, Santiago (2016). *Modelo determinístico*. Entrenamiento y Optimización de la Técnica Deportiva. Universidad Politécnica de Madrid. 3 de Octubre de 2016. Material docente sin publicar.
- Veiga, S., & Roig, A. (2016). Effect of the starting and turning performances on the subsequent swimming parameters of elite swimmers. *Sports biomechanics*, 16 (1), 34-44.

## 10. ANEXO

### Consentimiento informado y compromiso de confidencialidad menores.

#### CONSENTIMIENTO INFORMADO

De acuerdo con las directrices éticas dictadas en la declaración de Helsinki por la Asociación Médica Mundial para la investigación en seres humanos, yo D/D<sup>a</sup> ..... he sido informado/a de las características de las pruebas que se van a realizar sobre mi persona y autorizo a que el Laboratorio de Biomecánica del Deporte, realice las pruebas acordadas entre el la Facultad de Ciencias de la Act. Física y el Deporte-INEF, de quien dependen dichos Laboratorio, sujetos estos datos al tratamiento automatizado a que se refiere la Ley Orgánica 15/1999 de 13 de diciembre de Protección de Datos de Carácter Personal, (LOPD), siendo los resultados de las mismas **confidenciales**, y permito que se traten los datos con la única finalidad *científica*, en tanto se respeten la confidencialidad y el anonimato de los datos, y la cesión y el tratamiento se efectúe previo procedimiento de disociación, de forma que no puedan ser expuestos en relación con mi persona.

En Madrid a.....de.....de 2016

Firma Interesado:

Fdo:

Firma Responsable del Servicio:

Fdo: Enrique Navarro Cabello