UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE
(INEF)

“Análisis cinemático de la salida con empuje
en nadadores competitivos de nivel nacional”

TESIS DOCTORAL

ALFONSO TRINIDAD MORALES

Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

2017

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

DEPARTAMENTO DE DEPORTES

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE
(INEF)

**“Análisis cinemático de la salida con empuje en
nadadores competitivos de nivel nacional”**

Alfonso Trinidad Morales

Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

DIRECTORES DE TESIS

Alberto Lorenzo Calvo

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte
Universidad Politécnica de Madrid

Santiago Veiga Fernández

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte
Universidad de Castilla la Mancha de Toledo

2017

TRIBUNAL DE LA TESIS

Tribunal nombrado por el Mgfco. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día _____

Presidente D. _____

Vocal D. _____

Vocal D. _____

Vocal D. _____

Secretario D. _____

Realizado el acto de defensa y lectura de Tesis el día, _____

en _____

Calificación: _____

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO

*A mis padres,
por animarme siempre a que estudiara,
a vosotros os debo mi constancia y perseverancia.*

*A mi hermana y mi hermano,
porque la distancia no nos ha separado,
me habéis apoyado y sobre todo animado.*

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primar lugar a la Universidad Politécnica de Madrid, y en especial a la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte – INEF, la formación recibida durante el Master Universitario en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte durante el curso académico 2008-2009. Y también quiero dar las gracias al Laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte – INEF de la Universidad Politécnica de Madrid, por el material de filmación y los programas utilizados para llevar a cabo esta tesis.

Me gustaría agradecer al Centro Especializado de Tecnificación Deportiva de Natación "M-86" de Madrid el uso de las instalaciones para llevar a cabo las filmaciones de los nadadores. También quiero darles las gracias a todos los nadadores y nadadores que realizaron sus entrenamientos el verano de 2015 con sus respectivos clubes como fueron: Centro Especializado de Tecnificación Deportiva de Natación "M-86"; Club Natación Alcobendas; Club Natación Gredos San Diego de Moratalaz; Club Natación Jiménez; Club Natación Pozuelo; Real Canoe Natación Club; Club A. D. Rivas Natación y; SAFA Natación Madrid. Sin vuestra ayuda no se hubiera hecho esta tesis.

También quiero dar las gracias a todos mis familiares y amigos, Natalia, Montse lo he conseguido, gracias por haber estado siempre a mi lado en este largo camino.

Dejo para lo último a mis directores, porque sin ellos hubiese sido imposible hacer esta tesis, gracias por vuestra paciencia y ayuda. Sois dos profesionales y sobre todo grandes personas. Gracias Santiago por enseñarme en el mundo de la biomecánica y la natación, sin tu ayuda no hubiera sido posible reconstruir esta tesis, gracias por aventurarte conmigo y por toda tu dedicación en el M-86. Y gracias a ti Alberto por tantas cosas: gracias por tu paciencia y me atrevo a decir que no conoce limites, gracias por hacerme ver las cosas con otro enfoque y con la mejor perspectiva, gracias por apoyarme para que no me rindiera, gracias por tantas tutorías en el Magariños, y por último, gracias por estar a mi lado a lo largo de este camino lleno de obstáculos.

RESUMEN

En natación, el estudio de los parámetros cinemáticos del movimiento a través de la biomecánica ha revelado información muy detallada de las diferentes partes de la competición (salida, nado y viraje). Especialmente el estudio de las fases subacuáticas tras la salida y el viraje han mostrado su importante contribución al rendimiento del nadador y la han convertido en un parámetro evaluable, en sus diferentes fases que son: el deslizamiento, el movimiento ondulatorio subacuático, la transición del buceo al nado y el nado en superficie. Sin embargo, no se han analizado dichas fases cuando el empuje del nadador se realiza desde dentro del agua, que es lo que ocurre en la práctica diaria del entrenamiento.

En la presente tesis, se han analizado los parámetros cinemáticos de 222 salidas con empuje desde dentro del agua en nadadores competitivos de nivel nacional. La muestra ($N=74$) ha estado compuesta por nadadores que pertenecían a 8 clubes de la ciudad de Madrid de categoría nacional. A cada nadador se le registró el tiempo, la distancia y la velocidad en las diferentes fases de la salida con empuje, teniendo en cuenta la influencia del género y el estilo de nado.

La investigación se llevó a cabo mediante un análisis de vídeo a una frecuencia de muestro de 25 Hz y los parámetros cinemáticos se calcularon utilizando algoritmos de la técnica experimental DLT en dos dimensiones. La velocidad, distancia y tiempo de cada una de las fases de la salida con empuje fueron analizados mediante una ANOVA de medidas repetidas en función del género y el estilo de los sujetos.

Los resultados sobre la caracterización de las fases mostraron que la velocidad disminuyó progresivamente, desde la fase del deslizamiento subacuático hasta la fase del nado en superficie ($2,22 \pm 0,02$ m/s; $1,61 \pm 0,01$ m/s; $1,48 \pm 0,03$ m/s y $1,46 \pm 0,02$ m/s). Por otro lado, el tiempo y la distancia fueron mayores en la fase del movimiento ondulatorio subacuático ($3,14 \pm 0,07$ s y $4,92 \pm 0,10$ m) en comparación con el resto de fases. La fase del movimiento ondulatorio subacuático fue la fase más importante y la que más se correlacionó con la velocidad media de la salida, mientras que la fase de transición al nado fue la que menos influencia tuvo.

En cuanto a la influencia del género, tanto hombres como mujeres, emplearon el mismo tiempo en el desarrollo de la fase del deslizamiento ($0,59 \pm 0,03$ s) y en la fase de transición al nado ($0,57 \pm 0,03$ y $0,51 \pm 0,03$ s). Los hombres recorrieron mayores distancias ($1,37 \pm 0,06$ vs $1,20 \pm 0,05$ m; $5,03 \pm 0,14$ vs $4,82 \pm 0,13$ m; $0,84 \pm 0,04$ vs $0,66 \pm 0,04$ m; $3,28 \pm 0,06$ vs $3,18 \pm 0,05$ m; $7,26 \pm 0,16$ vs $6,67 \pm 0,14$ m; $10,54 \pm 0,15$ vs $9,85 \pm 0,14$ m) y con más velocidad ($2,36 \pm 0,03$ vs $2,08 \pm 0,03$ m/s; $1,73 \pm 0,02$ vs $1,50 \pm 0,02$ m/s; $1,59 \pm 0,03$ vs $1,38 \pm 0,03$ m/s; $1,54 \pm 0,03$ vs $1,38 \pm 0,03$ m/s; $1,80 \pm 0,02$ vs $1,57 \pm 0,02$ m/s; $1,71 \pm 0,02$ vs $1,49 \pm 0,02$ m/s) que las mujeres en todas las fases. En la influencia del estilo, no se observaron diferencias entre crol y mariposa en ninguno de los parámetros analizados, mientras que las salidas realizadas a estilo de espalda mostraron menor velocidad en todas las fases analizadas ($2,12 \pm 0,04$; $1,52 \pm 0,02$; $1,37 \pm 0,04$; $1,24 \pm 0,04$; $1,55 \pm 0,02$; $1,46 \pm 0,02$ m/s) y mayor distancia durante la fase del movimiento ondulatorio ($6,47 \pm 0,17$ m frente $3,88 \pm 0,16$ y $4,42 \pm 0,16$ m).

El batido realizado durante el movimiento ondulatorio subacuático se caracterizó por una mayor frecuencia ($0,15$ Hz), longitud ($0,06$ m) y velocidad ($0,24$ m/s) en los hombres que en las mujeres. Por otro lado, se observaron diferencias entre los estilos de manera que en crol ($0,80 \pm 0,01$ m y $1,68 \pm 0,02$ m/s) y mariposa ($0,8 \pm 0,01$ m y $1,66 \pm 0,02$ m/s) la longitud y velocidad del batido subacuático fue mayor que en espalda, aunque su frecuencia ($2,14 \pm 0,04$ Hz en espalda por $2,11 \pm 0,04$ y $2,10 \pm 0,04$) fue menor.

ABSTRACT

In swimming, the study of the kinematic parameters of movement through biomechanics has indicated very detailed information of the different parts of the competition (start, swim and turn). Especially, the study of the underwater phases after start and turn have shown their important contribution to the performance of the swimmer and have become an evaluable parameter in their different phases, which are: gliding, underwater wave movement, the transition from dive to swim and swim on surface. However, these phases have not been analyzed when the swimmer's push-off start is made from within the water, which is what happens in the daily practice of training.

In the present thesis, the kinematic parameters of 222 starts with a wall push-off from within the water in competitive swimmers of national level have been analyzed. The sample ($N = 74$) was composed by swimmers who belonged to 8 clubs of the city of Madrid in the national category. Each swimmer's time, distance and velocity in the different phases of the push-off start was recorded, taking into account the influence of gender and the swim style.

The research was carried out by video analysis at a sampling frequency of 25 Hz and kinematic parameters were calculated using algorithms from the experimental DLT technique in two dimensions. The velocity, distance and time of each of the phases of push-off start were analyzed by means of a repeated measures ANOVA according to the style and the gender of the subjects.

The results on the characterization of the phases showed that the velocity decreased progressively, from the underwater gliding phase to the surface swimming phase (2.22 ± 0.02 m/s, 1.61 ± 0.01 m/s, 1.48 ± 0.03 m/s and 1.46 ± 0.02 m/s). On the other hand, time and distance were higher in the underwater wave phase (3.14 ± 0.07 s and 4.92 ± 0.10 m) compared to the rest of the phases. The phase of underwater wave movement was the most important phase and the one that most correlated with the mean velocity of the start, while the phase of transition to swim was the one that had the least influence.

As for the influence of gender, both men and women, used the same time in the development of the glide phase (0.59 ± 0.03 s) and in the transition to swim phase (0.57 ± 0.03 and 0.51 ± 0.03 s). Men travelled greater distances (1.37 ± 0.06 vs 1.20 ± 0.05 m, 5.03 ± 0.14 vs 4.82 ± 0.13 m, 0.84 ± 0.04 vs 0.66 ± 0.04 m, 3.28 ± 0.06 vs 3.18 ± 0.05 m, 7.26 ± 0.16 vs 6.67 ± 0.14 m, 10.54 ± 0.15 vs 9.85 ± 0.14 m) and with a higher velocity (2.36 ± 0.03 vs 2.08 ± 0.03 m/s, 1.73 ± 0.02 vs 1.50 ± 0.02 m/s, 1.59 ± 0.03 vs 1.38 ± 0.03 m/s, 1.54 ± 0.03 vs 1.38 ± 0.03 m/s, 1.80 ± 0.02 vs 1.57 ± 0.02 m/s, 1.71 ± 0.02 vs 1.49 ± 0.02 m/s) than women in all phases. In the influence of style, no differences were observed between freestyle and butterfly in any of the analyzed parameters, while the backstroke style start showed lower velocity in all phases analyzed (2.12 ± 0.04 , 1.52 ± 0.02 , 1.37 ± 0.04 , 1.24 ± 0.04 , 1.55 ± 0.02 , 1.46 ± 0.02 m/s) and greater distance during the phase of wave movement (6.47 ± 0.17 m versus 3.88 ± 0.16 and 4.42 ± 0.16 m).

The underwater dolphin kick performed during underwater wave movement was characterized by a higher frequency (0.15 Hz), length (0.06 m) and velocity (0.24 m/s) in men than in women. On the other hand, differences between the styles were observed in freestyle (0.80 ± 0.01 m and 1.68 ± 0.02 m/s) and butterfly (0.8 ± 0.01 m and 1.66 ± 0.02 m/s) the length and velocity of the underwater wave dolphin kick was higher than in backstroke, although its frequency (2.14 ± 0.04 Hz in backstroke by 2.11 ± 0.04 and 2.10 ± 0.04) was lower.

ÍNDICE GENERAL:

DEDICATORIAS.	V
AGRADECIMIENTOS.	VI
RESUMEN.	VII
ABSTRACT.	IX
ÍNDICE GENERAL.	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.	XVI
ÍNDICE DE GRÁFICOS.	XVIII
ÍNDICE DE TABLAS.	XIX
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.	XXIII

1. Marco conceptual.	1
1.1. Introducción.	2
1.2. Antecedentes de la fase subacuática de nado.	3
1.2.1. La fase subacuática de nado tras la salida.	4
1.2.2. La fase subacuática de nado tras el viraje.	6
1.2.3. La fase subacuática de nado en competición.	7
1.2.4. Características de la fase subacuática de nado.	9
1.3. Fases que integran la fase subacuático de nado.	17
1.3.1. Fase del deslizamiento subacuático.	17
1.3.1.1. <i>El deslizamiento subacuático tras la salida y el viraje.</i>	18
1.3.1.2. <i>Alineación y posición del cuerpo durante el deslizamiento subacuático.</i>	20
1.3.1.3. <i>La eficiencia del deslizamiento subacuático.</i>	22
1.3.1.4. <i>Influencia de las características antropométricas durante el deslizamiento subacuático.</i>	24
1.3.1.5. <i>Profundidad durante el deslizamiento subacuático.</i>	26
1.3.1.6. <i>Análisis de la velocidad de deslizamiento subacuático.</i>	30
1.3.1.6.1. <i>Transición durante el deslizamiento subacuático.</i>	31
1.3.2. Fase del movimiento ondulatorio subacuático.	35
1.3.2.1. <i>Antecedentes del movimiento ondulatorio subacuático.</i>	35
1.3.2.2. <i>Rendimiento del movimiento ondulatorio subacuático.</i>	36
1.3.2.3. <i>Análisis de la velocidad del movimiento ondulatorio subacuático.</i>	40
1.3.2.4. <i>El batido subacuático durante el movimiento ondulatorio subacuático.</i>	47
1.3.2.4.1. <i>Análisis propulsivo del batido subacuático.</i>	47
1.3.2.4.1.1. <i>Batido subacuático y brazada en superficie.</i>	47
1.3.2.4.1.2. <i>Influencias articulares sobre el batido subacuático.</i>	48
1.3.2.4.1.3. <i>Análisis del batido subacuático en función del nivel de rendimiento.</i>	50
1.3.2.4.1.4. <i>Posición del batido subacuático.</i>	51
1.3.2.4.1.5. <i>Técnicas de medición y análisis del batido subacuático.</i>	53
1.3.2.4.2. <i>Frecuencia y longitud del batido subacuático.</i>	57
1.3.2.4.2.1. <i>Frecuencia del batido subacuático.</i>	58
1.3.2.4.2.2. <i>Longitud del batido subacuático.</i>	61

1.3.3. Fase de transición subacuática al nado en superficie.	67
1.3.3.1. <i>Análisis de la velocidad subacuática de transición al nado en superficie.</i>	72
1.4. Justificación de la investigación.	74
2. Objetivo e Hipótesis	75
2.1. Objetivo de la investigación.	76
2.2. Hipótesis.	76
3. Material y metodología de la investigación	79
3.1. Tipo de investigación	80
3.2. Muestra	81
3.3. Procedimiento para la adquisición de datos.	82
3.3.1. Modelo teórico del cuerpo de nado.	83
3.3.2. Modelo mecánico de movimiento.	84
3.3.3. Fotogrametría DLT.	86
3.3.4. Fotogrametría 2D.	89
3.3.5. Registro de los datos.	90
3.3.5.1. <i>Ubicación y preparación de las cámaras.</i>	90
3.3.5.2. <i>Filmación del sistema de calibración.</i>	94
3.3.5.3. <i>Filmación del movimiento subacuático.</i>	98
3.3.6. Procesamiento de los datos.	100
3.3.7. Validación de técnica experimental.	103
3.4. Variables a estudio.	108
3.4.1. Definición y cálculo de variables independientes y dependientes.	108
3.5. Tratamiento estadístico.	113
3.5.1. Tratamiento estadístico durante la salida con empuje.	114
4. Resultados.	117
4.1. Caracterización de la fases en la salida con empuje.	118
4.1.1. Tiempo, distancia y velocidad en las fases de la salida con empuje.	119
4.1.2. Tiempo, distancia y velocidad del género de nado en cada fase de la salida con empuje.	121
4.1.3. Tiempo, distancia y velocidad del estilo de nado en cada fase de la salida con empuje.	122
4.1.4. Contribución porcentual de cada fase en la salida con empuje.	123
4.1.5. Correlación entre fases durante la salida con empuje.	127
4.1.5.1. <i>Correlación entre fases en las mediciones de tiempo.</i>	127
4.1.5.2. <i>Correlación entre fases en las mediciones de distancia.</i>	129
4.1.5.3. <i>Correlación entre fases en las mediciones de velocidad.</i>	131
4.2. Influencia del género y el estilo de nado en cada fase de la salida con empuje.	134
4.2.1. Análisis multivariante de la salida con empuje.	134
4.2.2. Análisis univariante de la salida con empuje.	134

4.2.3. Influencia del género y el estilo de nado en la fase subacuática.	135
4.2.4. Análisis multivariante del género y el estilo de nado en la salida con empuje.	135
4.2.5. Análisis univariante entre el estilo y el género durante la salida con empuje.	137
4.2.6. Influencia del estilo en el tiempo de cada fase de la salida con empuje.	137
4.2.7. Influencia del estilo en la distancia recorrida de cada fase de la salida con empuje.	139
4.2.8. Influencia del estilo en la velocidad de cada fase de la salida con empuje.	140
4.2.9. Influencia del género y el estilo en el tiempo de cada fase de la salida con empuje.	141
4.2.10. Influencia del género y el estilo en la distancia de cada fase de la salida con empuje.	142
4.2.11. Influencia del género y el estilo en la velocidad de cada fase de la salida con empuje.	143
4.3. Análisis cinemático del movimiento ondulatorio subacuático durante la salida con empuje.	145
4.3.1. Análisis multivariante del movimiento ondulatorio subacuático en la salida con empuje.	147
4.3.2. Análisis univariante del movimiento ondulatorio subacuático en de la salida con empuje.	147
4.3.3. Análisis de la influencia del género y del estilo de nado durante el movimiento ondulatorio subacuático en la salida con empuje.	148
5. Discusión	151
5.1. Caracterización de las diferentes fases de la salida con empuje.	152
5.1.1. Caracterización de la fase del deslizamiento subacuático en la salida con empuje.	152
5.1.1.1. <i>Tiempo del deslizamiento subacuático.</i>	152
5.1.1.2. <i>Distancia del deslizamiento subacuático.</i>	153
5.1.1.3. <i>Velocidad del deslizamiento subacuático.</i>	154
5.1.2. Caracterización de la fase del movimiento ondulatorio subacuático en la salida con empuje con empuje.	155
5.1.2.1. <i>Tiempo del movimiento ondulatorio subacuático.</i>	155
5.1.2.2. <i>Distancia del movimiento ondulatorio subacuático.</i>	156
5.1.2.2. <i>Velocidad del movimiento ondulatorio subacuático.</i>	156
5.1.3. Caracterización de la fase de la transición al nado en la salida con empuje.	158
5.1.4. Caracterización del total de la salida con empuje.	158
5.1.4.1. <i>Tiempo total de la salida.</i>	159
5.1.4.2. <i>Distancia total de la salida.</i>	160
5.1.4.3. <i>Velocidad total de la salida.</i>	160
5.1.5. Análisis correlacional en la caracterización de la salida con empuje.	161

5.1.5.1. Correlaciones de tiempo para las fases de la salida con empuje según el estilo de nado.	161
5.1.5.2. Correlaciones de distancia para las fases de la salida con empuje según el estilo de nado.	162
5.1.5.3. Correlaciones de velocidad para las fases de la salida con empuje según el estilo de nado.	163
5.2. Influencia del género y del estilo de nado en la fase subacuática de la salida con empuje.	165
5.2.1. Influencia del género en la fase subacuática de la salida con empuje.	165
5.2.1.1. Distancia subacuática en función del género de nado.	165
5.2.1.2. Velocidad subacuática en función del género de nado.	165
5.2.1.3. Tiempo subacuático en función del género de nado.	166
5.2.2. Influencia del estilo en la fase subacuática de la salida con empuje.	167
5.2.2.1. Distancia subacuática en función del estilo de nado.	167
5.2.2.2. Velocidad subacuática en función del estilo de nado.	168
5.2.2.3. Tiempo subacuático en función del estilo de nado.	169
5.2.3. Influencia del género en las diferentes fases de la salida con empuje.	170
5.2.3.1. Comparación de tiempo/distancia/velocidad entre géneros en la fase del deslizamiento subacuático.	170
5.2.3.2. Comparación de tiempo/distancia/velocidad entre géneros en la fase del movimiento ondulatorio subacuático.	171
5.2.3.3. Comparación de tiempo/distancia/velocidad entre géneros en la fase de transición al nado en superficie.	172
5.2.4. Influencia del estilo en las diferentes fases de la salida con empuje.	173
5.2.4.1. Comparación de tiempo/distancia/velocidad entre estilos en la fase del deslizamiento subacuático.	173
5.2.4.2. Comparación de tiempo/distancia/velocidad entre estilos en la fase del movimiento ondulatorio subacuático.	175
5.2.4.3. Comparación de tiempo/distancia/velocidad entre estilos en la fase de transición al nado en superficie.	177
5.3. Análisis cinemático del batido subacuático durante el movimiento ondulatorio subacuático.	179
5.3.1. Caracterización de la frecuencia, longitud y velocidad del batido subacuático durante el movimiento ondulatorio subacuático.	179
5.3.1.1. Caracterización de la frecuencia del batido subacuático.	179
5.3.1.2. Caracterización de la longitud del batido subacuático.	180
5.3.1.3. Caracterización de la velocidad del batido subacuático.	181
5.3.2. Influencia del género, el estilo y la interacción entre ambos durante el batido subacuático en el movimiento ondulatorio subacuático.	182
5.3.2.1. Influencia del género durante el batido subacuático.	182
5.3.2.2. Influencia del estilo de nado durante el batido subacuático.	183
5.3.2.2.1. Diferencias en la velocidad del batido subacuático en función del estilo.	183

5.3.2.2.2. <i>Diferencias en la frecuencia del batido subacuático en función del estilo.</i>	185
5.3.2.2.3. <i>Diferencias en la longitud del batido subacuático en función del estilo.</i>	186
5.3.2.2.4. <i>Diferencias del batido subacuático en función del estilo.</i>	187
5.3.2.3. <i>Influencia del género y del estilo de nado durante el batido subacuático en el movimiento ondulatorio subacuático.</i>	188
5.3.2.3.1. <i>Diferencias en la velocidad del batido subacuático entre género y estilo.</i>	188
5.3.2.3.2. <i>Diferencias en la frecuencia del batido subacuático entre género y estilo.</i>	189
5.3.2.3.3. <i>Diferencias en la longitud del batido subacuático entre género y estilo.</i>	190
6. Conclusiones.	191
6.1. Conclusiones del estudio.	192
6.2. Futuras investigaciones.	195
6.3. Limitaciones del estudio.	196
6.4. Aplicaciones prácticas.	196
7. Bibliografía.	199
Anexos.	225

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1a: Fase de deslizamiento subacuático que forma la fase subacuática.	9
Figura 1b: Fase del movimiento ondulatorio subacuático que forma la fase subacuática.	10
Figura 1c: Fase de transición al nado que forma la fase subacuática.	10
Figura 1d: Fase de nado en superficie tras la fase subacuática.	10
Figura 2: Esquema de las partes que integran la fase subacuática.	17
Figura 3: Posición hidrodinámica adoptada durante la fase de deslizamiento en los estilos de crol, espalda y mariposa.	20
Figura 4: Fase del movimiento ondulatorio subacuático del estilo crol y mariposa.	35
Figura 5: Fase del movimiento ondulatorio subacuático del estilo espalda.	35
Figura 6: Fase de propulsión subacuática a través del batido alterno de pies en el estilo de crol.	67
Figura 7: Fase de propulsión subacuática a través del batido alterno de pies en el estilo de espalda.	68
Figura 8: Fases de nado del estilo crol.	85
Figura 9: Fases de nado del estilo espalda.	86
Figura 10: Fases de nado del estilo mariposa.	86
Figura 11: Cálculo de las coordenadas 3D de puntos a partir de las coordenadas proyectadas en dos o más cámaras. (Figura tomada de Navarro, 2004).	87
Figura 12: Diagrama sobre el posicionamiento y ubicación de las cámaras.	91
Figura 13: Esquema diferenciado de las fases que forman el nado subacuático del nadador.	92
Figura 14: Localización de la vidriera y cámara 1.	93
Figura 15: Localización de la vidriera y cámara 2.	93
Figura 16: Localización de los puntos de control dentro del espacio calibrado.	95
Figura 17: Zonas 1 de calibración de la cámara 1.	96
Figura 18: Zonas 2 de calibración de la cámara 1.	96
Figura 19: Zonas 3 de calibración de la cámara 1.	96
Figura 20: Zonas 4 de calibración de la cámara 2.	97
Figura 21: Zonas 5 de calibración de la cámara 2.	97
Figura 22: Mosquetones, cuerdas y pesas para el sistema de calibración.	98
Figura 23: Tubos para el sistema de calibración.	98
Figura 24: Señal de preparado por parte de los nadadores para la realización de la prueba.	99
Figura 25: Imagen de la fase del movimiento ondulatorio subacuático de los estilos de crol, espalda y mariposa.	99
Figura 26: Hoja de registro del análisis cinemático de la salida con empuje.	100
Figura 27: Software utilizado para la digitalización de las imágenes subacuáticas en la vidriera 1.	101

Figura 28: Software utilizado para la digitalización de las imágenes subacuáticas en la vidriera 2.	102
Figura 29: Software utilizado para el cálculo de coordenadas reales a partir de las coordenadas en píxeles.	103
Figura 30: Localización del punto de control dentro del espacio calibrado a 5 m.	106
Figura 31: Localización del punto de control dentro del espacio calibrado a 10 m.	107
Figura 32: Localización del punto de control dentro del espacio calibrado a 15 m.	107

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Contribución en tiempo dentro de la fase total de la salida con empuje de crol en nadadores de nivel nacional.	125
Gráfico 2: Contribución en tiempo dentro de la fase total de la salida con empuje de espalda en nadadores de nivel nacional.	125
Gráfico 3: Contribución en tiempo dentro de la fase total de la salida con empuje de mariposa en nadadores de nivel nacional.	125
Gráfico 4: Contribución en distancia dentro de la fase total de la salida con empuje de crol en nadadores de nivel nacional.	126
Gráfico 5: Contribución en distancia dentro de la fase total de la salida con empuje de espalda en nadadores de nivel nacional.	126
Gráfico 6: Contribución en distancia dentro de la fase total de la salida con empuje de mariposa en nadadores de nivel nacional.	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Velocidad (m/s) durante la fase subacuática de nado.	14
Tabla 2: Resumen de los estudios más relevantes que analizan la fase subacuática de nado.	15 y 16
Tabla 3: Resumen de los estudios más relevantes que analizan el deslizamiento durante la fase subacuática.	27 a 29
Tabla 4: Velocidad (m/s) de deslizamiento subacuático.	33
Tabla 5: Resumen de los estudios más relevantes que analizan la velocidad de deslizamiento durante la fase subacuática.	34
Tabla 6: Resumen de los estudios más relevantes que analizan el movimiento ondulatorio subacuático durante la fase subacuática.	39
Tabla 7: Velocidades (m/s) más significativas durante la fase del movimiento ondulatorio subacuático.	44
Tabla 8: Resumen de los estudios más relevantes que analizan la velocidad del movimiento ondulatorio subacuático durante la fase subacuática.	45 y 46
Tabla 9: Resultados sobre la velocidad (m/s), la frecuencia (Hz) y la longitud (m) durante el batido subacuático.	54
Tabla 10: Resumen de los estudios más relevantes que analizan el batido subacuático.	55 y 56
Tabla 11: Aspectos destacables de la frecuencia del batido subacuático según las investigaciones halladas en la literatura.	60
Tabla 12: Aspectos destacables de la longitud del batido subacuático según las investigaciones halladas en la literatura.	62
Tabla 13: Resultados de velocidad (m/s), frecuencia (Hz) y longitud (m) más significativas durante el batido subacuático.	63
Tabla 14: Resumen de los estudios más relevantes que analizan la frecuencia, longitud y velocidad del batido subacuático.	64 a 66
Tabla 15: Resumen de los estudios más relevantes que analizan la propulsión subacuática y la transición del buceo al nado.	71
Tabla 16: Velocidades (m/s) más significativas durante la transición al nado en superficie.	73
Tabla 17: Criterios taxonómicos sobre diferentes tipos de observación (Adaptado de Anguera et al., 2000).	81
Tabla 18: Valores promedios, mínimos y máximos de la edad, el peso, la estatura y la experiencia de nado en función del género.	82
Tabla 19: Resultados sobre la fiabilidad de los datos.	108
Tabla 20: Fases y criterios de delimitación.	109
Tabla 21: Variables medidas en la fase de deslizamiento subacuático.	110
Tabla 22: Variables medidas en la fase del movimiento ondulatorio subacuático.	110
Tabla 23: Variables del batido subacuático medidas durante el movimiento ondulatorio subacuático.	111

Tabla 24: Variables medidas en la fase de transición al nado.	111
Tabla 25: Variables medidas en la fase de nado en superficie.	111
Tabla 26: Variables medidas en la fase subacuática de nado.	112
Tabla 27: Variables medidas en la fase total.	112
Tabla 28: Resultados descriptivos del análisis entre fases en función del tiempo (s), distancia (m) y velocidad (m/s).	118
Tabla 29: Tiempo (s) empleado por nadadores competitivos de nivel nacional en las diferentes fases de la salida con empuje según género y estilo.	119
Tabla 30: Tiempo (s) empleado por nadadores competitivos de nivel nacional en la fase subacuática total y la fase total de la salida con empuje según género y estilo.	119
Tabla 31: Distancia (m) recorrida por nadadores competitivos de nivel nacional en las diferentes fases de la salida con empuje según género y estilo.	120
Tabla 32: Distancia (m) recorrida por nadadores competitivos de nivel nacional en la fase subacuática total y la fase total de la salida con empuje según género y estilo.	120
Tabla 33: Velocidad (m/s) registrada por nadadores competitivos de nivel nacional en las diferentes fases de la salida con empuje según género y estilo.	120
Tabla 34: Velocidad (m/s) registrada por nadadores competitivos de nivel nacional en la fase subacuática total y la fase total de la salida con empuje según género y estilo.	121
Tabla 35: Resultados descriptivos del género de nado en cada fase de la salida con empuje para las mediciones de tiempo (s), distancia (m) y velocidad (m/s).	121
Tabla 36: Resultados descriptivos sobre la influencia del estilo de crol en cada fase de la salida con empuje para las mediciones de tiempo (s), distancia (m) y velocidad (m/s).	122
Tabla 37: Resultados descriptivos sobre la influencia del estilo de espalda en cada fase de la salida con empuje para las mediciones de tiempo (s), distancia (m) y velocidad (m/s).	122
Tabla 38: Resultados descriptivos sobre la influencia del estilo de mariposa en cada fase de la salida con empuje para las mediciones de tiempo (s), distancia (m) y velocidad (m/s).	123
Tabla 39: Análisis correlacional entre las mediciones de tiempo (s) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de crol.	127
Tabla 40: Análisis correlacional entre las mediciones de tiempo (s) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de espalda.	128
Tabla 41: Análisis correlacional entre las mediciones de tiempo (s) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de mariposa.	128
Tabla 42: Análisis correlacional entre las mediciones de distancia (m) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de crol.	129

Tabla 43: Análisis correlacional entre las mediciones de distancia (m) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de espalda.	130
Tabla 44: Análisis correlacional entre las mediciones de distancia (m) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de mariposa.	130
Tabla 45: Análisis correlacional entre las mediciones de velocidad (m/s) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de crol.	131
Tabla 46: Análisis correlacional entre las mediciones de velocidad (m/s) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de espalda.	132
Tabla 47: Análisis correlacional entre las mediciones de velocidad (m/s) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de mariposa.	133
Tabla 48: Análisis multivariante de los parámetros de salida con empuje en función de la fase, el estilo y el género de los nadadores.	134
Tabla 49: Análisis univariante de los parámetros de la salida con empuje en función de la fase, el estilo y el género de los nadadores para las mediciones de tiempo (s), distancia (m) y velocidad (m/s).	135
Tabla 50: Análisis multivariante de los parámetros de la salida con empuje en función del estilo y el género de los nadadores.	135
Tabla 51: Diferencias entre géneros en el tiempo (s), distancia (m) y velocidades (m/s) recorridas durante la fase total de la salida con empuje.	136
Tabla 52: Diferencias entre estilos en el tiempo (s), distancia (m) y velocidades (m/s) recorridas durante la fase total de la salida con empuje.	136
Tabla 53: Resultados del análisis univariante en el estilo, el género y su interacción en la salida con empuje para las mediciones de tiempo (s), distancia (m) y velocidad (m/s).	137
Tabla 54: Diferencias entre fase*estilo en función de las mediciones de tiempo (s) durante el inicio de la salida con empuje.	138
Tabla 55: Diferencias entre fase*estilo en función de las mediciones de distancia (m) durante el inicio de la salida con empuje.	139
Tabla 56: Diferencias entre fase*estilo en función de las mediciones de velocidad (m/s) durante el inicio de la salida con empuje.	140
Tabla 57: Diferencias entre fase*género*estilo en función de las mediciones de tiempo (s) durante el inicio de la salida con empuje.	141
Tabla 58: Diferencias entre fase*género*estilo en función de las mediciones de distancia (m) durante el inicio de la salida con empuje.	142
Tabla 59: Diferencias entre fase*género*estilo en función de las mediciones de velocidad (m/s) durante el inicio de la salida con empuje.	143
Tabla 60: Número de batidos del movimiento ondulatorio subacuático durante la salida con empuje en nadadores de nivel nacional.	145
Tabla 61: Frecuencia (Hz), longitud (m) y velocidad (m/s) promedio en los ciclos del batido subacuático en nadadores de nivel nacional durante la salida con empuje.	145

Tabla 62: Frecuencia (Hz), longitud (m) y velocidad (m/s) promedio en los ciclos del batido subacuático por género en nadadores de nivel nacional durante la salida con empuje.	146
Tabla 63: Frecuencia (Hz), longitud (m) y velocidad (m/s) promedio en los ciclos del batido subacuático por estilos en nadadores de nivel nacional durante la salida con empuje.	146
Tabla 64: Análisis multivariante entre el estilo y el género de los parámetros cíclicos del movimiento ondulatorio subacuático en nadadores de nivel nacional durante la salida con empuje.	147
Tabla 65: Resultados del análisis univariante entre el estilo y el género en la fase del movimiento ondulatorio subacuático durante la salida con empuje para las mediciones de frecuencia (Hz), longitud (m) y velocidad (m/s).	147
Tabla 66: Diferencias entre el género y el estilo en función de las mediciones de longitud (m) y velocidad (m/s) del batido subacuático.	148
Tabla 67: Diferencias entre el estilo y el género en función de las mediciones de frecuencia (Hz), longitud (m) y velocidad (m/s) del batido subacuático.	149

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Análisi de varianza = ANOVA

Deslizamiento = DES

Desviación estándar = SD

Distancia del deslizamiento subacuático = D_DES

Distancia del movimiento ondulatorio subacuático = D_MOS

Distancia de transición al nado = D_TRAN

Distancia de nado en superficie = D_SUP

Distancia subacuática de nado = D_SUB

Distancia total de nado = D_TOT

Dos Dimensiones = 2D

Fase del deslizamiento subacuático = F_DES

Fase del movimiento ondulatorio subacuático = F_MOS

Fase de nado en superficie = F_SUP

Fase de transición al nado = F_TRAN

Fase subacuática de nado = F_SUB

Fase total de nado = F_TOT

Federación internacional de natación = FINA

Femenino = Fem

Frecuencia del batido subacuático = F_BAT

Fotogramas por segundo = FPS

Grados de libertad = g.l

Hercios = Hz

Índice correlacional = r

Longitud del batido subacuático = L_BAT

Masculino = Masc

Metro, longitud = m

Metro por segundo = m/s

Movimiento ondulatorio subacuático = MOS

Nado subacuático = SUB

Nado superficie = SUP

Nado total = TOT

Número = n°

Transición al nado = TRAN

Tiempo del deslizamiento subacuático = T_DES

Tiempo del movimiento ondulatorio subacuático = T_MOS

Tiempo de transición al nado = T_TRAN

Tiempo de nado en superficie = T_SUP

Tiempo subacuático de nado = T_SUB

Tiempo total de nado = T_TOT

Transformación lineal directa = DLT

Por ejemplo = e.g.

Segundo = s

Velocidad del batido subacuático = V_{BAT}

Velocidad del deslizamiento subacuático = V_{DES}

Velocidad del movimiento ondulatorio subacuático = V_{MOS}

Velocidad de transición al nado = V_{TRAN}

Velocidad de nado en superficie = V_{SUP}

Velocidad subacuática de nado = V_{SUB}

Velocidad total de nado = V_{TOT}

Versus = vs

1. MARCO CONCEPTUAL.

1.1. INTRODUCCIÓN.

Los deportistas de élite se suelen caracterizar por sus altos niveles técnicos, tácticos, físicos y psicológicos. Sin embargo, lograr una o varias mejoras en algunos de estos aspectos, posiblemente supondría un incremento del rendimiento de dichos deportistas. De la misma manera, y al igual que en muchos otros deportes, el uso de la biomecánica en general y de la investigación aplicada al campo de natación competitiva en particular, han hecho ver que el rendimiento del nadador está fuertemente ligado a su nivel técnico. Cala, Veiga y Navarro (2007), en su propuesta de apoyo biomecánico al entrenamiento en natación, concluyeron que para proporcionar un apoyo eficaz al entrenamiento, es imprescindible encontrar el equilibrio perfecto entre entrenador e investigador. Para ello, el entrenamiento necesita de un apoyo desde determinadas Ciencias del Deporte, y en el caso de la natación, la biomecánica juega un papel fundamental en un deporte eminentemente técnico. Para autores como Elipot, Houel, Hellard y Dietrich (2010b), su correcta optimización requiere de un análisis preciso de los movimientos generados por los nadadores. Por lo tanto, es aquí donde la biomecánica deportiva proporciona herramientas precisas que permiten analizar y sin duda ayudar a comprender, cómo los nadadores de alto nivel son capaces de producir patrones motores específicos, adecuados y eficaces (Elipot et al., 2010b).

Sanders (2002) ya destacó tres objetivos generales a tener en cuenta a la hora de examinar la técnica de nado, respecto a la maximización y/o optimización del rendimiento en la natación:

- La minimización del impulso de resistencia a cualquier velocidad;
- La maximización del impulso propulsor; y,
- La restricción del coste fisiológico.

Sin embargo, es preciso reconocer que este planteamiento de mejora se está convirtiendo en un objetivo difícil de conseguir, debido a que el nivel de nado de los nadadores de élite cada vez va aumentando, haciendo que las posibilidades de mejorar en al menos algún aspecto, ya sea técnico, táctico o fisiológico, sea cada vez más difícil.

1.2. ANTECEDENTES DE LA FASE SUBACUÁTICA DE NADO.

En los Juegos Olímpicos de Moscú de 1980 se empezó a prolongar la fase de nado subacuático a través del nado ondulatorio. Pero hasta la fecha, y en las piscinas autorizadas por la Federación Internacional de Natación (FINA) y según dictamina el reglamento, la fase subacuática máxima después de la salida y el viraje, comprende la distancia de 15 m (para braza desde 1956, espalda desde 1988, y en 1998 para mariposa). Esta delimitación, fue establecida debido a que algunos nadadores especializados se dieron cuenta de que nadar 25 m o más bajo el agua, les proporcionaba una ventaja de tiempo y distancia en comparación con sus competidores durante el nado en superficie.

Un ejemplo claro lo demostró el mariposista ruso Denís Pankrátov que ganó en los Juegos Olímpicos de Atlanta de 1996, los 100 y 200 m mariposa por los tramos nadados bajo el agua, antes de comenzar el nado en superficie tras la salida y el viraje. Desde entonces, empezó a aparecer el llamado movimiento ondulatorio subacuático que se ha establecido después de la salida y los virajes en la natación competitiva (Hochstein y Blickhan, 2011). Por ello, reconocer la importancia que este movimiento tiene en cuanto al tiempo de nado total (Mason y Cossor, 2000) y qué influencia podría tener durante la cinemática del nado, han hecho que los investigadores busquen parámetros evaluables que ayuden al rendimiento durante la fase subacuática de nado.

Grimston y Hay (1986), dividieron la prueba de natación en diferentes fases: *salida, nado, viraje y llegada*. Esta distribución ha generado que los tiempos parciales de cada una de ellas (de salida, de nado, de viraje y de llegada) y cómo afectan al tiempo total, han sido objeto de estudios cuantitativos en diferentes variables cinemáticas en función de diversos factores a lo largo de la literatura científica (para más información ver: Trinidad y Lorenzo, 2012). Pero en contraste con esta diferenciación de etapas dentro de la prueba de nado, la fase subacuática de la salida y el viraje según señalan Vilas-Boas et al. (2010), es un tramo crucial para el rendimiento de la prueba, con la excepción de la inmersión que representa la parte más rápida de la prueba (Marinho et al., 2009).

1.2.1. LA FASE SUBACUÁTICA DE NADO TRAS LA SALIDA.

Centrándose en dos de las fases descritas por Grimston y Hay (1986), los estudios sobre el análisis global de la salida han demostrado que la fase subacuática es determinante para lograr un buen rendimiento en el inicio el nado (Mason y Cossor, 2001; Shin y Groppel, 1986; Pereira, Ruschel y Araújo, 2006; Ruschel, Araújo, Pereira y Roesler, 2007), además de ser la parte más importante de las fases que la integran (e.g.: Elipot et al., 2009; Naemi, Easson y Sanders, 2010; Sanders, 2002; Thow, Naemi y Sanders, 2012; Tor, Pease y Ball, 2014; Vantorre, Seifert, Fernandes, Vilas-Boas y Chollet, 2010a, b, c; Vilas-Boas, Cruz, Sousa, Conceição y Carvahlo, 2000, 2003).

En diferentes estudios como los Pereira, Ruschel y Araújo (2006) y sobre todo en los de Ruschel et al. (2007) con cuatro nadadores de categoría nacional y estatal tras realizar la salida, llegaron a la conclusión de que la combinación entre el tiempo ($2,70 \pm 0,36$ s) y la distancia subacuática ($5,75 \pm 0,87$ m) influyeron en el tiempo total hasta los 15 m ($6,97 \pm 0,25$ s), debido a la fuerte relación entre la velocidad subacuática ($2,70 \pm 0,36$ m/s) y el rendimiento de salida (desde la entrada de la cabeza hasta la primera brazada). Sin embargo, para Cala, Veiga y Navarro (2007) en su propuesta de apoyo biomecánico al entrenamiento en natación, y concretamente en el estudio con nadadores internacionales sobre el análisis biomecánico de la fase de la salida, mostraron mayor tiempo (4,42 s) y distancia subacuática (6,75 m) con un menor índice de velocidad (1,52 m/s) frente a los anteriores estudios (Pereira, Ruschel y Araújo, 2006; Ruschel et al., 2007).

Otras investigaciones como las de Tor, Pease y Ball (2014) que han analizado las características de la salida de atletismo con cincuenta y dos nadadores de élite tomando como referencia la cabeza, han encontrado un índice del 56% (3,69 s) en la fase subacuática y un 28% (1,81 s) en el nado en superficie. Este dato, concuerda con las investigaciones de Burkett, Mellifont y Mason (2010) tras analizar la influencia de los componentes de la salida en veinte nadadores olímpicos, siendo del 54% ($3,39 \pm 0,77$ s) y 21% ($1,35 \pm 0,66$ s), aunque fue inferior al dato revelado por Slawson, Conway, Cossor, Chakravorti y West (2013) con un 84% tras estudiar también la salida. Además, para estos autores la velocidad y distancia subacuática fueron de

2,69±0,42 m/s y 8,87±0,66 m (59%) en comparación con los menores datos descubierto durante nado en superficie (2,38±0,23 m/s y 2,96±1,07 m). Asimismo, obtuvieron una alta correlación entre ambas fases para el tiempo ($r= 0,88$), la distancia ($r= - 0,85$) y la velocidad ($r= -0,56$), llegando a la conclusión de que una mejora de la posición hidrodinámica aumentaría la velocidad subacuática, asegurando la transición a la superficie en el momento idónea para así obtener la máxima velocidad de nado libre.

En los estudios de Tor, Pease y Ball (2014) sobre la fase subacuática y el nado en superficie en función del género. El tiempo de los hombres fue de un 61% (3,72 s) y 23% (1,39 s) en comparación con las mujeres que fue del 51,9% (3,67 s) y 33,1% (2,34 s). Centrándose en la fase subacuática, el tiempo y la velocidad hallados en los hombres (3,71±0,86 s y 2,5±0,17 m/s) fue superior al de las mujeres (3,68±1,11 s y 2,23±0,13 m/s), menos en el tiempo descrito hasta los 15 m (7,07±0,28 s frente a 6,12±0,16 s), aunque para ambos géneros fueron iguales los tiempos de nado en superficie (4,73 s). Por consiguiente, estos autores llegaron a la conclusión que la fase subacuática se destacó claramente debido al tiempo invertido por los nadadores. Además, fueron claras las variaciones en el rendimiento de la salida entre hombres y mujeres debido a que estos fueron capaces de generar más fuerza y velocidad en las primeras fases de la salida, lo cual se tradujo en una actuación más rápida por lo general.

En las comparaciones en función del estilo de nado, Tor, Pease y Ball (2014) observaron que el tiempo de nado subacuático y de superficie (4,52±0,58 s y 5,56±0,61 s) fue mayor en mariposa en que el estilo de crol (3,42±0,92 s y 4,46±0,92 s). Por el contrario, el tiempo hasta los 15 m y la velocidad subacuática fueron mayores en el estilo de crol (6,55±0,54 s y 2,41±0,22 m/s) que en mariposa (6,5±0,54 s y 2,29±0,13 m/s). Por lo tanto, también hallaron diferencias en los parámetros subacuáticos cuando se compararon los estilos de mariposa y crol, sin embargo, estas diferencias no dieron como resultado diferencias en el tiempo hasta los 15 m.

1.2.2. LA FASE SUBACUÁTICA DE NADO TRAS EL VIRAJE.

Del mismo modo, las investigaciones sobre el análisis de la fase del viraje de Cala, Veiga y Navarro (2007) en comparación con la fase de la salida, han mostrado menos tiempo (3,19 s), distancia (4,71 m) y velocidad subacuática (1,48 m/s). En otros estudios como los de Mason y Cossor (2001), y tras examinar las características técnicas en función del género en las finales y semifinales de todos los estilos y pruebas durante los Juegos Olímpicos de Sídney 2000, revelaron que el aspecto más significativo de los resultados fue la fase subacuática, incluyendo la acción del empuje desde la pared. El tiempo y la distancia subacuática estaban significativamente relacionados con el tiempo total del viraje para ambos géneros, lo cual coincidió con los estudios de Santos, Dias, Nogueira y Mansoldo (2011) tras examinar el tiempo de viraje total. Por tanto, a mayor distancia de nado mayor sería el tiempo empleado en la fase subacuática y más rápido sería el rendimiento durante el viraje. También Veiga, Cala, Frutos y Navarro (2014a) en su estudio con nadadores de nivel nacional recorrieron bajo el agua un máximo de 10 m después del viraje, mientras que la distancia subacuática por lo general se redujo 0,6 m a lo largo de los 200 m que duro la prueba (Veiga, Mallo, Navandar y Navarro, 2014b).

Veiga et al. (2014b) tras analizar en el Open de la Comunidad de Madrid de 2008 que efectos tenían las limitaciones del nado durante el viraje para las pruebas de 200 m, observaron que la velocidad y la distancias subacuática en los estilos de crol ($2,59 \pm 0,12$ m/s y $4,81 \pm 0,71$ m frente a $2,14 \pm 0,11$ m/s y $4,52 \pm 0,65$ m), espalda ($2,21 \pm 0,21$ m/s y $6,25 \pm 0,73$ m frente a $2,14 \pm 0,10$ m/s y $5,81 \pm 0,63$ m) y mariposa ($1,63 \pm 0,15$ m/s y $6,68 \pm 0,90$ m frente a $1,51 \pm 0,09$ m/s y $6,08 \pm 0,58$ m) de los nadadores de nivel nacional mostraron mayores valores que lo de nivel regional. En las pruebas de crol, la fase subacuática fue la más corta y la que más velocidad mostró, a pesar de que las técnicas ondulatorias no parecían ser tan largas en los nadadores de nivel intermedio, ya que la mayor parte de los parámetros del viraje no variaron a lo largo de los 200 m. Por el contrario, en las pruebas de mariposa y espalda, los nadadores sí emplearon un buen movimiento ondulatorio subacuático debido a su prolongada fase.

En otro estudio que también han analizado diferentes parámetros durante el nado subacuático en función del género y el estilo de nado en nadadores de élite. Veiga y Roig (2016b) mostraron que la velocidad subacuática promedio de los nadadores de élite tras el viraje fue mayor a 2 m/s, mientras que la distancia osciló entre 8 y 10 m para ambos géneros excepto en las pruebas de crol. La velocidad de nado en superficie fue inferior a la velocidad subacuática, ya que la distancia subacuática en los virajes de los estilos de espalda y mariposa se mantuvieron, siendo mayor en los hombres y contradiciendo la opinión de De Jesús et al. (2011a) sobre las actuaciones de las mujeres respecto a sus iguales. Aun así, la distancia subacuática disminuyó progresivamente en las pruebas de braza y crol durante los 200 m. La velocidad subacuática en función del género fue mayor para crol ($2,60 \pm 0,19$ y $2,49 \pm 0,14$ m/s), espalda ($2,15 \pm 0,10$ y $2,09 \pm 0,10$ m/s) mariposa ($1,83 \pm 0,05$ y $1,71 \pm 0,07$ m/s) y braza ($1,70 \pm 0,04$ y $1,55 \pm 0,05$ m/s). Mientras que la distancia subacuática fue mayor para espalda ($10,45 \pm 1,84$ y $7,82 \pm 1,25$ m), braza ($10,25 \pm 0,59$ y $8,55 \pm 0,48$ m), mariposa ($9,51 \pm 0,80$ y $7,61 \pm 1,09$ m) y crol ($7,09 \pm 0,99$ y $5,53 \pm 0,98$ m). Pero los autores animan tanto a entrenadores como nadadores de élite a diseñar estrategias de prueba para gestionar un nado subacuático y de superficie eficaz.

1.2.3. LA FASE SUBACUÁTICA DE NADO EN COMPETICIÓN.

También en la literatura se han encontrado otros estudios que han comparado el nivel de rendimiento de la fase subacuática entre la salida y el viraje. Para Veiga et al. (2014a) y durante el Open de la Comunidad de Madrid de 2008, observaron que independientemente del nivel de rendimiento de los nadadores las distancias subacuáticas de mariposa y de espalda fueron notablemente más prolongadas que las halladas en la literatura científica. Los nadadores de nivel nacional y regional recorrieron de 3 a 5 m y de 2 a 3 m más en la salida y viraje, respectivamente, según otros estudios con nadadores internacionales o grupos de edades (Chow, Hay, Wilson y Imel, 1984; Miller, Hay y Wilson, 1984). Además, cubrieron una distancia subacuática de entre 6 y 9 m, correspondiente a 8 - 12 batidos de delfín (Zamparo, Vicentini, Scattolini, Rigamonti y Bonifazi, 2012). Lo cual representó, una importante evolución técnica para la prueba de nado debido a la menor desaceleración y mejora de la velocidad media (Clothier, Mcelroy, Blanksby y Payne, 2000b).

En este mismo estudio, los datos de Veiga et al. (2014a) sobre las velocidades medias tras la salida y el viraje fueron mayores que las del nado en superficie (1,3 y 2,14 m/s) para los nadadores de nivel nacional (Hubert, Silveira, Freitas, Pereira y Roesler, 2006). Los nadadores de nivel nacional obtuvieron mayores velocidades y distancias más largas durante la salida y los virajes. En las pruebas de espalda y mariposa, los nadadores de nivel nacional obtuvieron distancias más largas tras la salida (12,87 y 12,16 m frente a 11,65 y 10,61 m) y el viraje (11,06 y 9,66 m frente a 9,12 y 8,17 m) que lo de nivel regional. Durante las pruebas de crol, no hubo diferencias de distancia entre los niveles, aun siendo más amplia la fase subacuática tras la salida (9,17 y 9 m) que tras el viraje (7,04 y 7 m) al igual que en los estudios de Cala, Veiga y Navarro (2007). Además, crol fue el estilo más rápido entre los dos géneros y los dos niveles de rendimiento tras la salida (2,64 y 2,39 m/s frente a 2,59 y 2,30 m/s) y los virajes del estudio (2,15 y 1,84 m/s frente a 2,06 y 1,74 m/s). Por otro lado, los hombres del estudio mostraron mayores valores medios que las mujeres en todas las mediciones. Las diferencias entre sexos (de 1 a 2 m) correspondían a los datos desde la salida (Mason y Cossor, 2001; Miller, Hay y Wilson, 1984) y el viraje (Chow et al., 1984) y podrían explicarse debido a la mayor potencia muscular de las piernas cuando se impulsaban desde la pared (Krüger, Hohmann, Kirsten y Wick, 2006; Pearson, Mcelroy, Blitvich, Subic y Blanksby, 1998; Vantorre et al., 2010c).

En otro estudio de Veiga y Roig (2016a) sobre los efectos de la salida y el viraje en los Campeonatos del Mundo del 2013 para pruebas de 100 m en nadadores de élite, observaron que las velocidades medias hasta la emersión fueron superiores a las velocidades en superficie, incluso fueron superiores a las mostradas por otros autores (Burkett, Mellifont y Mason, 2010; Tor, Pease y Ball, 2014; Vantorre et al., 2010c). Los mayores parámetros se encontraron en los hombres caracterizándose porque los tiempos de reacción fueron más cortos (Tor, Pease y Ball, 2014), sus niveles fueron mayores (Costa et al., 2014) y por la fuerza explosiva de las piernas (West, Owen, Cunningham, Cook y Kilduff, 2011). Los estilos con mayor velocidad subacuática tras la salida fueron crol ($2,17 \pm 0,07$ y $1,90 \pm 0,06$ m/s) y mariposa ($2,13 \pm 0,11$ m/s) debido a la similitud de técnica de salida (Strojnik, Strumbelj y Bednarik, 1998). Espalda fue el estilo menor de todos ($2,05 \pm 0,11$ y $1,79 \pm 0,07$ m/s) debido a que la inmersión no se realizó desde el poyete, y, por tanto, se alcanzaron velocidades más bajas durante el

despegue (De Jesús et al., 2011b). Durante la fase del viraje, nuevamente el estilo de crol fue el más rápido de todos ($1,92 \pm 0,04$ y $1,72 \pm 0,03$ m/s), junto con mariposa ($1,86 \pm 0,05$ m/s) siendo espalda el más lento de todos ($1,80 \pm 0,08$ y $1,56 \pm 0,04$ m/s). Además, observaron que la diferencia de velocidad entre la salida y el viraje estuvo marcada por cómo se realizó previamente la fase de inmersión (Lyttle, Blanksby, Elliott y Lloyd, 1999).

1.2.4. CARACTERISTICAS DE LA FASE SUBACUÁTICA DE NADO.

La fase subacuática de nado que podría denominarse como una “fase sumativa” formada por: la fase de deslizamiento subacuático, la fase del movimiento ondulatorio subacuático y la fase de transición al nado (Figura 1a, 1b, 1c). Esta precedida por otra fase no subacuática (fase de nado en superficie) que se ve influenciada por la progresión desarrollada durante los anteriores tramos subacuáticos (Figura 1d). Otros autores la han definido como: fase de deslizamiento y fase de nado ondulatorio subacuático (Maglischo, 2003; Elipot et al., 2010b). Mientras que otros investigadores tras estudiar la salida la han dividido en: fase de deslizamiento, fase del batido de piernas y fase de nado (Vantorre, Seifert, Fernandes, Vilas-Boas y Chollet, 2010a, b, c). Pero según Elipot et al. (2010b), podría definirse cómo el deslizamiento y la propulsión de las piernas a través de un nado ondulatorio y subacuático.

Figura 1a: Fase de deslizamiento subacuático que forma la fase subacuática.

Figura 1b: Fase del movimiento ondulatorio subacuático que forma la fase subacuática.

Figura 1c: Fase de transición al nado que forma la fase subacuática.

Figura 1d: Fase de nado en superficie tras la fase subacuática.

A parte de la división que la fase subacuática pueda sufrir, dentro de la prueba de nado autores como Chow et al. (1984) y Marinho et al. (2009) afirman que representa una parte importante en el tiempo total. En las pruebas de piscina corta, tiene una gran relevancia debido al número de virajes durante la fase de deslizamiento, ya que los nadadores tratan de mantener la máxima velocidad alcanzada después del impulso hasta el final de la prueba (Roig, 2010). Por otro lado, autores Lyttle, Blanksby, Elliott y Lloyd (2000) destacaron la importancia de la transición del deslizamiento al nado ondulatorio subacuático, de cara conseguir un buen rendimiento en la fase subacuática entre 1,2 y 1,8 m/s. Mientras que para García y Veiga (2015) la fase de transición hacia la superficie también presenta gran

relevancia, a pesar de no encontrar en la literatura datos que pudieran aportar información relevante a los entrenadores.

Con todo ello, los estudios de Houel, Elipot, Andrée y Hellard (2010, 2013) propusieron cuatro principios que podrían ayudar a mejorar la fase subacuática como:

- Ser hidrodinámico con un ajuste lineal del tronco y de los segmentos superiores del cuerpo al comienzo de la fase de deslizamiento subacuático;
- Comenzar el batido de delfín después de los 5,5 - 6 m con una alta frecuencia ondulatoria;
- Moverse como un delfín utilizando sólo los pies y los segmentos de la pierna durante el nado subacuático ondulatorio; y, por último,
- Utilizar un tiempo óptimo de coordinación de los segmentos inferior del cuerpo para mejorar la fuerza de propulsión.

Otra de las características que posee la fase subacuática es el uso exclusivo del batido, que es al menos más eficaz que el nado en superficie en todo su recorrido (Vorontsov y Rumyantsev, 2000b). El uso del batido de piernas o batido de delfín con una alta frecuencia de ondulación (Houel et al., 2010, 2013) y una correcta posición hidrodinámica (Mason y Cossor, 2001; Guimarães y Hay, 1985; Vilas-Boas et al., 2000) mejoraría la fase subacuática, siendo lo ideal para Sanders (2003) empezar aproximadamente 1 s después de la entrada en el agua. Sin embargo, y a la vista de los resultados otros autores (Blanksby, Gathercole y Marshall, 1996; Sanders y Byatt-Smith, 2001; Lyttle et al., 2000; Lyttle y Benjanuvatra, 2005) han demostrado que durante el nado subacuático y una vez finalizada la fase de deslizamiento, los nadadores podrían perder el tiempo al retrasarse o anticiparse en el inicio del batido de piernas, llegando incluso a generar un incremento de la resistencia hidrodinámica y una pérdida de velocidad.

De hecho, en los estudios llevados a cabo por De Jesús, De Jesús, Machado, Fernandes y Vilas-Boas (2012), atribuyen al efecto de la fatiga un inicio anticipado el batido tras no llegar a la velocidad máxima del movimiento ondulatorio subacuático en los

nadadores de su estudio. Por otro lado, tampoco descartaron que un incremento de la resistencia fuera ocasionado por la fricción de onda, lo cual se originó durante la aproximación a la superficie del agua tras el final del movimiento ondulatorio subacuático (Sanders y Byatt-Smith, 2001; Loebbecke, Mittal, Fish y Mark, 2009a). Aun así, hay autores que señalan que los nadadores deberían aprender a gestionar el deslizamiento, el batido subacuático y la salida para iniciar el nado con la brazada (Elipot et al., 2009; Elipot, Dietrich, Hellard y Houel, 2010a; Elipot et al., 2010b; Maglischo, 2003; Vantorre et al., 2010c).

Por otro lado, el nado subacuático también se caracteriza por no tener un desplazamiento rectilíneo y a la misma profundidad durante la fase del deslizamiento y la propulsión subacuática, según la división que hicieron Elipot et al. (2010b). En ambos procesos, los nadadores describen una trayectoria parabólica invertida que debería ajustarse hacia la superficie y reanudación del nado. Autores como Vennell, Pease y Wilson (2006) probaron que con una velocidad subacuática alrededor de 2 m/s, la resistencia hidrodinámica generada sería más pequeña (2,4) que estando completamente sumergido. Años después Novais et al. (2012) contrastaron dichas afirmaciones, ya que en su estudio la velocidad inicial tras el impulso y la resistencia hidrodinámica podrían condicionar el rendimiento del deslizamiento y de la fase subacuática. Por consiguiente, si el nadador consiguiese minimizar tal resistencia, posiblemente mejorarían los resultados que el simple hecho de aumentar el esfuerzo durante el impulso no incrementando el coste metabólico (Lyttle et al., 1998).

En su estudio, Lyttle et al. (1998), observaron que cuando los nadadores comenzaron antes de tiempo del batido subacuático, se producía un incremento de la resistencia activa que ralentizó a sus nadadores. Pero cuando prolongaron el batido subacuático se produjo un gasto energético que luego debían de utilizar para acelerar el cuerpo hasta la velocidad de nado. Por lo tanto, sí se diese durante la fase subacuática un deslizamiento hidrodinámico eficiente, junto con una correcta trayectoria y eficaz inicio del batido subacuático, todo se traduciría en una reducción del tiempo de salida y viraje total.

Pero autores como Elipot et al. (2009), Naemi, Easson y Sanders (2010) y Thow, Naemi y Sanders (2012), tras haber investigado previamente la fase subacuática, afirmaron que has sido muy pocos los autores que han estudiado cómo influyen determinados parámetros específicos como: a) la trayectoria ideal, b) el tiempo subacuático invertido y, c) la profundidad, en la estructura y composición de la fase subacuática. Por otro lado, Tor, Pease y Ball (2014), identificaron otros parámetros claves como el tiempo hasta 10 m y el tiempo subacuático durante el descenso y el ascenso, ya que el 96% de la variación fue similar a los estudios de Guimarães y Hay (1985), quienes encontraron que la fase subacuática representó el 94% del rendimiento general de la salida. Asimismo, dichos resultados apoyan los hallazgos de las investigaciones anteriores, junto con la importancia que tiene mejorar el rendimiento de la fase subacuática (Elipot et al., 2009; Naemi y Sanders, 2008; Vantorre et al., 2010a).

Por último, otro de los aspectos del nado subacuático han sido los estudios que se han centrado en analizar los movimientos de los nadadores a través de las llamadas distancias fijas (Arellano, Brown, Cappaert y Nelson, 1994; Galbraith, Scurr, Hencken, Wood y Graham-Smith, 2008; Shimadzu, Shibata y Ohgi, 2008; Tourny-Chollet, Chollet, Hogie y Pappardopoulos, 2002; Welcher, Hinrichs y George, 2008) no relacionándose con los movimientos del nadador dentro del agua. Otros estudios, han investigando cómo la energía cinética empleada por un deportista durante su rendimiento deportivo, podría evaluar la eficacia motriz a través de un índice de cálculo (Duboy, Junqua y Lacouture, 1994; Winter, 1990). Sin embargo, Elipot et al. (2010a) afirmaron que dicha variable no se habría utilizado para estudiar la eficiencia del nadador durante la fase subacuática a través de la salida. Incluso, sí se tomaron estrategias para que los nadadores generasen un mayor empuje a través de entrenamientos de fuerza (Tor, Pease y Ball, 2014), junto con una correcta secuenciación de movimientos articulares durante la inmersión (West et al., 2011).

A modo de síntesis, han sido muchas las opiniones y estudios recogidos en la literatura sobre la fase subacuática de nado. La importancia de dicha fase queda palpable, ya no solo en la reducción del tiempo tras la fase de la salida y el viraje, sino

también a lo largo de la prueba de nado. Los beneficios y mejoras en el rendimiento en general solo se observan cuando:

- Se disminuye la resistencia,
- Se adopta una posición hidrodinámica,
- Se inicia el batido subacuático en el instante correcto, y
- La progresión hacia la superficie se hace de forma que no desacelere al nadador.

A continuación, se muestra de forma resumida en la tabla 1 las velocidades de la fase subacuática de nado expuestas por diferentes autores, junto con los estudios más significativos (Tabla 2), donde se detalla el año, las muestras, las metodologías utilizadas y las conclusiones más relevantes.

Tabla 1: Velocidad (m/s) durante la fase subacuática de nado.

AUTORES		VELOCIDAD DE LA FASE SUBACUÁTICO DE NADO				
Lyttle et al. (2000)		1,2 – 1,8				
Pereira et al. (2006)		2,18				
Vennell et al. (2006)		≈ 2				
Cala et al. (2007)		1,52 y 1,48				
Ruschel et al. (2007)		2,18				
Takeda et al. (2009)		1,91				
Burkett et al. (2010)		2,69				
Tor et al. (2014a)	Hombres 2,5	Mujeres 2,23	Crol 2,41		Mariposa 2,29	
Tor et al. (2014a)	Hombres		Mujeres			
	Crol	Espalda	Mariposa	Crol	Espalda	Mariposa
	2,64	2,08	2,43	2,39	1,82	2,25
	2,59	2	2,38	2,3	1,76	2,12
	2,15	1,81	1,79	1,84	1,60	1,64
	2,06	1,72	1,68	1,74	1,54	1,50
Veiga et al. (2014b)	Crol	Espalda		Mariposa		
	2,59	2,21		1,63		
	2,14	2,14		1,53		
Veiga et al. (2016a)	Hombres		Mujeres			
	Crol	Espalda	Mariposa	Crol	Espalda	Mariposa
	2,17	2,05	2,13	1,9	1,79	-
	1,92	1,80	1,86	1,72	1,56	-
Veiga et al. (2016b)	Hombres		Mujeres			
	Crol	Espalda	Mariposa	Crol	Espalda	Mariposa
	2,6	2,15	1,83	2,49	2,09	1,71

Tabla 2: Resumen de los estudios más relevantes que analizan la fase subacuática de nado.

AUTOR	AÑO	N	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Chow et al.	1984	152	Grabaciones de videos de 19 finalistas en pruebas individualizadas	La fase subacuática de nado representa una parte importante del tiempo total de prueba.
Guimarães y Hay	1985	24	Sistema de medición de la salida, del tiempo, la fuerza y un equipo cinematográfico	Una correcta posición hidrodinámica mejoraría la fase subacuática de nado.
Shin y Groppel	1986	11	Cámara Locam motorizada a 80 FPS, un proyector Vanguard y un digitalizador Numonics	La fase subacuática tras la salida, es determinante para lograr un buen rendimiento en el inicio del nado.
Lyttle et al.	1998	40	Cabestrante motorizado, un sistema de poleas y una célula de carga	Un deslizamiento eficiente con una correcta trayectoria y eficaz inicio del batido, disminuye el tiempo total del viraje y la salida.
Clothier et al.	2000 b	8	Videografía y plataforma de fuerza	En la fase subacuática se produce una importante evolución técnica para la prueba de nado, debido a la menor desaceleración y mejora de la velocidad media.
Lyttle et al.	2000	16	Remolque a través de un cabrestante motorizado, un sistema de poleas y una célula de carga	La transición entre el deslizamiento y el nado ondulatorio subacuático, es determinante para un buen rendimiento.
Vilas-Boas et al.	2000	11	Plataforma de fuerza (Bertec 4060-15) y 2D con doble cámara para el análisis cinemático	Una correcta posición hidrodinámica mejora la fase subacuática de nado.
Vorontsov y Rumyautsev	2000 b	-	Revisión	El nado subacuático a través del batido, es al menos más eficaz que el nado en superficie con todo su recorrido completo.
Sanders y Byatt-Smith	2001	1	Modelo matemático exponencial, registro de velocidad-tiempo, grabaciones de video digitalizada a 60 Hz, un programa de ordenador (FORTRAN), un sistema de análisis del rendimiento Ariel (APAS) y un filtro Butterworth a 6 Hz.	En el nado subacuático y tras el deslizamiento, se puede perder el tiempo en el inicio del batido, llegando a incrementar la resistencia y la pérdida de velocidad.
Vennell et al.	2006	1	Maniquí, un medidor de velocidad (Marsh, McBinney, Flow y Mate, 2000) y una célula de carga de tensión Sensotec Modelo 31/4267-06	La resistencia hidrodinámica del nadador tras la fase subacuática es más pequeña (2,4) llevando una velocidad alrededor de 2 m/s.
Elipot et al.	2009	8	Técnica DLT y datos antropométricos Dempster's	Los nadadores deben aprender a gestionar el deslizamiento, el batido subacuático y la salida para iniciar el nado con la brazada.

Tabla 2: Resumen de los estudios más relevantes que analizan la fase subacuática de nado.

AUTOR	AÑO	N	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Vilas-Boas et al.	2010	12	Planimetría, dinámica inversa y el cable Swimsensor (Universidad de Oporto, Portugal).	La fase subacuática tras la salida y el viraje, son un tramo crucial en el rendimiento de la prueba, ya que representa la parte más rápidas de la prueba.
Hochstein y Blickhan	2011	2	Velocimetría de imagen de partículas (TR-2D-PIV)	El movimiento ondulatorio en la natación competitiva se produce tras la salida y el viraje, ya que nadar bajo el agua proporciona una ventaja significativa de tiempo.
Santos et al.	2011	-	Revisión	El tiempo y la distancia subacuática se relacionan significativamente con el tiempo total del viraje, siendo el nado subacuático y el empuje los aspectos más significativos.
De Jesús et al.	2012	4	Velocímetro a 50 Hz, un MatLab Routine y un Butterworth a 10 Hz	La proximidad a la superficie tras el final del movimiento ondulatorio subacuático, aumento la resistencia debido a un mayor efecto de la fricción de onda.
Novais et al.	2012	1	Dinámica de fluido computacional, un modelo de turbulencia K-epsilon implementado en el código comercial Fluent® y un modelo tridimensional	El impulso inicial de la velocidad y la resistencia hidrodinámica, son dos factores determinantes del rendimiento del deslizamiento.
Houel et al.	2013	10	9 punto de referencia asociados a los datos antropométricos de Dempster (1959), 3 cámaras de vídeo a 25 Hz, un software Simimotion y un filtro Butterworth	Los principios para mejorar la fase subacuática son: la posición hidrodinámica, el inicio del batido (5,5-6 m) con una alta frecuencia, el batido de delfín y su fuerza propulsora.
Tor et al.	2014 b	52	Sistema de Análisis Wetplate, una plataforma de fuerza Kistler tri-axial (Z20314), dos transductores tri-axial Kistler (9601A), una placa ajustable con cuatro transductores tri-axiales (9251A) a 500 Hz, un filtro Butterworth 10 Hz, cámaras y cuatro calibradores de alta velocidad	El tiempo hasta 10 m y el tiempo subacuático en descenso y en ascenso son importante, junto con los entrenamientos de fuerza para producir un mayor empuje.
García y Veiga	2015	12	2 cámara de vídeo (JVC GY-DV500E) a 50 Hz, fotogrametría DLT-2D, un software (photo23), un software (Sincro) y un filtrado Spline de 5º orden	Un buen rendimiento en la fase subacuática viene precedido por la transición del nado a la superficie.
Veiga y Roig	2016 b	128	8 cámaras digitales (GigaEthernet) a 25 imágenes por segundo, un ordenador central con un interfaz Ethernet Gigabit y un software de análisis (InThePool® 2,0)	La velocidad de nado en superficie es inferior a la velocidad subacuática.

1.3. FASES QUE INTEGRAN LA FASE SUBACUÁTICA DE NADO.

A continuación, se muestra un esquema con las diferentes fases que forman la fase subacuática de nado (Figura 2).

Figura 2: Esquema de las partes que integran la fase subacuática.

1.3.1. FASE DEL DESLIZAMIENTO SUBACUÁTICO.

El deslizamiento dentro de la disciplina de la natación, hace referencia al instante en que el nadador intenta mantener la velocidad sin ninguna acción para impulsar su cuerpo. Para Vantorre, Chollet y Seifert (2014) comienza después de que el nadador entrar en el agua tras la salida, permaneciendo en una posición hidrodinámica,

horizontal y progresiva durante el mayor tiempo posible, gracias a la velocidad adquirida en las fases anteriores (bloqueo, vuelo y entrada). Esta fase, enmarcada entre el tiempo transcurrido desde la inmersión del dedo del pie hasta el inicio de la propulsión subacuática de las piernas, juega un papel fundamental en el rendimiento en general, ya que ocupa entre el 10-25% del tiempo total de la prueba (Chatard, Lavoie, Bourgoin y Lacour, 1990), siendo para Lyttle et al. (2000), la transición de esta fase al nado ondulatorio subacuático determinante para lograr un buen rendimiento en la fase subacuática de nado, a pesar de que para Arellano (1999), la inclusión rápida del movimiento ondulatorio subacuático en la fase de deslizamiento reduciría la resistencia.

1.3.1.1. EL DESLIZAMIENTO SUBACUÁTICO TRAS LA SALIDA Y EL VIRAJE.

Dentro de la literatura se han encontrado diferentes investigaciones que han analizado el deslizamiento tras la fase de la salida y el viraje. Autores como Hay (1986) afirmaron que el tiempo de deslizamiento se encontraba en 0,55 s tras estudiar la salida, la brazada y el viraje. Para Zatsiorsky, Bulgakova y Chaplinsky (1979) y después realizar un análisis biomecánico de la técnica de la salida con agarre en sesenta nadadores, llegaron a la conclusión de que el tiempo del deslizamiento subacuático ($1,68 \pm 0,25$ s) dependía principalmente de las distancias y de la velocidad indicada en dicha fase. En los estudios de Pearson et al. (1998), y tras comparar la salida tradicional y la salida modificada desde el poyete en dieciocho nadadores nacionales, observaron que el tiempo total hasta los 7 m no fue significativamente diferente entre los tipos de deslizamiento ($2,09 \pm 0,54$ s frente a $2,16 \pm 0,59$ s).

En otras investigaciones que ha analizado el viraje, Puel, Morlier, Avalos, Mesnard y Hellard (2012) encontraron que el tiempo del deslizamiento estuvo en $0,32 \pm 0,14$ s y la distancia de inicio del batido en $2,71 \pm 0,36$ m, tras realizar un análisis cinemático y dinámico en 3D de diez nadadores de élite a estilo crol. En otros estudios Puel, Morlier, Mesnard, Cid y Hellard (2010) con ocho nadadoras de élite a estilo crol, observaron que el tiempo ($0,28 \pm 0,08$ s) y la distancia del deslizamiento ($2,43 \pm 0,16$ m) fueron inferiores a los valores de los hombres de Puel et al. (2012). Sin embargo, ambos estudios llegaron a la conclusión de que los nadadores adoptaron diferentes

estrategias durante la fase del viraje de cara a la aproximación y velocidad de empuje, centrándose más en reducir la distancia de deslizamiento.

Por otro lado, en las investigaciones de Rejman y Borowska (2008) que también han analizado el tiempo ($0,29\pm0,7$ s) y la distancia del deslizamiento ($0,68\pm0,21$ m) tras el viraje con el uso de monoaletas en seis nadadores en posición ventral, estuvieron próximo a los estudios de Puel et al. (2010, 2012) en cuanto al tiempo, pero no en la distancia de deslizamiento. Sin embargo, en un programa de formación técnica secuencial de la fase del viraje para la mejora del rendimiento de un nadador crolista de categoría junior en 4 m estuvo en $1,22\pm0,05$ s (Maañon, Sánchez, Eiroa, Braña y Mon, 2003), el cual fue superior al resto de estudios debido a la mayor distancia analizada.

Con todo ello, hay algunos autores (Mason y Cossor, 2001; Guimarães y Hay, 1985; Vilas-Boas et al., 2000) que sugieren que, para minimizar la resistencia hidrodinámica creada durante la fase de deslizamiento subacuático tras la salida y el viraje, sería necesario que el nadador adoptase una posición lo más hidrodinámica posible (ver Figura 3), de manera que la resistencia hidrodinámica creada se viera modificada (Havriluk, 2007). Junto con una buena alineación subacuática para así determinar el éxito en la salida y el viraje. Por lo tanto, reducir esta resistencia hidrodinámica debería de ser una las preocupaciones principales de los nadadores y entrenadores debido a la importancia del deslizamiento subacuático, ya que conseguir una mejora en el rendimiento subacuático se ha demostrado que afectaría positivamente a la prueba de nado (Barbosa, Keskinen y Vilas-Boas, 2006; Hay y Guimarães, 1983; D'Acquisto, Costill, Gehlsen, Young y Lee, 1988; Vilas-Boas et al., 2010).

Figura 3: Posición hidrodinámica adoptada durante la fase de deslizamiento en los estilos de crol, espalda y mariposa.

1.3.1.2. ALINEACIÓN Y POSICIÓN DEL CUERPO DURANTE EL DESLIZAMIENTO SUBACUÁTICO.

Los estudios llevados a cabo por Elipot et al. (2009) han confirmado que mantener una posición hidrodinámica requiere de un efecto sinérgico cinemático de la acción de las tres articulaciones principales (hombros, cadera y rodilla), de tal modo que el retorno a la superficie del agua se inicie de forma progresiva y sincronizada. Dichos autores, observaron que los nadadores mantenían durante mucho tiempo y a una alta intensidad, la velocidad supramáxima creada tras el impulso y la fase aérea. Pero en dicho efecto conjunto los nadadores de alto nivel fueron capaces de mantener la posición hidrodinámica durante toda la fase del deslizamiento, reduciendo así la resistencia hidrodinámica y manteniendo durante mayor tiempo la velocidad supramáxima. Por lo tanto, mantener dicha posición después de la entrada en el agua o tras el impulso, sería vital para reducir la desaceleración.

En esta misma línea, otros estudios que han analizado a nadadores remolcados a distintas velocidades y en diferentes posiciones (Karpovich, 1933; Counsilman, 1955; Kent y Atha, 1971; Jiskoot y Clarys, 1975; Clarys, 1979; Lyttle et al., 1998; Maiello, Sabatini, Demarie, Sardella y Dal Monte, 1998), han demostrado que se genera una mayor resistencia hidrodinámica en una posición de deslizamiento dorsal que ventral, ya que estos autores encontraron menores valores de arrastre tras un deslizamiento ventral, independientemente de las velocidades analizadas (Lyttle et al., 2000).

Para otros autores como Roig (2010), la capacidad de moverse a través del agua con la menor resistencia posible debería ser incluida entre las cualidades más importantes del nadador. Sin embargo, hay que tener en cuenta que cuando el nadador avanza a través de un líquido lo evacúa y ocupa su lugar, haciendo que la resistencia hidrodinámica que actúa en la misma dirección del desplazamiento se dé en sentido contrario. También hay que añadir, que han sido muchos los factores que han determinado ésta capacidad de deslizamiento de un cuerpo dentro del agua:

- La densidad del fluido (que no es controlable y es igual para todos),
- El área frontal,
- La piel,
- La forma del cuerpo, y
- La fricción del bañador.

Los cuales podrían ser modificados y mejorados durante las sesiones de entrenamiento.

Otro tema que también requiere ser expuesto dentro de este apartado, es la polémica suscitada hace años por el uso de los nuevos trajes de baño durante las competiciones oficiales, ya que estos parecían alterar ligeramente los parámetros del deslizamiento, según demuestran los estudios de Wada et al. (2010) tras comparar el tiempo del deslizamiento con el traje de baño normal ($0,39 \pm 0,26$ s) y alta velocidad ($0,64 \pm 0,21$ s). Por consiguiente, se ve modificada la flotabilidad y la alineación del cuerpo reduciendo así la fricción por medio de la eliminación de las costuras y el uso de un textil que atenúa la generación de turbulencias. A consecuencia de esto, la Federación Internacional de Natación (FINA) se vio obligada a regular el uso de estos trajes de baño de poliuretano en las competiciones oficiales a partir del 1 de enero de 2010, permitiendo solo el uso de bañadores con material textil y solo hasta las rodillas en el caso de los hombres, y hasta los hombros sin sobrepasarlo en el caso de las mujeres, y sin llevar cremalleras ni ningún otro mecanismo de cierre.

Pero dejando atrás esta reseña, han sido amplios los estudios hallados en la literatura sobre cómo el efecto de la posición del cuerpo, la alineación y las características

antropomórficas han influido durante la fase del deslizamiento (Lyttle y Blanksby, 2000; Lyttle et al., 1998, 2000; Naemi, Easson y Sanders, 2010; Naemi, Psycharakis, McCabe, Connaboy y Sanders, 2011; Marinho et al., 2009; Roig, 2010). En otros estudios que han analizado como afecta el deslizamiento del tren superior (Marinho et al., 2009), han afirmado que la posición del deslizamiento con los brazos extendidos al frente, genera un descenso del coeficiente de resistencia a diferencia de la colocación de los brazos puestos a lo largo del tronco. En otros estudios (Lyttle et al., 1998) sobre la posición ventral con batido de delfín lateral, ha registrado mayores valores de fuerzas negativas netas en cada velocidad. En cambio, para Lyttle et al. (2000) y Lyttle y Blanksby (2000) en estudios posteriores no se encontraron diferencias y ni parecía haber ninguna ventaja significativa en los diferentes posicionamientos del cuerpo y estilos del batido.

Después de todo, los estudios realizados sobre el deslizamiento en diferentes posiciones han sido poco concluyentes (e.g.: Jiskoot y Clarys, 1975; Counsilman, 1955; Maglischo, 2003; Roig, 2010), sobre cuál sería la posición más idónea que debería adoptar el nadador. Por el contrario, sí se reconoce dentro de la literatura que la posición de brazos extendidos hacia delante (Marinho et al., 2009) y el efecto sinérgico cinemático de la acción de las tres articulaciones principales (Elipot et al., 2009), no influyen negativamente durante el deslizamiento subacuático. Además, otros factores como las características morfológicas del nadador y los ángulos articulares, podrían ser determinantes para un deslizamiento subacuático eficaz y eficiente.

1.3.1.3. LA EFICIENCIA DEL DESLIZAMIENTO SUBACUÁTICO.

Otro de los temas que recoge la literatura en relación a dicha fase es la llamada eficiencia del deslizamiento, la cual se conoce como la capacidad que tiene un cuerpo para reducir la desaceleración manteniendo así su velocidad en el tiempo. Autores como Naemi y Sanders (2008), Naemi, Easson y Sanders (2010), junto con Naemi et al. (2011) señalan que dicha eficiencia se encuentra condicionada por diferentes factores como:

- La inercia,
- Las características resistivas,
- La masa virtual¹,
- El tamaño, y
- La forma del cuerpo.

En base a esto, Naemi, Easson y Sanders (2010) tras realizar una revisión de los factores que podrían influir en el deslizamiento, encontraron diferentes componentes como:

- La fuerza de resistencia (fricción de la superficie o arrastre de la piel, presión de arrastre o forma, y resistencia debido a la forma de las ondas o la fricción de onda),
- Efecto de las características superficiales del cuerpo sobre la piel de arrastre,
- Efecto de la profundidad del nadador en la fricción de onda,
- Efectos de la postura y la alineación, e) el tamaño y forma del cuerpo en la manera de arrastre, y
- Efectos de dichas variables sobre la masa añadida².

Además, para estos autores (Naemi, Easson y Sanders, 2010) y tras utilizar el novedoso método hidrocinemático, concluyeron que las características inerciales y de resistencia de un cuerpo en posición hidrodinámica condicionaban de forma significativa la eficiencia de deslizamiento, junto con la fuerza de resistencia y de la masa añadida.

Otros investigadores como Naemi y Sanders (2008), la definen como el producto de una constante por el coeficiente de deslizamiento, que da como resultado un indicador de dicha eficiencia. Esta constante, incorpora los parámetros relacionados con el tamaño del cuerpo, tales como: la masa corporal y la superficie máxima en la sección transversal. En cambio, el coeficiente se relaciona con las características de la forma del cuerpo cuando éste se encuentra en una posición hidrodinámica de deslizamiento. Por consiguiente, habría que tener en cuenta como el contorno del

¹Suma de la masa corporal y la masa añadida del agua arrastrada con el cuerpo.

²Masa de agua arrastrada con el cuerpo.

nadador (índices morfológicos) afecta al agua que circula a través del cuerpo y cómo influye en sus diferentes partes (ángulos posturales), como en los estudios de Naemi et al. (2011). Estos autores observaron que los nadadores con una mayor forma se deslizaban mejor que los que tienen una mayor masa corporal pero inferior sección transversal. Además, los nadadores de su estudio ofrecían menos resistencia y fueron capaces de arrastrar más masa de agua añadida que aquellos con mayor volumen corporal, respectivamente.

1.3.1.4. INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS DURANTE EL DESLIZAMIENTO SUBACUÁTICO.

Siguiendo esta misma línea, han sido varios los autores que han examinado los efectos del tamaño y la forma sobre las características resistivas (Benjanuvatra, Blanksby y Elliott, 2001; Chatard et al., 1990; Clarys, Jiskoot, Rijken y Brouwer, 1974; Lyttle et al., 1998). En relación al tamaño de los parámetros investigados en torno a:

- La circunferencia cefálica y el tórax,
- La circunferencia del pecho y el área transversal máxima,
- El área de la superficie corporal,
- La masa y la altura, y
- La profundidad y la longitud.

Dichos autores, encontraron correlaciones significativas con los valores de arrastre. Mientras que para los parámetros relacionados con la forma del cuerpo se ha investigado sobre la relación de la altura con la máxima área de sección transversal, revelando concordancias negativas con las características resistivas del cuerpo (Clarys, 1978, 1979; Clarys et al., 1974).

Aun así, ya Hertel (1966) habló sobre como la proporción de finura de un cuerpo estaba asociada con la capacidad de disminuir el arrastre durante el deslizamiento, según hacen los objetos hidrodinámicos. Si trasladamos dicha afirmación al cuerpo del nadador, un aumento gradual de la sección transversal desde las puntas de los dedos hacia el pecho, con la disminución gradual desde ahí hasta la cintura y seguido

por otro aumento de sección transversal hasta las nalgas, para luego disminuir gradualmente hacia los dedos del pie. El cuerpo del nadador podría compararse como la unión de dos fuselajes hidrodinámicos que se arrastran juntos entre sí, de forma que esta sería la llamada posición hidrodinámica que recitan muchos autores (Elipot et al., 2009; Havriluk, 2007; Marinho et al., 2009; Mason y Cossor, 2001; Guimarães y Hay, 1985; Roig, 2010; Vilas-Boas et al., 2000).

No obstante, y en base a lo argumentado en el párrafo anterior, cuando hacemos referencia al estudio del coeficiente de deslizamiento en otras ramas y disciplinas:

- La forma del cuerpo u objeto en sí,
- La posición hidrodinámica adoptada,
- El diseño o la arquitectura creada, incluso
- La morfología de los animales acuáticos.

La información proporcionada se podría extrapolar a las características de las formas del cuerpo humano (Clarys et al., 1974). La forma del cuerpo y cómo cambia con las variaciones de la postura, según lo demuestra el estudio de Miyashita y Tsunoda (1978) sobre la cantidad de resistencia encontrada en la cabeza del nadador. Informan sobre la capacidad que tienen los sujetos para crear menos resistencia cuando estos tienen más flexibilidad para adoptar una posición superior determinada, correlacionándose la laxitud articular con la fuerza de arrastre (Chatard et al., 1990). Por consiguiente, estos autores sugieren que los ángulos de las articulaciones deberían ser considerados como un factor determinante para las fuerzas de arrastre y la eficiencia del deslizamiento.

Por último, otro de los factores influyentes que señaló Marinho et al. (2009) es sus estudios, fue la posición en la que están colocadas las manos durante el deslizamiento. Una posición hidrodinámica elemental sugiere la colocación de las manos superpuesta una encima de la otra, ya que observaron que la colocación de los brazos extendidos al frente generaba una disminución del coeficiente de resistencia, a diferencia de la colocación de los brazos puestos a lo largo del tronco. En los estudios de Vorontsov y Rumyantsev (2000b), la posición de las manos colocadas lado a lado

producía una fuerza de arrastre mayor al 7% en relación con las manos superpuestas, lo cual explicaba algunas de las diferencias observadas en su estudio.

1.3.1.5. PROFUNDIDAD DURANTE EL DESLIZAMIENTO SUBACUÁTICO.

Para concluir este apartado, también se ha hablado en la literatura sobre la importancia de una trayectoria y/o profundidad de deslizamiento subacuática óptima. Autores como Lyttle y Blanksby (2000), indicaron que dicha trayectoria sería igual a la distancia de deslizamiento subacuático (aproximadamente 2 m), cuando el nadador se impulsaba fuera de la pared a 3,1 m/s y reanudaba el nado en superficie a 1,6 m/s. Para Vennell, Pease y Wilson (2006), una profundidad ideal pasaría por evitar la fricción de onda y sumergirse a 1,8 m (profundidad del pecho) y 2,8 m (profundidad del pecho bajo la superficie), cuando la velocidad de deslizamiento estuviera entre 0,90 - 2,0 m/s respectivamente, lo que equivaldría a 0,45 y 0,70 m de profundidad respectivamente, y a 0,25 m (profundidad del pecho). Por último, para Elipot et al. (2009) que, tras analizar la velocidad del nadador durante el movimiento de deslizamiento subacuático después de la salida con agarre en 8 nadadores de nivel nacional, afirmaron que la distancia de la fase de deslizamiento estaba entre 2,22 y 1,72 m.

A continuación, se muestra en la tabla 3 los estudios más relevantes sobre el análisis de dicho apartado, indicando el año, la muestra y la metodología tomada, así como las conclusiones más importantes.

Tabla 3: Resumen de los estudios más relevantes que analizan el deslizamiento durante la fase subacuática.

AUTOR	AÑO	N	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Clarys et al.	1974	21	Analogía de cálculo y la comparación de la resistencia mediante los modelos de barcos	La relación de la altura con la máxima área de sección transversal, se correlacionan negativamente con las características resistivas del cuerpo.
Arellano	1999	-	Revisión	La inclusión rápida del movimiento ondulatorio subacuático tras la fase de deslizamiento, reduce la resistencia.
Jiskoot y Clarys	1975	43	Un canal de ensayos hidrodinámicos un carro remolcado, un sistema de célula fotoeléctrica, un dispositivo telescópico de remolque, transductores de fuerza y una unidad de grabación de cinta de ultravioleta	En nadadores remolcados se produce una mayor resistencia hidrodinámica en la posición supina que prona.
Clarys	1978	53	Depósito de agua, un carro de remolque, un control de velocidad y un dispositivo para medir la fuerza	La altura y la máxima área de sección transversal, se correlacionan negativamente con las características resistivas del cuerpo.
Miyashita y Tsunoda	1978	20	Canal de flujo, un impulsor de control de velocidad, un cable, una célula de carga y un oscilógrafo	La posición de la cabeza desempeña un papel importante en la resistencia.
Clarys	1979	-	Revisión	La relación de la altura con la máxima área de sección transversal, se correlacionan negativamente con las características resistivas del cuerpo.
Guimarães y Hay	1985	24	Sistema de medición de la salida, del tiempo y la fuerza y, un equipo cinematográfico	Para minimizar la resistencia hidrodinámica sería necesario que el nadador adoptase una posición hidrodinámica posible y una buena alineación del cuerpo.
Chatard et al.	1990	132	Beckman OM11, analizadores LB2, un espirómetro, un cabestrante mecánico, un indicador de tensión con una célula de carga conectada a un puente de tensión, un LITF hidrostático y la ecuación Du Bois	El deslizamiento es importante en el rendimiento en general y el tiempo total.

Tabla 3: Resumen de los estudios más relevantes que analizan el deslizamiento durante la fase subacuática.

AUTOR	AÑO	N	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Lyttle et al.	1998	40	Cabestrante motorizado, un sistema de poleas y una célula de carga.	La circunferencia cefálica y del pecho, tórax, profundidad, longitud, área transversal, superficie corporal, masa y altura, se correlacionan positivamente con el arrastre.
Lyttle y Blanksby	2000	56	Sistema de remolque con poleas ajustables, una célula de carga unidireccional y una cámara de vídeo	La transición del deslizamiento al nado ondulatorio subacuático, es determinante para lograr un buen rendimiento en la fase subacuática.
Lyttle et al.	2000	16	Remolques a través de un cabestrante motorizado y un sistema de poleas	No hay diferencias ni ventaja significativas entre las posiciones de deslizamiento lateral y prono, y ni en las tres técnicas del batido subacuático analizadas.
Vilas-Boas et al.	2000	11	Plataforma de fuerza (Bertec 4060-15) y 2D con doble cámara para el análisis cinemático	Para minimizar la resistencia hidrodinámica sería necesario adoptar una posición hidrodinámica y una buena alineación del cuerpo para el éxito de la salida y el viraje.
Vorontsov y Rumyantsev	2000 b	-	Revisión	En la colocación de las manos lado a lado, la fuerza de arrastre fue mayor al 7% en comparación con la posición de las manos superpuestas.
Benjanuvatra et al.	2001	12	Sistema de remolque a través de un cabestrillo mecánico y un programa informático AP30	La circunferencia cefálica y del pecho, tórax, profundidad, longitud, área transversal, superficie corporal, masa y altura, se correlacionan positivamente con el arrastre.
Mason y Cossor	2001	16	Programa de video y análisis de competición desarrollado en el Instituto del Deporte Australiano	Para minimizar la resistencia hidrodinámica sería necesario adoptar una posición hidrodinámica y una buena alineación del cuerpo para el éxito de la salida y el viraje.
Vennell et al.	2006	1	Maniquí, un medidor de velocidad (Marsh, McBinney, Flow y Mate, 2000) y una célula de carga de tensión Sensotec Modelo 31/4267-06	La profundidad de deslizamiento ideal evita la fricción de onda a 1,8 y 2,8 m con una velocidad de deslizamiento entre 0,90 - 2 m/s.

Tabla 3: Resumen de los estudios más relevantes que analizan el deslizamiento durante la fase subacuática.

AUTOR	AÑO	N	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Havriluk	2007	36	Línea de remolque en diferentes tipos de masa de agua (Piscina, Canal, Tanque de remolque)	Los nadadores deben adoptar una postura hidrodinámica que influya directamente en la modificación de la resistencia hidrodinámica creada.
Naemi y Sanders	2008	16	Método fotogramétrico, un calibrador, un software de procesamiento de imágenes (Microsoft Photo Editor 3.01. Media Cybernetics, L.C.), cámara JVC KY-F32 color y sistema de análisis del rendimiento Ariel	La inercia, las características resistivas, la masa virtual, el tamaño y la forma del cuerpo, son factores determinantes en la eficiencia del deslizamiento.
Elipot et al.	2009	8	Técnica DLT y datos antropométricos Dempster's	La acción sinérgica del hombro, la cadera y la rodilla mantienen la posición hidrodinámica y la velocidad supramáxima, reduciendo así la resistencia.
Marinho et al.	2009	1	Dinámica de fluido computacional y un modelo tridimensional	La posición de deslizamiento con los brazos extendidos al frente disminuye el coeficiente de resistencia, a diferencia de los brazos a lo largo del tronco.
Naemi et al.	2010	-	Revisión	Las características inerciales y de resistencia de un cuerpo en posición hidrodinámica, afecta a la eficiencia del deslizamiento.
Roig	2010	1	Grabaciones de video y velocímetro	La capacidad de mover el cuerpo a través del agua con la menor resistencia debe incluirse entre las cualidades más importantes del nadador.
Naemi et al.	2011	16	Método fotogramétrico, dinámica de fluido computacional y un traje de maya. Similar al estudio de Naemi y Sanders (2008)	Inercia, características resistivas, masa virtual, ángulos posturales, tamaño y forma del cuerpo, son determinantes en la eficiencia del deslizamiento.
Vantorre et al.	2014	-	Revisión	Una posición hidrodinámica y progresiva con el mayor tiempo posible, mantendría la velocidad adquirida en las fases de bloque, vuelo y entrada en la salida.

1.3.1.6. ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD DE DESLIZAMIENTO SUBACUÁTICO.

Hablar sobre la velocidad promedio producida durante el período de deslizamiento, se ha convertido en otro indicador de rendimiento que se ve influenciado por factores como:

- La velocidad inicial,
- La desaceleración,
- La duración del deslizamiento, y
- Las características de la fase de pre-deslizamiento.

Tales como la entrada en el agua después de la salida o la fuerza de empuje desde la pared, además de la posición del nadador cuando está en contacto con la pared durante el viraje (Naemi, Easson y Sanders, 2010).

Cuando un nadador se desplaza por el agua, aumentar la velocidad del deslizamiento genera a su vez un incremento de la resistencia a vencer. En aquellas fases de la prueba en donde tiene lugar esto, cómo es la salida y los virajes, el nadador tiene que prestar más atención a la reducción de las fuerzas de resistencia. Roig (2010), señaló que una técnica subacuática precisa requería la combinación de la capacidad de autopropulsión en el agua, mientras que para reducir la resistencia sólo se necesitaría una buena propulsión. Asimismo, también afirmó que para que ambas cualidades coexistieran, el nadador tendría que desplazarse en el agua y a su vez progresar para que obtuviera la máxima velocidad. No obstante, sí se conociera la influencia de las fuerzas de arrastre hidrodinámicas realizadas durante el deslizamiento subacuático y la acción de las piernas, se realizarían cambios en la técnica para disminuir así dicha resistencia (Lyttle et al., 1998).

En cuanto a la literatura científica revisada, la mayoría de los estudios coinciden en que la velocidad del deslizamiento se encuentra entre 1,9 y 2,2 m/s (Elipot et al., 2009; Lyttle et al., 1998, 2000). Para autores como De Jesús et al. (2011b) y tras analizar el estilo espalda con dos tipos de salidas desde la pared de la piscina, la velocidad del deslizamiento fue de $2,03 \pm 0,40$ y $2,05 \pm 0,42$ m/s. En los estudios de

Wada et al. (2010) la establecieron en $1,44\pm0,30$ y $1,41\pm0,14$ m/s, al comparar el uso del traje de baño normal con el de alta velocidad, ya que la velocidad máxima se mantuvo durante el deslizamiento cuando la rodilla y los ángulos de la articulación de la cadera se encontraban a 180° . Otros autores la enmarcan entre 0,90 y 2 m/s (Naemi y Sanders, 2008; Vantorre et al., 2010c; Vennell, Pease y Wilson, 2006) cuando se produce el empuje fuera de la pared a 3,1 m/s (Lyttle y Blanksby, 2000) o cuando la velocidad inicial va de 2 m/s hasta 1 m/s en medio segundo (Vantorre, Chollet y Seifert, 2014).

En otros estudios que han analizado la velocidad del deslizamiento tras la fase de la salida y el viraje también han mostrado un amplio margen de velocidad. Takeda, Ichikawa, Takagi y Tsubakimoto (2009), observaron que la velocidad de deslizamiento tras la salida fue de $2,74\pm0,19$ m/s después de empujarse desde la pared a máximo esfuerzo, habiendo comparado diez nadadores de nivel nacional a diferentes intensidades durante 25 m. En otro estudio sobre el viraje, Puel et al. (2012) hallaron una velocidad de $2,17\pm0,19$ m/s en nadadores de élite durante las pruebas de 200 m antes del inicio de la propulsión de piernas. En otro estudio, Puel, Morlier, Mesnard, Cid y Hellard (2011), y tras realizar un análisis cinemático y dinámico del viraje en 3D a estilo crol en veinte nadadoras, encontraron que la velocidad de deslizamiento varió en función de las categorías ($2,31\pm0,22$ a $2,55\pm0,15$ m/s) y la distancia de deslizamiento hasta los 3 m ($1,68\pm0,12$ a $2,01\pm0,19$ m/s), siendo mayor la aproximación y la velocidad de empuje de las nadadoras de élite las cuales fueron más hidrodinámicas.

1.3.1.6.1. TRANSICIÓN DURANTE EL DESLIZAMIENTO SUBACUÁTICO.

En los estudios de Elipot et al. (2009), identificar el momento óptimo para iniciar el batido subacuático después de la salida con agarre osciló entre 5,63 y 6,01 m, una vez que el centro de masa cubriera dicha distancia de deslizamiento, y entre los 6,02 y 6,51 m incluyendo la posición de la cabeza para velocidades de entre 1,9 y 2,2 m/s. Sin embargo, y en función de las referencias analizadas por estos autores el rendimiento subacuático durante el deslizamiento, estaba determinado tanto por las variables en la inmersión cómo por la pérdida de velocidad del nadador. En Otros

investigadores también han demostrado que para velocidades de entre 1,9 y 3,1 m/s, los nadadores deberían deslizarse a una profundidad de aproximadamente 0,5 m para así reducir la resistencia. Pero una mayor profundidad de deslizamiento no producía una reducción sustancial de las fuerzas de arrastre (Lyttle et al., 1999), de cara a la transición del batido subacuático.

En las investigaciones de Lyttle et al. (1998, 2000), y tras analizar las fuerzas netas³ creadas por los nadadores cuando eran remolcados a diferentes velocidades y posiciones mientras se deslizaban y ejecutaban diferentes batidos subacuáticos. Estos autores trataron de conocer cuál sería la velocidad más apropiada para iniciar el batido y cuál sería la posición del deslizamiento más efectiva para aplicar durante el viraje. Los resultados indicaron que los nadadores debían iniciar el batido subacuático entre 1,9 y 2,2 m/s, ya que era la máxima velocidad que producía una reducción significativa de la fuerza neta en comparación con las posiciones hidrodinámicas analizadas. Asimismo, sugirieron que debía existir una velocidad óptima en la que el comienzo del batido subacuático evitara la pérdida de energía, a partir de una resistencia activa en exceso. En cualquier caso, no encontraron diferencias significativas entre las posiciones ventrales y los deslizamientos laterales a cualquier velocidad.

A modo de síntesis, se presenta en la tabla 4 las velocidades de deslizamiento subacuático más relevantes encontradas en la literatura, mientras que en la tabla 5 aparecen las investigaciones que han analizado este apartado, mostrando el año, la muestra analizada, la metodología empleada y conclusiones tomadas.

³La fuerza de propulsión menos la fuerza de arrastre.

Tabla 4: Velocidad (m/s) de deslizamiento subacuático.

AUTORES	VELOCIDAD DE LA FASE DE DESLIZAMIENTO SUBACUÁTICO
Lyttle et al. (1998; 2000)	1,9 - 2,2
Lyttle et al. (1999)	1,9 - 3,1
Lyttle y Blanksby (2000)	3,1
Vennell et al. (2006)	0,90 - 2
Naemi y Sanders (2008)	2
Elipot et al. (2009)	1,9 - 2,2
Takeda et al. (2009)	2,74
Vantorre et al. (2010c)	< 2
Wada et al. (2010)	1,44 y 1,41
De Jesús et al. (2011b)	2,03 y 2,05
Puel et al. (2011)	2,31 y 2,55 1,68 y 2,01
Puel et al. (2012)	2,17
Vantorre et al. (2014)	2 - 1

Tabla 5: Resumen de los estudios más relevantes que analizan la velocidad de deslizamiento durante la fase subacuática.

AUTOR	AÑO	N	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Lyttle et al.	1998	40	Cabestrante motorizado, un sistema de poleas y una célula de carga.	Sí se conociera la influencia de las fuerzas de arrastre durante el deslizamiento subacuático y la acción de las piernas, se realizarían cambios en la técnica para disminuir dicha resistencia.
Lyttle et al.	1999	16	Un sistema de remolque con un cabestrante motorizado, una célula de carga unidireccional y una cámara de video	Para velocidades de entre 1,9 y 3,1 m/s, los nadadores deben deslizarse a una profundidad de aproximadamente 0,5 m para así reducir la resistencia.
Lyttle et al.	2000	16	Remolque a través de un cabestrante motorizado y sistema de poleas.	Los nadadores deben empezar el batido subacuático entre 1,9 y 2,2 m/s, ya que ésta generaría una reducción significativa de la fuerza neta en comparación con las posiciones hidrodinámicas.
Elipot et al.	2009	8	Técnica DLT y los datos antropométricos Dempster's.	La inmersión, la pérdida de velocidad y la posición hidrodinámica con la acción sinérgica de la rodilla, la cadera y el hombro, son determinantes para el rendimiento del deslizamiento subacuático.
Naemi et al.	2010	-	Revisión	La velocidad promedio de deslizamiento depende de la velocidad inicial, la desaceleración, la duración, el pre-deslizamiento, la entrada en el agua, la fuerza de empuje y la posición del cuerpo.
Roig	2010	1	Grabaciones de video y velocímetro	Una técnica subacuática requiere la combinación de la capacidad de autopropulsión en el agua, mientras que para reducir la fuerza de resistencia sólo se necesita una buena propulsión.
Wada et al.	2010	12	Videos y un sistema de análisis de movimiento (Frame-DIAS4, DKH, Japón) y el traje de baño Speedo LZR racer Fastskin	La velocidad máxima se mantiene durante el deslizamiento cuando la rodilla y los ángulos de la articulación de la cadera se encuentran a 180°.

1.3.2. FASE DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO.

Cómo se comentó en el apartado sobre el deslizamiento, la fase subacuática se podría dividir en dos fases: fase de deslizamiento y fase de nado subacuático ondulante (Maglischo, 2003). Esta última fase, la del nado ondulatorio subacuático o movimiento ondulatorio subacuático (ver Figura 4 y 5), tiene como objetivo producir la velocidad con la acción de las piernas y encontrar el momento óptimo entre la longitud y la frecuencia de las piernas (Arellano, 2008). Es decir, encontrar el momento óptimo entre la creación de la fuerza de propulsión y la disminución de la resistencia hidrodinámica e identificando la coordinación motora, serían una manera concluyente para poder comprender y optimizar la fase del movimiento ondulatorio subacuático.

Figura 4: Fase del movimiento ondulatorio subacuático del estilo crol y mariposa.

Figura 5: Fase del movimiento ondulatorio subacuático del estilo espalda.

1.3.2.1. ANTECEDENTES DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO.

En los años 70, comienza a aparecer entre los nadadores la práctica de un movimiento ondulatorio del cuerpo en los estilos de braza y mariposa, que empezó a producir rápidas y significativas mejoras en el rendimiento. Pero no fue hasta comienzo de la década de los 80 cuando apareció lo que hoy se conoce como

movimiento ondulatorio subacuático, el cual se incluyó dentro de las fases del deslizamiento de la salida y los virajes.

Durante los Juegos Olímpicos de Moscú (1980) algunos nadadores cubrían aproximadamente 25 m debajo del agua en las pruebas de espalda justo después de la salida, a través de una técnica ondulante que resultó ser mucho más significativa que nado en superficie (Arellano, 1999). Después de estos juegos, investigadores como Clothier et al. (2000b) afirmaron que en los Juegos Olímpicos de Seúl (1988) hubo una mayor eficiencia de nado debido a su utilización, ya que se redujeron significativamente los récords mundiales en el estilo espalda. Todo esto originó que el nado subacuático de espalda comenzara a prolongarse, y, por lo tanto, se empezara a utilizar en otros estilos como mariposa y crol en posición dorsal, ventral y lateral. Aun así, algunos investigadores afirman que el nadador puede conseguir una ventaja significativa de hasta 0,5 s en los 15 m (Costill, Maglischo y Richardson, 1992). Pero hoy en día esta distancia sigue dejando la oportunidad suficiente para que los nadadores con un movimiento ondulatorio subacuático eficiente se beneficien de él, según se demuestra en las competiciones internacionales en donde el total de los nadadores lo utilizan.

1.3.2.2. RENDIMIENTO DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO.

Tras el deslizamiento los nadadores inician una serie de movimientos o batidos de piernas durante los estilos de crol, espalda y mariposa mientras permanece completamente sumergido (Alves, Lopes, Veloso y Martins-Silva, 2006). Este nado ondulatorio subacuático desempeña un papel importante en la prueba de nado (Connaboy, Coleman y Sanders, 2009) y según afirman Connaboy, Moir, Coleman y Sanders (2010), se está convirtiendo en un tema popular para los análisis del rendimiento y de las investigaciones de campo (Connaboy et al., 2007a; Connaboy, Coleman y Sanders, 2007b; Lyttle y Blanksby, 2000; Lyttle y Keys, 2004; Mason y Cossor, 2000). Según Lyttle et al. (2000) es un componente fundamental para conseguir un adecuado rendimiento y para ello, debería darse un equilibrio entre disminuir la resistencia y aumentar al máximo el empuje producido por las piernas, a la vez que se disminuye el esfuerzo del nadador.

Aunque algunos estudios se han centrado en analizar las características de batido y su influencia en el movimiento ondulatorio subacuático (Connaboy et al., 2010; Vantorre et al., 2010a, b). Connaboy et al. (2010) establecieron en seis el número de ciclos necesarios para representar con precisión el rendimiento del movimiento ondulatorio subacuático. debido a los altos niveles de fiabilidad ($CV_{TE} = 0.86-8.92$; $ICC = 0.811-0.996$) hallados en su estudio en cuanto a las variables cinemática estudiadas. Los estudios de Vantorre et al. (2010a) tras dos tipos de la salida han mostrado diferentes contribuciones de tiempo en función batido alterno: $29,3 \pm 11\%$ ($1,93 \pm 0,74$ s) y $30,2 \pm 11,9\%$ ($1,98 \pm 0,83$ s). En otro estudio, Vantorre et al. (2010b) observaron que desde el intervalo de tiempo entre el comienzo del batido subacuático y la propulsión de los brazos a crol. Los nadadores de élite de su estudio emplearon más tiempo en la fase propulsiva que los nadadores entrenados ($6,27 \pm 2,55$ s y $4,00 \pm 1,65$ s), debido a una diferencia en el dominio de la técnica del batido, aunque fueran diferentes los patrones analizados, habiendo una alta variabilidad entre-sujetos y baja variabilidad intra-sujetos (a través de los 3 ensayos). Sin embargo, estos autores señalan que han sido pocos los estudios que han presentado comparaciones entre diferentes niveles de rendimiento para dicha fase.

Santos et al. (2011), en su estudio de revisión sobre el movimiento ondulatorio subacuático, afirmaron que dicha fase es considerada por nadadores y entrenadores como el quinto estilo de nado, debido a:

- Los ya conocidos cuatro estilos de nado,
- A su eficiencia durante las salidas y los virajes,
- Importancia y contribución a la clasificación durante la competición, y por el hecho de que,
- Nadar debajo de la superficie del agua disminuye la fricción de onda (Counsilman, 1968; Toussaint y Truijens, 2005).

Por lo tanto, se corrobora su ventaja durante las competiciones ya que se ha demostrado su eficacia y eficiencia para mejorar el rendimiento (Arellano, Pardillo y Gavián, 2002; Loebbecke et al., 2009a; Roig, 2010). En esta línea y durante los últimos 20 años, los nadadores internacionales de piscina corta han demostrado en

repetidas ocasiones que el nado ondulatorio subacuático después de la salida y los virajes en competición, es el modo de locomoción acuático más rápido de los cuatro estilos de nado oficial (Arellano, 1999; Collard, 2007) debido principalmente a la ausencia de resistencia de onda, lo cual disminuye el esfuerzo necesario para avanzar (Hertel, 1966; Vennell, Pease y Wilson, 2006). Sin embargo, son pocos los estudios realizados con el fin de averiguar que variables influyen en esta fase.

A modo de síntesis, se presenta en la tabla 6 las investigaciones que han analizado este apartado indicando el año, la muestra analizada, la metodología empleada y conclusiones tomadas.

Tabla 6: Resumen de los estudios más relevantes que analizan el movimiento ondulatorio subacuático durante la fase subacuática.

AUTOR	AÑO	N	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Arellano	1999	-	Revisión	Nadar bajo el agua con una técnica de nado ondulante es el modo más rápido de locomoción acuática de los cuatro estilos de nado oficial.
Lyttle et al.	2000	16	Remolque por un cabrestante motorizado y un sistema de poleas	Para un adecuado rendimiento tienen que haber un equilibrio entre disminuir la resistencia y aumentar al máximo el empuje disminuiría el esfuerzo.
Clothier et al.	2000 b	8	Videografía y una plataforma de fuerza	La mayor eficiencia nado se observa cuando se utilizan el movimiento ondulatorio subacuático, reduciendo significativamente los récords mundiales de espalda.
Arellano et al.	2002	19	Análisis bidimensional mediante un software KA2D	El movimiento ondulatorio subacuático puede dar una ventaja competitiva, ya que se ha demostrado su eficacia y eficiencia para mejorar el rendimiento.
Toussaint y Truijens	2005	-	Revisión	Nadar debajo de la superficie del agua disminuye la fricción de onda.
Alves et al.	2006	6	Análisis cinemático 3D (APAS), un sistema de referencia global para la digitalización y un filtro digital (Butterworth)	Se inicia después del deslizamiento mediante una serie de movimientos a través del batido de delfín, mientras que su cuerpo permanece completamente sumergido.
Vennell et al.	2006	1	Maniquí, un sistema de remolque y una célula de carga	La superioridad del nado ondulatorio frente a los cuatro estilos de nado, se explica por la ausencia de resistencia de onda que disminuye el esfuerzo para avanzar.
Collard	2007	12	Análisis de videos a una velocidad de 24 fotogramas por segundo	El movimiento ondulatorio subacuático es el modo más rápido de locomoción acuática de los cuatro estilos de nado oficial.
Connaboy et al.	2009	-	Revisión	El nado ondulatorio subacuático desempeña un papel importante en el rendimiento global de la natación.
Loebbecke et al.	2009 a	21	Grabaciones de videos y un software Darttrainer	El movimiento ondulatorio subacuático puede dar una ventaja competitiva, ya que se ha demostrado su eficacia y eficiencia para mejorar el rendimiento.
Connaboy et al.	2010	15	Técnica cinematográfica de 2D y un sistema de análisis del rendimiento Ariel	Seis ciclos son necesarios para el rendimiento en el movimiento ondulatorio subacuático, debido a su alto nivel de fiabilidad.
Roig	2010	1	Grabaciones de videos y un velocímetro	El movimiento ondulatorio subacuático puede dar una ventaja competitiva, ya que se ha demostrado su eficacia y eficiencia para mejorar el rendimiento.
Santos et al.	2011	-	Revisión	Conocido como el quinto estilo de nado, contribuyó a la clasificación durante la competición debido a su eficiencia durante la salida y los virajes.

1.3.2.3. ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO.

Para autores como Sweetenham y Atkinson (2003) el objetivo principal del movimiento ondulatorio subacuático no es el desplazamiento del nadador hasta los 15 m, sino que este sea capaz de mantener la velocidad adquirida después del impulso de la pared y/o del poyete. En base a esta afirmación, Collard (2007) estableció en función de los mejores tiempos internacionales una clasificación decreciente para la velocidad de los cinco movimientos de nado en: Estilo ondulatorio subacuático > Crol > Mariposa > Espalda > Braza. Sin embargo, dicho orden podría variar en función de la distancia y la necesidad de salir a la superficie y respirar por parte del nadador (Zamparo et al., 2005)

En el movimiento ondulatorio subacuático una de las variables que ayuda a aumentar la velocidad subacuática es disminuir la resistencia de fricción. Ha habido autores que para velocidades superiores a 1,9 m/s han encontrado una reducción de entre el 15 y 18% en la fricción, en comparación con el nado en superficie (Lyttle y Blanksby, 2000). En los estudios de Takeda et al. (2009) las diferencias en las velocidades iniciales estudiadas no se conservaron en nado en superficie de crol, a pesar de que la velocidad y el tiempo desde el inicio del batido hasta la superficie fueran de $1,91 \pm 0,10$ m/s y $7,12 \pm 0,27$ s tras empujarse desde la pared de la piscina. Los estudios con nadadores de nivel nacional de Hubert et al. (2006) mostraron que la velocidad durante los 15 m fue mayor en la primera brazada que durante el nado en superficie, gracias a la importancia del movimiento ondulatorio subacuático en la ganancia de velocidad.

Para autores como Santos et al. (2011) y tras revisar en la literatura las características propias del movimiento ondulatorio subacuático y su contribución al desplazamiento en los nadadores más veloces, han afirmado que este movimiento o también llamado “quinto estilo de nado”, sería clave para mejorar el rendimiento subacuático si se prestase especial atención factores como:

- La flexibilidad,
- La creación de vórtices,
- La posición del cuerpo,
- La profundidad, y
- La disminución de la fricción.

Todo ello, ayudaría a aumentar y mantener la velocidad subacuática mejorando la dosificación del esfuerzo disponible durante el movimiento ondulatorio subacuático (Santos et al. 2011). Pero para algunos autores dicho movimiento sigue siendo un aspecto poco explorado en la literatura (Pacholak, Hochstein, Rudert y Brücker, 2014) y por lo tanto se necesitan más investigaciones específicas sobre ello.

Dentro de la literatura científica se han encontrado estudios que han tratado de analizar diferentes parámetros cinemáticos del movimiento ondulatorio subacuático (Alves et al., 2006; Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002; Tourny-Chollet et al., 2002; Loebbecke et al., 2009a) y como se podrían aplicar al rendimiento del estilo libre (Tourny-Chollet et al., 2002) teniendo en cuenta que no todos los nadadores pueden llegar a alcanzar la máxima velocidad subacuática y mantenerla durante mucho tiempo. En los estudios de Gavilán, García, Pardillo y Arellano (2002) sobre el análisis de los factores del movimiento ondulatorio subacuático en seis nadadores de distintas categorías (Internacional: 2,02 y 1,91 m/s; Infantil: 1,23 y 1,17 m/s; Ex-nadador: 1,04 y 1,06 m/s). Estos autores encontrando diferencias en la velocidad subacuática entre los grupos de élite (aproximadamente 2 m/s) y el resto de nadadores analizados (menos de 1,5 m/s). Sin embargo, observaron que las variaciones de la velocidad durante el ciclo del batido fueron similares, pero con un pico máximo en la segunda mitad de la extensión del batido y otro pico menor cuando las rodillas estaban más flexionadas.

En las investigaciones de Arellano, Pardillo y Gavilán (2002, 2003) también se han analizado otros parámetros cinemáticos que se dan dentro del movimiento ondulatorio subacuático como son: la frecuencia y longitud del batido, el desplazamiento horizontal, la velocidad horizontal media, el ángulo de la rodilla y el

n° de strouhal⁴. Dichos autores analizaron dos grupos de nadadores a máximo esfuerzo y concluyeron en que la velocidad durante el movimiento ondulatorio subacuático fue inversamente proporcional al n° de strouhal (media del n° de strouhal 0,81) y que se incrementó debido un aumento de la frecuencia con una longitud constante. Sin embargo, destacaron que las mayores velocidades de algunos nadadores se debieron a una mayor fuerza de propulsiva durante el movimiento ondulatorio, ya que también estaban siendo utilizadas en las competiciones en piscina de 25 m en donde el número de vueltas era mayor (Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002).

Otros estudios hallados en la literatura también destacan la importancia que tiene saber cuándo iniciar el movimiento ondulatorio subacuático después del deslizamiento (Lyttle et al., 1998, 2000) sin perder la velocidad de impulso, visto el impacto que tiene en la desaceleración subacuática la resistencia hidrodinámica y el gasto energético (Lyttle et al., 2000). Tras la fase del viraje, cuando un nadador realiza el batido subacuático antes del deslizamiento la resistencia se incrementaría ralentizándolo antes de tiempo. Pero sí el nadador se desliza durante demasiado tiempo antes de mover las piernas se produciría un ritmo de prueba inferior por la desaceleración, lo cual generaría un mayor gasto energético para regresar a la velocidad de nado. En conclusión, debería darse una transición eficiente entre la fase del deslizamiento subacuático anteriormente descrita y el inicio del batido subacuático durante la fase del movimiento ondulatorio subacuático para así reducir el tiempo del viraje total (Lyttle et al., 1998, 2000).

En el análisis del movimiento ondulatorio subacuático tras la salida, Elipot et al. (2010a) encontró que los ocho nadadores de alto nivel de su estudio tras comparar la propulsión ondulatoria después del deslizamiento cada 0,5 m hasta los 3 m y sin movimiento ondulatorio, pero en posición hidrodinámica. Dichos nadadores se propulsaron antes de tiempo a $1,69 \pm 0,75$ m de profundidad, lo cual sugirió que en el primer instante de la inmersión la distancia recorrida y la velocidad parecían ser la misma que la salida con y sin propulsión subacuática (respectivamente, $3,8 \pm 0,26$ -

⁴Número adimensional que, en mecánica de fluidos, relaciona la oscilación de un flujo con su velocidad media.

3,73±0,19 m y 3,61±0,31 - 3,87±0,55 m/s). La velocidad subacuática en cambio, mostró valores regresivos desde el inicio del batido hasta la salida a la superficie (0 m a 3,11±0,44 m/s; 0,5 m a 2,7±0,4 m/s; 1 m a 2,46±0,29 m/s; 1,5 m a 2,18±0,3 m/s; 2 m a 2,07±0,24 m/s; 2,5 m a 1,95±0,23 m/s; 3 m a 1,92±0,2 m/s).

Otras de las investigaciones halladas en la literatura son los llamados análisis a través de las distancias fijas llevados a cabo por Houel et al. (2010, 2013), en donde el nadador debía permanecer en una posición hidrodinámica y limitar el nado ondulatorio entre los 5,5 y 6 m. Las velocidades mostradas por estos autores varían para el centro de masa (2,18±0,21 y 1,99±0,13 m/s) y la cadera (2,15±0,27 y 2,05±0,11 m/s) en función de las distancias analizadas. Pero estos resultados que están de acuerdo con los trabajos previos de Elipot et al. (2009) y Lyttle et al. (2000), ya que en caso de que el nadador iniciase el movimiento ondulatorio demasiado pronto incrementaría la resistencia hidrodinámica y limitaría el rendimiento subacuático de la prueba (Elipot et al., 2009). Sin embargo, Houel et al. (2010, 2013) afirmaron que una disminución del ángulo de ataque del tronco y del pie como variable seleccionada para mejorar la velocidad dentro de su estudio, influirán directamente en la resistencia y en el coeficiente de elevación del cuerpo (Rouboa, Silva, Leal, Rocha y Alves, 2006; Naemi, Easson y Sanders, 2010).

De forma resumida, y al igual que en el apartado sobre la velocidad de deslizamiento subacuático, se muestran en la tabla 7 las velocidades más significativas encontradas en la literatura. Además, se resumen los distintos estudios realizados en este ámbito en la tabla 8., donde se detalla el año, las muestras, las metodologías utilizadas, y las conclusiones más relevantes de dichos estudios.

Tabla 7: Velocidades (m/s) más significativas durante la fase del movimiento ondulatorio subacuático.

AUTORES	VELOCIDAD DE LA FASE DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO
Gavilán et al. (2002)	Hombres= 2,02 y Mujeres= 1,91 Hombres= 1,23 y Mujeres= 1,17 Hombres= 1,04 y Mujeres= 1,06
Elipot et al. (2010a)	- Inicio= 3,11±0,44 - Inicio+0,5 m= 2,7±0,4 - Inicio+1 m= 2,46±0,29 - Inicio+1,5 m= 2,18±0,3 - Inicio+2 m= 2,07±0,24 - Inicio+2,5 m= 1,95±0,23 - Inicio+3 m= 1,92±0,2
Houel et al. (2010)	2,18 (Centro de masa) 2,15 (Cadera)
Houel et al. (2013)	1,99 (Centro de masa) 2,05 (Cadera)

Tabla 8: Resumen de los estudios más relevantes que analizan la velocidad del movimiento ondulatorio subacuático durante la fase subacuática.

AUTOR	AÑO	N	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Lyttle et al.	1998	40	Cabestrante motorizado, un sistema de poleas y una célula de carga	Si el nadador realiza el batido subacuático antes del deslizamiento, crea un ritmo de prueba inferior por la desaceleración y un mayor gasto energético.
Lyttle y Blanksby	2000	56	Sistema de remolque y de poleas ajustables, una célula de carga unidireccional y una cámara de vídeo	Para las velocidades por encima de 1,9 m/s, se reduce entre el 15% - 18% la resistencia de fricción en comparación con la que se encuentra en la superficie.
Lyttle et al.	2000	16	Remolques a través de un cabrestante motorizado y un sistema de poleas	Elegir el momento idóneo para iniciar el movimiento ondulatorio influye directamente en el rendimiento, ya que tiene un impacto directo en la disminución de la desaceleración.
Gavilán et al.	2002	6	Análisis del movimiento 2D a través de imágenes digitales, el programa "Kinematical Analysis Software", versión KA2D para analizar los movimientos 2D	No todos los nadadores pueden alcanzar la máxima velocidad subacuática, ni pueden mantenerla durante mucho tiempo.
Arellano et al.	2003	32	Análisis 2D-DLT y un software de análisis del movimiento (KA2D)	La velocidad de nado horizontal fue inversamente proporcional al nº de strouhal, ya que el aumento de la velocidad se debió al aumento de la frecuencia con una longitud constante.
Hubert et al.	2006	4	Analizaron los datos en el Laboratorio de Investigación de Biomecánica Acuática de CEFID / UDESC y 3 cámaras VHS sincronizadas (30 Hz)	El movimiento ondulatorio subacuático contribuye a la ganancia de velocidad hasta la primera brazada en 15 metros.

Tabla 8: Resumen de los estudios más relevantes que analizan la velocidad del movimiento ondulatorio subacuático durante la fase subacuática.

AUTOR	AÑO	N	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Rouboa et al.	2006	1	Dinámica de fluido computacional (CFD) y una malla de celdas que simula el flujo de fluido 2D	La velocidad del movimiento ondulatorio subacuático se afectado por los ángulos de ataque, que influyen directamente en el arrastre y en el coeficiente de elevación del cuerpo.
Collard	2007	12	Análisis de videos a 24 FPS	Los cinco movimientos más rápidos de nado en orden decreciente son: nado ondulatorio subacuático > crol > mariposa > espalda > braza.
Elipot et al.	2009	8	Técnica DLT y datos antropométricos Dempster's	Iniciar el movimiento ondulatorio demasiado pronto, incrementa la resistencia hidrodinámica y limita el rendimiento subacuático de la prueba.
Elipot et al.	2010 a	8	Técnica DLT-2D modificada y datos antropométricos Dempster's	Los nadadores no utilizan la fase submarina de la salida de manera eficiente, ya que inician el batido demasiado pronto y no producen altas velocidades, desperdiciando así energía.
Houel et al.	2010	12	Análisis tridimensional y un software SimiMotion	El nadador debe permanecer en una posición hidrodinámica y limitar el nado ondulatorio subacuático entre 5,5 - 6 m.
Naemi et al.	2010	-	Revisión	La velocidad del movimiento ondulatorio subacuático se ve afectada por los ángulos de ataque, que influyen en el arrastre y en el coeficiente de elevación del cuerpo.
Roig	2010	1	Grabaciones de video y velocímetro	Dada la alta correlación entre los parámetros de percepción y ejecución del deslizamiento, se necesitan más investigaciones para verificar las tendencias subjetivas de la velocidad.
Santos et al.	2011	-	Revisión	La flexibilidad, los vórtices y el batido ascendente, aumentan y mantienen la velocidad mejorando la energía disponible durante el movimiento ondulatorio subacuático.
Houel et al.	2013	10	9 punto de referencia asociados a los datos antropométricos de Dempster (1959), 3 cámaras de vídeo a 25 Hz, un software Simimotion y un filtro Butterworth	El nadador debe permanecer en una posición hidrodinámica y limitar el nado ondulatorio subacuático entre 5,5 - 6 m.

1.3.2.4. EL BATIDO SUBACUÁTICO DURANTE EL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO.

1.3.2.4.1. ANALISIS PROPULSIVO DEL BATIDO SUBACUÁTICO.

Mucho se ha hablado sobre la importancia e influencia de los movimientos del batido durante la fase del movimiento ondulatorio subacuático, juntos con los posibles efectos sobre el nado, la velocidad, el posicionamiento del cuerpo y la fase subacuática entre otros. Pero nadie ha identificado con certeza la manera en que los nadadores se propulsan a través del agua, siendo muchas las teorías que han variado a lo largo de la literatura:

- Rueda de vapor,
- Arrastre propulsor,
- Empuje horizontal hacia atrás,
- Trayectoria en forma de “S”,
- Comportamiento de las superficies propulsiva, y
- Teoría de los vórtices, etc.

Por otra parte, muchos autores han coincidido en que existe una similitud entre los movimientos básicos del cuerpo y el llamado batido de delfín a través de los pies, con los movimientos propulsores mostrado por los delfines (Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002; Guillaume, Bideau, Colbert y Berton, 2007; Ungerechts, 1983; Ungerechts, Daly y Zhu, 1998). Pero las diferencias observadas en la recopilación de los datos hacen difícil comparar los tipos de nado a pesar de que la física aplicada a la natación es muy similar, ya que ciertos parámetros hidrodinámicos y cinemáticos podrían ser utilizados para hacer comparaciones directas (Loebbecke et al., 2009a).

1.3.2.4.1.1. BATIDO SUBACUÁTICO Y BRAZADA EN SUPERFICIE.

Estudios que han comparado la propulsión del batido de piernas con la brazada (Alves et al., 2006; Hollander et al., 1986; Maglischo, 2003; Vorontsov y Rumyantsev, 2000a; Watkins y Gordon (1983), han visto diferencias en cuanto al gasto energético

para producir una mayor velocidad propulsiva. Vorontsov y Rumyantsev (2000a), afirmaron que la acción de las piernas podría crear mayores fuerzas hidrodinámicas que las acciones de los brazos, debido:

- A su mayor superficie de propulsión,
- A que no hay retrocesos de los pies durante la ejecución, y, por último,
- Los grupos de músculos implicados son mucho más fuertes que en el de los brazos.

Estas afirmaciones respaldan las opiniones de Alves et al. (2006) tras observar que la principal ventaja del movimiento ondulatorio subacuático con relación al nado completo en superficie, estaba asociada con la frecuencia de piernas (120 - 170 batidos por minuto) en comparación con las extremidades superiores (44 - 56 ciclos de brazada por minuto) tras la inmersión (Maglischo, 2003), desvelando así su superioridad frente al movimiento de brazos.

En misma esta línea, Maglischo (2003) señaló en su libro que el batido de piernas de crol, espalda y mariposa contribuían mucho a la velocidad de nado. Los estudios de Watkins y Gordon (1983) así de muestran, ya que observaron que los nadadores sólo podían nadar con los brazos al 90% de la velocidad máxima y en distancias cortas cuando estos ejecutaban el estilo completo. Por consiguiente, la acción del batido de piernas contribuía a un 10% como promedio. Hollander et al., (1986), a través del sistema de medición del arrastre activo (MAD), midieron la fuerza propulsora de nado a velocidad máxima y a estilo completo solo con brazos y usando pull-boy. En dicho estudio, concluyeron que la acción propulsiva producida por las piernas contribuía un promedio del 12% en el estilo libre completo, un 27% más en algunos nadadores en estilo completo y un 6% más cuando sólo utilizaban los brazos.

1.3.2.4.1.2. INFLUENCIAS ARTICULARES SOBRE EL BATIDO SUBACUÁTICO.

Dentro de la literatura diferentes estudios han analizado cómo determinados parámetros articulares podrían influir de forma significativa en el desarrollo del batido (e.g.: Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002; Connaboy et al., 2016; Loebbecke,

Mittal, Fish y Mark, 2009c; Ungerechts, Daly y Zhu, 1998; Willems, Cornelis, Deurwaerder, Roelandt y Mits, 2014). Para autores como Loebbecke et al. (2009c) la asimetría de la rodilla y el tobillo ha originado diferencias significativas en los movimientos descendentes y ascendentes del batido. Mientras que para Ungerechts, Daly y Zhu (1998) la falta de flexibilidad del tobillo requería de movimientos compensatorios para aumentar el rendimiento. Sin embargo, la limitada capacidad de hiperextensión de la rodilla y el tobillo reduciría los movimientos simétricos del pie durante los movimientos ascendentes y descendentes del batido (Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002).

En base a esto, los estudios de Willems et al. (2014) encontraron una correlación positiva entre la fuerza muscular del tobillo y la flexibilidad durante el batido en veintiséis nadadores internacionales y nacionales. Tras limitar la movilidad articular del tobillo mediante una cinta elástica se redujo significativamente la flexibilidad, lo cual provocó un descenso de la flexión plantar (activa/pasiva) y de la rotación interna del tobillo. Dicha restricción modificó el desarrollo del batido provocando una mayor flexión de la rodilla, junto con un descenso significativo del rendimiento. La velocidad se redujo un 19% mientras que en la frecuencia y la longitud fueron un 5,7% y 13,4%. Al comparar la velocidad de los nadadores ($1,32 \pm 0,21$ m/s), junto con la frecuencia ($1,95 \pm 0,34$ Hz) y longitud por ciclo del batido ($0,69 \pm 0,81$ m) estas disminuyeron cuando no limitaron el batido ($1,64 \pm 0,20$ m/s - $2,08 \pm 0,40$ Hz - $0,82 \pm 0,21$ m). Sin embargo, dichos autores afirman que los hallazgos podrían ser de gran importancia en investigaciones futuras de cara a realizar programas de entrenamiento para la mejora de la flexibilidad o la fuerza articular durante el batido.

Por último, también se han encontrado estudios que han analizado como la simetría sagital podría influir en el desarrollo del batido subacuático de delfín. En las investigaciones realizadas por Atkison, Dickey, Dragunas y Nolte (2013) y tras comparar a quince nadadores masculinos (universitarios y de un club local) en posición ventral. Estos autores mostraron como la frecuencia (entre 1,72 a 2,31 Hz), la longitud (entre 0,40 a 0,69 m) y la velocidad del batido (entre 1,72 a 2,31 Hz) variaron porque los nadadores más rápidos poseían un batido más simétrico que los nadadores más lentos, siendo los valores promedios para la frecuencia de $2,11 \pm 0,18$

Hz, para la longitud de $0,55\pm0,07$ m y para la velocidad de $1,64\pm0,15$ m/s. Sin embargo, llegaron a la conclusión que la mayoría de los nadadores fueron capaces de realizar el descenso del batido con éxito, pero los nadadores que fueron más eficientes fueron capaces de realizar la fase ascendente más rápido. Aun así, dichos autores afirman que serían necesarios más estudios que examinen el efecto de la asimetría bilateral sobre el rendimiento del batido de delfín.

1.3.2.4.1.3. ANÁLISIS DEL BATIDO SUBACUÁTICO EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE RENDIMIENTO.

La literatura científica también recoge otras investigaciones que han comparado distintas categorías de nadadores y niveles de rendimientos. Los estudios llevados a cabo por Arellano, Pardillo y Gavilán (2002, 2003) muestran diferentes conclusiones y observaciones cinemáticas durante el batido a través del nº de strouhal medio ($\cong 0,81$), ya que los valores inferiores hallados en su estudio se relacionaron con la mayor velocidad de nado registrada. Al comparar ambos grupos (internacional y nacional) dichos autores observaron un descenso de la longitud del batido (0,62 m) y un incremento de la frecuencia del batido (2,14 y 1,76 Hz), junto con un aumento del ángulo de la rodilla durante el inicio del descenso del batido. Para Arellano, Pardillo y Gavilán (2002, 2003) esto pudo ser la mejor manera de aumentar la velocidad del nadador (1,61 y 1,15 m/s) durante el nado ondulatorio subacuático (Arellano, Pardillo y Gavilán, 2003). Sin embargo, y en relación a los estudios de Ungerechts, Daly y Zhu (1998), las investigaciones de Arellano, Pardillo y Gavilán (2002) se centraron principalmente en los valores medios de los parámetros y no profundizaron en las tendencias observadas.

En las investigaciones llevadas a cabo por Connaboy et al. (2016) con diecisiete nadadores nacionales en posición ventral y durante un total de 6 ciclo por cada dos ensayos. Dichos autores llegaron a la conclusión que la velocidad angular máxima de la rodilla y el tobillo, junto con el rango de movimiento de la rodilla influyeron en la velocidad máxima de nado (92.9%), siendo la frecuencia de $2,13\pm0,23$ Hz, la longitud de $0,57\pm0,07$ m y la velocidad del batido $1,20\pm0,13$ m/s. Además, también afirmaron

que los nadadores emplearon diferentes técnicas tras intentar maximizar la velocidad ondulatoria subacuática de nado.

De igual modo, otros estudios también han comparado en categoría olímpica la influencia del batido en función del género (Loebbecke et al., 2009c, b). Para autores como Loebbecke et al. (2009c) las mujeres y los hombres de su estudio a una profundidad de 1,7 m mostraron una frecuencia (1,81 y 2,38 Hz), longitud (0,64 y 0,58 m) y velocidad del batido (0,95 y 1,31 m/s) que estuvo próxima a los datos hallados por Arellano, Pardillo y Gavilán (2002, 2003), a pesar de que el n° de strouhal fuera mayor al de dichos autores (0,81 vs 1,21 y 1,06). Además, sus datos también concuerdan con los resultados de frecuencia (1,81 - 2,63 - 2,22 Hz y 1,92 - 2,38 Hz), longitud (0,64 - 0,48 - 0,60 m y 0,74 - 0,58 m) y velocidad (0,95 - 0,95 - 0,97 m/s y 1,18 - 1,31 m/s) descritos por Loebbecke et al. (2009b) tras analizar la eficacia propulsiva del batido de delfín en tres mujeres y dos hombres del mismo nivel. Después de todo, Loebbecke et al. (2009c) observaron que el cuerpo del nadador presentaba movimientos relativamente simples y mayoritariamente simétricos respecto al plano sagital, ya que no se movían sobre su eje longitudinal o transversal, no revelando ningún movimiento significativo de los brazos durante el desarrollo del batido. Además, al realizarse debajo de la superficie del agua los efectos de las salpicaduras, entrada de aire y oleaje de la superficie no tuvieron un impacto significativo en la hidrodinámica del batido.

1.3.2.4.1.4. POSICIÓN DEL BATIDO SUBACUÁTICO.

El desarrollo del batido subacuático se ha analizado principalmente en función de la posición en la que se desplaza el nadador debajo del agua (Alves et al., 2006; Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002; Loebbecke, Mittal, Fish y Mark, 2009b, c; Lyttle y Blanksby, 2000). Autores como Lyttle et al. (2000) han afirmado que el deslizamiento y el batido subacuático después del despegue de la pared son una componente fundamental si se quiere conseguir un óptimo rendimiento, ya que se han caracterizado por su alta velocidad la cual difiere del nado en superficie (Cohen, Cleary y Mason, 2012).

En los estudios realizados por Alves et al. (2006) sobre la orientación del batido de delfín durante dos ciclos completos tras la salida a máxima velocidad y mediante el análisis de imágenes. Dichos autores mostraron que la posición lateral aumentó la longitud batido ($0,59 \pm 0,09$ m) y la dorsal incremento la extensión del tobillo ($2,30 \pm 0,33$ Hz) a velocidad de ciclo ($1,42$ m/s). El batido dorsal parecía estar acompañada por unas oscilaciones verticales del cuerpo y una mayor extensión del tobillo (n° de strouhal $0,95 \pm 1,31$), lo que confirmaba los resultados de Arellano (1999) y coincide con los parámetros descritos años antes por Arellano, Pardillo y Gavilán (2002) debido a su menor valor (n° de strouhal $0,78$). También, Alves et al. (2006) hallaron diferencias entre el batido de delfín ventral y lateral principalmente en la frecuencia ($2,35 \pm 0,27$ vs $2,08 \pm 0,36$ Hz) y velocidad ($1,46 \pm 0,15$ vs $1,27 \pm 0,11$ m/s) que en la longitud del batido ($0,50 \pm 0,06$ y $0,59 \pm 0,09$ m). En cualquier caso, la máxima flexión de la rodilla y las oscilaciones transversales del tobillo, rodilla, cadera y codo, junto con una menor frecuencia del batido mostraron un patrón de movimiento menos eficiente, pero según ellos pudo deberse a la menor familiarización y no utilización del batido lateral en situaciones de competición y entrenamiento.

En otros estudios que comparan la orientación del batido lateral con el dorsal, Lyttle y Blanksby (2000) no encontraron diferencias significativas evidente entre el batido prono de estilo libre, el batido decúbito prono de delfín o el batido lateral de delfín, en cualquiera de las velocidades estudiadas. Ambos autores llegaron a la conclusión que ninguno de los batidos analizados resultó significativamente más ventajoso sobre los otros, ya que no se encontraron diferencias significativas entre los desplazamientos a cualquier velocidad, aunque la posición lateral registrara mayor fuerza negativa neta. En cambio, en los estudios de Loebbecke et al. (2009b, c) y dependiendo de la prueba en particular, junto con las preferencias individuales en función de la orientación del nadador (prona, dorsal o lateral). La posición lateral con un deslizamiento lateral seguida del batido de delfín durante las pruebas de estilo libre, ha sido más utilizada en la alta competición. Pero según afirmó Maglischo (2003) faltan pruebas que confirmen dicha ventaja relacionada con tal elección.

1.3.2.4.1.5. TÉCNICAS DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DEL BATIDO SUBACUÁTICO

A pesar del número de investigaciones realizadas en este campo, han sido diferentes los ensayos con nadadores y métodos utilizados para investigar la influencia del batido subacuático (Cohen, Cleary y Mason, 2012; Konstantaki y Winter, 2009; Loebbecke et al., 2009a; Lyttle y Keys, 2004, 2006). Konstantaki y Winter (2009) mediante del entrenamiento del batido de piernas durante seis semanas y con un diseño de control aleatorio en nadadores masculinos competitivos (un grupo experimental llevo a cabo una sesión de entrenamiento del batido equivalente al 20% del entrenamiento total por una semana, mientras que un grupo de control fue equivalente al 4%). Ambos autores llegaron a la conclusión de que el entrenamiento del batido de pierna podría aumentar la eficacia de la prueba y mejorar la resistencia de la pierna. Además, afirmaron que la formación del nado ondulatorio subacuático debería incluirse en el entrenamiento diario, ya que podría mejorar la economía del nado de los nadadores, coincide así con otros autores (Willems et al., 2014).

También han sido varios los autores que han tratado de utilizar diferentes técnicas de medición y análisis para el estudio del batido a lo largo de la literatura. Loebbecke et al. (2009a) combinando el uso de escáneres corporales con láser, filmaciones subacuáticas, animaciones mediante software y la dinámica de fluidos computacional, propusieron una nueva metodología para un modelo computacional, y para simular y examinar la hidrodinámica del batido de delfín. Autores como Cohen, Cleary y Mason (2012), realizaron un estudio computacional utilizando la hidrodinámica de partículas homogéneas, permitiendo un análisis cuantitativo de las variaciones de la prueba de nado y las variaciones kineantropométricas durante el nado subacuático con el batido de delfín. Lyttle y Keys (2004, 2006), a través de la dinámica de fluido en tres dimensiones, llegaron a la conclusión que la falta de longitud del batido fue más efectiva a velocidades inferiores a 2,4 m/s.

Por último, en diferentes investigaciones (Mittal, Dong, Bozkurtas, Lauder y Madden, 2006; Loebbecke et al., 2009b, c) se ha demostrado la creación de un vórtice durante el retroceso de extensión que estaba asociado con la mayor parte del empuje. Dichos autores, cuantificaron la eficiencia del batido de delfín (definida en términos de

trabajo útil dividida por el trabajo total) entre 11% y 29% en cinco nadadores de élite, en comparación con el 56% de un cetáceo. Guillaume et al. (2007), duplicó los valores de longitud ($0,55 \pm 0,10$ m), la frecuencia ($2,09 \pm 0,31$ Hz) y velocidad ($2,50 \pm 0,10$ m/s), al ver la influencia con monoaletas sobre los parámetros cinemáticos de la frecuencia y longitud del batido en pronación con nadadores nacionales.

A modo de síntesis, en la tabla 9 se pueden observar los datos más significativos obtenidos por los autores sobre la velocidad, la frecuencia y la longitud del batido subacuático. Por otro lado, se presenta en la tabla 10 las investigaciones más relevantes sobre este apartado, mostrando el año, la muestra analizada, la metodología empleada y conclusiones tomadas.

Tabla 9: Resultados sobre la velocidad (m/s), la frecuencia (Hz) y la longitud (m) durante el batido subacuático.

AUTORES	BATIDO SUBACUÁTICO		
	Velocidad	Frecuencia	Longitud
Arellano et al. (2002, 2003)	1,61	2,14	0,62
(Sujeto Internacional/Nacional)	1,15	1,76	0,62
Alves et al. (2006)	1,42	2,30	0,55
	(Dorsal)	(Dorsal)	(Dorsal)
	1,46	2,35	0,50
	(Ventral)	(Ventral)	(Ventral)
	1,27	2,08	0,59
(Sujeto Nacional/Junior)	(Lateral)	(Lateral)	(Lateral)
Guillaume et al. (2007)	2,50	2,09	0,55
(Monoaleta/Sin Monoaleta)			
Loebbecke et al. (2009b)	1,18 y 1,31	1,92 y 2,38	0,74 y 0,58
	0,95; 0,95;	1,81; 2,63;	0,64; 0,48;
	0,97	2,22	0,60
Loebbecke et al. (2009c)	1,31	2,38	0,58
	0,95	1,81	0,64
Atkison et al. (2013)	1,64 $\pm$ 0,15	2,11 $\pm$ 0,18	0,55 $\pm$ 0,07
(Universitarios y Local)			
Willems et al. (2014)	1,64/1,32	2,08/1,95	0,82/0,69
(Sin y con restricción)			
Connaboy et al. (2016)	1,20 $\pm$ 0,13	2,13 $\pm$ 0,23	0,57 $\pm$ 0,07
(Nacionales)			

Tabla 10: Resumen de los estudios más relevantes que analizan el batido subacuático.

AUTOR	AÑO	N	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Watkins y Gordon	1983	33	Grabaciones de video y un cronometro	Los brazos aportan el 90% de la velocidad máxima en distancias cortas en el estilo completo, pero las piernas aportan el 10% como promedio.
Ungerechts et al.	1998	2	Filmaciones, análisis en 2D/3D de un delfín y un humano	La falta de flexibilidad del tobillo humano, requería movimientos compensatorios para aumentar el rendimiento en el nado.
Lyttle y Blanksby	2000	56	Sistema de remolque y de poleas ajustables, una célula de carga unidireccional y una cámara de vídeo	El batido ventral de crol, decúbito prono o lateral no revela ninguna diferencia significativa ni ventajosa.
Lyttle et al.	2000	16	Remolques a través de un cabrestante motorizado y un sistema de poleas	El deslizamiento y el batido subacuático tras el despegue de la pared son fundamentales si se quiere conseguir un óptimo rendimiento.
Vorontsov y Rumyantsev	2000	-	Revisión	Las piernas crear mayor fuerza hidrodinámica que los brazos por a su mayor superficie de propulsión, nulo retroceso y mayor musculatura.
Arellano et al.	2002	19	Un análisis bidimensional a través de un software de análisis del movimiento KA2D	La incapacidad de hiperextensión de la rodilla y el tobillo limita los movimientos simétricos del pie en el batido ascendente y descendente.
Zamparo et al.	2002	7	Sistema de poleas fijadas a una plataforma y coordenadas en 2D, un medidor de flujo de turbina (PT-301, Mead Inst. Corp., Riverdale, NY, EE.UU.) conectado a un tacómetro (F1-12P indicador Portable, Mead Inst. Corp., Riverdale, NY, EE. UU), un medidor de gas seco (Harvard medidor de gas seco, EE. UU) y un espectrómetro de gas calibrado (MGA 1100, Perkin Elmer, CA, EE. UU)	El nado ondulatorio humano presenta una mayor similitud con la locomoción de la trucha.
Arellano et al.	2003	32	Análisis 2D-DLT y software de análisis del movimiento (KA2D)	Aumentar la velocidad se consigue con un descenso de la longitud, aumento de la frecuencia y del ángulo de la rodilla en el descenso.
Alves et al.	2006	6	Análisis cinemático 3D (APAS), un sistema de referencia global para la digitalización y un filtro digital (Butterworth)	La posición dorsal aumenta la extensión del tobillo y la flexión de rodilla las oscilaciones con una menor frecuencia.
Lyttle y Keys	2006	1	Un escáner 3D del cuerpo, dinámica de fluido computacional, un análisis cinemático en 2D y ensayos estáticos de remolque	La falta de longitud del batido fue más efectiva a velocidades inferiores a 2,4 m/s.

Tabla 10: Resumen de los estudios más relevantes que analizan el batido subacuático.

AUTOR	AÑO	N	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Mittal et al.	2006	1	Dinámica de fluido computacional y un método límite inmerso realizado en un pez	Un anillo de vórtice durante el retroceso de extensión estuvo asociado con la mayor parte de la generación del empuje.
Connaboy et al.	2007 a	15	Técnica cinematográfica 2D, sistema de análisis de rendimiento ariel (APAS-2000 Arial Dynamics, 2000) y un sistema APAS	El nado ondulatorio humano presenta una mayor similitud con la locomoción de la trucha.
Guillaume et al.	2007	12	Monoaletas, 2 cámara de vídeo digital de 50 Hz, DLT-2D, un sistema de evaluación de arrastre activo (ADES) y un método de perturbación de la velocidad (VPM)	Los datos de frecuencia y longitud del batido con monoaletas se duplican, no encontraron diferencias con respecto al nado ondulatorio subacuático.
Konstantaki y Winter	2009	15	1 ergómetro de piernas, un banco de natación conectado a un transductor, un sistema de análisis de gases en línea (Covox Microlab, Exeter) y un neumotacógrafo (Servomex Ltd., Sussex)	El entrenamiento diario del batido puede mejorar la prueba y la resistencia de piernas, ayudando en la economía del nado.
Loebbecke et al.	2009 b	5	Simulaciones de dinámica de fluidos computacional	El batido depende de la prueba de nado en particular y de las preferencias individuales del nadador sobre cómo orientarse (prona, dorsal o lateral).
Loebbecke et al.	2009 c	2	Modelo geométrico estático, desarrollada a través de un escaneo laser de 3D y dinámica de fluidos computacional y un modelo de animación	El batido se realiza con los brazos extendidos, bloqueados y juntos en posición hidrodinámica con el cuerpo simétrico a pesar de la asimetría (rodilla y tobillo).
Cohen et al.	2012	1	Un método numérico, simulaciones a través de la hidrodinámica de partículas asiladas (SHP) y un escáner 3D (VITUS XXL)	El batido de delfín se caracteriza por su alta velocidad, la cual difiere durante el nado libre en superficie.
Willems et al.	2014	26	Mediciones goniométricas, un método de Ekstrand et al. (1982), un dinamómetro de mano (2 Microfet, Hoggan, West Jordan, UT, EE. UU), 2 cámaras de alta velocidad (CASIO EXILIM Pro EX-F1, 300 Hz) y 2 cámaras adicionales (420 líneas de TV CCD a color)	La fuerza del tobillo y la flexibilidad tienen una correlación positiva, pero los cambios del batido crean mayor flexión de rodilla y un descenso del rendimiento.

1.3.2.4.2. FRECUENCIA Y LONGITUD DEL BATIDO SUBACUÁTICO.

Entre los factores que contribuyen a la eficiencia del nado subacuático se encuentran la frecuencia y la longitud del batido. Ambos parámetros que son de particular importancia en la determinación del rendimiento propulsivo interactúan para producir una fuerza que sobre el agua derive en empuje (Loebbecke et al., 2009a). Esto provoca que la velocidad de nado horizontal se vea afectada por la combinación de ambas (Connaboy, Coleman y Sanders, 2009), a la vez que aumenta el impulso con los movimientos ascendentes y descendentes de los pies (Hochstein y Blickhan, 2011; Miwa, Matsuuchi, Shintani, Kamata y Nomura, 2006).

Diferentes estudios hallados en la literatura han analizados y comparado como influyen ambos parámetros en el batido subacuático (Gavilán et al., 2002; Loebbecke et al., 2009a; Lyttle y Keys, 2004). Autores como Loebbecke et al. (2009a) encontraron que la frecuencia (1,75 - 2,79 Hz vs 1,66 - 2,66 Hz) y longitud del batido (0,40 - 0,71 m vs 0,36 - 0,59 m) entre hombres y mujeres estuvieron próximos a los promedios de frecuencia ($2,18 \pm 0,34$ Hz), longitud ($0,53 \pm 0,09$ m) y velocidad del batido ($1,45 \pm 0,23$ m/s) hallados en los cetáceos. Sin embargo, llegaron a la conclusión que los nadadores de su estudio no fueron capaces de igualar el rendimiento motor en comparación con los cetáceos debido a su baja capacidad y poca potencia de piernas. En los estudios de Gavilán et al. (2002) tras analizar las variables cinemáticas del movimiento ondulatorio subacuático con diferente nivel de rendimiento (Internacional, Infantil y Ex-nadadores). Los parámetros de la frecuencia (1,72 - 2,17 - 1,61 Hz y 2,08 - 1,47 - 1,55 Hz) y longitud del batido (0,75 - 0,59 - 0,64 m y 0,82 - 0,66 - 0,73 m) también variaron entre los hombres y mujeres al igual que en los análisis de Loebbecke et al. (2009a).

Lyttle y Keys (2004) que tras examinar la máxima longitud (0,54 m) entre la lentitud del batido (2,27 Hz), junto con la mínima longitud (0,42 m) entre la rapidez del batido (2,63 Hz) a diferentes velocidades (1,5; 2,18 y 2,4 m/s). Sus datos coincidieron con los obtenidos por Arellano, Pardillo y Gavilán (2002) fruto de las diferentes habilidades de los sujetos. Estos autores trataron de comprender y optimizar el rendimiento del movimiento ondulatorio subacuático de un nadador de élite, a través

de las interacciones entre la frecuencia y la longitud del batido mediante la dinámica de fluidos computacional. Asimismo, encontraron diferencias en el nº de strouhal (0,57 y 0,52) entre la frecuencia y la longitud vertical de los pies, y en algunas de las características angulares que se correlacionaron con el movimiento de las extremidades inferiores. Por otra parte, Lyttle y Keys (2004) sostienen que la longitud máxima/menor frecuencia del batido fue más eficiente para los dos estilos de piernas analizados en su estudio, pero ambos autores advierten que los resultados no podrían generalizarse a toda una gama de posibles patrones del batido utilizados por los nadadores.

1.3.2.4.2.1. FRECUENCIA DEL BATIDO SUBACUÁTICO.

Si analizamos por separado ambos parámetros cinemáticos que se dan dentro del batido, la frecuencia determina el tiempo de aceleración proporcionada a la masa de agua. Para Connaboy et al. (2007a) numerosos estudios han demostrado una relación lineal entre la frecuencia y la velocidad de avance con independencia del tamaño del animal y el estilo del movimiento ondulatorio subacuático adoptado. Estos autores observaron que a medida que aumentaba la frecuencia ($2,11 \pm 0,03$ Hz) se incrementaba la velocidad de avance ($1,24 \pm 0,47$ m/s), tras examinar la cinemática del nado ondulatorio subacuático humano y comparándolo con los principales componentes de la forma de la onda de propulsión con la locomoción ondulatoria animal.

Pero otros autores como Boitel et al. (2010) señalaron que los valores óptimos para la frecuencia del batido se encuentran cerca de la llamada frecuencia personal, junto con una combinada longitud de ciclo durante el nado ondulatorio subacuático. Del mismo modo, Martin, Sanderson y Umberger (2000) sugirieron que los nadadores eligen de forma natural una óptima frecuencia y longitud del batido para equilibrar la fuerza de propulsión al máximo, y disminuir la resistencia durante el nado ondulatorio subacuático. Aun así, ambos investigadores coinciden en que no todos los nadadores de su estudio encontraron el momento óptimo, ya que según Arellano, Pardillo y Gavilán (2002) son fruto de las diferentes habilidades del sujeto.

Otros estudios como los realizados por Zamparo et al. (2002) y tras examinar como el uso de las aletas influiría en la economía y eficiencia del nado, observaron un gran descenso de la frecuencia del batido (aproximadamente 40%) debido a que la longitud del batido disminuía ligeramente (en alrededor de 10%). Estos autores llegaron a la conclusión que para incrementar la frecuencia más allá de los valores máximos se requería un mayor trabajo específico a nivel locomotor, ya que para aumentar la velocidad de nado debería mejorarse el aumento de la frecuencia, sin disminuir la longitud durante el nado ondulatorio subacuático máximo.

Shimojo, Sengoku, Miyoshi, Tsubakimoto y Takagi (2014), y tras estudiar qué efectos producirían los cambios de frecuencia durante el nado subacuático en diez nadadores masculinos de nivel nacional tras tres ciclos completos. Todos ellos llegaron a la conclusión que la velocidad de nado horizontal ($1,60 \pm 0,12$ m/s) disminuyó significativamente cuando la frecuencia se redujo ($2,26 \pm 0,16$ Hz), pero no mostró ningún cambio significativo cuando esta se incrementó. Además, el n° strouhal y la eficiencia de froude no mostraron cambios significativos cuando la frecuencia de ciclo descendió. Solo cuando la eficiencia del n° de froude disminuyó significativamente, el n° strouhal permaneció sin cambios cuando aumentó la frecuencia de ciclo. Incluso, la velocidad de nado horizontal no mostró diferencias significativas entre las sesiones previas y posteriores al estudio. Por consiguiente, Shimojo et al. (2014) asumieron que no fue efecto de la fatiga tras realizar repetidos ensayos durante el nado ondulatorio subacuático.

En los estudios realizados por Barthels y Adrian (1971), ya se habló que la frecuencia del batido era la variable cinemática más influyente en la velocidad de avance. En relación a los cambios articulares durante la longitud del batido, la frecuencia fue necesaria para la ejecución de los movimientos con independencia de las condiciones de dicho estudio. En base a esto, Houel et al. (2010, 2013) afirmaron que los nadadores debían mantener una mayor frecuencia de ciclo ($2,32 \pm 0,21$ Hz) durante el movimiento ondulatorio subacuático, especialmente cuando nadaban cerca de la superficie hasta alcanzar la máxima velocidad, junto con una correcta posición hidrodinámica del cuerpo (Mason y Cossor, 2001; Guimarães y Hay, 1985; Vilas-Boas et al., 2000). Para Barthels y Adrian (1971) que examinaron el rendimiento, el sprint

del batido de delfín y el estilo de mariposa en superficie con cuatro nadadores. La velocidad del batido moderado ($0,93 \pm 0,03$ m/s) difiere del batido más rápido ($1,20 \pm 0,04$ m/s). Sin embargo, dicho estudio presentó la mínima evidencia empírica para justificar sus afirmaciones.

En los estudios realizados por De Jesús et al. (2012) sobre la cinemática lineal de la fase ondulatoria subacuática después de la salida y especialmente en el estilo de espalda. No se hallaron diferencias en los parámetros cinemáticos analizados a lo largo de los 12 ciclos del batido. Sin embargo, dichos autores encontraron que, en los cuatro primeros ciclos del batido subacuático durante descenso y ascenso, diferían de los cuatro últimos realizados antes de los 15 m. Entre ambas técnicas de espalda los nadadores disminuyeron la velocidad media (de $1,47 \pm 0,11$ y $1,44 \pm 0,04$ m/s a $1,28 \pm 0,07$ y $1,30 \pm 0,04$ m/s) y la aceleración horizontal (de $0,61 \pm 0,07$ y $0,60 \pm 0,06$ m a $0,55 \pm 0,05$ y $0,55 \pm 0,07$ m), incrementando el tiempo y reduciendo la frecuencia en los cuatro últimos ciclos ($2,33 \pm 0,19$ y $2,39 \pm 0,24$ Hz), en comparación con los cuatro primeros iniciales ($2,42 \pm 0,15$ y $2,41 \pm 0,20$ Hz).

Con todo ello, los estudios llevados a cabo con la frecuencia del batido en el movimiento ondulatorio subacuático humano han sido insuficientes. Su papel ha sido descrito por diversos autores (Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002; Barthels y Adrian, 1971; Guillaume et al., 2007; Zamparo et al. 2002), pero rara vez se ha convertido en el objetivo principal de la investigación. A continuación, se muestra en la tabla 11 aquellos aspectos más destacables sobre la frecuencia del batido.

Tabla 11: Aspectos destacables de la frecuencia del batido subacuático según las investigaciones halladas en la literatura.

ASPECTOS DESTACABLES DE LA FRECUENCIA DEL BATIDO SUBACUÁTICO
<ul style="list-style-type: none">- Determina el tiempo de aceleración proporcionada a la masa de agua.- Tiene una relación lineal con la velocidad de avance (exponencial).- Requiere un mayor trabajo específico a nivel locomotor.- Los valores óptimos se encuentran cerca de la llamada frecuencia optima o personal.- Está influenciada por las diferentes habilidades del sujeto.- La frecuencia debería ser mayor cuando se nada cerca de la superficie del agua.

1.3.2.4.2.2. LONGITUD DEL BATIDO SUBACUÁTICO.

Otro de los parámetros cinemáticos que se dan dentro del nado ondulatorio es la llamada longitud del batido, la cual hace referencia al volumen y a la masa del agua que afectada en la zona de los pies. Para autores como Gavilán, Arellano y Sanders (2006) gran parte de la propulsión subacuática según su estudio procedían de las piernas y no de los pies. Para Connaboy, Coleman y Sanders (2009), y tras revisar en su artículo la hidrodinámica del nado ondulatorio subacuático, señalaron que las longitudes de los movimientos del batido dentro del movimiento ondulatorio subacuático se han analizado a través de la longitud de los pies. Y también, mediante la longitud de las oscilaciones de los principales puntos de referencia anatómicos a lo largo de la longitud del cuerpo de nado (junto con la longitud y propulsión de ondas). Estos autores afirmaron que incluso podrían ser utilizados para identificar el tipo o el estilo de movimiento ondulatorio subacuático adoptado, debido a la influencia significativa con la resistencia activa del cuerpo del nadador.

En los estudios de Houel et al. (2013) tras analizar el nado subacuático entre 5 y 7,5 m, mostraron que longitud del batido ($0,70 \pm 0,06$ m) estuvo próxima a los datos ($0,71 \pm 0,06$ m) mostrado por Shimojo et al. (2014). En los estudios de Lyttle y Keys (2004, 2006) llegaron a la conclusión que una extensa longitud del batido fue mucho más eficaz a velocidades inferiores a 2,4 m/s. Este dato, respalda la información mostrada por Gavilán, Arellano y Sanders (2006) sobre la velocidad del centro de masa ($1,63 \pm 0,17$ m/s) y longitud del batido ($0,76 \pm 0,14$ m) con una frecuencia de $2,17 \pm 0,32$ Hz. Además, estos autores también señalaron que gran parte de la propulsión procedían de las piernas y no de los pies. En los estudios de Shimojo et al. (2014), la velocidad de nado horizontal de los nadadores disminuyó linealmente debido a que la frecuencia de ciclo descendió. Para aumentar dicha velocidad, los nadadores debían producir una mayor fuerza de propulsión durante el ciclo del batido con un incremento de la longitud, que dio lugar a una mayor fuerza resistiva sobre el nadador gracias a un incremento de área de sección transversal (Cohen, Cleary y Mason, 2012) disminuyendo así la velocidad horizontal.

Por el contrario, para autores como Arellano, Pardillo y Gavilán (2002, 2003), la longitud del batido no registró diferencias entre los grupos de nadadores analizados en su estudio (0,62 m), pero sí fue significativamente más alta en el grupo de nadadores de categoría internacional. En cambio, los nadadores del estudio de Hochstein y Blickhan (2014), fueron más lentos tras mostrar una mayor longitud en comparación con los nadadores más rápidos. Estos autores encontraron que el porcentaje de longitud en relación con la altura del cuerpo fue del 34,31% para el grupo internacional y del 36,58% para el grupo nacional. Frente a esto, cabría suponer que a mayor longitud del cuerpo mayor sería el movimiento y el agua desplazada, y por consiguiente mayor sería el incremento de la fuerza de la tensión muscular y de la longitud del batido, con independencia de una constitución física inferior (Connaboy, Coleman y Sanders, 2009). Por tanto, se convertiría en un factor condiciones en el desarrollo del batido subacuático.

A continuación, se muestra en la tabla 12 aquellos aspectos más destacables sobre la longitud del batido.

Tabla 12: Aspectos destacables de la longitud del batido subacuático según las investigaciones halladas en la literatura.

ASPECTOS DESTACABLES DE LA LONGITUD DEL BATIDO SUBACUÁTICO
<ul style="list-style-type: none">- Volumen y la masa del agua que afecta a la zona de los pies.- Una extensa longitud sería más eficaz a velocidades inferiores a 2,4 m/s.- Un aumento de la longitud genera mayor fuerza resistiva.- Se ha analizado a través de la longitud de los pies y las oscilaciones del cuerpo.- Una mayor longitud del cuerpo, incrementa la tensión muscular y la longitud del batido, desplazando más agua.

De forma resumida, se muestra en la tabla 13 los resultados más destacados encontrados en la literatura sobre la velocidad, la frecuencia y la longitud del batido. Además, los distintos estudios realizados en este ámbito quedan reflejados en la tabla 14, donde se detalla el año, las muestras, las metodologías utilizadas, y las conclusiones más relevantes de dichos estudios.

Tabla 13: Resultados de velocidad (m/s), frecuencia (Hz) y longitud (m) más significativas durante el batido subacuático.

AUTORES	BATIDO SUBACUÁTICO		
	Velocidad	Frecuencia	Longitud
Barthels y Adrian (1971) (Batido moderado/sprint)	0,93	-	-
	1,20	-	-
Gavilán et al. (2002) (Internacionales/Niños/ Ex-nadadores)	-	1,72	0,75
	-	2,08	0,82
	-	2,17	0,59
	-	1,47	0,66
	-	1,61	0,64
	-	1,35	0,73
Lyttle y Keys (2004) (Larga longitud y corto batido/ Corta longitud y rápido batido)	2,16	2,27	0,54
	2,13	2,63	0,42
Gavilán et al. (2006)	1,63±0,17	2,17±0,32	0,76±0,14
Connaboy et al. (2007a)	1,24	2,11	-
Loebbecke et al. (2009a) (Hombres/Mujeres/Promedio)	1,12-1,85	1,75-2,79	0,40-0,71
	1,22-1,58	1,66-2,66	0,36-0,59
	1,45±0,23	2,18±0,34	0,53±0,09
De Jesús et al. (2012) (Batido descendente/ascendente entre ciclos)	1,47±0,11	2,42±0,15	0,61±0,07
	1,44±0,04	2,41±0,20	0,60±0,06
	1,28±0,07	2,33±0,19	0,55±0,05
	1,30±0,04	2,39±0,24	0,55±0,07
Houel et al. (2013)	-	2,32±0,21	0,70±0,06
Shimojo et al. (2014)	1,60±0,12	2,26±0,16	0,71±0,06

Tabla 14: Resumen de los estudios más relevantes que analizan la frecuencia, longitud y velocidad del batido subacuático.

AUTOR	AÑO	N	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Barthels y Adrian	1971	4	Electrogoniometría y electromiografía	La frecuencia del batido influye significativamente en la velocidad de nado, en relación a los cambios en la longitud articular del batido.
Ungerechts et al.	1998	2	Filmaciones y análisis en 2D y 3D de un delfín y un humano	La falta de flexibilidad del tobillo humano, requería movimientos compensatorios para aumentar el rendimiento en el nado.
Lyttle et al.	2000	16	Remolque por un cabrestante motorizado y un sistema de poleas	Iniciar el batido tras deslizarse a 1,9-2,2 m/s podrían prolongar el nado subacuático hasta que se ralentice la velocidad de nado (1,2-1,8 m/s).
Arellano et al.	2002	19	Análisis 2D a través de un software de análisis del movimiento KA2D	Las habilidades personales, la incapacidad de hiperextensión de la rodilla y el tobillo, limita los movimientos simétricos del pie durante el batido.
Zamparo et al.	2002	7	Sistema de poleas fijadas a una plataforma y coordenadas en 2D, un medidor de flujo en turbina (PT-301, Mead Inst. Corp., Riverdale, NY, EE. UU) y conectado a un tacómetro (F1-12 P indicador Portable, Mead Inst. Corp., Riverdale, NY, EE. UU), un medidor de gas seco (Harvard medidor de gas seco, EE. UU) y un espectrómetro de gas calibrado (MGA 1100, Perkin Elmer, CA, EE. UU)	Aumentar la velocidad implica aumentar la frecuencia, sin disminuir la longitud del batido, ya que requiere trabajo específico a nivel locomotor.
Lyttle y Keys	2004	1	Modelo CFD de dos componentes, cartografía 3D mediante un escáner láser Cyberware WBX y una descripción precisa del patrón de movimiento a través de un análisis en 2D	Una extensa longitud entre la menor frecuencia es mucho más eficaz a 2,4 m/s, siendo gran parte de la propulsión de las piernas.

Tabla 14: Resumen de los estudios más relevantes que analizan la frecuencia, longitud y velocidad del batido subacuático.

AUTOR	AÑO	N	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Toussaint y Truijens	2005	-	Revisión	Nadar bajo el agua disminuye la fricción de onda.
Gavilán et al.	2006	20	1 Cámara (S-VHS a 50 Hz), MatLab, un modelo simétrico en 2D, un sistema de análisis cinemático desarrollado por R. Schleihau.	La propulsión procede de las piernas y no de los pies.
Lyttle y Keys	2006	1	1 Escáner 3D, dinámica de fluido computacional, un análisis cinemático en 2D y ensayos estáticos de remolque	Una extensa longitud del batido es mucho más eficaz a velocidades inferiores a 2,4 m/s, siendo gran parte de la propulsión de las piernas y no de los pies.
Mittal et al.	2006	1	Dinámica de fluido computacional y un método de límite inmerso realizado en un pez	Hay un vórtice durante el retroceso de extensión del batido que está asociado con la mayor parte de la generación del empuje.
Miwa et al.	2006	1	1 canal de nado, partículas trazadoras de Nylon (50 J. U11), un láser de Nd-YAG (New Wave Research, Inc., EE. UU), una cámara CCD (Kodak Megaplug ES1.0; Kodak Co., EE.UU.) y un ordenador personal (Dell Dimension 4200; Dell Computer Corp., EE.UU.)	El nado se genera de una gran fuerza de propulsión tras aumentar el impulso con los movimientos ascendentes y descendentes de los pies.
Connaboy et al.	2007 a	15	Técnica cinematográfica 2D, sistema de análisis de rendimiento Ariel (APAS-2000 Ariel Dynamics, 2000) y un sistema APAS	Aumentar la frecuencia del batido incrementa la velocidad de avance del nadador.
Loebbecke et al.	2009 a	21	Grabaciones de video y un software Darttrainer	La frecuencia y la longitud del batido determinan el rendimiento propulsivo y la producción de fuerza mediante el empuje.
Connaboy et al.	2009	-	Revisión	La velocidad de nado horizontal se ve afectada por la frecuencia y la longitud, ya que las dimensiones del cuerpo influyen en la resistencia al nado.
Boitel et al.	2010	8	Un sistema portátil (K4b ² ; Cosmed, Roma) y un tubo respirador (Aquatrain®; Cosmed), un software PC	Los valores óptimos están cerca de la llamada frecuencia personal, junto con una combinada longitud de ciclo durante nado ondulatorio subacuático.

Tabla 14: Resumen de los estudios más relevantes que analizan la frecuencia, longitud y velocidad del batido subacuático.

AUTOR	AÑO	N	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Houel et al.	2010	12	Análisis tridimensional y un software SimiMotion	Una gran frecuencia durante el movimiento ondulatorio se asocia a nada cerca de la superficie del agua hasta alcanzar la máxima velocidad.
Naemi et al.	2010	-	Revisión	Los nadadores de élite en las pruebas de espalda y mariposa realizan entre 6-8 batidos subacuáticos de delfín antes de reiniciar de la brazada.
Hochstein y Blickhan	2011	2	Velocimetría de imagen de partículas (TR-2D-PIV)	El nado se lleva a cabo mediante la producción de una gran fuerza de propulsión tras aumentar el impulso con los movimientos ascendentes y descendentes.
Houel et al.	2013	10	9 punto de referencia asociados a los datos antropométricos de Dempster (1959), 3 cámaras de vídeo a 25 Hz, un software SimiMotion y un filtro Butterworth	Una gran frecuencia durante el movimiento ondulatorio se asocia a nada cerca de la superficie del agua hasta alcanzar la máxima velocidad.
De Jesús et al.	2012	4	Velocímetro a 50 Hz, un MatLab Routine y un Butterworth a 10 Hz	Entre ciclos en 15 m, disminuyen la velocidad media y la aceleración horizontal, aumentando el tiempo y reduciendo la frecuencia en los cuatro últimos.
Hochstein y Blickhan	2014	10	Cámaras a 30 Hz (Basler A602fc, BASLER) y 125 Hz (Fastcam SA-3, Photron), 2 software WinAnalyze 2.1.1 (Mikromak) y MATLAB 2009b (The MathWorks)	Los nadadores lentos muestran una mayor longitud en comparación con los nadadores rápidos.
Shimojo et al.	2014	10	Marcadores de LEDs, 2 cámaras de vídeo de alta velocidad (1394, DKH Inc., Japón) a 100 Hz, un software de análisis de movimiento (Tracker), un método 2D-DLT, MATLAB con un filtro Butterworth a 6 Hz (MaU), un metrónomo y un altavoz acuático (MT-70 Toyo Onkyo Corporation)	La velocidad de nado horizontal disminuye linealmente con la frecuencia, para aumentarla se requiere una mayor fuerza de propulsión y longitud del batido.

1.3.3. FASE DE TRANSICIÓN SUBACUÁTICA AL NADO EN SUPERFICIE.

Maglischo (2003) señaló en su libro que desde la década de los sesenta y principios de los setenta, la mayoría de las opiniones entre los expertos de la natación era que las piernas no contribuían a la propulsión en tres de los cuatro estilos competitivos, debido a que se movían hacia arriba y hacia abajo, en lugar de hacia atrás como en el estilo de braza que sí empujaban las piernas. Pero no fue hasta finales de los años sesenta, cuando la visión respecto a la propulsión cambió, gracias a que se revisó el papel que las piernas desempeñaban, ya que en aquella época se puso de moda la propulsión por sustentación, haciendo pensar que la contribución del batido a la propulsión podría ser mayor de lo que se había imaginado. Después de todo, hoy en día la propulsión es aceptada por los expertos, ya que además de ayudar a mantener la alineación, las piernas contribuyen significativamente a la fuerza propulsora en todos los estilos de nado.

Dicha propulsión, que puede clasificarse en dos tipos:

- Propulsión mediante el movimiento ondulatorio desarrollado a través del batido de delfín, siendo igual para los tres estilos crol, mariposa y espalda, pero con diferente orientación (pronación y supinación), y
- Propulsión a través del batido alterno de pies, que sería más propio de los estilos simultáneos como son crol y espalda (ver Figura 6 y 7).

Se inicia con el batido de delfín (Lyttle et al., 1998, 2000) en la fase del movimiento ondulatorio subacuático y acaba con la denominada “fase de transición del nado hacia la superficie”.

Figura 6: Fase de propulsión subacuática a través del batido alterno de pies en el estilo de crol.

Figura 7: Fase de propulsión subacuática a través del batido alterno de pies en el estilo de espalda.

Después de la salida y el viraje, esta fase de transición al nado en superficie se sitúa cuando el batido subacuático se rompe con:

- La separación de uno o dos brazos (dependiendo del estilo de nado), rompiendo lo que otros autores denominan “gota de agua” (Marinho, Barbosa, Rouboa y Silva, 2011) o,
- Cuando se inicia el batido alterno de pies (en crol o espalda).

Ambos movimientos finalizan cuando la cabeza del nadador sale a la superficie del agua para posteriormente iniciar el primer recobro. Además, algunos autores (Elipot et al., 2009) destacan la importancia que tiene el retorno a la superficie de una forma progresiva y sincronizada, a través de un efecto conjunto de los hombros, cadera y rodilla desarrollado en las anteriores fases (deslizamiento y movimiento ondulatorio subacuático).

En base a otras opiniones, autores como Vantorre et al. (2010c) afirman que entre las características para realizar una salida eficiente se encuentran:

- Saber cuándo dejar de deslizarse e iniciar el batido, y
- Saber cuándo comenzar la transición desde el batido subacuático al nado completo.

Sin embargo, en los estudios de García y Veiga (2015) sobre el análisis coordinativo y temporal de la fase de transición del buceo al nado en superficie con doce nadadores que fueron filmados y analizados mediante fotogrametría DLT-2D. No encontraron datos en la literatura científica sobre esta fase, ya que para ellos podría aportar

información relevante a los entrenadores. Por lo tanto, recalcan la necesidad de más estudios específicos sobre este ámbito para así extraer conclusiones consistentes en los nadadores de élite.

En otros estudios hallados en la literatura solo destacan la importación que tiene el índice de coordinación tras la fase transición, así como su relación con el rendimiento, el género, la velocidad y el estilo de nado de los nadadores (e.g.: Chollet Charlies y Chatard, 2000; Chollet, 2003; García y Veiga, 2015; Seifert y Chollet, 2005; Seifert, Delignieres, Boulesteix y Didier, 2007). Una mala coordinación entre los factores propulsivos y de transición podría reducir la velocidad subacuática generada tras el impulso, incrementando la resistencia por una descoordinación durante el transcurso hacia la superficie. Autores como Chollet (2003) afirman en su libro que el índice de coordinación en nadadores más expertos se encontró a través de un aumento de las fases propulsivas y de un descenso de las fases no propulsivas al incrementar la velocidad de nado, adoptando así un índice de coordinación cada vez más elevado. Esto supuso un modo de nado menos eficiente energéticamente hablando, pero más adaptado desde la biomecánica para así acentuar las fuerzas producidas y luchar contra la resistencia al avance.

Por otro lado, también ha habido estudios que han investigado como afecta la coordinación entre brazos y piernas a la propulsión, junto con la salida a la superficie (Chollet, Carter y Seifert, 2006; Costill, Maglischo y Richardson, 1992; García y Veiga, 2015; Seifert et al., 2007). A medida que la velocidad de nado se incrementa o el nivel de los nadadores es mayor, las acciones de brazos y piernas (específicamente el tiempo entre el comienzo del movimiento hacia atrás de las manos y el punto más bajo del primer batido), muestran una considerable coordinación que se podría extrapolar al instante del arranque hacia la superficie del agua. Para los autores Chollet, Carter y Seifert (2006), el estilo de mariposa presentó una continuidad propulsiva de los miembros superiores que se vio dificultada en comparación a los estilos de crol y espalda. Por consiguiente, la acción de los brazos debería de estar coordinada con la acción de las piernas. Por lo tanto, dicha información, se podría relacionar en parte vista la escasez de bibliografía hallada en la literatura.

Por último, también se han encontrado otras investigaciones y opiniones sobre cual podrían ser el efecto que tendría una trayectoria subacuática determinada, así como la desaceleración subacuática producida por la resistencia (Naemi y Sanders, 2008; Vantorre et al., 2010a, b, c) de cara a la salida a la superficie. Aunque estos estudios no hablan de forma específica sobre la fase de transición propiamente dicha, confirmando así las opiniones de García y Veiga (2015) sobre la escasez de datos. Factores como la hidrodinámica (características antropométricas y resistencia) y las habilidades del batido subacuático (Guimarães y Hay, 1985; Houel et al., 2013; Lyttle et al., 1999; Pereira, Ruschel y Araújo, 2006; Ruschel et al., 2007); Vantorre et al., 2010c; Veiga y Roig, 2016a, b; Zamparo et al., 2012), podrían influir en la trayectoria subacuática de cara a la reanudación del nado, debido a las ejecuciones subacuáticas realizadas por los nadadores.

En base a esto, otros estudios también destacan de la importancia que podría tener el ángulo de ataque y la profundidad sobre la fuerza de resistencia (Pease y Vennell, 2010). Los estudios llevados a cabo por Pease y Vennell (2010) afirman que sería beneficioso que los nadadores adoptar un ligero ángulo de ataque negativo, que les permitiera reducir al mínimo la resistencia antes de reanudar el nado tras la transición. Incluso, para autores como Vantorre et al. (2010a, c), la correcta combinación entre el tiempo subacuático antes de volver al nado en superficie serían un aspecto principalmente individual, debido a las características antropométricas y a las habilidades propulsivas del nadador, junto con las estrategias tomadas durante el desarrollo de la prueba (Veiga y Roig, 2016a, b).

A continuación, se muestra en la tabla 15 los estudios más relevantes sobre el análisis de dicho apartado, indicando el año, la muestra y la metodología tomada, así como las conclusiones más importantes.

Tabla 15: Resumen de los estudios más relevantes que analizan la propulsión subacuática y la transición del buceo al nado.

AUTOR	AÑO	N	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
Chollet et al.	2006	16	2 cámaras de vídeo (Sony FCB-EX10L) a 50 Hz, un mezclador de doble entrada audiovisual, un temporizador y una grabadora de vídeo, una pantalla de monitorización y 1 cámara mezcladora	Con una mayor velocidad de nado o el rendimiento, las acciones de brazos y piernas muestran más coordinación en el nado hacia la superficie.
Seifert et al.	2007	14	2 cámaras de vídeo submarinas (Panasonic NV-MS1 HQ S-VHS o Sony FCB-EX10L) con una velocidad (1/1000 s) y una frecuencia de 50 Hz, un mezclador de audio-visual, un vídeo temporizador, una grabadora de vídeo, una pantalla de monitorización para mezclar y una cámara de visión lateral	La propulsión en la transición combina las fuerzas de sustentación y arrastre, junto con coordinación entre brazos y piernas para la continuidad del nado.
Naemi y Sanders	2008	16	Método fotogramétrico, un calibrador, un software de procesamiento de imágenes (Microsoft Photo Editor 3.01. Media Cybernetics, L.C.), cámara JVC KY-F32 y sistema de análisis del rendimiento Ariel	La búsqueda de una trayectoria subacuática ideal podría reducir la cantidad de desaceleración producida durante la fase subacuática.
Elipot et al.	2009	8	Técnica DLT y datos antropométricos Dempster's	El retorno a la superficie de forma progresiva y sincronizada puede conseguirse con un efecto sinérgico cinemático de hombros, cadera y rodillas.
Pease y Vennell	2010	1	Un maniquí de precisión anatómica, un canal acuático, un poster vertical, una célula de carga triaxial (AMTI. MC3-6-1000) una célula de carga, un amplificador AMTI MCA6 y una unidad de PowerLab	Adoptar un ligero ángulo de ataque negativo reduciría al mínimo la resistencia antes de reanudar el nado tras la transición.
Vantorre et al.	2010 a	15	2 cámaras fijas (50 Hz, Panasonic NV-MS1 HQS-VHS a 1/1000 s) y 2 móviles (50 Hz, Sony Compact FCB-EX 10 L), 2 mezcladores de doble entrada (audio-video y visual), 2 temporizadores y 2 grabadores de vídeo, 2 pantallas de vigilancias para sincronizar y mezclar	El tiempo subacuático antes del nado en superficie es un aspecto individual, debido a las características antropométricas y a habilidades del batido.
Vantorre et al.	2010 c	7	5 cámara de 50 Hz, un mezclador visual de doble entrada, una plataforma de fuerza Bertec (4060-15) a 1000 Hz, un convertidor A/D Biopac A y un dispositivo de salida (ProStart)	Es importante tras la salida saber cuándo dejar de deslizarse e iniciar el batido subacuático y saber cuándo comenzar la transición a la superficie.

1.3.3.1. ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD SUBACUÁTICA DE TRANSICIÓN AL NADO EN SUPERFICIE.

En los estudios llevados a cabo por García y Veiga (2015) sobre la fase de transición hasta la primera brazada, observaron que la fase de recobro del estilo de crol fue mucho más extensa debido al instante en el que el brazo salía del agua, siendo por tanto poco apropiado el índice de coordinación. En el estilo de mariposa la primera fase propulsiva del batido fue mayor que la segunda y esto pudo ayudar a coordinarlo con el inicio de la acción de los brazos. Aunque para García y Veiga (2015) los estilos de crol (1,72 m/s), espalda (1,63 m/s) y mariposa (1,68 m/s) mostraran una velocidad subacuática de transición superior a la de otros estudios (1,61; 1,34 y 1,47 m/s) según los datos registrados por diferentes autores (Chollet, Carter y Seifert, 2006; Chollet, Seifert y Carter, 2008; Seifert, Chollet y Bardy, 2004; Seifert et al., 2007). Los altos valores de velocidad estaban correlacionados con un índice de coordinación mayor, aunque los nadadores durante la fase de transición venían precedidos por un impulso dado desde la pared hasta la primera brazada, el cual les otorgó una mayor velocidad que la registrada durante el nado en superficie. Sin embargo, son pocos los estudios que explican la pérdida de velocidad durante la fase subacuática tras la salida y sobre todo en la transición del buceo al nado (García y Veiga, 2015).

Así pues, si relacionamos las anteriores investigaciones con una buena acción conjunta entre las fases propulsivas de las piernas y los brazos durante la fase de transición del buceo al nado, podrían ser beneficioso para los tiempos y velocidades de las fases del nado subacuático y nado en superficie, según las observaciones de Mason y Cossor (2000) en su análisis de la competición en el Campeonato del Pacífico del 99, en el cual estuvo alrededor de 3 m/s hasta la distancia de los 15 m. Aun así, según Kwon y Casebolt (2006), los nadadores constantemente deben interactuar con el agua para producir fuerzas propulsoras que aceleren o mantengan el cuerpo en movimiento independientemente de la fase, según los estudios realizados en competición durante las pruebas de 100 y 200 m (Veiga y Roig, 2016a, b), transición del buceo al nado (Chollet, Carter y Seifert, 2006; Chollet, Seifert y Carter, 2008;

García y Veiga, 2015; Seifert, Chollet y Bardy, 2004; Seifert et al., 2007) y nado en superficie (Hubert et al., 2006; Lyttle y Blanksby, 2000;).

De forma resumen, se muestra en la tabla 16 aquellas velocidades más significativas encontradas en la literatura para la fase de transición al nado.

Tabla 16: Velocidades (m/s) más significativas durante la transición al nado en superficie.

AUTORES	VELOCIDAD DE PROPULSIÓN SUBACUÁTICA Y TRANSICIÓN AL NADO
Seifert et al. (2004)	1,61 (Crol)
Chollet et al. (2006) y Seifert et al. (2007)	1,47 (Mariposa)
Chollet et al. (2008)	1,34 (Espalda)
García y Veiga (2015)	1,72 (Crol) 1,63 (Espalda) 1,66 (Mariposa)

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

En base a la literatura revisada hay muchos estudios de laboratorio que raramente analizan distancias individualizadas tras la salida y el viraje durante la fase subacuática. Estos estudios han aportado información con muchas aplicaciones, aunque rara vez se han podido transferir al entrenamiento y en donde apenas se han comparando entre género (Masculino y Femenino) y estilos de nado (Crol, Espalda y Mariposa) en sus investigaciones.

La salida y el viraje tienen una influencia importante en el rendimiento de la competición. Durante las sesiones de entrenamiento, la salida más practicada por los nadadores es la llamada salida con empuje y se realiza desde la pared de la piscina. En los últimos años, se han caracterizado para muestras de diferentes niveles competitivos de entre 10 y 20 nadadores. Además, se han demostrado que los pequeños cambios en las distancias de salida y viraje provocan cambios importantes en el tiempo de la prueba, y estos es debido a que la velocidad por debajo del agua es mayor que en superficie. Por tanto, dicho estudio resulta clave para que el entrenador pueda saber cómo se comportan los nadadores de nivel competitivo en la salida que realizan durante los entrenamientos diarios y saber cuales son las diferencias entre las distancias de entrenamiento a la de competición. Asimismo, conocer la relación entre los tiempos con salida desde el poyete y los tiempos con salida desde el empuje, sobre todo durante las series a diferentes intensidades en el entrenamiento, pues pequeños cambios en la distancia también pueden provocar importantes cambios de rendimiento en los nadadores.

2. OBJETIVO E HIPÓTESIS.

2.1. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.

El objetivo principal del presente estudio ha sido analizar los parámetros cinemáticos de la salida con empuje en nadadores competitivos de nivel nacional.

De dicho objetivo se desglosan otra serie de objetivos secundarios como son:

- Caracterizar las diferentes fases que integran la salida con empuje: deslizamiento subacuático, movimiento ondulatorio subacuático, transición al nado, y nado en superficie.
- Examinar la influencia del género y del estilo de nado en las diferentes fases de la salida con empuje.
- Caracterizar los parámetros cinemáticos del batido subacuático en el movimiento ondulatorio subacuático durante la salida con empuje.
- Examinar la influencia del género y estilo de nado durante del batido subacuático en el movimiento ondulatorio subacuático tras la salida con empuje.

2.2. HIPÓTESIS.

De acuerdo con el marco conceptual establecido, el objetivo principal del estudio, así como los resultados obtenidos por las distintas investigaciones analizadas en este ámbito, se podrían establecer las siguientes hipótesis para la presente investigación:

- Además de la fase de movimiento ondulatorio subacuático, las fases de deslizamiento y transición también están relacionadas con el rendimiento en la salida con empuje.
- Los nadadores obtienen mayor distancia y velocidad que las mujeres en cada una de las fases que integran la salida con empuje .

Objetivo e Hipótesis.

- La duración, distancia y velocidad en las diferentes fases de la salida con empuje es mayor en el estilo espalda que en los estilos de crol y mariposa.
- Los nadadores realizan el movimiento ondulatorio subacuático con una frecuencia del batido similar pero con una longitud y velocidad mayor que las nadadoras.
- La frecuencia, longitud y velocidad media del batido durante el movimiento ondulatorio subacuático en los estilos crol y mariposa (posición ventral) son mayores que en el estilo espalda (posición dorsal).

3. MATERIAL Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El presente estudio se enmarca dentro de una investigación de tipo cuantitativo, ya que se basa en el registro de distintas variables de carácter cinemático planteando un diseño descriptivo (Thomas y Nelson, 1996). Según Thomas y Nelson (2007) observa el comportamiento de los participantes en su entorno natural y se suelen codificar las observaciones y analizar la frecuencia junto con duración.

Esta metodología observacional que proporciona un sistema de recogida de datos difiere de las técnicas y los sistemas de observación de otras disciplinas deportivas. En los deportes individuales como la natación se ha venido utilizando a través de la biomecánica y de las técnicas de vídeo. Pero las condiciones necesarias para llevarlas a cabo necesitan de una serie de características (Anguera, 1988) y requisitos fundamentales (Anguera, Blanco, Losada, y Hernández (2000), que hacen de dicha metodología útil y adecuada en el estudio del comportamiento del nadador, a pesar de que su tradicional uso (Anguera, 2003; Hughes, 1996; Ortega, 2005; Ortega, Cárdenas, Sainz de Baranda y Palao, 2006a, b; Ortega, Palao, Gómez, Lorenzo y Cárdenas, 2007; Remmert, 2003). Por lo tanto, su análisis constituirá un importante medio que debería cumplir una serie de objetivos fundamentales:

- Mejorar y/o adquirir el conocimiento de dicho deporte (Mombaerts, 1991; citado en Moreno y Pino, 2000), pudiendo acceder desde la perspectiva física y técnico-táctica (Garganta, 2000).
- Ser una fuente de información vital para la organización y el diseño de los procesos de enseñanza y entrenamiento (Oliveira, 1992, Garganta, 1996; Hughes, 1996; citado en Moreno y Pino, 2000), a pesar de ser una metodología muy utilizada en los deportes colectivos. Esta perspectiva de análisis permitirá a su vez construir métodos de entrenamiento adecuados a las exigencias de los deportistas (Talaga, 1985).
- Orientar a la exploración, a la descripción o a la explicación (Babbie, 2000).

Por otra parte, mediante el uso de los criterios taxonómicos (Anguera et al., 2000), se diferencian diversos tipos de observación en función de los niveles como son: el grado de cientificidad y de participación del observador, el grado de perceptibilidad, los niveles de respuesta y las unidades de observación (Tabla 17).

Tabla 17: Criterios taxonómicos sobre diferentes tipos de observación
(Adaptado de Anguera et al., 2000).

CRITERIOS TAXONÓMICOS (Anguera et al., 2000)	CLASIFICACIÓN	UTILIZADOS EN EL PRESENTE ESTUDIO
Grado de Cientificidad	-Pasiva o precientífica -Activa o científica	Activa (estudio propiamente dicho)
Grado de participación del observador	-Observador no participante -Observador participante -Participación observación -Auto-observación	Observador no participante
Grado de Perceptividad	-Directa -Indirecta	Directa
Niveles de Respuesta	-Conducta no verbal -Conducta espacial (Estática y Dinámica) -Conducta vocal -Conducta lingüística	Conducta no verbal Conducta espacial (dinámica)
Unidades de observación	-Concreción de los objetivos -Criterios modulares: <ul style="list-style-type: none"> • Limite • Nombre • Definición 	Análisis cinemático de la salida con empuje en nadadores competitivos de nivel nacional

3.2. MUESTRA.

La muestra del estudio fue filmada de forma individualizada en la piscina cubierta de 50 m del Centro Especializado de Tecnificación Deportiva de Natación "M-86" de la Comunidad de Madrid. Un total de 74 sujetos, 33 nadadores y 41 nadadoras de entre 14 y 18 años participantes en Campeonatos de España, colaboraron voluntariamente en el estudio con el consentimiento dado por sus padres (Anexo I). Todos los sujetos, realizaban entre 12 y 20 horas de entrenamiento semanales y pertenecían a diferentes clubes de la Comunidad de Madrid: Centro Especializado de Tecnificación Deportiva de Natación "M-86" de Madrid; Club Natación Alcobendas; Club Natación Gredos San Diego de Moratalaz; Club Natación Jiménez; Club Natación Pozuelo; Real Canoe Natación Club; Club A. D. Rivas Natación y SAFA Natación Madrid.

Material y Metodología de la Investigación.

A continuación, se muestra en la tabla 18 los valores promedios, mínimos y máximos sobre la edad, el peso, la estatura y la experiencia de nado en los hombres y mujeres de categoría nacional del estudio.

Tabla 18: Valores promedios, mínimos y máximos de la edad, el peso, la estatura y la experiencia de nado en función del género.

	Hombres			Mujeres		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
Edad (años)	16,5±1,29	15	18	15,5±1,29	14	17
Peso (kg)	62,34±7,22	46	76,1	50,50±6,53	39,4	70,6
Estatura (m)	1,73±0,05	1,6	1,8	1,60±0,05	1,5	1,8
Experiencia (años)	7,12±2,35	2	12	5,90±1,68	2	10

3.3. PROCEDIMIENTO PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS.

El análisis cinemático del nado subacuático se basó principalmente en el método cinematográfico, ya que permite la adquisición de imágenes a través de la técnica fotogrametría de vídeo. Con esta técnica, propia del área de estudio de la cinemática, la presente investigación pretende analizar qué influencia tienen sobre el nado subacuático las fases de: deslizamiento subacuático, movimiento ondulatorio subacuático, transición al nado y nado en superficie.

Los recursos técnicos de tipo cinematográfico y los recursos humanos necesarios para ello, fueron obtenidos en el Laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (INEF) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

El punto inicial que permitió llevar a cabo la puesta a punto y aplicación de la metodología fotogrametría DLT-2D para el análisis de la fase subacuática en natación, fue el Laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte – INEF, junto con el Centro Especializado de Tecnificación Deportiva de Natación "M-86" de Madrid, que permitió tener todas las facilidades a la hora de acceder a las instalaciones durante las fases de adquisición de datos.

3.3.1. MODELO TEÓRICO DEL CUERPO DE NADO.

Las características peculiares de la técnica experimental utilizada imposibilitan la utilización de un modelo como el de Clauser (1969), que permite el cálculo del centro de gravedad del sujeto. Como alternativa, la posición del nadador quedó determinada por las coordenadas bidimensionales (x, y) de puntos del cuerpo localizados en el plano vertical sobre el que avanza el nadador en la piscina (gráfico), delimitado entre el fondo y la superficie del agua de la piscina.

Las características del modelo mecánico de un punto, implican la selección del mismo punto anatómico en todo momento como representante de la posición del centro de gravedad del deportista. En estudios anteriores, como el llevado a cabo al analizar las salidas de natación en nadadores de alto nivel (De la fuente, García y Arellano, 2003) mediante el programa ATD 2.0 (Análisis de las Técnicas Deportivas, programa de Arellano y García, 2000; Universidad de Granada, España), se calculó la trayectoria bidimensional del centro de gravedad durante toda la trayectoria, usando los datos antropométricos del programa para así obtener las coordenadas (x, y) del centro de gravedad en cada una de las posiciones de la trayectoria. Posteriormente, se calculó los desplazamientos del centro de gravedad mediante los cálculos oportunos con las coordenadas verticales y horizontales. Sin embargo, dentro de la disciplina de la natación, existen algunos aspectos que dificultan la adopción de un criterio válido que represente la posición del nadador:

- La posición horizontal en la que se encuentra el nadador sobre el plano analizado (lámina de agua).
- La dificultad que supone para la visibilidad el movimiento del agua, que oculta en muchas ocasiones partes del cuerpo del nadador.
- Las características cíclicas del nado, en el que se combinan movimientos subacuáticos y aéreos.
- Las diferencias técnicas relativas a la ejecución de los diferentes estilos de nado tanto simultáneos (mariposa) como alternativos (crol y espalda).

Por tanto, se han tomado los siguientes criterios de referencia previos a la determinación del modelo:

- La adopción del modelo de un punto que represente la posición del nadador en el inicio de cada ciclo de nado, considerándolo como la unidad mínima de análisis de las variables cinemáticas de un nadador bajo el agua.
- La adopción de un punto que sea visible siempre dentro del agua, en el mismo instante relativo a cada ciclo, de forma que se puedan realizar comparaciones entre los diferentes ciclos subacuáticos.
- La adopción de un punto que sea compatible entre las fases que integran el nado subacuático, de forma que se puedan realizar comparaciones entre ellas.
- La adopción de un punto que sea común en todos los estilos de nado analizados.

Siguiendo las premisas anteriores, se definen el modelo mecánico como el modelo de un punto representado por la cadera del nadador. Dicho punto se ha mostrado como un estimador válido y fiable de la posición del centro de gravedad durante el nado (referenciar). En el caso de otras variables de interés del nado subacuático, como variables segmentarias, el modelo mecánico se traslada a otras partes del cuerpo como el tobillo o la cabeza del nadador.

3.3.2. MODELO MECÁNICO DE MOVIMIENTO.

Para el análisis mecánico del gesto de nado en los estilos de crol, espalda y mariposa analizados, se dividió la fase subacuática en diferentes partes debió al carácter motrizmente y cuyos límites se establecen a continuación:

- **Fase de deslizamiento subacuático:** desde el instante en que los pies del nadador se separan de la pared hasta el instante en que la articulación del tobillo comienza el batido descendente (en mariposa y crol) o ascendente (espalda).

Material y Metodología de la Investigación.

- **Fase del movimiento ondulatorio subacuático:** desde el instante en que la articulación del tobillo comienza el batido ascendente (crol y mariposa) o descendente (espalda) hasta el instante en que los pies se separan para iniciar el batido alterno de piernas (crol y espalda) o hasta el instante en el que se separan las manos para realizar el agarre (mariposa).
- **Fase de transición al nado:** desde los instantes en que los pies del nadador se separan para iniciar el batido alterno de piernas (crol y espalda) o desde que las manos se separan para realizar el agarre (mariposa) hasta el instante en el que se rompe la superficie del agua con la parte superior de la cabeza.
- **Fase de nado en superficie:** desde el instante en que el nadador rompe la superficie del agua con la parte superior de la cabeza, hasta el instante en el que la mano entra en el agua tras tres ciclos de brazada.
- **Fase subacuática de nado:** desde el instante en que los pies del nadador se separan de la pared, hasta el instante en que la cabeza del nadador rompe la superficie del agua.
- **Fase total** desde el instante en que los pies del nadador se separan de la pared, hasta que la mano entra en el agua tras tres ciclos de brazada en el nado en superficie.

A continuación, se muestra el desglose de las fases que integraron el nado subacuático (Figuras 8, 9 y 10).

DESPLAZAMIENTO	MOV. ONDULATORIO SUBACUÁTICO	TRANSICIÓN AL NADO	NADO EN SUPERFICIE

Camara 1			Camara 2

Figura 8: Fases de nado del estilo crol.

Figura 9: Fases de nado del estilo espalda.

Figura 10: Fases de nado del estilo mariposa.

3.3.3. FOTOGRAMETRÍA DLT.

El presente trabajo de investigación conlleva una metodología cuantitativa de tipo fotogramétrico. La técnica utilizada durante el estudio fue la DLT - Direct Lineal Transformation (Transformación lineal directa) propuesta por Abdel-Aziz y Karara (1971). Dicha técnica posibilita la obtención de la posición (*coordenadas x, y, z*) de determinados puntos del cuerpo, a partir de sus coordenadas en dos dimensiones proyectadas en dos o más planos (imágenes). El procedimiento se basa en la relación existente entre las coordenadas espaciales reales de un punto (x, y, z) y las coordenadas planas del mismo (u, v) proyectadas en la imagen (obtenidas por cine o vídeo) según el algoritmo DLT.

Para poder llevar a cabo la DLT fue necesario la filmación del movimiento de los nadadores con al menos dos cámaras (Figura 11). Dichas cámaras debían estar separadas entre sí con un ángulo de $90 - 110^\circ$ para poder así ver en la imagen, la totalidad de puntos del cuerpo a analizar (según el modelo mecánico de cuerpo expuesto de antemano).

Figura 11: Cálculo de las coordenadas 3D de puntos a partir de las coordenadas proyectadas en dos o más cámaras. (Figura tomada de Navarro, 2004).

La relación existente entre las coordenadas reales de un punto en el espacio (x, y, z) y las coordenadas de ese mismo punto proyectadas en el plano (u, v) se puede determinar por medio del siguiente sistema de ecuaciones (Abdel-Aziz y Karara, 1971).

$$u = \frac{L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4}{L_5X + L_6Y + L_7Z + 1}$$

$$v = \frac{L_8X + L_9Y + L_{10}Z + L_{11}}{L_5X + L_6Y + L_7Z + 1}$$

En el que:

- X, Y, Z son las coordenadas espaciales del punto y las incógnitas del sistema de ecuaciones.
- u, v son las coordenadas del punto en el plano.
- $L_1... L_{11}$ son coeficientes que se denominan parámetros de la DLT y su función es la de cuantificar el sistema de proyección (Navarro, 2006).

En dicho sistema matemático, existen por lo tanto dos ecuaciones y tres incógnitas a determinar (x, y, z) conociéndose el valor de las coordenadas proyectadas (u, v) y de

los parámetros de la proyección ($L_1 \dots L_{11}$), como se explicó posteriormente. Para poder resolver dicho sistema matemático, se requirió disponer de, al menos, dos proyecciones del punto en dos planos distintos (imágenes obtenidas desde cámaras diferentes). De este modo, fue posible obtener “ $2p$ ” ecuaciones siendo “ p ” el número de planos en los cuales se proyecta el punto cuyas coordenadas debían determinarse. La solución matemática de este sistema de ecuaciones (en el que existe un mayor número de ecuaciones que de incógnitas) puede realizarse mediante el método de ajuste por mínimos cuadrados propuesto por Navarro (2006).

El proceso de obtención de los parámetros de la DLT de cada cámara del estudio se denomina calibración o “space resection” (Challis, 1995). La calibración de dicha cámara se basa en la determinación de una serie de 6 o más puntos no co-planares (denominados puntos de control) cuyas coordenadas en el espacio de referencia son conocidas. Para lograr este objetivo, se utilizó la filmación de un objeto cuyas dimensiones exactas se conocían de antemano y en el cual, se incluyeron los puntos de control. Una vez se han obtenidos los parámetros internos y externos de la cámara (parámetros DLT) o “space resection”, se procedió a la realización de la reconstrucción de las coordenadas en tres dimensiones de los puntos o “space intersection” (Challis, 1995), mediante su captación por las dos cámaras. Para ello, se necesitó conocer el valor de las coordenadas proyectadas (u, v) del punto que se obtuvo directamente a través del proceso de digitalización de las imágenes.

Aunque en algunas ocasiones las revisiones de la técnica original permiten resolver determinados inconvenientes de la DLT, la complicación del protocolo experimental que está asociado mayoritariamente a ellas, ha desaconsejado su uso para la presente investigación.

3.3.4. FOTOGRAMETRÍA 2D.

La técnica instrumental empleada en la presente investigación se denomina fotogrametría en dos dimensiones y está fundamentada en la técnica anteriormente descrita. La utilización de esta metodología permite conocer la posición de un punto en el plano a partir de las imágenes de vídeo. Como la posición de un punto en el plano queda definida por dos coordenadas (x, y) , al tratarse de un sistema bidimensional una cámara de vídeo resulta suficiente para llevar a cabo el registro de los datos.

A partir de la utilización de un sistema de referencia de conocidas dimensiones, que sirve para realizar la calibración del espacio, se pueden determinar las coordenadas planas reales de un punto (x, y) que esté dentro de él, ya que éstas están relacionadas con las coordenadas planas de ese punto proyectadas en la imagen (u, v) aplicando algoritmos basados en la DLT (Abdel-Aziz y Karara, 1971).

En comparación con la fotogrametría en tres dimensiones, la técnica instrumental utilizada en el presente estudio (fotogrametría en dos dimensiones) no aporta una cantidad de información detallada sobre el movimiento deportivo a analizar. Sin embargo, permite la posibilidad de realizar análisis de variables cinemáticas con una óptima relación entre la rapidez del proceso y la exactitud de los datos aportados.

Esta última aplicación fue la que caracterizó a la presente investigación, la cual se centró en analizar de forma cinemática a los nadadores cuando se impulsaron desde la pared de la piscina, y adoptando una posición lo más hidrodinámica posible con los brazos extendidos hacia delante y las manos superpuestas, ofrecieran la mínima resistencia posible durante las fases que integraron el nado subacuático, hasta salir a la superficie e iniciar el nado con tres ciclos de brazada a máxima velocidad. Para ello, el modelo de digitalización elegido mientras que los nadadores ejecutaban las diferentes fases del nado subacuático, fue el punto de la cadera, el cual presentaba una correlación muy alta con el centro de gravedad (CDG) según señalaron Maglischo, Maglischo, Santos y Zier (1985).

3.3.5. REGISTRO DE LOS DATOS.

3.3.5.1. UBICACIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS CÁMARAS.

Uno de los pasos más decisivos en la evolución de la biomecánica deportiva como área de conocimiento encargada de analizar el movimiento deportivo, fue la aparición de medios tecnológicos que permitían obtener imágenes del cuerpo humano, como fue la fotografía (a mediados del siglo XIX), el cine y, posteriormente, el vídeo.

La creación de secuencias de fotografías con un intervalo de tiempo conocido entre ellas, permitió la realización de cálculos sobre los parámetros cinemáticos del movimiento. Las primeras cámaras utilizadas para realizar análisis biomecánicos, las del cine, fueron sustituidas progresivamente con el tiempo. Las principales razones de este cambio tecnológico han sido que las cámaras de vídeo, además de ser más baratas, facilitan la obtención de resultados en un tiempo más inmediato. Adicionalmente, su funcionamiento resulta más sencillo que el de las cámaras de cine (Bartlett, 1997).

Teniendo en cuenta los cálculos de la técnica DLT-2D y sus ventajas respecto a las técnicas escalares, comentadas anteriormente, la fotogrametría en dos dimensiones conlleva una serie de consideraciones metodológicas para el registro de los datos:

- La ubicación de las cámaras en un lugar que permitiera filmar la acción subacuática de los nadadores y las referencias utilizadas como sistema de calibración dentro del mismo campo de imagen.
- La ubicación de las cámaras en las vidrieras subacuáticas de la piscina del "M86".
- El mantenimiento de una posición fija de las cámaras para poder utilizar un mismo sistema de referencia para todas las imágenes subacuáticas de los nadadores.

En primer lugar, resultó necesario ubicar las cámaras en un lugar que permitiera captar en la imagen la corchera y el fondo de la piscina. El campo de visión de la

Material y Metodología de la Investigación.

cámara se definió como el área rectangular percibida por el medio grabador (en este caso vídeo) una vez que la luz pasaba a través de la óptica de la cámara (Robertson, Caldwell, Hamill, Kamen y Whittlesey 2004). La obtención de un amplio campo de visión, permitió la grabación de la acción subacuática de los nadadores, así como los puntos de control utilizados como sistema de calibración.

Las dimensiones de la piscina (50 x 25 m) permitieron las filmaciones en la calle 5. Para ello, fueron necesarias dos cámaras colocadas en las dos vidrieras subacuáticas entre los 0 - 10 m y 10 - 15 m, ya que ambas se encontraban en una posición enfrentada a izquierda y derecha a lo largo de la piscina (Figura 12). En el presente estudio, las filmaciones de las acciones subacuáticas de los nadadores se centraron en las diferenciadas fases (deslizamiento subacuático, movimiento ondulatorio subacuático, propulsión subacuática y propulsión en superficie) que comprendían el nado subacuático desde la pared de la piscina hasta los 15 m.

Figura 12: Diagrama sobre el posicionamiento y ubicación de las cámaras.

Dichas cámaras podían ser utilizadas, en función de las características de la instalación para dos objetivos diferenciados: a) la monitorización completa del nado

subacuática del nadador, fotograma a fotograma, permitiendo obtener un perfil completo de la evolución del rendimiento del nadador a lo largo del nado subacuático hasta el tercer ciclo de brazada; y b) dicha monitorización de las diferentes fases fueron: deslizamiento subacuático, movimiento ondulatorio subacuático, transición al nado y nado en superficie (Figura 13), permitiendo así, un procesamiento de la información mucho más detallado.

Figura 13: Esquema diferenciado de las fases que forman el nado subacuático del nadador.

Las características de la presente investigación nos han llevado a la adopción de ambas estrategias, en un intento de delimitar una metodología fácilmente replicable en cualquier tipo de instalación y optimizada en relación al coste de la obtención de datos y rapidez del procesamiento.

Las cámaras utilizadas fueron cámaras de vídeo en formato miniDV con velocidad estándar (25 Hz), siendo los modelos utilizados JVC GY-DV500E (Japan Víctor Company, Japón) equipadas con dos trípodes Manfrotto 116Mk3 (Manfrotto Bassano, Italia) de altura regulable para asegurar una correcta fijación y sustentación de las mismas. Siguiendo las indicaciones de autores como Robertson et al. (2004), se evitó el uso de cámaras de gran angular que, a pesar de su amplio campo de visión, distorsionan la imagen y creaban movimientos artificiales que deben de ser posteriormente corregidos con complejas transformaciones.

Las cámaras situadas en las dos vidrieras subacuáticas de la piscina, mantuvieron una distancia entre la lente y los nadadores de aproximadamente 12,5 m desde la calle 5. La ubicación en función de las dos vidrieras de la piscina (Figuras 14 y 15) filmaba el desplazamiento subacuático de los nadadores en cinco zonas calibradas:

Material y Metodología de la Investigación.

- Vidriera y cámara 1: Zonas 1, 2 y 3.
- Vidriera y cámara 2: Zonas 4 y 5.

Figura 14: Localización de la vidriera y cámara 1.

Figura 15: Localización de la vidriera y cámara 2.

A pesar de que, según Allard, Blanchi y Aissaoui (1995), existen tres ángulos que definen exactamente la posición de las cámaras, las características de la técnica fotogrametría DLT-2D no hicieron necesaria la delimitación exacta de la posición de las cámaras. Sin embargo, sí que fue necesario realizar una serie de pasos metodológicos en la preparación de las cámaras, consistentes en:

- El enfoque
- Ajuste:
 - Tiempo de obturación.
 - Diafragma o iris.

Enfocar la imagen, significó ajustar el objetivo para poder obtener una imagen nítida; dado que la presente filmación implicaba un análisis fotograma a fotograma de las

acciones de los nadadores, la obtención de imágenes claras que permitieran marcar correctamente la posición del cuerpo del nadador, fue uno de los aspectos clave a conseguir. Aun así, siguiendo las indicaciones de Robertson et al. (2004), se desechó el enfoque automático para evitar la obtención de imágenes borrosas en caso de que las cámaras autoenfocaran a otros objetos ajenos al interés del investigador.

Posteriormente, se procedió a realizar diferentes ajustes que permitieron obtener imágenes de calidad óptima. El tiempo de exposición, definido como el tiempo durante el que el medio grabador (cinta MiniDV), se expone a la luz que pasa a través de la lente de la cámara (Robertson et al., 2004), estableciéndose entre 1/1000 y un 1/500 s, en función de las condiciones de luz de la instalación. Dicha velocidad, que siempre ha de ser mayor que la velocidad de filmación de la cámara, permitió evitar las imágenes borrosas para posteriormente realizar una digitalización de mayor precisión de las coordenadas (Bartlett, 1997). En cuanto al ajuste del diafragma o iris, (sistema de apertura mecánica del objetivo que permite controlar la cantidad de luz que llega a la lente) el hecho de tener condiciones de luz cambiantes a lo largo de la filmación, se hizo necesario la utilización del sistema de ajuste automático de apertura del diafragma. A continuación, se procedió al correcto ajuste de los trípodes de forma que mantuvieran fija la posición de las cámaras.

3.3.5.2. FILMACIÓN DEL SISTEMA DE CALIBRACIÓN.

La técnica DLT en dos dimensiones implica la utilización de un sistema de calibración formado por un mínimo de cuatro puntos de control. Los puntos de control fueron marcadores fijados a la superficie de filmación cuyas coordenadas exactas son conocidas (Robertson et al., 2004), debiendo estar todos los puntos visibles en la cámara con la cual ha sido filmada (Figura 16).

Figura 16: Localización de los puntos de control dentro del espacio calibrado.

El hecho de que la técnica DLT-2D obligue a los puntos de control a cubrir la totalidad del espacio en el que se produce la actividad (Wood y Marshall, 1986) y a ser captados por el campo de visión de la cámara, no siempre resulta fácil en el análisis de movimientos deportivos en competición (Challis, 1995). La reconstrucción de las coordenadas reales de puntos situados fuera del espacio calibrado, también denominada extrapolación, provoca un incremento en el error. Dicha extrapolación, que puede ser debida a la utilización de un espacio de control demasiado pequeño o bien a una incorrecta orientación del mismo, se incrementa exponencialmente a medida que la distancia al espacio de control aumenta constituyendo una pérdida importante de precisión (Wood y Marshall, 1986; Kwon y Casebolt, 2006) en el análisis del movimiento humano.

La construcción de un objeto de calibración lo suficientemente grande para contener los puntos de control y, a su vez, captar la actividad subacuática puede provocar problemas en su transporte y manejo. Por otra parte, la posibilidad de utilizar un objeto de calibración formado por piezas más pequeñas puede provocar una pérdida de precisión (Challis, 1995). Por todo ello, algunos autores han propuesto modificaciones de la técnica DLT-2D en las que intentan resolver esta dificultad, utilizando objetos de calibración más pequeños que se filman en diferentes zonas del espacio de calibración (Figuras 17, 18, 19, 20 y 21) y que, posteriormente, permiten al investigador fusionar los datos de los diferentes fotogramas de control (Woltring, 1980; Dapena y Teves, 1982; Ball y Pierrynowski, 1988; Challis, 1995; Kwon y Casebolt, 2006). La utilización de dichas modificaciones fue desechada, debido a los

errores como consecuencia de la discontinuidad entre los diferentes espacios de control utilizados para cada zona de filmación (Kwon y Casebolt, 2006).

Figura 17: Zonas 1 de calibración de la cámara 1.

Figura 18: Zonas 2 de calibración de la cámara 1.

Figura 19: Zonas 3 de calibración de la cámara 1.

Figura 20: Zonas 4 de calibración de la cámara 2.

Figura 21: Zonas 5 de calibración de la cámara 2.

Respecto a la distribución y al número de los puntos de control en el objeto de calibración (Kwon y Casebolt, 2006), se consideró la forma utilizada en la mayoría de estudios que utilizan la técnica DLT-3D, que fueron las disposiciones cuadradas o de árbol de navidad (Challis y Kerwin, 1992). Los hallazgos de dichos autores al comparar diferentes disposiciones y número de puntos de control, mostraron que la configuración en forma de cubo arroja un error similar a otras configuraciones con más puntos de control. Por ello, dicha disposición parecía ser la más adecuada, ya que además permite utilizar otros puntos adicionales como puntos de control a la hora de validar la precisión en la reconstrucción de las coordenadas (Challis y Kerwin, 1992).

Los puntos de control utilizados en la validación de la técnica correspondieron a puntos de coordenadas conocidos y determinados. Dichos puntos se establecieron en la unión por dos cuerdas atadas a dos pesas en su extremo de 1,05 y 1,12 cm (Figura 22). Luego, junto con los tubos formaron el llamado sistema de calibración por medio de dos mosquetones de 5 cm (Figura 23).

Figura 22: Mosquetones, cuerdas y pesas para el sistema de calibración.

Figura 23: Tubos para el sistema de calibración.

3.3.5.3. FILMACIÓN DEL MOVIMIENTO SUBACUÁTICO.

El último paso del registro de los datos consistió en la filmación de las pruebas subacuáticas por estilos (crol, espalda y mariposa). Dado que el movimiento de los nadadores es relativamente lento, se consideró adecuada la velocidad de filmación estándar de las cámaras de vídeo según el sistema PAL, es decir 50 campos o 25 imágenes por segundo. Las cámaras de vídeo realizaron la filmación de los nadadores al mismo tiempo, a partir de la detección de la imagen utilizando un rango de sensores de luz y, en teoría, no ofrecían ninguna distorsión geométrica (Bartlett, 1997). El inicio de las pruebas fue establecido por una señal subacuática realizada por el nadador instante antes de la salida desde la pared de la piscina, la cual fue captada por la cámara situada en la vidriera 1 (Figura 24). Posteriormente, y tras la

progresión de la prueba en la vidriera 1, la segunda cámara situada en la vidriera 2 captaría la continuación de la prueba hasta los 15 m.

Figura 24: Señal de preparado por parte de los nadadores para la realización de la prueba.

Simultáneamente a la filmación del movimiento subacuático, se procedió a la captura de las imágenes en la memoria de un ordenador personal. Este procedimiento de captura se entiende como un proceso por el cual la película de vídeo que está almacenada en una cinta pasaba a la memoria del ordenador, siendo este un paso imprescindible para poder trabajar con las imágenes de vídeo obtenidas durante la filmación (Figura 25). Para ello, utilizamos dos ordenadores portátiles conectados a cada una de las cámaras de vídeo del sistema de filmación en ambas vidrieras. La conexión se realizó a través de cables “IEEE” y la captura a través del programa informático “Adobe Premiere 6.0”, que almacena las imágenes en formato vídeo.

Figura 25: Imagen de la fase del movimiento ondulatorio subacuático de los estilos de crol, espalda y mariposa.

Al estar las dos cámaras de grabación situadas en dos vidrieras superpuestas, pero en diferente ubicación, según aparece en el diagrama sobre el posicionamiento y ubicación de las cámaras (Figura 12). La sincronización de las cámaras se llevó a cabo a través de la coincidencia del mismo movimiento entre ambas cámaras, es decir se buscó un evento común como fue la entrada de la mano en el agua para que así el código de tiempo fuera el mismo en ambas cámaras.

3.3.6. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.

El registro de los datos se realizó en la piscina del Centro Especializado de Tecnificación Deportiva de Natación "M-86" de Madrid, mientras que el procesamiento de los datos se realizó en el Laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (INEF) de Madrid.

Toda la información se recopiló una hoja de registro de los datos formato Excel (Figura 26). En el cual se se plasmaron los aspectos relacionados con: a) los datos preliminares: nadador, club, año, género, peso, estatura, experiencia y estilo, y b) las variables temporales, cinemáticas y acíclicas, que se dieron durante la salida con empuje durante las fases de: deslizamiento subacuático, movimiento ondulatorio subacuático, batido subacuático, transición al nado, nado en superficie, fase subacuática y fase total.

ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LA SALIDA CON EMPUJE																												
Datos preliminares							Deslizamiento Subacuático			Movimiento Ondulatorio Subacuático			Batido Subacuático			Transición al Nado			Nado en Superficie			Fase Subacuática			Fase Total			
Nadador	Club	Género	Peso	Estatura	Experiencia	Estilo	T_DES	D_DES	V_DES	T_MOS	D_MOS	V_MOS	F BAT	L BAT	V BAT	Nº Batidos	T_TRAN	D_TRAN	V_TRAN	T_PRP	D_PRP	V_PRP	T_SUB	D_SUB	V SUB	T TOT	D_TOT	V_TOT

Figura 26: Hoja de registro del análisis cinemático de la salida con empuje.

La totalidad de las secuencias de las pruebas subacuáticas se conservaron en la memoria del ordenador respetando la velocidad de filmación original del mismo, que fue de 25 FPS. Según Robertson et al. (2004), la señal ha de ser procesada a una frecuencia como mínimo dos veces mayor que la frecuencia de muestreo "Nyquist", esto es, la frecuencia más alta presente en la señal misma. Dichos autores consideran

una frecuencia de 20 FPS, como una frecuencia suficiente en el análisis del movimiento humano, aunque, en ocasiones, los investigadores suelen utilizar frecuencias mayores para evitar la pérdida de información, como por ejemplo 50 Hz. En función de los resultados de estudios piloto en anteriores competiciones analizadas, la frecuencia de 25 FPS parece mostrar la mejor relación entre el coste de procesamiento y la información obtenida, por lo que fue la utilizada en la presente investigación.

Después de la captura de las pruebas en el ordenador, se utilizó el programa informático “Adobe Premiere 6.0” para almacenar la filmación original de vídeo en una secuencia de fotogramas en formato “Windows Bitmap Sequence” bajo la extensión *. bmp.

Una vez que se disponen de los fotogramas que componen las pruebas a analizar, se procedió a digitalizar los mismos mediante otro programa desarrollado en el Laboratorio de Biomecánica Deportiva denominado “Photo 23D” (Cala, Veiga, García y Navarro, 2009). Este programa estaba inspirado en los paneles de digitalización tradicionalmente utilizados en la biomecánica deportiva para el análisis de la técnica. Se fundamenta en la proyección en la pantalla del ordenador de cada uno de los fotogramas que componen la secuencia a analizar (Figuras 27 y 28).

Figura 27: Software utilizado para la digitalización de las imágenes subacuáticas en la vidriera 1.

Figura 28: Software utilizado para la digitalización de las imágenes subacuáticas en la vidriera 2.

Digitalizar consistió en marcar con el puntero del ratón la posición de la cadera del deportista en cada fotograma. La resolución de la imagen fue de 758 x 576 píxeles de manera que, al digitalizar la posición, se seleccionó 1 de los 436608 píxeles que formaban la imagen.

Al completar la digitalización de la totalidad de las pruebas analizadas, los datos correspondientes a la posición de la cadera de cada uno de los nadadores analizados a lo largo del nado subacuático, se exportaron en forma de fichero de texto (formato ASCII). Este tipo de ficheros recogía la posición, en píxeles, de cada nadador en el intervalo de tiempo digitalizado. Una vez obtenidos los datos de la posición de los nadadores en unidades informáticas (píxeles) se transformaron a unidades reales (metros) con la ayuda de los sistemas de calibración anteriormente filmados y medidos. Posteriormente, este mismo procedimiento se llevó a cabo con la cámara 2.

Llegados a este punto, la utilización de otro programa informático desarrollado en el Laboratorio de Biomecánica del INEF de Madrid denominado “Biomec” (Figura 29) permite obtener las coordenadas reales de cada posición sobre la lámina de agua del vaso mediante cálculos basados en los algoritmos de la DLT (Abdel-Aziz y Karara, 1971). Al realizar los estudios en dos dimensiones, el programa “Biomec” (en su

opción número 11) exige al usuario la introducción de un fichero de texto que contenga las coordenadas en píxeles de la posición del nadador, otro fichero de texto que contenga los datos relativos al sistema de calibración (coordenadas en píxeles y coordenadas reales) y requiere que se le indique el número de puntos analizados. Al ser ejecutado, el programa genera un nuevo fichero de texto que recoge las coordenadas reales de cada uno de los puntos digitalizados a lo largo de la prueba. El procedimiento anteriormente descrito se ha de repetir con los datos de cada una de las cámaras que filman las pruebas.

Figura 29: Software utilizado para el cálculo de coordenadas reales a partir de las coordenadas en píxeles.

3.3.7. VALIDACIÓN DE TÉCNICA EXPERIMENTAL.

La mayoría de las metodologías que se han utilizado para el análisis de la fase subacuática, se han basado en el procedimientos a través de referencias fijas, que no realizan cálculos de coordenadas en el espacio. Los escasos trabajos publicados que han utilizado técnicas experimentales similares a la DLT-2D (e.g.: Chow et al., 1984; Pai, Hay y Wilson, 1984; Chatard, Girold, Caudal, Cossor y Mason, 2003; Kwom y Casebolt, 2006), no explican detenidamente los aspectos relativos al proceso de validación a pesar de su importancia conceptual en un trabajo científico. Al aplicar cualquier tipo de técnica experimental siempre existe un componente de error en la medida registrada, por lo que el objetivo del investigador se centra en reducir este

error para intentar llegar al resultado verdadero (Thomas y Nelson, 2001). Los principales componentes del error de medida son el error sistemático que hace que las medidas sean distintas en una dirección particular al realizar tomas repetidas de datos y el error aleatorio fundamentado en las variaciones biológicas del sujeto que ejecuta la acción o por la variabilidad mecánica del aparato empleado (Allard et al., 1995; Atkinson y Nevill, 1998). Dicho error aleatorio, sigue siendo a día de hoy normalmente mayor que el error sistemático (Atkinson y Nevill, 1998).

En el caso de la técnica fotogrametría DLT-2D, los errores provienen principalmente de (Yeadon, 1989; Yeadon y Kervin, 1999; Kwon y Casebolt, 2006):

- El proceso de digitalización.
- La deformación de la lente de las cámaras.
- Los errores debidos a la sincronización entre las diferentes cámaras.

Como se ha señalado anteriormente, para la obtención de la posición en tres dimensiones de un punto mediante fotogrametría DLT es necesario filmar el punto desde dos cámaras, a partir de las cuales se reconstruyen las coordenadas reales. La utilización de dos cámaras implica la sincronización de las respectivas imágenes, proceso que ha sido estudiado y optimizado en diversos estudios (Yeadon y Kerwin, 1999; Pourcelot, Audigié, Degueurce, Geiger y Denoix, 2000). En la presente investigación, las imágenes de una única cámara son suficientes para la reconstrucción de las coordenadas 2D de un punto, a pesar de estar las dos situadas en dos vidrieras diferentes. Por ello, no se realizó el proceso de sincronización de imágenes. En relación al error debido a la aberración de la lente, Kwon y Casebolt (2006) señalaron que el único fenómeno que puede deformar la imagen sería la distorsión óptica. Dicha distorsión, que puede ser radial o bien tangencial, impedía asumir la imagen como una proyección central del campo de visión de la cámara (Challis y Kerwin, 1992). El modelo expandido de la DLT, una corrección de la DLT original propuesta por Marzan y Karara (1975) en la que se necesitan más que dos cámaras para la filmación del movimiento, en nuestras filmaciones subacuáticas, permitió teóricamente corregir dicha distorsión óptica. Aun así, los datos de diferentes estudios (Challis y Kervin, 1992; Miller, Shapiro y McLaughlin, 1980; Wood

y Marshall, 1986) mostraron que la utilización de dicha versión de la DLT, no parecía reducir el error obtenido en la reconstrucción de las coordenadas reales de un punto. Por ello, durante la investigación, se desechó la utilización del modelo expandido de la DLT.

Una vez contempladas dos de las posibles fuentes de error derivadas de la utilización de la técnica fotogrametría DLT, se procedió a validar el protocolo experimental utilizado en el presente trabajo. El procedimiento de validación incluyó las siguientes fases:

- Validación de la reconstrucción del espacio de control mediante fotogrametría 2D.
- Validación del proceso de digitalización.
- Validación del modelo de distancias fijas.

La validez de una medida indica el grado en el que un test o una herramienta mide realmente lo que supuestamente debe medir (Thomas y Nelson, 2001). Estos autores definen cuatro tipos distintos de validez (lógica, de contenido, de criterio y constructiva) aunque en la presente investigación, en la que se ha adaptado una nueva técnica instrumental, conviene hacer referencia a la validez de criterio puesto que la validez lógica se logra con la descripción de la metodología realizada en los apartados anteriores. La validez concurrente es, a su vez, una vertiente de la validez de criterio y se emplea cuando un instrumento de medida se correlaciona con un criterio de referencia que se administra al mismo tiempo (Thomas y Nelson, 2001).

Para poder llevar a cabo el proceso de validación, se requiere disponer de una prueba que ofrezca una validez máxima en los resultados sobre la medida a realizar, de modo que los valores obtenidos con la nueva herramienta en sí, se puedan comparar con el criterio de referencia. En la validación de técnicas fotogramétricas, el criterio de referencia son distancias conocidas dentro del espacio de calibración, o bien, puntos cuyas coordenadas son conocidas (Challis y Kerwin, 1992; Challis, 1995). En ambos casos, sería necesario que los puntos utilizados para reconstruir los puntos o las

distancias conocidas, no fueran los mismos que los utilizados para la calibración de la cámara.

En el caso concreto de la técnica fotogrametría DLT-2D, la comprobación de la precisión ha de realizarse comparando las coordenadas reales de los puntos de control con sus coordenadas refinadas según el algoritmo corrector (Challis, 1998). Siguiendo estas indicaciones, se comprobó la precisión del sistema de calibración tanto en la reconstrucción de coordenadas de puntos dentro del espacio de control (posiciones), como en la reconstrucción de distancias entre puntos de posición conocida (distancias).

Los puntos de control utilizados en la validación de la técnica para la presente investigación, correspondieron a puntos de coordenadas conocidos y determinados en las corcheras del vaso de la piscina (Kennedy, Brown, Chengalur y Nelson, 1990). Dentro del espacio de control de unas dimensiones de 15 x 25 metros, se situaron tres marcadores transversales a 5, 10 y 15 m desde la pared de la piscina (Figuras 30, 31 y 32). El corte de los marcadores transversales (un total de 3) se estableció cada 5 m en la calle 5 de la piscina, dado como resultado un total de 3 puntos de control no utilizados para realizar la calibración de la cámara y distribuidos uniformemente por el espacio de calibración. La posición de los citados puntos en coordenadas x e y fue la utilizada para realizar el cálculo del error del sistema.

Figura 30: Localización del punto de control dentro del espacio calibrado a 5 m.

Figura 31: Localización del punto de control dentro del espacio calibrado a 10 m.

Figura 32: Localización del punto de control dentro del espacio calibrado a 15 m.

Una vez que se comprobó si la medida fue válida y se midió lo que supuestamente se quiere medir, se comprobó la consistencia y objetividad de la medida que es lo que se conoce como fiabilidad. La comprobación de la fiabilidad de las medidas implica necesariamente la comprobación de la estabilidad y objetividad del proceso de digitalización. Dentro del modelo mecánico de movimiento que se explicó anteriormente.

La estabilidad de la digitalización se comprobó realizando digitalizaciones de la misma acción subacuática de un nadador, desde el despegue de los pies de la pared de la piscina hasta la entrada de la mano tras tres ciclos de brazada. Dicha acción, correspondían al recorrido subacuático completo hasta la salida a la superficie, de tal forma que se pudo comprobar si la estabilidad de las digitalizaciones era la misma.

Material y Metodología de la Investigación.

Por otro lado, la comprobación de la objetividad consistió en digitalizar 25 veces seguidas la misma secuencia durante la salida con empuje a través de 12 puntos como fue la cadera del nadador.

A continuación, se muestran en la tabla 19 los resultados sobre la fiabilidad de los datos durante las 25 digitalizaciones de la cadera durante la fase total de nado.

Tabla 19: Resultados sobre la fiabilidad de los datos.

	Media			DS			CV		
	Tiempo	x	y	Tiempo	x	y	Tiempo	x	y
Punto 1	28,95	1,14	0,9	0,015	0,0311	0,0142	0,10%	5,35%	0,45
Punto 2	29,17	1,59	0,85	0,0174	0,0319	0,0163	0,12%	3,93%	0,38
Punto 3	29,36	1,97	0,93	0	0,01	0,0091	0,00%	1,00%	0,43
Punto 4	29,6	2,39	0,91	0	0,0109	0,0104	0,00%	0,89%	0,29
Punto 5	29,76	2,68	0,96	0	0,0092	0,0081	0,00%	0,68%	0,39
Punto 6	30	3,07	0,89	0,0133	0,0234	0,0114	0,09%	1,49%	0,31
Punto 7	30,2	3,38	0,98	0	0,0074	0,0091	0,00%	0,43%	0,61
Punto 8	30,64	3,99	0,94	0	0,0105	0,0082	0,00%	0,52%	0,39
Punto 9	30,92	4,37	1,01	0	0,0421	0,0158	0,00%	1,89%	0,09
Punto 10	31	4,46	1,02	0,0111	0,0154	0,0137	0,07%	0,68%	0,28
Punto 11	31,19	4,74	1	0,0298	0,037	0,0125	0,19%	1,53%	3,2
Punto 12	33,4	7,95	1,06	0	0,0319	0,0119	0,00%	0,79%	

(DS= Desviación estandar, CV= Coeficiente de variación)

3.4. VARIABLES A ESTUDIO.

3.4.1. DEFINICIÓN Y CÁLCULO DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES.

Tanto Kerlinger (1964) como Arnau (1978), citados por Gutiérrez-Dávila y Oña (2005), coinciden en definir a la variable como “un símbolo al que se asignan valores o números” y para Pereda (1987), en un sentido más concreto, la define como “cualquier proceso del organismo o del ambiente que puede variar adoptando, por lo menos, dos valores diferentes, debiendo ser dichos valores excluyentes entre sí”.

Las variables independientes corresponden al:

- **Género:** Diferencia la participación de los sujetos en dos niveles, masculino y femenino, según la realización del deslizamiento subacuático, el movimiento ondulatorio subacuático, la transición al nado, el nado en superficie, el nado subacuático y el nado total. En todos los casos los análisis se diferenciaban en base a este factor de agrupamiento.

- **Estilos de nado:** Diferencia la participación de los sujetos en tres niveles: crol, espalda y mariposa, según la realización del deslizamiento subacuático, el movimiento ondulatorio subacuático, la transición al nado, el nado en superficie, el nado subacuático y el nado total. En todos los casos, los análisis se diferenciaban en base a este factor de agrupamiento.

- **Fases de nado:** Diferencia la participación de los sujetos en cada fase. A continuación, se muestran en la tabla 20, las fases y criterios de delimitación de las mismas. En todos los casos, los análisis se diferenciaban en base a este factor de agrupamiento.

Tabla 20: Fases y criterios de delimitación.

Fase	Sigla	Descripción
Fase del deslizamiento subacuático	F_DES	Desde que se separan los pies de la pared, hasta que la articulación del tobillo se extiende para comenzar el batido descendente de delfín.
Fase del movimiento ondulatorio subacuático	F_MOS	Desde que la articulación del tobillo se extiende para comenzar el batido descendente, hasta que los pies se separan para iniciar el batido alterno de piernas o hasta el instante en el que se separan las manos para realizar el agarre.
Fase de transición al nado	F_TRAN	Desde que los pies se separan para iniciar el batido alterno de piernas o desde que se separan las manos para realizar el agarre, hasta que se rompe la superficie del agua con la parte superior de la cabeza.
Fase de nado en superficie	F_SUP	Desde que se rompe la superficie del agua con la parte superior de la cabeza, hasta que la mano entra en el agua tras tres ciclos de brazada.
Fase subacuática de nado	F_SUB	Desde que se separan los pies de la pared, hasta que se rompe la superficie del agua con la parte superior de la cabeza. Estaba integradas por las fases: F_DES, F_MOS y F_TRAN.
Fase total	F_TOT	Desde que se separan los pies de la pared, hasta que la mano entra en el agua tras tres ciclos de brazada. Estaba integradas por las fases: F_DES, F_MOS, F_TRAN y F_SUP.

Las variables dependientes del estudio fueron aquellas que se obtuvieron en base a los parámetros de rendimiento medidos por la técnica instrumental utilizada y el registro de los observadores, desde el despegue de los pies de la pared hasta el tercer ciclo de la brazada. Las variables temporales, cinemáticas y acíclica medidas en la presente investigación se muestran en las tablas: 21, 22, 23, 24, 25, 26 y 27:

Tabla 21: Variables medidas en la fase de deslizamiento subacuático.

Fase	Sigla	Descripción
Tiempo del deslizamiento subacuático	T_DES	Tiempo en segundos desde el instante en el que los pies del nadador se separan de la pared en posición ventral (Crol y Mariposa) o en posición dorsal (Espalda), hasta el instante en que la articulación del tobillo comienza el batido descendente (Crol y Mariposa) o el batido ascendente (Espalda).
Distancia del deslizamiento subacuático	D_DES	Distancia horizontal en metros desde la posición de la cadera en el instante en el que los pies del nadador se separan de la pared en posición ventral (Crol y Mariposa) o en posición dorsal (Espalda), hasta el instante en que la articulación del tobillo comienza el batido descendente (Crol y Mariposa) o el batido ascendente (Espalda).
Velocidad del Deslizamiento subacuático	V_DES	Velocidad media de desplazamiento del nadador en m/s durante la fase de deslizamiento subacuático (Crol, Espalda y Mariposa).

Tabla 22: Variables medidas en la fase del movimiento ondulatorio subacuático.

Fase	Sigla	Descripción
Tiempo del movimiento ondulatorio subacuático	T_MOS	Tiempo en segundos desde el instante en que la articulación del tobillo comienza el batido descendente (Crol y Mariposa) o el batido ascendente (Espalda), hasta el instante en el que los pies se separan para iniciar el batido alterno de piernas (Crol y Espalda) o hasta el instante en el que se separan las manos para realizar el agarre (Crol, Espalda y Mariposa).
Distancia del movimiento ondulatorio subacuático	D_MOS	Distancia horizontal en metros desde la posición de la cadera en el instante en que la articulación del tobillo comienza el batido descendente (Crol y Mariposa) o el batido ascendente (Espalda), hasta el instante en el que los pies se separan para iniciar el batido alterno de piernas (Crol y Espalda) o hasta el instante en el que se separan las manos para realizar el agarre (Mariposa).
Velocidad del movimiento ondulatorio subacuático	V_MOS	Velocidad media de desplazamiento del nadador en m/s durante la fase del movimiento ondulatorio subacuático (Crol, Espalda y Mariposa).

Tabla 23: Variables del batido subacuático medidas durante el movimiento ondulatorio subacuático.

Fase	Sigla	Descripción
Frecuencia del batido subacuático	F_BAT	Número de batidos por unidad de tiempo medido en cic/min, desde el inicio del batido descendente (Crol y Mariposa) o el batido ascendente (Espalda), hasta que volvía nuevamente al inicio del batido descendente o el batido ascendente.
Longitud del batido subacuático	L_BAT	Espacio horizontal recorrido por el nadador en m/cic, desde el inicio del armado del batido de delfín subacuática hasta que volvía nuevamente al inicio del armado, durante el recorrido completo del batido subacuático, entre la frecuencia de ciclo del batido subacuático (F_PTD).
Velocidad del batido subacuático	V_BAT	Velocidad media de desplazamiento del nadador en m/s durante la fase del batido durante el movimiento ondulatorio subacuático (Crol, Espalda y Mariposa).

Tabla 24: Variables medidas en la fase de transición al nado.

Fase	Sigla	Descripción
Tiempo de transición del nado	T_TRAN	Tiempo en segundos desde el instante en el que los pies se separan para iniciar el batido alterno de piernas o instante en el que se separan las manos para realizar el agarre (Crol y Espalda), hasta el instante en el que se rompe la superficie del agua con la parte superior de la cabeza (Crol y Espalda).
Distancia de transición del nado	D_TRAN	Distancia horizontal en metros desde la posición de la cadera en el instante en el que los pies se separan para iniciar el batido alterno de piernas o instante en el que se separan las manos para realizar el agarre (Crol y Espalda), hasta el instante en el que se rompe la superficie del agua con la parte superior de la cabeza (Crol y Espalda).
Velocidad de transición del nado	V_TRAN	Velocidad media de desplazamiento del nadador en m/s durante la fase de propulsión subacuática (Crol y Espalda).

Tabla 25: Variables medidas en la fase de nado en superficie.

Fase	Sigla	Descripción
Tiempo de nado en superficie	T_SUP	Tiempo en segundos desde el instante en el que nadador rompe la superficie del agua con la parte superior de la cabeza (Crol, Espalda y Mariposa), hasta el instante en el que la mano entra en el agua tras tres ciclos de brazada (Crol, Espalda y Mariposa).
Distancia de nado en superficie	D_SUP	Distancia horizontal en metros desde la posición de la cadera en el instante en el que nadador rompe la superficie del agua con la parte superior de la cabeza (Crol, Espalda y Mariposa), hasta el instante en el que la mano entra en el agua tras tres ciclos de brazada (Crol, Espalda y Mariposa).
Velocidad de nado en superficie	V_SUP	Velocidad media de desplazamiento del nadador en m/s durante la fase de propulsión en superficie (Crol, Espalda y Mariposa).

Tabla 26: Variables medidas en la fase subacuática de nado.

Fase	Sigla	Descripción
Tiempo de la fase subacuática de nado	T_SUB	Tiempo en segundos desde el instante en el que los pies del nadador se separan de la pared en posición ventral (Crol y Mariposa) o en posición dorsal (Espalda), hasta el instante en el que nadador rompe la superficie del agua con la parte superior de la cabeza (Crol, Espalda y Mariposa).
Distancia de la fase subacuática de nado	D_SUB	Distancia horizontal en metros desde la posición de la cadera en el instante en el que los pies del nadador se separan de la pared en posición ventral (Crol y Mariposa) o en posición dorsal (Espalda), hasta el instante en el que nadador rompe la superficie del agua con la parte superior de la cabeza (Crol, Espalda y Mariposa).
Velocidad de la fase subacuática de nado	V_SUB	Velocidad media de desplazamiento del nadador en m/s durante la fase subacuática total (Crol, Espalda y Mariposa).

Tabla 27: Variables medidas en la fase total.

Fase	Sigla	Descripción
Tiempo total	T_TOT	Tiempo en segundos desde el instante en el que los pies del nadador se separan de la pared en posición ventral (Crol y Mariposa) o en posición dorsal (Espalda), hasta el instante en el que la mano entra en el agua tras tres ciclos de brazada (Crol, Espalda y Mariposa).
Distancia total	D_TOT	Distancia horizontal en metros desde la posición de la cadera en el instante en el que los pies del nadador se separan de la pared en posición ventral (Crol y Mariposa) o en posición dorsal (Espalda), hasta el instante en el que la mano entra en el agua tras tres ciclos de brazada (Crol, Espalda y Mariposa).
Velocidad total	V_TOT	Velocidad media de desplazamiento del nadador en m/s durante la fase subacuática total (Crol, Espalda y Mariposa).

Dado que el proceso de digitalización de las imágenes incluyó únicamente los fotogramas donde se producen las acciones subacuáticas de los nadadores que delimitan las variables a estudio, las variables analizadas fueron de carácter discreto y no de carácter continuo (como normalmente se produce al analizar movimientos deportivos en el ámbito de la biomecánica deportiva). Por ello, el procesamiento de datos del presente trabajo no incluyó el pertinente filtrado e interpolación propia de los estudios en el ámbito de la biomecánica deportiva.

Por otro lado, en la presente investigación también se llevó a cabo una caracterización porcentual de las diferentes fases que integraron la fase subacuática de nado y la fase total: deslizamiento subacuático, movimiento ondulatorio subacuático, transición al nado y nado en superficie.

Material y Metodología de la Investigación.

Solo las variables temporales y espaciales se calcularon de forma porcentual en función del género. Las variables temporales fueron:

- Tiempo de deslizamiento subacuático (T_DES);
- Tiempo del movimiento ondulatorio subacuático (T_MOS);
- Tiempo de transición al nado (T_TRAN) y;
- Tiempo de nado en superficie (T_SUP).

Mientras, que para las variables espaciales la definieron:

- Distancia de deslizamiento subacuático (D_DES);
- Distancia del movimiento ondulatorio subacuático (D_MOS);
- Distancia de transición al nado (D_TRAN) y;
- Distancia de nado en superficie (D_SUP).

3.5. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.

La observación ha dado una gran cantidad de datos que deben ser analizados para constatar la hipótesis y responder a los objetivos de la investigación. Matemáticamente, el uso de un tratamiento estadístico durante la recolección, el análisis e interpretación de la información busca dar respuesta a estos fenómenos.

Durante el presente estudio se ha tratado de aunar toda la información posible sobre los parámetros cinemáticos de la salida con empuje en nadadores competitivos de nivel nacional. A partir de dicha información, se llevarían a cabo diferentes tratamientos estadísticos que permitirían averiguar:

- Si la técnica experimental en el análisis cinemático de la salida con empuje mediante fotogrametría 2D fue lo suficientemente válida y fiable.
- Si las diferentes fases de la salida con empuje están relacionadas con el rendimiento global de la salida con empuje.

- Si existen diferencias entre el género y el estilo de nado en la fase subacuática y la fase total de la salida con empuje, así como durante el batido subacuático.

Los resultados de los diferentes análisis estadísticos llevados a cabo en el estudio se expresaron siguiendo la notación APA (*American Psychological Association*) y se mostraron cuales fueron los grados de libertad, los valores de cada estadístico utilizado y su nivel de significación estadística. El nivel máximo de alpha permitido fue de 0,05 ya que se restringió la probabilidad de realizar hallazgos debidos al azar a un 5%. Para ello, todos los cálculos estadísticos de la investigación se realizaron a través del sistema estadístico SPSS versión 21.0.

3.5.1. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DURANTE LA SALIDA CON EMPUJE.

La primera parte del tratamiento estadístico de los datos recogidos en la presente investigación consistió en la depuración de la matriz de datos con la finalidad de detectar posibles errores en el registro gracias al análisis descriptivo. Esto ayudaría a averiguar si existía algún código (en forma de número) que estuviera fuera de los límites establecidos y corregirlos haciendo la llamada “depuración de posibles códigos” según afirmó Babbie (2000).

Las características de la presente investigación y la medición de las variables dependientes con diferentes factores de agrupación (variables independientes), llevó a la utilización de un tratamiento estadístico multivariante con la interrelación entre las diferentes variables dependientes (Haase y Ellis, 1987). Aunque para autores como Schutz y Gessaroli (1987) ha sido un análisis poco valorado en las Ciencias del Deporte, nos permitió llevar a cabo cálculos en forma matricial en lugar de escalar (Haase y Ellis, 1987). Pero la existencia de varias variables dependientes (tiempo, distancia, velocidad media, frecuencia, longitud y velocidad medida del batido) provocó la combinación de varios valores en cada una de las celdas numéricas de cálculo que combinaron filas y columnas de datos. Este tratamiento estadísticos nos permitió aunar las diferentes variables dependientes y observar como varían a lo largo de los diferentes niveles de las variables independientes del estudio (género, estilos y fases), según señaló Ntoumanis (2001).

Primeramente, para responder al objetivo sobre la caracterización de las diferentes fases de la salida con empuje se calcularon las medias y desviaciones estándar de los parámetros (distancia, tiempo y velocidad) así como un análisis correlacional entre los parámetros de cada fase y el global de la salida con empuje. Los umbrales que representaron correlaciones pequeñas, moderadas, grandes, muy grandes y casi perfectas, fueron de 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 y 0,9, respectivamente (Hopkins, Marshall, Batterham y Hanin, 2009).

Por otra parte, y para dar respuesta a otros objetivos como la influencia del género y el estilo de nado en la salida con empuje se llevó a cabo un análisis de varianza con medias repetidas (ANOVA), según Atkinson y Nevill (1998), en el que el tiempo, distancia y velocidad (variables dependientes) fueron analizados considerando como factor intrasujeto los diferentes momentos o fases de la salida con empuje, así como el estilo de nado y como factor intersujeto el género de los sujetos. Se utilizó el valor del contraste F junto con los grados de libertad para la probabilidad estadística (p) de los efectos de un factor sobre la varianza de la población. Aunque los niveles de significación más usuales en las Ciencias Sociales han sido el 0,05 y el 0,01 (Bisquerra, 2000). Durante el presente estudio se estimó que el p valor fuera 0,05, ya que si se rechazaba la hipótesis por una probabilidad baja de error ($p < 0,01$) los resultados presentarían una significación estadística.

En el caso del análisis del batido subacuático en el movimiento ondulatorio subacuático (objetivo 3), se utilizó el mismo procedimiento estadístico explicado anteriormente aunque, en este caso, las variables dependientes fueron la velocidad, frecuencia y longitud de ciclo (considerando el ciclo el movimiento ondulatorio del nadador).

Cuando se observó un efecto significativo entre los niveles de ANOVA, se llevaron a cabo comparaciones múltiples con la corrección de Bonferroni, mientras que los resultados se interpretaron mediante el tamaño de efecto con los valores de Eta al cuadrado (η^2).

4. RESULTADOS.

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA FASES EN LA SALIDA CON EMPUJE.

Los resultados descriptivos de los parámetros cinemáticos de las fases que componen la salida con empuje se muestran en la tabla 28.

Tabla 28: Resultados descriptivos del análisis entre fases en función del tiempo (s), distancia (m) y velocidad (m/s).

	Fase deslizamiento subacuático	Fase movimiento ondulatorio subacuático	Fase transición al nado	Fase nado en superficie	Fase subacuática	Fase total
Tiempo	0,59±0,02	3,14±0,07	0,54±0,02	2,26±0,03	4,26±0,08	6,52±0,08
Distancia	1,28±0,04	4,92±0,10	0,77±0,04	3,23±0,04	6,97±0,11	10,19±0,10
Velocidad	2,22±0,02	1,61±0,01	1,48±0,03	1,46±0,02	1,69±0,01	1,60±0,01

Los nadadores de nivel nacional durante la fase subacuática de nado, fase que estaba compuesta por el deslizamiento subacuático, el movimiento ondulatorio subacuática y la transición al nado, invirtieron un promedio de 4,26±0,08 s. Dentro de sus fases, la que mayor tiempo mostró (3,14±0,07 s) fue la fase de movimiento ondulatorio subacuático, seguida por la fase del deslizamiento subacuático (0,59±0,02 s) y la fase de transición al nado (0,54±0,02 s), siendo superior a estas dos últimas, el tiempo empleado en la fase de nado en superficie (2,66±0,03 s).

En la variable distancia entre fases, dentro de la fase subacuática de nado (6,97±0,11 m), la fase de movimiento ondulatorio subacuático fue la que mayor distancia recorrió de todas (4,92±0,10 m), seguida de la fase de nado en superficie (3,23±0,04 m), junto con la fase de deslizamiento subacuático (1,28±0,04 m) y la fase de transición al nado (0,77±0,04 m), siendo esta la menor de todas.

Por último, durante la variable velocidad entre fases, la fase del deslizamiento subacuático fue la fase que mayor velocidad registró de todas (2,22±0,02 m/s), seguida de la fase del movimiento ondulatorio subacuático y transición al nado (1,61±0,01 y 1,48±0,03 m/s). Lo cual provocó, que la velocidad registrada por dichas fases durante la fase subacuática de nado (1,69±0,01 m/s) fuera mayor que durante la fase de nado en superficie (1,46±0,02 m/s).

4.1.1. TIEMPO, DISTANCIA Y VELOCIDAD EN LAS FASES DE LA SALIDA CON EMPUJE.

En la tabla 29 se encuentra el tiempo empleado por los nadadores de nivel competitivo nacional en las diferentes fases de la salida con empuje, en función del género y el estilo de nado.

Tabla 29: Tiempo (s) empleado por nadadores competitivos de nivel nacional en las diferentes fases de la salida con empuje según género y estilo.

	Masculino			Femenino		
	Crol	Espalda	Mariposa	Crol	Espalda	Mariposa
T_DES	0,66±0,05	0,49±0,06	0,64±0,05	0,66±0,05	0,50±0,05	0,62±0,05
T_MOS	2,20±0,17	4,07±0,18	2,74±0,17	2,56±0,16	4,56±0,15	2,70±0,15
T_TRAN	0,54±0,05	0,87±0,05	0,30±0,05	0,41±0,05	0,90±0,05	0,21±0,05
T_SUP	1,68±0,08	1,93±0,08	2,81±0,08	2,00±0,07	2,27±0,07	2,85±0,07

(Variables: T_DES= Tiempo deslizamiento; T_MOS= Tiempo movimiento ondulatorio subacuático; T_TRAN= Tiempo transición y T_SUP= Tiempo superficie)

A continuación, se muestra en la tabla 30 el tiempo invertido por los nadadores competitivos de nivel nacional durante la fase subacuática total y la fase total durante la salida con empuje, en función del género y el estilo de nado.

Tabla 30: Tiempo (s) empleado por nadadores competitivos de nivel nacional en la fase subacuática total y la fase total de la salida con empuje según género y estilo.

	Masculino			Femenino		
	Crol	Espalda	Mariposa	Crol	Espalda	Mariposa
T_SUB	3,41±0,20	5,35±0,21	3,68±0,20	3,62±0,18	6,00±0,18	3,53±0,18
T_TOT	5,08±0,21	7,28±0,22	6,49±0,21	5,62±0,19	8,26±0,19	6,38±0,19

(Variables: T_SUB= Tiempo subacuático y T_TOT= Tiempo total)

Seguidamente, en la tabla 31 se muestra la distancia recorrida en cada fase y el estilo de nado para los nadadores de nivel competitivo nacional de géneros masculino y femenino.

Tabla 31: Distancia (m) recorrida por nadadores competitivos de nivel nacional en las diferentes fases de la salida con empuje según género y estilo.

	Masculino			Femenino		
	Crol	Espalda	Mariposa	Crol	Espalda	Mariposa
D_DES	1,55±0,10	1,05±0,11	1,50±0,10	1,38±0,09	0,97±0,09	1,24±0,09
D_MOS	3,83±0,24	6,54±0,26	4,71±0,24	3,92±0,22	6,40±0,22	4,13±0,22
D_TRAN	0,92±0,07	1,24±0,10	0,46±0,07	0,57±0,07	1,09±0,22	0,31±0,06
D_SUP	2,85±0,10	2,59±0,10	4,42±0,10	2,92±0,09	2,48±0,09	4,14±0,09

(Variables: D_DES= Distancia deslizamiento; D_MOS= Distancia movimiento ondulatorio subacuático; D_TRAN= Distancia transición y D_SUP= Distancia superficie)

Nuevamente, en la tabla 32 se halla la distancia recorrida por los nadadores competitivos de nivel nacional durante la fase subacuática total y la fase total durante la salida con empuje, en función del género y el estilo de nado.

Tabla 32: Distancia (m) recorrida por nadadores competitivos de nivel nacional en la fase subacuática total y la fase total de la salida con empuje según género y estilo.

	Masculino			Femenino		
	Crol	Espalda	Mariposa	Crol	Espalda	Mariposa
D_SUB	6,32±0,27	8,83±0,28	6,62±0,27	5,84±0,25	8,48±0,24	5,70±0,24
D_TOT	9,15±0,25	11,43±0,27	11,04±0,25	8,74±0,24	11,02±0,23	9,79±0,23

(Variables: D_SUB= Distancia subacuática y D_TOT= Distancia total)

A continuación, en la tabla 33 se observan los resultados según la velocidad media mantenida en cada fase y el estilo de nado para los géneros masculino y femenino.

Tabla 33: Velocidad (m/s) registrada por nadadores competitivos de nivel nacional en las diferentes fases de la salida con empuje según género y estilo.

	Masculino			Femenino		
	Crol	Espalda	Mariposa	Crol	Espalda	Mariposa
V_DES	2,41±0,06	2,22±0,06	2,46±0,06	2,19±0,05	2,02±0,05	2,04±0,05
V_MOS	1,79±0,03	1,62±0,03	1,77±0,03	1,54±0,03	1,41±0,03	1,54±0,03
V_TRAN	1,72±0,06	1,47±0,07	1,58±0,06	1,42±0,06	1,27±0,06	1,45±0,06
V_SUP	1,70±0,06	1,34±0,06	1,58±0,06	1,48±0,05	1,15±0,05	1,52±0,05

(Variables: V_DES= Velocidad deslizamiento; V_MOS= Velocidad movimiento ondulatorio subacuático; V_TRAN= Velocidad transición y V_SUP= Velocidad superficie)

Por último, se muestra en la tabla 34, la velocidad registrada por los nadadores competitivos de nivel nacional durante la fase subacuática total y la fase total durante la salida con empuje, en función del género y el estilo de nado.

Tabla 34: Velocidad (m/s) registrada por nadadores competitivos de nivel nacional en la fase subacuática total y la fase total de la salida con empuje según género y estilo.

	Masculino			Femenino		
	Crol	Espalda	Mariposa	Crol	Espalda	Mariposa
V_SUB	1,90±0,03	1,67±0,03	1,85±0,03	1,63±0,03	1,43±0,03	1,64±0,03
V_TOT	1,83±0,03	1,58±0,03	1,72±0,03	1,57±0,03	1,35±0,03	1,56±0,03

(Variables: V_SUB= Velocidad subacuática y V_TOT= Velocidad total)

4.1.2. TIEMPO, DISTANCIA Y VELOCIDAD DEL GÉNERO DE NADO EN CADA FASE DE LA SALIDA CON EMPUJE.

Resultados descriptivos sobre el análisis del género de nado en cada fase de la salida con empuje se recogen en la tabla 35.

Tabla 35: Resultados descriptivos del género de nado en cada fase de la salida con empuje para las mediciones de tiempo (s), distancia (m) y velocidad (m/s).

	Tiempo		Distancia		Velocidad	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
F_DES	0,59±0,03	0,59±0,03	1,37±0,06	1,20±0,05	2,36±0,03	2,08±0,03
F_MOS	3,01±0,10	3,27±0,09	5,03±0,14	4,82±0,13	1,73±0,02	1,50±0,02
F_TRAN	0,57±0,03	0,51±0,03	0,84±0,04	0,66±0,04	1,59±0,03	1,38±0,03
F_SUP	2,14±0,05	2,37±0,04	3,28±0,06	3,18±0,05	1,54±0,03	1,38±0,03
F_SUB	4,15±0,12	4,38±0,10	7,26±0,16	6,67±0,14	1,80±0,02	1,57±0,02
F_TOT	6,28±0,12	6,75±0,11	10,54±0,15	9,85±0,14	1,71±0,02	1,49±0,02

(Fases: F_DES= Fase deslizamiento; F_MOS= Fase movimiento ondulatorio subacuático; F_TRAN= Fase transición; F_SUP= Fase superficie; F_SUB= Fase subacuática y F_TOT= Fase total).

Los resultados en función del tiempo muestran que las mujeres tardaron más que los hombres en la ejecución de todas las fases menos en la fase de transición al nado. Además, ambos géneros, emplearon el mismo tiempo en la realización de la fase de deslizamiento. En cuanto a la distancia recorrida y la velocidad registrada, los

hombres mostraron mayores valores que las mujeres desde el despegue de la pared hasta la distancia de 15 m.

4.1.3. TIEMPO, DISTANCIA Y VELOCIDAD DEL ESTILO DE NADO EN CADA FASE DE LA SALIDA CON EMPUJE.

Los resultados descriptivos sobre la influencia del estilo de nado en cada fase de la salida con empuje, se muestran por estilos en las tablas 36, 37 y 38.

Tabla 36: Resultados descriptivos sobre la influencia del estilo de crol en cada fase de la salida con empuje para las mediciones de tiempo (s), distancia (m) y velocidad (m/s).

	Crol		
	Tiempo	Distancia	Velocidad
F_DES	0,66±0,04	1,47±0,07	2,30±0,04
F_MOS	2,38±0,11	3,88±0,16	1,67±0,02
F_TRAN	0,47±0,03	0,74±0,05	1,57±0,04
F_SUP	1,84±0,05	2,88±0,07	1,59±0,04
F_SUB	3,51±0,13	6,08±0,18	1,77±0,02
F_TOT	5,35±0,14	8,94±0,17	1,70±0,02

(Fases: F_DES= Fase deslizamiento; F_MOS= Fase movimiento ondulatorio subacuático; F_TRAN= Fase transición; F_SUP= Fase superficie; F_SUB= Fase subacuática y F_TOT= Fase total)

Tabla 37: Resultados descriptivos sobre la influencia del estilo de espalda en cada fase de la salida con empuje para las mediciones de tiempo (s), distancia (m) y velocidad (m/s).

	Espalda		
	Tiempo	Distancia	Velocidad
F_DES	0,50±0,04	1,01±0,07	2,12±0,04
F_MOS	4,32±0,12	6,47±0,17	1,52±0,02
F_TRAN	0,88±0,04	1,17±0,05	1,37±0,04
F_SUP	2,10±0,05	2,54±0,07	1,24±0,04
F_SUB	5,68±0,14	8,66±0,19	1,55±0,02
F_TOT	7,77±0,15	11,22±0,18	1,46±0,02

(Fases: F_DES= Fase deslizamiento; F_MOS= Fase movimiento ondulatorio subacuático; F_TRAN= Fase transición; F_SUP= Fase superficie; F_SUB= Fase subacuática y F_TOT= Fase total)

Tabla 38: Resultados descriptivos sobre la influencia del estilo de mariposa en cada fase de la salida con empuje para las mediciones de tiempo (s), distancia (m) y velocidad (m/s).

	Mariposa		
	Tiempo	Distancia	Velocidad
F_DES	0,63±0,04	1,37±0,07	2,25±0,04
F_MOS	2,72±0,11	4,42±0,16	1,65±0,02
F_TRAN	0,26±0,03	0,39±0,05	1,52±0,04
F_SUP	2,83±0,05	4,28±0,07	1,55±0,04
F_SUB	3,60±0,13	6,16±0,18	1,74±0,02
F_TOT	6,43±0,14	10,41±0,17	1,64±0,02

(Fases: F_DES= Fase deslizamiento; F_MOS= Fase movimiento ondulatorio subacuático; F_TRAN= Fase transición; F_SUP= Fase superficie; F_SUB= Fase subacuática y F_TOT= Fase total)

En cuanto a la interacción entre las fases y los estilos de nado, se halló que espalda fue el estilo que menor tiempo y distancia invirtió durante la fase de deslizamiento, pero fue el estilo que mayor desarrollo presentó durante la fase del movimiento ondulatorio subacuático y transición al nado, aun siendo en estas tres fases el estilo más lento de todos los estilos analizados, lo cual derivó también en el mayor tiempo y distancia durante la fase subacuática y la fase total hasta los 15 m. El estilo de mariposa, en cambio, mostró el menor tiempo en la fase de transición, mientras que el estilo de crol fue el que menos tiempo invirtió en la fase de nado en superficie y el que mayor velocidad registró a lo largo de todas las fases del estudio, seguido muy de cerca por el estilo de mariposa.

4.1.4. CONTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE CADA FASE EN LA SALIDA CON EMPUJE.

Los resultados porcentuales durante la fase total de nado (gráficos 1, 2 y 3) muestran que la fase del movimiento ondulatorio subacuático fue la que requirió mayor tiempo, principalmente en espalda (32%) y mariposa (27%) entre los géneros, estando próximos el tiempo invertido en crol (28% y 26%) mayoritariamente en las mujeres. Las siguientes fases, deslizamiento y transición estuvieron cercanas en cuanto a su ejecución en ambos géneros y estilos. El deslizamiento, apenas presentó diferencias entre hombres y mujeres (8% y 7%). Mientras que fueron iguales en espalda (4%) y mariposa (6%), siendo este último estilo superior. En la fase de transición, los hombres emplearon mayor tiempo que las mujeres en los estilos de espalda (7% vs 6%), crol (6% vs 4%) y mariposa (3% vs 2%). Por último, en la fase subacuática de

nado a lo largo de los 15 m, fueron igual los tiempos entre ambos géneros para el estilo de espalda (42%) y mariposa (36%), pero con apenas diferencia entre hombres y mujeres (40% vs 39%) para el estilo de crol.

Los resultados sobre la fase total de nado (gráficos 4, 5 y 6) mostraron una mayor distancia en la fase del movimiento ondulatorio subacuático, nuevamente para el estilo de espalda (32% y 33%) frente a mariposa y crol (25% y 27%), siendo mínimas las diferencias entre hombres y mujeres. Las siguientes fases que ocuparon menor distancia a lo largo de la salida con empuje fueron la fase de deslizamiento, que fue igual en espalda (5%) y mariposa (8%) en ambos géneros, aunque en crol (10% y 9%) apenas hubo diferencias. Y en la fase de transición, también fue leve las diferencias en los estilos de crol (6% y 4%), espalda (6% y 5%) y mariposa (3% y 2%). Por último, la fase subacuática de nado, ocupó la misma distancia en espalda (44%) y mariposa (37%), a pesar de ser mínima la diferencia en crol (41% y 40%) en ambos géneros.

Gráfico 1: Contribución en tiempo dentro de la fase total de la salida con empuje de crol en nadadores de nivel nacional.

(Izquierda hombres y derecha mujeres. Variables: T_DES= Tiempo deslizamiento; T_MOS= Tiempo movimiento ondulatorio; T_TRAN= Tiempo transición; T_SUP= Tiempo superficie; T_SUB= Tiempo subacuático)

Gráfico 2: Contribución en tiempo dentro de la fase total de la salida con empuje de espalda en nadadores de nivel nacional.

(Izquierda hombres y derecha mujeres. Variables: T_DES= Tiempo deslizamiento; T_MOS= Tiempo movimiento ondulatorio; T_TRAN= Tiempo transición; T_SUP= Tiempo superficie; T_SUB= Tiempo subacuático)

Gráfico 3: Contribución en tiempo dentro de la fase total de la salida con empuje de mariposa en nadadores de nivel nacional.

(Izquierda hombres y derecha mujeres. Variables: T_DES= Tiempo deslizamiento; T_MOS= Tiempo movimiento ondulatorio; T_TRAN= Tiempo transición; T_SUP= Tiempo superficie; T_SUB= Tiempo subacuático)

Gráfico 4: Contribución en distancia dentro de la fase total de la salida con empuje de crol en nadadores de nivel nacional.

(Izquierda hombres y derecha mujeres. Variables: D_DES=Distancia deslizamiento; D_MOS= Distancia movimiento ondulatorio; D_TRAN= Distancia transición; D_SUP= Distancia superficie; D_SUB= Distancia subacuática)

Gráfico 5: Contribución en distancia dentro de la fase total de la salida con empuje de espalda en nadadores de nivel nacional.

(Izquierda hombres y derecha mujeres. Variables: D_DES=Distancia deslizamiento; D_MOS= Distancia movimiento ondulatorio; D_TRAN= Distancia transición; D_SUP= Distancia superficie; D_SUB= Distancia subacuática).

Gráfico 6: Contribución en distancia dentro de la fase total de la salida con empuje de mariposa en nadadores de nivel nacional.

(Izquierda hombres y derecha mujeres. Variables: D_DES=Distancia deslizamiento; D_MOS= Distancia movimiento ondulatorio; D_TRAN= Distancia transición; D_SUP= Distancia superficie; D_SUB= Distancia subacuática)

4.1.5. CORRELACIÓN ENTRE FASES DURANTE LA SALIDA CON EMPUJE.

La caracterización de las diferentes fases de la salida con empuje incluyó un análisis correlacional entre las diferentes variables analizadas.

4.1.5.1. CORRELACIÓN ENTRE FASES EN LAS MEDICIONES DE TIEMPO.

En el estilo crol, el tiempo de transición al nado se relacionó negativamente con el nado en superficie. Para el tiempo transcurrido durante el nado subacuático, la mayor influencia significativa se encontró durante el movimiento ondulatorio subacuático, seguido en un menor caso, por el tiempo de deslizamiento subacuático y de transición al nado. Durante el transcurso del nado total, nuevamente hubo relación significativa con el movimiento ondulatorio subacuático y nado subacuático, principalmente. Sin embargo, también tuvieron el tiempo de deslizamiento subacuático y de transición al nado, una relación positiva pero menos influyentes. La tabla 39 recoge los valores significativos ($p < 0,05$) sobre el análisis correlacional entre el tiempo en la salida con empuje durante el estilo de crol.

Tabla 39: Análisis correlacional entre las mediciones de tiempo (s) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de crol.

Factores Correlacionales	TRAN SUP	Crol			TOT			
		DES	SUB MOS	TRAN	DES	MOS	TRAN	SUB
Correlación de Pearson	-0,31*	0,42*	0,90*	0,38*	0,38*	0,88*	0,28*	0,94*

* La correlación es significativa en el nivel 0,05.

(Fases: DES= Deslizamiento; MOS= Movimiento ondulatorio subacuático;
TRAN= Transición; SUP= Nado superficie; SUB= Nado subacuático y TOT= Nado total)

Para el estilo de espalda, el tiempo del deslizamiento subacuático y del movimiento ondulatorio subacuático, se relacionó de forma significativa con la transición al nado. El tiempo transcurrido durante el nado subacuático, estuvo influenciado principalmente por el movimiento ondulatorio subacuático, y de forma menos significativa por la transición al nado. Para el nado total, los tiempos del movimiento ondulatorio subacuático y el nado subacuático fueron los que tuvieron un mayor efecto, seguidos de manera significativa por la transición al nado y el nado en

superficie. La tabla 40 recoge los valores significativos ($p < 0,05$) sobre el análisis correlacional entre el tiempo en la salida con empuje durante el estilo de espalda.

Tabla 40: Análisis correlacional entre las mediciones de tiempo (s) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de espalda.

Factores Correlacionales	Espalda							
	DES	MOS	SUB		TOT			
	TRAN	TRAN	MOS	TRAN	MOS	TRAN	SUP	SUB
Correlación de Pearson	0,25*	0,24*	0,92*	0,52*	0,82*	0,54*	0,39*	0,91*

* La correlación es significativa en el nivel 0,05.

(Fases: DES= Deslizamiento; MOS= Movimiento ondulatorio subacuático; TRAN= Transición; SUP= Nado superficie; SUB= Nado subacuático y TOT= Nado total)

Por último, para el estilo de mariposa, el tiempo transcurrido durante el movimiento ondulatorio subacuático se relacionó con la transición al nado. Para el nado subacuático fue muy significativa la influencia del movimiento ondulatorio subacuático, pero menor con la del tiempo de transición al nado y de deslizamiento subacuático. En el nado total, y al igual que en los estilos anteriormente analizados, la mayor influencia lineal estuvo marcada por el movimiento ondulatorio subacuático y el nado subacuático, el resto de fases, cómo el tiempo de deslizamiento subacuático y la transición al nado, tuvieron influencias similares pero inferiores sobre el tiempo de nado total. La tabla 41 recoge los valores significativos sobre el análisis correlacional entre el tiempo en la salida con empuje durante el estilo de mariposa.

Tabla 41: Análisis correlacional entre las mediciones de tiempo (s) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de mariposa.

Factores Correlacionales	Mariposa								
	MOS	SUB			TOT				
	TRAN	DES	MOS	TRAN	DES	MOS	TRAN	SUP	SUB
Correlación de Pearson	0,47*	0,47*	0,95*	0,54*	0,47*	0,90*	0,45*	0,54*	0,94*

* La correlación es significativa en el nivel 0,05.

(Fases: DES= Deslizamiento; MOS= Movimiento ondulatorio subacuático; TRAN= Transición; SUP= Nado superficie; SUB= Nado subacuático y TOT= Nado total).

4.1.5.2. CORRELACIÓN ENTRE FASES EN LAS MEDICIONES DE DISTANCIA.

Los resultados correlacionales para el estilo de crol mostraron que la distancia durante el deslizamiento subacuático, el movimiento ondulatorio subacuático y la transición al nado, se relacionaron negativamente con la distancia del nado en superficie. El nado subacuático, se correlacionó muy positivamente con la distancia cubierta durante el movimiento ondulatorio subacuático, pero de una forma inferior con el deslizamiento subacuático y de manera negativa con el nado en superficie. Finalmente, en el transcurso del nado total, la relación de distancia durante el deslizamiento subacuático fue significativamente inferior, que en el movimiento ondulatorio subacuático y el nado subacuático. La tabla 42 recoge los valores significativos ($p < 0,05$) sobre el análisis correlacional entre la distancia en la salida con empuje durante el estilo de crol.

Tabla 42: Análisis correlacional entre las mediciones de distancia (m) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de crol.

Factores Correlacionales	Crol									
	DES	MOS	TRAN	SUB				TOT		
	SUP	SUP	SUP	DES	MOS	TRAN	SUP	DES	MOS	SUB
Correlación de Pearson	-0,34*	-0,33*	-0,30*	0,36*	0,84*	0,27*	-0,55*	0,26*	0,83*	0,93*

* La correlación es significativa en el nivel 0,05.

(Fases: DES= Deslizamiento; MOS= Movimiento ondulatorio subacuático;
TRAN= Transición; SUP= Nado superficie; SUB= Nado subacuático y TOT= Nado total)

Para el estilo de espalda, se halló una relación negativa entre la transición al nado y el nado en superficie. El espacio recorrido durante el nado subacuático, se relacionó muy positivamente con la distancia del movimiento ondulatorio subacuático, pero de una forma menor con la transición al nado. Por último, la distancia recorrida durante el nado total, también se relacionó significativamente con el movimiento ondulatorio subacuático y el nado subacuático que con la fase de transición al nado. La tabla 43 recoge los valores significativos ($p < 0,05$) sobre el análisis correlacional entre la distancia en la salida con empuje durante el estilo de espalda.

Tabla 43: Análisis correlacional entre las mediciones de distancia (m) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de espalda.

Factores Correlacionales	Espalda					
	TRAN SUP	SUB		TOT		
		MOS	TRAN	MOS	TRAN	SUB
Correlación de Pearson	-0,4*	0,92*	0,44*	0,90*	0,30*	0,94*

* La correlación es significativa en el nivel 0,05.

(Fases: DES= Deslizamiento; MOS= Movimiento ondulatorio subacuático; TRAN= Transición; SUP= Nado superficie; SUB= Nado subacuático y TOT= Nado total)

En el estilo de mariposa, el espacio cubierto por el nadador durante el movimiento ondulatorio subacuático se relacionó con la transición al nado. Mientras que, en el nado subacuático, y al igual que en los anteriores estilos, la distancia del movimiento ondulatorio subacuático se relacionó muy significativamente, seguida de una inferior proporción por el deslizamiento subacuático y la transición al nado. La distancia durante el nado total, nuevamente se relacionó de forma gradual con el movimiento ondulatorio subacuático y el nado subacuático. Sin embargo, la correlación entre la transición al nado, el deslizamiento subacuático y el nado en superficie, fueron linealmente inferiores. La tabla 44 recoge los valores significativos ($p < 0,05$) sobre el análisis correlacional entre la distancia en la salida con empuje durante el estilo de mariposa.

Tabla 44: Análisis correlacional entre las mediciones de distancia (m) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de mariposa.

Factores Correlacionales	Mariposa								
	MOS TRAN	SUB			TOT				
		DES	MOS	TRAN	DES	MOS	TRAN	SUP	SUB
Correlación de Pearson	0,42*	0,49*	0,87*	0,48*	0,44*	0,86*	0,48*	0,32*	0,94*

* La correlación es significativa en el nivel 0,05.

(Fases: DES= Deslizamiento; MOS= Movimiento ondulatorio subacuático; TRAN= Transición; SUP= Nado superficie; SUB= Nado subacuático y TOT= Nado total)

4.1.5.3. CORRELACIÓN ENTRE FASES EN LAS MEDICIONES DE VELOCIDAD.

Las correlaciones en función de la velocidad para el estilo de crol revelaron que el deslizamiento subacuático mostró una mayor influencia con el movimiento ondulatorio subacuático, que con la transición y el nado en superficie. A su vez, la velocidad del movimiento ondulatorio subacuático, guardó una relación positivamente con la transición y el nado en superficie. Por el contrario, fue pequeña la influencia del nado en superficie sobre la transición. Mientras que, en el nado subacuático, fue el movimiento ondulatorio subacuático el que presentó mejores valores correlacionales, seguido por el deslizamiento subacuático, la transición y el nado en superficie. En la velocidad descrita por el nado total, nuevamente el movimiento ondulatorio subacuático, junto con el nado subacuático, fueron los que principalmente se relacionaron con la velocidad total descrita por los nadadores durante dicha fase, seguidos por el nado en superficie, y en igual medida, por el deslizamiento subacuático y la transición al nado. La tabla 45 recoge los valores significativos ($p < 0,05$) sobre el análisis correlacional entre la velocidad en la salida con empuje durante el estilo de crol.

Tabla 45: Análisis correlacional entre las mediciones de velocidad (m/s) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de crol.

Factores Correlacionales	Crol					
	MOS	DES TRAN	SUP	MOS TRAN	SUP	TRAN SUP
Correlación de Pearson	0,59*	0,41*	0,31*	0,52*	0,57*	0,27*

* La correlación es significativa en el nivel 0,05.

Factores Correlacionales	Crol									
	DES	SUB				TOT				
	DES	MOS	TRAN	SUP		DES	MOS	TRAN	SUP	SUB
Correlación de Pearson	0,60*	0,93*	0,61*	0,51*		0,56*	0,90*	0,56*	0,80*	0,91*

* La correlación es significativa en el nivel 0,05.

(Fases: DES= Deslizamiento; MOS= Movimiento ondulatorio subacuático;
TRAN= Transición; SUP= Nado superficie; SUB= Nado subacuático y TOT= Nado total)

Los valores para el estilo de espalda también mostraron que la velocidad durante el deslizamiento subacuático estaba relacionada con las velocidades descritas en el movimiento ondulatorio subacuático y el nado en superficie, principalmente. La

velocidad del movimiento ondulatorio subacuático, se relacionó con la transición al nado y el nado en superficie. Durante el nado subacuático, fue mayor la influencia mostrada por la velocidad del movimiento ondulatorio subacuático, seguida por la transición al nado y el deslizamiento subacuático, pero en menor medida por el nado en superficie. Por último, para la velocidad durante el nado total, se relacionó positivamente con el nado subacuático, el movimiento ondulatorio subacuático y el nado en superficie principalmente. Mientras que fue menor la influencia con la velocidad del deslizamiento subacuático y la transición al nado. La tabla 46 recoge los valores significativos ($p < 0,05$) sobre el análisis correlacional entre la velocidad en la salida con empuje durante el estilo de espalda.

Tabla 46: Análisis correlacional entre las mediciones de velocidad (m/s) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de espalda.

Espalda					
Factores Correlacionales	DES			MOS	
	MOS	TRAN	SUP	TRAN	SUP
Correlación de Pearson	0,42*	0,23*	0,34*	0,31*	0,36*

* La correlación es significativa en el nivel 0,05.

Espalda									
Factores Correlacionales	SUB				TOT				
	DES	MOS	TRAN	SUP	DES	MOS	TRAN	SUP	SUB
Correlación de Pearson	0,58*	0,86*	0,63*	0,36*	0,57*	0,73*	0,41*	0,73*	0,84*

* La correlación es significativa en el nivel 0,05.

(Fases: DES= Deslizamiento; MOS= Movimiento ondulatorio subacuático;
TRAN= Transición; SUP= Nado superficie; SUB= Nado subacuático y TOT= Nado total)

Finalmente, para el estilo de mariposa, la velocidad durante el deslizamiento subacuático estaba relacionada en mayor parte con la velocidad descrita en el movimiento ondulatorio subacuático que en la transición al nado. La velocidad del movimiento ondulatorio subacuático, y al igual que en el estilo de espalda, se relacionó con la velocidad de la transición al nado. La velocidad del nado subacuático tuvo una mayor repercusión por el movimiento ondulatorio subacuático y el deslizamiento subacuático, pero fue menor la influencia de la transición al nado. En el nado total, fue la velocidad durante el nado en superficie, junto con el movimiento ondulatorio subacuático y el nado subacuático, las que mostraron una mayor relación

con la velocidad total descrita por los nadadores. Las velocidades durante el deslizamiento subacuático y la transición al nado, también se relacionaron, pero en menor proporción. La tabla 47 recoge los valores significativos ($p > 0,05$) sobre el análisis correlacional entre la velocidad en la salida con empuje durante el estilo de mariposa.

Tabla 47: Análisis correlacional entre las mediciones de velocidad (m/s) de la salida con empuje en nadadores de nivel nacional durante el estilo de mariposa.

Factores Correlacionales	Mariposa										
	DES		MOS TRAN	SUB			TOT				
	MOS	TRAN		DES	MOS	TRAN	DES	MOS	TRAN	SUP	SUB
Correlación de Pearson	0,73*	0,32*	0,43*	0,71*	0,83*	0,35*	0,49*	0,68*	0,28*	0,82*	0,61*

* La correlación es significativa en el nivel 0,05.

(Fases: DES= Deslizamiento; MOS= Movimiento ondulatorio subacuático;
TRAN= Transición; SUP= Nado superficie; SUB= Nado subacuático y TOT= Nado total)

4.2. INFLUENCIA DEL GÉNERO Y EL ESTILO DE NADO EN CADA FASE DE LA SALIDA CON EMPUJE.

4.2.1. ANÁLISIS MULTIVARIANTE DE LA SALIDA CON EMPUJE.

Los resultados de la tabla 48 muestran que en función de la fase ($\eta^2 = 0,62$) hay grandes diferencias en los parámetros cinemáticos de la salida con empuje. Mientras que en la interacción de esta con el estilo de nado ($\eta^2 = 0,21$) son pequeñas. Sin embargo, apenas hubo diferencias entre los géneros analizados ($\eta^2 = 0,04$).

Tabla 48: Análisis multivariante de los parámetros de salida con empuje en función de la fase, el estilo y el género de los nadadores.

	Lambda de wilks	F	Gl de hipótesis	gl de error	Sig.	η^2
Fase	0,05	385,53	9	1492,03	0,00*	0,62
Fase*Estilo	0,50	26,58	18	1734,31	0,00*	0,21
Fase*Género	0,87	9,52	9	1492,03	0,00*	0,04

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

4.2.2. ANÁLISIS UNIVARIANTE DE LA SALIDA CON EMPUJE.

Los resultados sobre los parámetros cinemáticos indicaron que las mayores diferencias entre las fases de la salida con empuje se encontraron principalmente en el tiempo ($\eta^2 = 0,85$) y en la distancia recorrida ($\eta^2 = 0,84$). Sin embargo, la velocidad, también mostró diferencias de gran magnitud ($\eta^2 = 0,64$). Entre la fase y el estilo, las diferencias indicaron que el tiempo ($\eta^2 = 0,44$) y la distancia ($\eta^2 = 0,45$) dependían moderadamente del estilo utilizado en la salida con empuje. Y finalmente, en la interacción entre la fase y género, las diferencias para el tiempo en cada fase ($\eta^2 = 0,02$) fueron pequeñas al resto de valores hallados, según muestra la tabla 49.

Tabla 49: Análisis univariante de los parámetros de la salida con empuje en función de la fase, el estilo y el género de los nadadores para las mediciones de tiempo (s), distancia (m) y velocidad (m/s).

	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.	η^2
Fase	Tiempo	1028,78	2	593,05	1121,87	0,00*	0,85
	Distancia	2267,71	2	1228,23	1071,09	0,00*	0,84
	Velocidad	79,99	3	31,64	362,05	0,00*	0,64
Fase*Estilo	Tiempo	146,50	3	42,23	79,88	0,00*	0,44
	Distancia	358,79	4	97,16	84,73	0,00*	0,45
Fase*Género	Tiempo	1,05	5	0,21	2,37	0,04*	0,02

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

4.2.3. INFLUENCIA DEL GÉNERO Y EL ESTILO DE NADO EN LA FASE SUBACUÁTICA.

4.2.4. ANÁLISIS MULTIVARIANTE DEL GÉNERO Y EL ESTILO DE NADO EN LA SALIDA CON EMPUJE.

Independientemente de las fases de la salida con empuje, los parámetros cinemáticos en nadadores de nivel nacional se mostraron medianamente influenciados por el estilo ($\eta^2 = 0,26$) y el género ($\eta^2 = 0,42$), según muestra la tabla 50.

Tabla 50: Análisis multivariante de los parámetros de la salida con empuje en función del estilo y el género de los nadadores.

	Lambda de wilks	F	Gl de hipótesis	gl de error	Sig.	η^2
Estilo	0,54	24,04	6	406	0,00*	0,26
Género	0,58	49,07	3	203	0,00*	0,42
Estilo*Género	0,86	5,25	6	406	0,00*	0,07

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

Al comparar la influencia del género, los datos encontrados indicaron valores significativos según los parámetros cinemáticos de la tabla 51. En ellos, las mujeres emplearon más tiempo que los hombres en el desarrollo de la salida con empuje,

mientras que estos recorrieron más distancia y fueron más veloces durante dicha salida.

Tabla 51: Diferencias entre géneros en el tiempo (s), distancia (m) y velocidades (m/s) recorridas durante la fase total de la salida con empuje.

	(I) Género	(J) Género	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Tiempo	Mujeres	Hombres	0,19	0,08	0,02*
Distancia	Hombres	Mujeres	0,33	0,10	0,00*
Velocidad	Hombres	Mujeres	0,22	0,02	0,00*

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

En el análisis en función de los estilos de nado, también se encontraron diferencias significativas según los datos de la tabla 52 durante el inicio de la salida con empuje. El tiempo y la distancia de los estilos de espalda y mariposa fueron mayores durante la fase de nado total respecto al estilo de crol. Sin embargo, el estilo de espalda fue el más lento de los tres estilos analizados, ya que el estilo crol fue significativamente el más rápido de todos.

Tabla 52: Diferencias entre estilos en el tiempo (s), distancia (m) y velocidades (m/s) recorridas durante la fase total de la salida con empuje.

	(I) Estilo	(J) Estilo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Tiempo	Espalda	Crol	1,17	0,10	0,00*
	Espalda	Mariposa	0,79	0,10	0,00*
	Mariposa	Crol	0,38	0,10	0,00*
Distancia	Espalda	Crol	1,18	0,13	0,00*
	Espalda	Mariposa	0,67	0,13	0,00*
	Mariposa	Crol	0,51	0,12	0,00*
Velocidad	Crol	Mariposa	0,22	0,03	0,00*
	Mariposa	Espalda	0,18	0,03	0,00*

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

4.2.5. ANÁLISIS UNIVARIANTE ENTRE EL ESTILO Y EL GÉNERO DURANTE LA SALIDA CON EMPUJE.

Los resultados del análisis univariado de los parámetros de la salida con empuje (Tabla 53), e independientemente de la fase analizada, muestran que entre los estilos hubo una mayor diferencia en cuanto al tiempo ($\eta^2 = 0,42$), mientras que también se hallaron pequeñas diferencias entre ellos en cuanto a la distancia ($\eta^2 = 0,30$), y siendo en menor medida en la velocidad ($\eta^2 = 0,23$). Para el género, las diferencias halladas fueron pequeñas en el tiempo ($\eta^2 = 0,03$) y la distancia ($\eta^2 = 0,05$), aún algo mayores en la velocidad ($\eta^2 = 0,29$). Sin embargo, en la interacción de ambos, solo se hallaron pequeñas diferencias en el tiempo ($\eta^2 = 0,03$).

Tabla 53: Resultados del análisis univariante en el estilo, el género y su interacción en la salida con empuje para las mediciones de tiempo (s), distancia (m) y velocidad (m/s).

	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	g.l	Media cuadrática	F	Sig.	η^2
Estilo	Tiempo	292,55	2	146,27	73	0,00*	0,42
	Distancia	286,77	2	143,39	44	0,00*	0,30
	Velocidad	11,46	2	5,73	31	0,00*	0,23
Género	Tiempo	11,37	1	11,37	6	0,02*	0,03
	Distancia	33,87	1	33,87	11	0,00*	0,05
	Velocidad	15,40	1	15,40	84	0,00*	0,29
Estilo*Género	Tiempo	12,00	2	6,00	3	0,05	0,03

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

4.2.6. INFLUENCIA DEL ESTILO EN EL TIEMPO DE CADA FASE DE LA SALIDA CON EMPUJE.

La influencia de las fases mostró valores significativos en relación con los estilos de nado. La tabla 54 recoge las diferencias entre fase*estilo en función de las mediciones de tiempo durante la salida con empuje.

Tabla 54: Diferencias entre fase*estilo en función de las mediciones de tiempo (s) durante el inicio de la salida con empuje.

	(I) Estilo	(J) Estilo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
F_DES	Crol	Espalda	0,16	0,05	0,00*
	Mariposa	Espalda	0,14	0,05	0,02*
F_MOS	Espalda	Crol	1,94	0,16	0,00*
	Espalda	Mariposa	1,60	0,16	0,00*
F_TRAN	Crol	Mariposa	0,21	0,05	0,00*
	Espalda	Crol	0,41	0,05	0,00*
	Espalda	Mariposa	0,62	0,05	0,00*
F_SUP	Espalda	Crol	0,26	0,08	0,00*
	Mariposa	Crol	0,99	0,08	0,00*
	Mariposa	Espalda	0,73	0,08	0,00*
F_SUB	Espalda	Crol	2,16	0,19	0,00*
	Espalda	Mariposa	2,07	0,19	0,00*
F_TOT	Espalda	Crol	2,43	0,20	0,00*
	Espalda	Mariposa	1,34	0,20	0,00*
	Mariposa	Crol	1,09	0,20	0,00*

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

(Fases: F_DES= Fase deslizamiento; F_MOS= Fase movimiento ondulatorio subacuático; F_TRAN= Fase transición; F_SUP= Fase superficie; F_SUB= Fase subacuática y F_TOT= Fase total)

Las diferencias de tiempo entre fase*estilo durante la salida con empuje, revelaron que en estilo de espalda el tiempo empleado fue significativamente inferior en la fase de deslizamiento subacuático. En la fase de movimiento ondulatorio subacuático, el tiempo del estilo de espalda fue mayor que en los estilos de mariposa, a pesar de ser mayor la diferencia con el estilo de crol. Para la fase de transición del nado, el tiempo del estilo de mariposa fue significativamente mayor, en comparación con los otros dos estilos analizados. Durante la fase de nado en superficie, las mayores diferencias de tiempo se hallaron respecto al estilo de crol, aun siendo pequeña la diferencia entre espalda y crol. En la fase subacuática y la fase total, las mayores diferencias se encontraron principalmente en el estilo de crol que en mariposa, hallando se diferentes entre estos dos últimos estilos solo en la fase total de nado.

4.2.7. INFLUENCIA DEL ESTILO EN LA DISTANCIA RECORRIDA DE CADA FASE DE LA SALIDA CON EMPUJE.

El efecto de los estilos sobre las fases también mostró diferencias estadísticamente significativas. La tabla 55 recoge las diferencias en función de las mediciones de distancia durante la salida con empuje.

Tabla 55: Diferencias entre fase*estilo en función de las mediciones de distancia (m) durante el inicio de la salida con empuje.

	(I) Estilo	(J) Estilo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
F_DES	Crol	Espalda	0,46	0,10	0,00*
	Mariposa	Espalda	0,36	0,10	0,00*
F_MOS	Espalda	Crol	2,59	0,24	0,00*
	Espalda	Mariposa	2,05	0,24	0,00*
F_TRAN	Crol	Mariposa	0,36	0,07	0,00*
	Espalda	Crol	0,42	0,07	0,00*
	Espalda	Mariposa	0,78	0,07	0,00*
F_SUP	Crol	Espalda	0,35	0,09	0,00*
	Mariposa	Crol	1,40	0,09	0,00*
	Mariposa	Espalda	1,75	0,09	0,00*
F_SUB	Espalda	Crol	2,58	0,26	0,00*
	Espalda	Mariposa	2,50	0,26	0,00*
F_TOT	Espalda	Crol	2,28	0,25	0,00*
	Espalda	Mariposa	0,81	0,25	0,00*
	Mariposa	Crol	1,47	0,24	0,00*

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

(Fases: F_DES= Fase deslizamiento; F_MOS= Fase movimiento ondulatorio subacuático; F_TRAN= Fase transición; F_SUP= Fase superficie; F_SUB= Fase subacuática y F_TOT= Fase total)

El análisis para las comparaciones entre fase*estilo durante la salida con empuje, reveló que el estilo de espalda recorrió una distancia inferior durante el deslizamiento subacuático, pero fue superior en las fases del movimiento ondulatorio subacuático y de la transición al nado, seguido en esta última fase por el estilo de crol, relacionándose así con los datos de tiempo descritos en el apartado anterior. Durante la fase de movimiento ondulatorio subacuático, el espacio recorrido por el estilo de espalda fue significativamente mayor que el de los estilos de mariposa y crol. Por otro lado, en la fase de transición del nado, el estilo de mariposa registró menores valores que los estilos de espalda y crol, ya que el nadador estuvo menos tiempo en el

desarrollo de dicha fase. Para la fase de nado en superficie se encontraron diferencias, ya que el estilo de mariposa fue el que mayor distancia cubrió frente al estilo de crol y espalda. Por último, en la fase subacuática y la fase total, las mayores diferencias se encontraron principalmente en el estilo de crol que en mariposa, hallándose diferentes entre estos dos últimos estilos solo en la fase total de nado.

4.2.8. INFLUENCIA DEL ESTILO EN LA VELOCIDAD DE CADA FASE DE LA SALIDA CON EMPUJE.

Por último, la influencia de los estilos sobre las diferentes fases en función de las mediciones de velocidad, también manifestaron diferentes valores significativos. La tabla 56 recoge las diferencias de las mediciones de velocidad durante la salida con empuje.

Tabla 56: Diferencias entre fase*estilo en función de las mediciones de velocidad (m/s) durante el inicio de la salida con empuje.

	(I) Estilo	(J) Estilo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
F_DES	Crol	Espalda	0,18	0,06	0,01*
F_MOS	Crol	Espalda	0,15	0,03	0,00*
	Mariposa	Espalda	0,14	0,03	0,00*
F_TRAN	Crol	Espalda	0,20	0,06	0,00*
F_SUP	Crol	Espalda	0,35	0,06	0,00*
	Mariposa	Espalda	0,31	0,06	0,00*
F_SUB	Crol	Espalda	0,22	0,03	0,00*
	Mariposa	Espalda	0,19	0,03	0,00*
F_TOT	Crol	Espalda	0,24	0,03	0,00*
	Mariposa	Espalda	0,17	0,03	0,00*

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

(Fases: F_DES= Fase deslizamiento; F_MOS= Fase movimiento ondulatorio subacuático; F_TRAN= Fase transición; F_SUP= Fase superficie; F_SUB= Fase subacuática y F_TOT= Fase total)

Las mediciones de velocidad al comparar fase*estilo durante la salida con empuje, indicaron que el estilo de crol fue significativamente más rápido, junto con mariposa, a diferencia del estilo de espalda en todas las fases del estudio.

4.2.9. INFLUENCIA DEL GÉNERO Y EL ESTILO EN EL TIEMPO DE CADA FASE DE LA SALIDA CON EMPUJE.

La influencia del género y el estilo en función de las mediciones de tiempo revelaron valores significativos durante la salida con empuje, según la tabla 57.

Tabla 57: Diferencias entre fase*género*estilo en función de las mediciones de tiempo (s) durante el inicio de la salida con empuje.

Fase	Género	(I) Estilo	(J) Estilo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
F_MOS	Hombre /Mujer	Espalda	Crol	1,87/2	0,24/0,22	0,00*
		Espalda	Mariposa	1,33/1,87	0,24/0,22	0,00*
F_TRAN	Hombre /Mujer	Crol	Mariposa	0,23/0,19	0,07/0,07	0,00*/0,01*
		Espalda	Crol	0,33/0,49	0,07/0,07	0,00*
		Espalda	Mariposa	0,56/0,69	0,07/0,06	0,00*
F_SUP	Hombre /Mujer	Espalda	Crol	-/0,27	-/0,10	-/0,03*
		Mariposa	Crol	1,13/0,86	0,11/0,10	0,00*
		Mariposa	Espalda	0,88/0,59	0,11/0,10	0,00*
F_SUB	Hombre /Mujer	Espalda	Crol	1,95/2,38	0,29/0,26	0,00*
		Espalda	Mariposa	1,67/2,47	0,29/0,25	0,00*
F_TOT	Hombre /Mujer	Espalda	Crol	2,21/2,64	0,31/0,27	0,00*
		Espalda	Mariposa	0,79/1,88	0,31/0,27	0,03*/0,00*
		Mariposa	Crol	1,41/0,76	0,30/0,27	0,00*/0,02*

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

(Fases: F_DES= Fase deslizamiento; F_MOS= Fase movimiento ondulatorio subacuático; F_TRAN= Fase transición; F_SUP= Fase superficie; F_SUB= Fase subacuática y F_TOT= Fase total)

En fases como el movimiento ondulatorio subacuático, transición al nado, nado subacuático y nado total, las mujeres registraron una mayor diferencia de tiempo en el estilo de espalda frente a los estilos de crol y mariposa. En cambio, los hombres, invirtieron más tiempo en el estilo de crol durante el movimiento ondulatorio subacuático, y en el estilo de mariposa, durante el nado en superficie y nado total.

4.2.10. INFLUENCIA DEL GÉNERO Y EL ESTILO EN LA DISTANCIA DE CADA FASE DE LA SALIDA CON EMPUJE.

En las mediciones en función de la distancia entre el género y el estilo de nado, también se hallaron diferencias significativas, según muestra la tabla 58.

Tabla 58: Diferencias entre fase*género*estilo en función de las mediciones de distancia (m) durante el inicio de la salida con empuje.

Fase	Género	(I) Estilo	(J) Estilo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
F_DES	Hombre /Mujer	Crol	Espalda	0,50/0,42	0,15/0,13	0,00*/0,01*
		Mariposa	Espalda	0,45/-	0,15/-	0,01*/-
F_MOS	Hombre /Mujer	Espalda	Crol	2,71/2,48	0,35/0,31	0,00*
		Espalda	Mariposa	1,83/2,27	0,35/0,31	0,00*
		Mariposa	Crol	0,88/-	0,34/-	0,03*/-
F_TRAN	Hombre /Mujer	Crol	Mariposa	0,46/0,26	0,10/0,09	0,00*/0,02*
		Espalda	Crol	0,32/0,53	0,10/0,09	0,01*/0,00*
		Espalda	Mariposa	0,78/0,83	0,10/0,09	0,00*
F_SUP	Hombre /Mujer	Crol	Espalda	-/0,44	-/0,13	-/0,00*
		Mariposa	Crol	1,57/1,23	0,14/0,13	0,00*
		Mariposa	Espalda	1,83/1,67	0,14/0,12	0,00*
F_SUB	Hombre /Mujer	Espalda	Crol	2,52/2,64	0,39/0,35	0,00*
		Espalda	Mariposa	2,21/2,78	0,39/0,34	0,00*
F_TOT	Hombre /Mujer	Espalda	Crol	2,28/2,28	0,37/0,33	0,00*
		Espalda	Mariposa	-/1,23	-/0,33	-/0,00*
		Mariposa	Crol	1,90/1,05	0,36/0,33	0,00*/0,01*

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

(Fases: F_DES= Fase deslizamiento; F_MOS= Fase movimiento ondulatorio subacuático; F_TRAN= Fase transición; F_SUP= Fase superficie; F_SUB= Fase subacuática y F_TOT= Fase total)

Durante la fase de deslizamiento, los hombres, recorrieron más distancia entre los estilos de crol y mariposa frente al estilo de espalda. En el movimiento ondulatorio subacuático, fue mayor la diferencia entre el estilo de espalda y crol, que, entre mariposa y crol en los hombres, siendo por el contrario en las mujeres mayor la diferencia entre espalda y mariposa. En la fase de transición, las mujeres presentaron una mayor diferencia en el estilo de espalda frente a los estilos de crol y mariposa, principalmente. Durante el nado en superficie, la distancia en el estilo de mariposa entre los hombres fue notablemente mayor respecto a las mujeres. En la fase

subacuática de nado, las mujeres recorriendo mayor distancia en el estilo de espalda frente a crol y mariposa. Por último, durante el nado total, la diferencia entre los estilos de espalda y crol fueron las mismas en ambos géneros, pero mayores en mariposa respecto a crol en los hombres.

4.2.11. INFLUENCIA DEL GÉNERO Y EL ESTILO EN LA VELOCIDAD DE CADA FASE DE LA SALIDA CON EMPUJE.

El efecto entre el género y el estilo nado sobre las fases también mostró valores significativos. La tabla 59 recoge las diferencias en función de las mediciones de velocidad durante la salida con empuje.

Tabla 59: Diferencias entre fase*género*estilo en función de las mediciones de velocidad (m/s) durante el inicio de la salida con empuje.

Fase	Género	(I) Estilo	(J) Estilo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
F_DES	Hombre /Mujer	Mariposa	Espalda	0,24/-	0,09/-	0,02*/-
F_MOS	Hombre /Mujer	Crol	Espalda	0,17/0,13	0,04	0,00*
		Mariposa	Espalda	0,15/0,13	0,04	0,00*
F_TRAN	Hombre /Mujer	Crol	Mariposa	0,25/0,26	0,09/0,09	0,02*
F_SUP	Hombre /Mujer	Crol	Espalda	0,36/0,34	0,08/0,07	0,00*
		Mariposa	Espalda	0,24/0,38	0,08/0,07	0,01*/0,00*
F_SUB	Hombre /Mujer	Crol	Espalda	0,24/0,21	0,04	0,00*
		Mariposa	Espalda	0,18/0,21	0,04	0,00*
F_TOT	Hombre /Mujer	Crol	Espalda	0,25/0,22	0,04	0,00*
		Crol	Mariposa	0,11/-	0,04/-	0,02*/-
		Mariposa	Espalda	0,14/0,21	0,04	0,00*

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

(F_DES= Fase deslizamiento; F_MOS= Fase movimiento ondulatorio subacuático;
F_TRAN= Fase transición; F_SUP= Fase superficie; F_SUB= Fase subacuática y F_TOT= Fase total)

Los datos en función de la velocidad para el estilo de mariposa frente al estilo de espalda durante el nado en superficie, nado subacuático y nado total, fueron mayores en las mujeres. Los hombres, en cambio, presentaron mayor velocidad en mariposa frente al estilo de espalda en las fases de deslizamiento y movimiento ondulatorio subacuático. También, fue superior la diferencia de velocidad del crol frente a espalda

Resultados.

en las fases del movimiento ondulatorio subacuático, nado en superficie, nado subacuático y nado total. Sin embargo, en la fase de transición apenas hubo diferencias entre ambos géneros para crol y mariposa.

4.3. ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO DURANTE LA SALIDA CON EMPUJE.

Dentro del movimiento ondulatorio subacuático, los nadadores de nivel nacional analizados en la presente investigación realizaron un mayor número de batidos (Tabla 60) en el estilo espalda, seguido del estilo mariposa y crol. Las mujeres presentaron mayores índices durante el batido de espalda y crol. Mientras que los hombres realizaron un mayor número de batidos en el estilo de mariposa.

Tabla 60: Número de batidos del movimiento ondulatorio subacuático durante la salida con empuje en nadadores de nivel nacional.

	Hombres	Mujeres
Crol	4,53±1,76	5,08±2,1
Espalda	8,89±2,59	9,49±2,95
Mariposa	5,52±1,48	5,27±1,62

Los parámetros cinemáticos del batido durante el movimiento ondulatorio subacuático, en función del género y el estilo de nado en la salida con empuje en nadadores competitivos de nivel nacional, se muestra en la tabla 61.

Tabla 61: Frecuencia (Hz), longitud (m) y velocidad (m/s) promedio en los ciclos del batido subacuático en nadadores de nivel nacional durante la salida con empuje.

	Masculino			Femenino		
	Crol	Espalda	Mariposa	Crol	Espalda	Mariposa
Frecuencia	2,18±0,05	2,21±0,05	2,18±0,05	2,03±0,05	2,07±0,05	2,02±0,05
Longitud	0,84±0,02	0,75±0,02	0,82±0,02	0,77±0,02	0,69±0,01	0,78±0,02
Velocidad	1,81±0,03	1,66±0,03	1,77±0,03	1,55±0,03	1,41±0,03	1,56±0,03

Para ambos géneros, el estilo de espalda fue el que mayor frecuencia empleó de todos, principalmente en los hombres, siendo idéntica la frecuencia de crol y mariposa, pero próxima entre las mujeres. Para la longitud y velocidad del batido, fueron mayores los datos revelados por los hombres, principalmente en crol y mariposa, el cual difería en las mujeres, siendo ligeramente mayor en el estilo

mariposa respecto crol. En cambio, ambos géneros coinciden en que el estilo de espalda fue el que mostró menor longitud y velocidad de batido.

Por último, se muestran en la tabla 62 y 63, los parámetros cinemáticos del batido durante el movimiento ondulatorio subacuático, en función del género y los estilos de nado analizados durante la salida con empuje en nadadores competitivos de nivel nacional.

Tabla 62: Frecuencia (Hz), longitud (m) y velocidad (m/s) promedio en los ciclos del batido subacuático por género en nadadores de nivel nacional durante la salida con empuje.

	Hombre	Mujeres
Frecuencia	2,19±0,03	2,04±0,03
Longitud	0,80±0,01	0,74±0,01
Velocidad	1,74±0,02	1,50±0,02

Los hombres presentaron mayores valores de frecuencia y velocidad que las mujeres, siendo próxima la diferencia durante la longitud tras el análisis del batido en la fase del movimiento ondulatorio subacuático.

Tabla 63: Frecuencia (Hz), longitud (m) y velocidad (m/s) promedio en los ciclos del batido subacuático por estilos en nadadores de nivel nacional durante la salida con empuje.

	Crol	Espalda	Mariposa
Frecuencia	2,11±0,04	2,14±0,04	2,10±0,04
Longitud	0,80±0,01	0,72±0,01	0,80±0,01
Velocidad	1,68±0,02	1,53±0,02	1,66±0,02

El estilo de espalda fue el que reflejó una mayor frecuencia de batido, siendo inferiores los resultados de crol y mariposa, aunque próximos entre sí. Por el contrario, estos estilos, presentaron mayores índices de longitud y velocidad del batido que espalda.

4.3.1. ANÁLISIS MULTIVARIANTE DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO EN LA SALIDA CON EMPUJE.

El análisis multivariante de los parámetros cinemáticos del batido subacuático en nadadores de nivel nacional reveló diferencias significativas con una influencia pequeña del estilo ($\eta^2 = 0,12$) pero una influencia mayor del género de los nadadores ($\eta^2 = 0,39$) según la tabla 64.

Tabla 64: Análisis multivariante entre el estilo y el género de los parámetros cíclicos del movimiento ondulatorio subacuático en nadadores de nivel nacional durante la salida con empuje.

	Lambda de wilks	F	Gl de hipótesis	gl de error	Sig.	η^2
Estilo	0,77	9,53	6	414	0,00*	0,12
Género	0,61	43,87	3	207	0,00*	0,39

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

4.3.2. ANÁLISIS UNIVARIANTE DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO EN DE LA SALIDA CON EMPUJE.

La influencia del estilo fue pequeña tanto para la longitud ($\eta^2 = 0,14$) como la velocidad ($\eta^2 = 0,15$). Mientras que, para el género, fue moderada la influencia de la velocidad ($\eta^2 = 0,37$) pero pequeña la de frecuencia ($\eta^2 = 0,06$) y la longitud ($\eta^2 = 0,09$), según las diferencias significativas halladas de la tabla 65.

Tabla 65: Resultados del análisis univariante entre el estilo y el género en la fase del movimiento ondulatorio subacuático durante la salida con empuje para las mediciones de frecuencia (Hz), longitud (m) y velocidad (m/s).

	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	g.l	Media cuadrática	F	Sig.	η^2
Estilo	Longitud	0,29	2	0,14	16,83	0,00*	0,14
	Velocidad	0,93	2	0,46	18,63	0,00*	0,15
Género	Frecuencia	1,22	1	1,22	13,88	0,00*	0,06
	Longitud	0,19	1	0,19	21,8	0,00*	0,09
	Velocidad	3,1	1	3,1	124,66	0,00*	0,37

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

4.3.3. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL GÉNERO Y DEL ESTILO DE NADO DURANTE EL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO EN LA SALIDA CON EMPUJE.

Los parámetros sobre el batido de delfín en la fase del movimiento ondulatorio subacuático mostraron valores significativos según la tabla 66. En ella, ambos géneros mantuvieron la misma longitud, a pesar ser parecida la velocidad del batido entre los estilos de crol y espalda. Sin embargo, las mujeres presentaron una mayor diferencia la longitud y la velocidad del batido entre mariposa y espalda a diferencia de los hombres.

Tabla 66: Diferencias entre el género y el estilo en función de las mediciones de longitud (m) y velocidad (m/s) del batido subacuático.

	Género	(I) Estilo	(J) Estilo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Longitud	Hombre/	Crol	Espalda	0,08/0,08	0,02	0,00*
	Mujer	Mariposa	Espalda	0,06/0,09	0,02	0,02*/0,00*
Velocidad	Hombre/	Crol	Espalda	0,15/0,14	0,04	0,00*
	Mujer	Mariposa	Espalda	0,11/0,15	0,04	0,01*/0,00*

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

Por otro lado, también mostraron diferencias significativas según la tabla 67, los estilos de crol, espalda y mariposa, siendo mayor la frecuencia y velocidad del batido en los hombres frente a las mujeres. Para los estilos de crol y espalda, nuevamente los hombres mostraron una mayor longitud que las mujeres.

Tabla 67: Diferencias entre el estilo y el género en función de las mediciones de frecuencia (Hz), longitud (m) y velocidad (m/s) del batido subacuático.

	Estilo	(I) Género	(J) Género	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Frecuencia	Crol	Hombres	Mujeres	0,15	0,07	0,03*
	Espalda	Hombres	Mujeres	0,14	0,07	0,05
Longitud	Mariposa	Hombres	Mujeres	0,16	0,07	0,02*
	Crol	Hombres	Mujeres	0,07	0,02	0,00*
	Espalda	Hombres	Mujeres	0,07	0,02	0,00*
Velocidad	Crol	Hombres	Mujeres	0,26	0,04	0,00*
	Espalda	Hombres	Mujeres	0,25	0,04	0,00*
	Mariposa	Hombres	Mujeres	0,21	0,04	0,00*

* Diferencias significativas con $p < 0,05$.

5. DISCUSIÓN.

5.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS DIFERENTES FASES DE LA SALIDA CON EMPUJE.

En el presente estudio se analizaron los parámetros cinemáticos de la salida con empuje en nadadores competitivos de nivel nacional. Los estudios encontrados en la literatura sobre la salida y el viraje en natación únicamente habían analizado de forma aislada alguna de sus fases, diferenciando escasamente entre géneros y los estilos de nado, y con muestras muy pequeñas de nadadores.

La última de las variables analizadas en la caracterización entre fases fue la velocidad. El orden decreciente de las fases según los resultados hallados fue: deslizamiento subacuático ($2,22 \pm 0,02$ m/s), movimiento ondulatorio subacuático ($1,61 \pm 0,01$ m/s), transición al nado ($1,48 \pm 0,03$ m/s) y nado en superficie ($1,46 \pm 0,02$ m/s). Este descenso de la velocidad entre fases fue debido a la proximidad con la superficie, ya que a medida que el nadador se aproximaba se incrementaba la resistencia (De Jesús et al., 2012; Sanders y Byatt-Smith, 2001; Loebbecke et al., 2009a), haciéndole perder velocidad subacuática tras el impulso hasta el nado completo vistos los datos del estudio. Por consiguiente, se apoya la idea sobre cómo nadar debajo de la superficie del agua disminuye la resistencia al avance (Counsilman, 1968; Hertel, 1966; Santos et al., 2011; Toussaint y Truijens, 2005; Vennell, Pease y Wilson, 2006). Y lo tanto, sería necesario enseñar en las sesiones de entrenamiento a cómo regular estas fases hasta la salida a la superficie para así iniciar el nado completo (Elipot et al., 2009, 2010a, b; Maglischo, 2003; Vantorre et al., 2010c).

5.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LA FASE DEL DESLIZAMIENTO SUBACUÁTICO EN LA SALIDA CON EMPUJE.

5.1.1.1. TIEMPO DEL DESLIZAMIENTO SUBACUÁTICO.

La fase del deslizamiento subacuático, junto con la transición al nado es la que menos tiempo y distancia mostró porque fue la fase con mayor velocidad. El tiempo del deslizamiento subacuático estuvo entre $0,50 \pm 0,04$ s (espalda) y $0,66 \pm 0,04$ s (crol), y fue mayor al de otros estudios encontrados en la literatura (Hay, 1986; Puel et al., 2010, 2012; Rejman y Borowska, 2008; Vantorre et al., 2010a, b). Esto podría ser

debido al nivel de rendimiento de los nadadores analizados (Élite vs Nacional) y a las diferentes referencias anatómicas estudiadas (separación o entrada de los pies hasta la cabeza o extensión de la articulación de la rodilla), así como su análisis tras la fase de la salida o el viraje. Dicho margen, fue inferior al de Sanders (2003), ya que el inicio del batido debía comenzar aproximadamente 1 s después de entrar en el agua tras la salida. En cuanto a la diferenciación por estilos, espalda fue el que menos tiempo mostró ($0,50 \pm 0,04$ s) respecto a los estilos de crol ($0,66 \pm 0,04$ s) y mariposa ($0,63 \pm 0,04$ s). Cabe destacar que el tiempo de deslizamiento con bañadores de alta velocidad ($0,64 \pm 0,21$ s) en los estudios de Wada et al. (2010) fueron superiores a los de nuestro estudio, y esto conlleva a pensar que el uso de dichos bañadores posiblemente ayudó al posicionamiento de las articulaciones de la rodilla y la cadera a 180° durante el deslizamiento, haciendo que los nadadores tuvieran una mejor alineación hidrodinámica del cuerpo. Sin embargo, también hay que señalar que hoy en día la FINA sigue prohibiendo el uso de los trajes de poliuretano en las competiciones oficiales, por lo que en nuestro estudio ninguno de los nadadores analizados usó dicho bañador.

5.1.1.2. DISTANCIA DEL DESLIZAMIENTO SUBACUÁTICO.

En cuanto a la distancia recorrida en el deslizamiento, los valores estuvieron entre $1,01 \pm 0,07$ m (espalda) y $1,47 \pm 0,04$ (crol) m. La distancia entre géneros, mostró un amplio abanico durante el deslizamiento (0,97 y 1,55 m). Mientras que, entre los estilos, espalda fue el que menor espacio recorrió ($1,01 \pm 0,07$ m) seguido de mariposa ($1,37 \pm 0,07$ m) y crol ($1,47 \pm 0,07$ m). Estos valores, fueron superiores a los encontrados tras el análisis del viraje con monoaleta en pronación ($0,68 \pm 0,21$ m) por Rejman y Borowska (2008), debido a un reducido impulso o un corto deslizamiento tras dicho viraje. Por otro lado, nuestros datos fueron inferiores a los Puel et al. (2010, 2012) en pruebas de 200 m a crol tras el viraje ($2,43 \pm 0,16$ m y $2,71 \pm 0,36$ m), debido al nivel de rendimiento de los nadadores estudiados frente a los nuestros (Élite vs Nacional). En otros estudios que analizan la fase de la salida (Houel et al., 2010, 2013), la distancia de deslizamiento para iniciar del batido fue superior a la nuestra, teniendo en cuenta las referencias tomadas (5,5 - 6 y 5,63 - 6,01 m para el centro de masa y 6,02 - 6,51 m para la cabeza), coincidiendo así con los estudios de

Lyttle et al. (1998, 2000) durante las pruebas de remolque. También, la distancia hallada en los estudios de Elipot et al. (2009) durante la salida de crol en nadadores nacionales, fue superior aún algo más próxima a nuestros valores (1,72 y 2,22 m). Por lo tanto, pudo deberse a que la fase aérea de salida ofrecía una mayor distancia de deslizamiento, que la emitida tras el deslizamiento de la pared.

Solo los valores mostrados por Lyttle y Blanksby (2000) en su estudio del deslizamiento y el batido (≈ 2 m a 3,1 m/s) fueron próximos a los nuestros, ya que una técnica de deslizamiento óptima lleva consigo un incremento de la distancia tras el empuje, lo cual disminuye la velocidad de desaceleración causada por la fuerza de arrastre. Aun así, hay autores que también señalan que una inadecuada profundidad o mala trayectoria (Vennell, Pease y Wilson, 2006; Novais et al., 2012) tras la entrada en el agua después de la salida o un mal impulso después de la trayectoria del viraje, podrían incrementar la resistencia y ralentizando al nadador (Blanksby, Gathercole y Marshall, 1996; Lyttle et al., 1998; Lyttle y Benjanuvatra, 2005; Sanders y Byatt-Smith, 2001), acortando así la distancia del deslizamiento.

5.1.1.3. VELOCIDAD DEL DESLIZAMIENTO SUBACUÁTICO.

En cuanto a la velocidad media de la fase de deslizamiento, los valores obtenidos estuvieron entre $2,12 \pm 0,04$ (espalda) y $2,30 \pm 0,04$ (crol) m/s. Obviamente, fue la fase que mayor velocidad registró debido a que los nadadores conservaron la velocidad adquirida tras el impulso desde la pared. Además, la posición hidrodinámica adoptada por los nadadores (Elipot et al., 2009; Havriluk, 2007; Vantorre, Chollet y Seifert, 2014), redujo la resistencia hidrodinámica según las investigaciones encontradas (Elipot et al., 2009; Mason y Cossor, 2001; Vilas-Boas et al., 2000). Asimismo, y dependiendo del objeto de estudio (salida, viraje y empuje desde la pared), la literatura ha mostrado un amplio margen de velocidades (entre 1 y 2,74 m/s) siendo solo las investigaciones de Naemi y Sanders (2008), Takeda et al. (2009) y Wada et al. (2010) iguales a nuestro estudio, ya que analizaron la salida con empuje desde la pared con nadadores de igual categoría (Nacionales y Universitarios). Por otro lado, también se han encontrado estudios que han analizado la fase del deslizamiento mediante pruebas de remolque (Lyttle y Blanksby, 2000; Lyttle et al.,

1998, 1999, 2000; Vennell et al., 2006), dando también un amplio margen (entre 0,90 y 3,1 m/s).

Comparando dicha fase entre los diferentes estilos, fue crol el que presentó una mayor velocidad ($2,30 \pm 0,04$ m/s), seguido del estilo de mariposa ($2,25 \pm 0,04$ m/s) y espalda ($2,12 \pm 0,04$ m/s). En comparación con otros estudios (De Jesús et al., 2011b), los datos encontrados en el estilo espalda y tras diferenciar entre dos tipos de salidas, estuvieron próximos a la presente investigación ya que se impulsaron desde la pared. Otros hallazgos sobre el análisis de la velocidad del deslizamiento en posición ventral en pruebas de remolque (Lyttle et al., 1998, 2000) y salida con agarre (Elipot et al., 2009), se ha establecido entre 1,9 - 2,2 o 3,1 m/s (Lyttle y Blanksby, 2000; Lyttle et al., 1999), incluso, se ha afirmado que la velocidad podría decrecer (Vantorre, Chollet y Seifert, 2014) o ser inferior (Vantorre et al., 2010b), según las comparaciones realizadas por Wada et al. (2010). Pero solo las velocidades halladas durante los estudios del viraje (Puel et al., 2012) fueron más próximas al nuestro, e incluso, algunas fueron superiores a los estilos de crol y mariposa (Puel et al., 2011; Takeda et al., 2009) tras analizar diferentes nadadores (Élite y Nacional). Por lo tanto, la alta velocidad que lleva consigo el nadador tras el impulso (Sweetenham y Atkinson, 2003; Collard, 2007), se pudo ver afectada por la orientación del estilo, causando una mala posición hidrodinámica que lo frenó y le hizo anticipar al batido.

5.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LA FASE DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO EN LA SALIDA CON EMPUJE.

5.1.2.1. TIEMPO DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO.

Al contrario que en el deslizamiento, los resultados hallados durante el movimiento ondulatorio subacuático mostraron que el estilo de espalda fue el que mayor tiempo empleó en dicha fase ($4,32 \pm 0,12$ s), seguido de mariposa ($2,72 \pm 0,11$ s) y crol ($2,38 \pm 0,11$ s). En otro estudio que analizaron dos tipos de salida a crol, los tiempos hallados por Vantorre et al. (2010a) fueron sumamente inferiores (1,93 y 1,98 s), a pesar de la influencia de la fase aérea y tras tomar como referencia la cabeza, debido a que analizaron la fase subacuática con el batido alterno de pies y no con batido de

delfín. Por consiguiente, se acentúa la ventaja del movimiento ondulatorio subacuático, ya que en el alto rendimiento es la fase más influyente (Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002; Loebbecke et al., 2009a; Roig, 2010; Santos et al., 2011), mostrando una ventaja significativa de $\approx 0,5$ s durante los 15 m (Costill, Maglischo y Richardson, 1992), teniendo en cuenta que la mayoría de las investigaciones solo se han centrado en las características del batido subacuático (e.g.: Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002; Gavilán et al., 2002, 2006; De Jesús et al., 2012; Loebbecke et al., 2009a; Vantorre et al., 2010a; Willems et al., 2014) y muy poco en dicha fase (e.g.: Elipot et al., 2010a; Houel et al., 2010, 2013; Shimojo et al., 2014), de ahí que sea un movimiento poco investigado (Pacholak et al., 2014).

5.1.2.2. DISTANCIA DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO.

En relación con el tiempo, nuevamente el estilo de espalda fue el que presentó mayor distancia ($6,47 \pm 0,17$ m), junto con el estilo de mariposa ($4,42 \pm 0,16$ m) y crol ($3,88 \pm 0,11$ m). Las distancias halladas en la literatura han variado dependiendo del objeto de la investigación (Duboy, Junqua y Lacouture 1994; Elipot et al., 2010a; Pereira, Ruschel y Araújo, 2006; Winter, 1990), incluso en el análisis mediante distancias fijas tras la salida y el batido de delfín (Houel et al., 2010, 2013), mostrando claras diferencias entre los datos del estudio y los autores. Pero las distancias fijas solo evalúan las actuaciones de los nadadores tras la salida y el viraje en 7,5 o 15 m desde la pared (Arellano et al., 1994; Shimadzu, Shibata y Ohgi, 2008), no relacionándose con los movimientos del nadador dentro del agua, ni tampoco ha habido ningún consenso claro sobre las mejores medidas (Galbraith et al., 2008; Tourny-Chollet et al., 2002; Welcher, Hinrichs y George, 2008), pudiendo exagerar los segmentos de la prueba en la salida y el viraje.

5.1.2.2. VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO.

Después de todo, para ganar velocidad durante la fase del movimiento ondulatorio subacuático, siendo crol el estilo más rápido ($1,67 \pm 0,02$ m/s) seguido de mariposa ($1,65 \pm 0,02$ m/s) y espalda ($1,52 \pm 0,02$ m/s), tendría que haber una buena transición desde la fase del deslizamiento para así mantener una alta velocidad adquirida tras el

impulso (Hubert et al., 2006). Según Lyttle y Blanksby (2000) y como se comentó anteriormente ($2,22 \pm 0,02$ m/s), tendría que ser superior a 1,9 m/s para que se redujera entre un 15% - 18% la resistencia fricción. Los datos de Houel et al. (2010, 2013) fueron superiores a las velocidades del estudio, debido al análisis del movimiento ondulatorio subacuático con diferentes distancias fijas y tomando como referencia el centro de masa y la cadera en nadadores de nivel nacional. Por otro lado, autores como Elipot et al. (2010a) que tras estudiar la salida con agarre y el inicio del batido hasta los 3 m, también revelaron diferentes velocidades cada 0,5 m (de 3,11 a 1,92 m/s), en la cual el estudio se encontró entre 1 y 1,5 m.

Los datos de Loebbecke et al. (2009a) sobre el análisis en diferentes posiciones, recogen la velocidad promedio de los estilos analizados dentro de su rango (1,2 y 1,85 m/s), junto con los de Lyttle et al. (2000) pero con un promedio de $1,45 \pm 0,23$ m/s durante el batido, el cual estuvo cerca de las velocidades de los estilos de crol y mariposa del estudio, a pesar de no hacer distinciones entre las posiciones una vez fueron comparadas con el movimiento de los delfines. Pero la mayoría de los estudios encontrados no nombran ni hacen distinción de la fase de transición del buceo al nado, posiblemente debido a la corta duración de esta fase según las distancias halladas en el estudio. Autores como Takeda et al. (2009), unieron dichas fases indicando una velocidad de $1,91 \pm 0,10$ m/s tras empujarse desde la pared y durante el análisis de la salida a estilo crol, pero tomando como referencia el trocánter mayor, la cual pudo ser superior a los datos presentado por el estudio debido a esto.

Los datos revelados por la investigación también guardan relación con la clasificación que dio Collard (2007), tras analizar los mejores tiempos registrados por los competidores internacionales. Dicho autor, estableció que los cinco movimientos de nado se podrían clasificar en orden decreciente de velocidad como: estilo ondulatorio subacuático > crol > mariposa > espalda > braza. Ya que, dependiendo de la distancia, los ciclos de nado y la necesidad de salir a la superficie y respirar, lo podrían hacer variar (Arellano, 1999; Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002, 2003; Collard, 2007; Zamparo et al., 2005). En nuestro caso, y dentro del movimiento ondulatorio subacuático, la clasificación para los estilos sería: crol > mariposa > espalda. Por tanto, no todos los estilos de nado, pudieron conseguir la máxima y misma velocidad,

ni pudieron conservarla durante el periodo de tiempo que duró la fase del movimiento ondulatorio subacuático.

5.1.3. CARACTERIZACIÓN DE LA FASE DE LA TRANSICIÓN AL NADO EN LA SALIDA CON EMPUJE.

La fase de transición al nado fue la fase que menos tiempo ($0,54 \pm 0,02$ s), distancia ($0,77 \pm 0,04$ m) y velocidad ($1,46 \pm 0,04$ m/s) registró del estudio, debido principalmente a la brevedad y situación entre el final del buceo y el nado en superficie. Pero ha sido una fase muy poco estudiada en la literatura, según afirmaron García y Veiga (2015), ya que para ellos podría estar determinada por las habilidades del nadador y, en algunos casos, por un “modelo técnico ideal”.

Entre los estilos analizados, mariposa fue el estilo que menos tiempo y distancia recorrido de todos ($0,26 \pm 0,03$ s y $0,39 \pm 0,05$ m), seguido del estilo de crol ($0,47 \pm 0,03$ s y $0,74 \pm 0,05$ m) y espalda ($0,88 \pm 0,04$ s y $1,17 \pm 0,05$ m), debido posiblemente a una diferencia en el modo de ejecutar durante dicha fase, de cara a la salida a la superficie. Pero la falta de datos y estudios hace imposible contrastar nuestros datos, por lo que se requieren más estudios que traten esta fase.

De cara a la velocidad, los datos encontrados en el estudio han desvelado que el estilo de espalda fue el más lento ($1,37 \pm 0,04$ m/s) seguido de mariposa ($1,52 \pm 0,04$ m/s) y crol ($1,57 \pm 0,04$ m/s). Sin embargo, en la literatura, los datos hallados por García y Veiga (2015) sobre la transición hasta un ciclo de nado podrían aproximarse en parte a los datos de la investigación, ya que coincidieron con el orden decreciente de la velocidad entre los estilos (Crol > Mariposa > Espalda) de la presente investigación.

5.1.4. CARACTERIZACIÓN DEL TOTAL DE LA SALIDA CON EMPUJE.

Tras la clasificación dieron Grimston y Hay (1986) sobre la prueba de nado, junto con diversos estudios que han analizado los parámetros de la competición (Cohen, Cleary y Mason, 2012; Trinidad y Lorenzo, 2012; Veiga et al., 2014a, b; Veiga y Roig, 2016a, b). La fase total está compuesta por la fase subacuática y por la fase del nado en

superficie hasta los 15 m. La fase subacuática permite disminuir la pérdida de velocidad (Connaboy et al., 2010) y la resistencia (Lyttle et al., 1998; Vennell, Pease y Wilson, 2006) en comparación con el nado en superficie (Marinho et al., 2009), según los datos de Tor, Pease y Ball (2014a) entre hombres (61% vs 23%) y mujeres (51,9% vs 33,1%) de élite tras la salida. Además, ocupó para Burkett, Mellifont y Mason (2010) un tiempo del 54% frente a 21% del nado en superficie y del 56% contra 28% según Tor, Pease y Ball (2014a). Estos valores, fueron inferiores a los del estudio en ambos géneros (66,1% y 64,9% vs 34,1% y 35,1%), aunque solo superados (84%) por los estudios tras la fase de la salida del poyete de Slawson et al. (2013).

5.1.4.1. TIEMPO TOTAL DE LA SALIDA.

El tiempo subacuático tras la salida con empuje ($4,26 \pm 0,08$ s) fue mayor que el tiempo de la salida ($3,39 \pm 0,77$ s) en el estudio de Burkett, Mellifont y Mason (2010), tras comparar estos a nadadores de nivel olímpico con paraolímpicos. El tiempo subacuático en las investigaciones de Cala, Veiga y Navarro (2007) tras la salida desde el poyete (4,42 s) fue inferior al del estudio, debido principalmente al efecto de la fase aérea de la salida y a la referencia analizada en la entrada en el agua. Sin embargo, nuestros datos fueron superiores a su tiempo del viraje (3,19 s), a pesar de que en dicho estudio se beneficiaran de la fase de aproximación del viraje y se impulsasen igual que el nuestro. Por lo tanto, se podría afirmar que la cinemática subacuática fue significativamente más sencilla (Loebbecke et al., 2009b) hasta que el nadador emergió, que cuando sumó la distancia en superficie.

5.1.4.2. DISTANCIA TOTAL DE LA SALIDA.

En cuanto a la distancia subacuática de los nadadores de nivel nacional del estudio ($6,97 \pm 0,11$ m), estos estuvieron dentro de los márgenes expuestos por Veiga et al. (2014a), a pesar de que para dichos autores los nadadores de nivel nacional y regional de su estudio cubrieron entre 6 y 9 m, correspondiente a 8 - 12 batidos de delfín (Zamparo et al., 2012). Para ellos, esto representó una importante evolución técnica para la prueba de nado, ya que generaron una menor desaceleración y mejora

de la velocidad media (Clothier et al., 2000b). Sin embargo, la distancia del estudio fue superior a otras investigaciones (Cala, Veiga y Navarro, 2007; Ruschel et al., 2007) que tomaron como referencia la entrada de la cabeza hasta la primera brazada (Ruschel et al., 2007) y no desde el despegue de los pies hasta la salida de la cabeza como en el presente estudio. Por el contrario, y en esta misma línea nuestros datos fueron inferiores a los estudios de Burkett, Mellifont y Mason (2010) tras analizar estos la fase subacuática después de la salida y el viraje en nadadores de categoría olímpica, en comparación con la salida con empuje desde la pared en nadadores nacionales según nuestro estudio.

En función del género y el estilo, los datos de Veiga y Roig (2016b) tras el viraje durante los Campeonatos del Mundo del 2013 en las pruebas de 200 m, estuvieron entre 1 y 2 m por debajo de las distancias analizadas en los estilos de crol, espalda y mariposa de los hombres. Los valores de las mujeres de la presente investigación ($5,84 \pm 1,60$ y $8,48 \pm 1,78$ m) fueron superiores en los estilos de crol ($5,53 \pm 0,98$ m) y espalda ($7,82 \pm 1,25$ m) de dichos autores debido a las diferencias en cuanto al nivel de rendimiento (Élite vs Nacional) y condiciones del estudio analizadas (Mundial vs Entrenamiento). Aun así, los estudios que han analizado la fase subacuática tras el viraje se podrían comparar con los análisis realizados tras el empuje desde la pared de la piscina, debido principalmente a la similitud de su empuje.

5.1.4.3. VELOCIDAD TOTAL DE LA SALIDA.

Por último, los valores más rápidos encontrados para la velocidad de la fase subacuática ($1,69 \pm 0,01$ m/s), fueron inferiores a los de otros estudios durante la fase de la salida y viraje, principalmente a crol y mariposa (Burkett, Mellifont y Mason, 2010; Cala, Veiga y Navarro, 2007; Ruschel et al., 2007; Takeda et al., 2009; Tor, Pease y Ball, 2014a) debido al nivel de rendimiento de los nadadores (Olímpico, Élite, Nacional y Estatal) y las referencias anatómicas medidas en dichos estudios (entrada en el agua tras la salida o separación de los pies tras el viraje entre cabeza, cadera o centro de masa). Además, nuestra velocidad estuvo por debajo (< 2 m/s) de los recientes estudios de Veiga et al. (2014a, b) y Veiga y Roig (2016a, b) sobre el Open de la Comunidad de Madrid de 2008 y los Campeonatos del Mundo de 2013 tras la

salida y el viraje, debido a que fueron situaciones medidas durante pruebas de competición, y no en entrenamiento como en nuestro caso, ya que en las pruebas oficiales se confirma la importancia de esta fase (e.g.: Elipot et al., 2009; Marinho et al., 2009; Naemi, Easson y Sanders, 2010; Sanders, 2002; Thow, Naemi y Sanders, 2012; Tor, Pease y Ball, 2014a, b; Vantorre et al., 2010a, b; Vilas-Boas et al., 2000, 2003, 2010) para lograr un buen rendimiento en el inicio el nado (Clothier et al., 2000b; Mason y Cossor, 2001). En cambio, la velocidad del estudio, estuvo más próxima a la encontrada por Cala, Veiga y Navarro (2007) durante su análisis biomecánico del viraje y a los estudios de Takeda et al. (2009) tras la salida con empuje a máximo esfuerzo en nadadores nacionales a estilo crol, a pesar de las diferentes intensidades estudiadas.

5.1.5. ANÁLISIS CORRELACIONAL EN LA CARACTERIZACIÓN DE LA SALIDA CON EMPUJE.

5.1.5.1. CORRELACIONES DE TIEMPO PARA LAS FASES DE LA SALIDA CON EMPUJE SEGÚN EL ESTILO DE NADO.

Durante el nado subacuático, el tiempo empleado tras la fase del movimiento ondulatorio subacuático tuvo una influencia muy grande entre los estilos de crol ($r=0,90$), espalda ($r=0,92$) y mariposa ($r=0,95$). En la fase total se dio una correlación muy grande con fase subacuática en los estilos de crol y mariposa ($r=0,94$) junto a espalda ($r=0,91$), al igual que los altos valores de Burkett, Mellifont y Mason (2010) en cuanto al tiempo ($r=0,86$), unida a la correlación positiva entre la fuerza muscular del tobillo y la flexibilidad durante el batido de delfín en nadadores de nivel internacional y nacional, según las investigaciones de Willems et al. (2014). Además, se encontró durante la salida con empuje hasta los 15 m, una moderada la influencia del nado en superficie durante los estilos de espalda ($r=0,39$) y mariposa ($r=0,59$).

Sin embargo, en el estilo de espalda solo influyó de forma moderada la fase de transición ($r=0,52$) sobre el tiempo subacuático de nado. Mientras que en los estilos de crol ($r=0,42$ y $r=0,38$) y mariposa ($r=0,47$ y $r=0,54$), también fue moderado el efecto de las fases del deslizamiento y transición. Esto, guardó relación con las

investigaciones de Zatsiorsky et al. (1979) tras encontrar una alta correlación entre la fase de deslizamiento y el tiempo hasta los 5,5 m ($r = 0,60$ y $r = 0,94$).

El tiempo durante la fase de transición no tuvo una influencia destacable entre los estilos analizados. En crol mostró una correlación negativa pero moderada ($r = -0,31$) con el nado en superficie. Durante el estilo de espalda, fue pequeña su relación con el tiempo tras el deslizamiento ($r = 0,25$) y el movimiento ondulatorio subacuático ($r = 0,24$). Mientras que, en el estilo de mariposa, se relacionó moderadamente con el movimiento ondulatorio subacuático ($r = 0,47$).

5.1.5.2. CORRELACIONES DE DISTANCIA PARA LAS FASES DE LA SALIDA CON EMPUJE SEGÚN EL ESTILO DE NADO.

La distancia del nado subacuático, también tuvo una influencia muy grande con el espacio recorrido durante la fase del movimiento ondulatorio subacuático en los estilos de crol ($r = 0,84$), espalda ($r = 0,92$) y mariposa ($r = 0,87$). Además, en la fase total, también apareció una correlación muy grande con fase subacuática durante la distancia de crol ($r = 0,93$) unida con los estilos de espalda y mariposa ($r = 0,94$). Este dato nuevamente concuerda con los altos valores de Burkett, Mellifont y Mason (2010) para distancia ($r = 0,71$), junto con la correlación positiva entre la fuerza muscular del tobillo y la flexibilidad durante el batido en las investigaciones de Willems et al. (2014). No obstante, se encontró que durante los 15 m una correlación moderada con el nado en superficie solamente durante el nado a mariposa ($r = 0,32$).

Sin embargo, durante la fase subacuática fue moderado el efecto la distancia de deslizamiento y transición en los estilos de crol ($r = 0,36$ y $r = 0,27$) y mariposa ($r = 0,49$ y $r = 0,48$). Durante el estilo de espalda, también influyó de forma moderada la fase de transición ($r = 0,44$), pero la técnica ondulatoria en la posición dorsal ofreció más dificultad y posiblemente mayor resistencia, en comparación con la posición ventral (Lyttle et al., 2000) de los estilos de crol y mariposa. Esto pudo llevar a los nadadores del estudio a disminuir su esfuerzo para conseguir un adecuado rendimiento (Connaboy, Coleman y Sanders, 2009; Lyttle et al., 2000).

La fase del nado en superficie durante el estilo de crol se correlacionó negativamente y de forma moderada con las distancias tras la fase del deslizamiento ($r = -0,34$), movimiento ondulatorio subacuático ($r = -0,33$) y transición ($r = -0,30$). En base a esto, no necesariamente un mayor desarrollo supone un mayor nado en superficie. Por el contrario, la distancia de transición se relacionó moderadamente con la distancia emitida durante el nado en superficie en los estilos de espalda ($r = -0,40$) y el movimiento ondulatorio subacuático en el estilo de mariposa ($r = 0,42$).

5.1.5.3. CORRELACIONES DE VELOCIDAD PARA LAS FASES DE LA SALIDA CON EMPUJE SEGÚN EL ESTILO DE NADO.

La velocidad del nado subacuático estuvo muy influenciada por la velocidad desarrollada por los nadadores durante la fase del movimiento ondulatorio subacuático en los estilos de crol ($r = 0,93$), espalda ($r = 0,86$) y mariposa ($r = 0,83$). Durante la velocidad de la fase total, también hubo una correlación muy grande con la fase subacuática y el nado en superficie de crol ($r = 0,91$ y $r = 0,80$) y espalda ($r = 0,84$ y $r = 0,73$), respecto al estilo de mariposa ($r = 0,61$ y $r = 0,82$). Al igual que en los estudios de Burkett, Mellifont y Mason (2010) para la velocidad ($r = 0,72$), junto con Cossor y Mason (2001) en donde hallaron una correlación negativa grande ($r = -0,73$) entre la velocidad subacuática y el tiempo en 15 m durante las pruebas de 100 m a espalda. Aun así, las velocidades tras las fases del deslizamiento y transición también contribuyeron en gran medida en los estilos de crol ($r = 0,60$ y $r = 0,61$), espalda ($r = 0,58$ y $r = 0,63$) y mariposa ($r = 0,71$) sobre la velocidad del nado subacuático. Sin embargo, durante el estilo de mariposa, la fase de transición afectó moderadamente a la velocidad subacuática ($r = 0,35$).

Para García y Veiga (2015) la velocidad se correlacionó con un índice de coordinación más elevado, en donde los nadadores durante la fase de transición venían precedidos por un impulso dado desde la pared, el cual les otorgó una mayor velocidad que la registrada durante el nado en superficie. En nuestro estudio, la velocidad del estilo de crol durante el deslizamiento influyó moderadamente a las fases del movimiento ondulatorio subacuático ($r = 0,59$), la transición ($r = 0,41$) y nado en superficie ($r = 0,31$). Durante el estilo de espalda, también fue moderado el efecto ($r = 0,42$ y $r = 0,34$).

como en el estilo de crol, pero fue pequeña la influencia de la fase de transición ($r=0,23$). Sin embargo, influyó de una forma mayor en el estilo de mariposa durante el movimiento ondulatorio subacuático ($r=0,73$) que tras la fase de transición ($r=0,32$).

La velocidad durante la fase del movimiento ondulatorio subacuático se relacionó moderadamente con las fases de transición y nado en superficie en los estilos de crol ($r=0,52$ y $r=0,57$), espalda ($r=0,31$ y $r=0,36$) y mariposa ($r=0,43$). En base a las opiniones de Burkett, Mellifont y Mason (2010), una mejora de la posición hidrodinámica aumentaría la velocidad subacuática, asegurando la transición subacuática a la superficie en el momento idónea, obteniendo así la máxima velocidad durante el nado libre.

5.2. INFLUENCIA DEL GÉNERO Y DEL ESTILO DE NADO EN LA FASE SUBACUÁTICA DE LA SALIDA CON EMPUJE.

5.2.1. INFLUENCIA DEL GÉNERO EN LA FASE SUBACUÁTICA DE LA SALIDA CON EMPUJE.

5.2.1.1. DISTANCIA SUBACUÁTICA EN FUNCIÓN DEL GÉNERO DE NADO.

Los nadadores recorriendo entre 0,5 y 0,7 m más distancia que las mujeres en la salida con empuje ($10,54 \pm 0,15$ y $7,26 \pm 0,16$ m vs $9,85 \pm 0,14$ y $6,67 \pm 0,14$ m para la fase total y subacuática, respectivamente). Dichos valores concuerdan con los de Veiga et al. (2014a) y otros autores (Chow et al., 1984; Mason y Cossor, 2001; Miller, Hay y Wilson, 1984) en la salida y el viraje, y se explican por una mayor potencia muscular cuando se empujan desde la pared (Krüger et al., 2006; Pearson et al., 1998; Vantorre et al., 2010c).

En comparación con los estudios de Veiga et al. (2014a) tras la salida y el viraje en las pruebas de 100 m durante el Open de la Comunidad de Madrid (2008). Las distancias de los nadadores nacionales fueron superiores al estudio. Solo la distancia de las mujeres en el estilo de crol fue inferior a la encontrada en la investigación tras el viraje ($5,84 \pm 0,25$ vs $5,66$ m). También, en los estudios de Veiga y Roig (2016b) sobre el viraje tras los Campeonatos del Mundo (2013) en pruebas de 200 m en nadadores de élite. Los hombres recorrieron mayores distancias que las mujeres, principalmente en el estilo de espalda ($10,45 \pm 1,84$ vs $7,82 \pm 1,25$ m) con en nuestro estudio ($8,83 \pm 0,28$ vs $8,48 \pm 0,24$ m). Sin embargo, la distancia subacuática de las mujeres fue inferior al estudio durante los estilos de espalda ($8,48 \pm 0,24$ vs $7,82 \pm 1,25$ m) y crol ($5,84 \pm 0,25$ vs $5,53 \pm 0,98$ m).

5.2.1.2. VELOCIDAD SUBACUÁTICA EN FUNCIÓN DEL GÉNERO DE NADO.

En cuanto a la velocidad, los hombres también fueron más rápidos (0,23 y 0,22 m/s) que las mujeres ($1,71 \pm 0,02$ y $1,80 \pm 0,02$ m/s vs $1,49 \pm 0,02$ y $1,57 \pm 0,02$ m/s para la fase total y subacuática, respectivamente). Dicha afirmación, coincidía con los

resultados de Tor, Pease y Ball (2014), sobre la mayor velocidad de los hombres frente a las mujeres ($2,50 \pm 0,17$ vs $2,23 \pm 0,13$ m/s) debido a la diferencia propulsiva (West et al., 2011). También, en los estudios de Veiga y Roig (2016a) durante el nado subacuático tras la salida y el viraje en nadadores de élite. Estos fueron más veloces independientemente de la frecuencia y la longitud del batido, caracterizándose por un menor tiempo de reacción (Tor, Pease y Ball, 2014), pero mayor nivel (Costa et al., 2014) y fuerza explosiva de las piernas (West et al., 2011), en comparación con sus iguales. Por ello, las velocidades halladas tras la salida fueron muchos mayores a las del estudio, debido principalmente a la fase aérea. Mientras que para el viraje y pesar de la similitud en el empuje, fue mayor la diferencia subacuática entre géneros principalmente para el estilo de espalda ($0,13$ m/s) frente a los estilos de crol ($0,02$ y $0,09$ m/s) y mariposa ($0,01$ m/s) del estudio. En otras investigaciones llevadas a cabo en pruebas de 200 m tras el viraje (Veiga y Roig, 2016b). Las velocidades subacuáticas entre géneros durante el estilo crol ($2,60 \pm 0,19$ y $2,49 \pm 0,14$ m/s) y espalda ($2,15 \pm 0,10$ y $2,09 \pm 0,10$ m/s) fueron superiores las nuestras, a pesar de que en el estilo de mariposa fuera similar la velocidad para los hombres ($1,83 \pm 0,05$ vs $1,85 \pm 0,03$ m/s) y mínima la diferencia entre las mujeres ($1,71 \pm 0,07$ vs $1,64 \pm 0,03$ m/s).

5.2.1.3. TIEMPO SUBACUÁTICO EN FUNCIÓN DEL GÉNERO DE NADO.

Por último, en cuanto a la duración de la fase, los hombres invirtieron menos tiempo ($-0,47$ y $-0,23$ s) que las mujeres ($6,28 \pm 0,12$ y $4,15 \pm 0,12$ s vs $6,75 \pm 0,11$ y $4,38 \pm 0,10$ s para la fase total y subacuática, respectivamente), siendo mayor el tiempo de estas durante la fase subacuática en los estilos de crol y espalda (3,62 y 6 s). Dichos valores, fueron opuestos a los de Tor, Pease y Ball (2014) tras caracterizar la salida en nadadores de élite. El tiempo subacuático entre hombres ($3,71 \pm 0,86$ s) y mujeres ($3,68 \pm 1,11$ s) fue inferior al nuestro ($4,15 \pm 0,12$ y $4,38 \pm 0,10$ s), junto con el porcentaje de tiempo subacuático (66,1 vs 61% en hombres y 64,9 vs 51,9% para las mujeres). Con todo ello, han sido pocos los estudios que se han centrado en diferenciar géneros con estilos (Tor, Pease y Ball, 2014; Veiga et al., 2014a, b; Veiga y Roig, 2016a, b), por lo que se necesita de más investigaciones que analicen y comparen la variabilidad de las fases en función de esto.

5.2.2. INFLUENCIA DEL ESTILO EN LA FASE SUBACUÁTICA DE LA SALIDA CON EMPUJE.

5.2.2.1. DISTANCIA SUBACUÁTICA EN FUNCIÓN DEL ESTILO DE NADO.

Los datos sobre las diferencias entre estilos durante la salida con empuje en función de la distancia subacuática, mostraron que espalda fue el estilo más prolongado ($8,66 \pm 0,19$ m) durante la fase subacuática (77,2%), respecto a crol (68%) y mariposa (59,2%). Por el contrario, no se hallaron diferencias significativas entre los estilos de mariposa y crol, siendo ambas distancias muy parecidas ($6,16 \pm 0,18$ y $6,08 \pm 0,18$ m). En comparación con los estudios de Veiga et al. (2014b) tras el viraje durante el Open de la Comunidad de Madrid (2008). Los nadadores de nivel nacional recorrieron aproximadamente la misma distancia en los estilos mariposa y espalda, siendo el estilo de crol el que menos distancia presentó. Y cuyos resultados concuerdan con otros estudios hallados en la literatura (Chow et al., 1984; Burkett, Mellifont y Mason, 2010; Pereira, Ruschel y Araújo, 2006; Ruschel et al., 2007; Vantorre et al., 2010a, c). Solo el estilo de mariposa recorrió mayor distancia que en nuestro estudio ($6,68 \pm 0,90$ vs $6,16 \pm 0,18$ m). En cambio, las distancias de los estilos de espalda ($6,25 \pm 0,73$ vs $8,66 \pm 0,19$ m) y crol ($4,81 \pm 0,71$ vs $6,08 \pm 0,18$ m) fueron inferiores a las nuestras. Por tanto, los datos difieren de los hallados por Veiga et al. (2014b), a pesar de tener el mismo nivel de rendimiento.

En otros estudios, el análisis de la fase subacuática en pruebas de 100 y 200 m, reveló que las distancias en los estilos de espalda y mariposa fueron mayores (entre 1 y 2 m) durante la salida (entre 2 y 3 m) que durante el viraje (Veiga et al., 2014a; Veiga y Roig, 2016b). Ello es esperable debido a la mayor velocidad alcanzada por los nadadores durante la fase aérea de la salida. Asimismo, nuestros datos, estuvieron más próximos a los indicados durante el estudio del viraje, siendo próximos a la categoría nacional analizada en competición por Veiga et al. (2014a).

Por el contrario, crol fue el estilo que menos distancia subacuática recorrió del estudio ($6,08 \pm 0,18$), siendo la diferencia con el resto de estilos analizados de entre 1 y 2 m, al igual que en otras investigaciones (Veiga et al., 2014a, b; Veiga y Roig,

2016b). Además, esta distancia fue superior a la encontrada tras el viraje por Veiga et al. (2014b) en los nadadores de nivel nacional ($4,81 \pm 0,71$ m), estando más próxima a la de los estilos mariposa y espalda de estos autores. Sin embargo, esta distancia fue inferior a la hallada por Burkett, Mellifont y Mason (2010) tras la salida de crol entre nadadores olímpicos y paralímpicos ($8,87 \pm 0,66$ m).

5.2.2.2. VELOCIDAD SUBACUÁTICA EN FUNCIÓN DEL ESTILO DE NADO.

Otras de las diferencias que se hallaron durante la influencia entre los estilos en la salida con empuje, estuvo relacionada con la velocidad subacuática. Dicha velocidad, no mostró ningún valor significativo entre los estilos de crol y mariposa, a pesar de registrar tanto en crol ($1,77 \pm 0,02$ m/s) como en mariposa ($1,74 \pm 0,02$ m/s) los valores más altos. Este dato, coincide con los estudios de Tor, Pease y Ball (2014) tras caracterizar la salida en nadadores de élite ($2,41 \pm 0,22$ y $2,29 \pm 0,13$ m/s) junto con el de otros autores (Veiga et al., 2014b; Veiga y Roig, 2016b) en nadadores nacionales ($2,59 \pm 0,12$ m/s) y de élite ($2,6 \pm 0,19$ y $2,49 \pm 0,14$ m/s) tras el viraje en las pruebas de 200 m. Además de, otras investigaciones tras la fase subacuática de la salida y el viraje de en pruebas de 100 y 200 m (Veiga et al., 2014a; Veiga y Roig, 2016a) con diferentes niveles de rendimiento (Burkett, Mellifont y Mason, 2010; Veiga et al., 2014a; Veiga y Roig, 2016a). En donde los mayores índices se encontraron principalmente en el estilo de crol y mariposa tras la salida, debido principalmente a la fase aérea, la similitud en la técnica de salida (Strojnik, Strumbelj y Bednarik, 1998) y el desarrollo motor en posición ventral, que fue muy parecido entre ambos estilos.

Sin embargo, y a pesar de que en el estudio el estilo de espalda registró la menor velocidad ($1,55 \pm 0,02$ m/s), al igual que en otras investigaciones (Veiga et al., 2014a; Veiga y Roig (2016a). Un mayor tiempo ($4,32 \pm 0,12$ y $0,88 \pm 0,04$ s) y distancia ($6,47 \pm 0,17$ y $1,17 \pm 0,05$ m) durante las fases del movimiento ondulatorio subacuático y la transición al nado, pudieron condicionar la velocidad del nado subacuático. En cambio, este dato difiere de otras investigaciones (Veiga et al., 2014b; Veiga y Roig, 2016b), ya que mariposa fue el estilo más lento ($1,63 \pm 0,15$ m/s y $1,83 \pm 0,05$ - $1,71 \pm 0,07$ m/s), siendo mayor la velocidad de espalda ($2,21 \pm 0,21$ m/s y $2,15 \pm 0,10$ - $2,09 \pm 0,10$ m/s). Además, la velocidad del estilo de mariposa mostrada por estos

autores fue inferior a la del estudio, a pesar de que los nadadores se impulsaron desde la pared. Con todo ello, las diferencias de velocidad de nuestros estilos con las anteriores investigaciones, estuvo marcada por las categorías y las condiciones del estudio analizadas (Pruebas de competición vs Sesiones de entrenamiento).

5.2.2.3. TIEMPO SUBACUÁTICO EN FUNCIÓN DEL ESTILO DE NADO.

Por último, los datos en función del tiempo subacuático mostraron mayor tiempo en el estilo de espalda ($5,68 \pm 0,14$ s), mientras que entre los estilos de crol y mariposa no se hallaron diferencias significativas. Los tiempos de ambos estilos estuvieron más próximos ($3,51 \pm 0,13$ y $3,60 \pm 0,13$ s) siendo su porcentaje de 65,6% y 56%. En relación con los estudios de Tor, Pease y Ball (2014), el estilo de mariposa empleó mayor tiempo que crol ($4,52 \pm 0,58$ vs $3,42 \pm 0,92$ s), junto con el definido ($3,39 \pm 0,77$ s) por Burkett, Mellifont y Mason (2010), siendo muy superior al nuestro, aunque relativamente inferior al de crol. Por lo tanto, estas diferencias con nuestro estudio, pudieron estar marcadas por la fase aérea como en casos anteriormente descritos, debido a las diferencias entre salida desde el poyete que salida desde la pared de la piscina.

Por el contrario, el estilo de espalda fue el mayor tiempo registró ($5,68 \pm 0,14$), ocupando un 73,1% del desarrollo subacuático, ya que pudo estar asociado con el mayor tiempo ($4,32 \pm 0,12$ y $0,88 \pm 0,04$ s) y la distancia subacuática recorrida ($6,47 \pm 0,17$ y $1,17 \pm 0,05$ m) a lo largo de la fase del movimiento ondulatorio subacuático (55,6% y 57,7%) y la transición al nado (11,3% y 10,4%) respecto a los otros estilos analizados. Pero la falta de datos en función del tiempo, principalmente para este estilo recalca la necesidad de investigar las variaciones de tiempo en función de la fase subacuática.

5.2.3. INFLUENCIA DEL GÉNERO EN LAS DIFERENTES FASES DE LA SALIDA CON EMPUJE.

El análisis sobre la influencia del género en las diferentes fases de la salida con empuje, indicó que no existen grandes oscilaciones en los parámetros de cada fase según el género ($\eta^2= 0,04$). Es decir, que la proporción de distancia o tiempo empleado en cada fase no varía en demasía según sean hombres o mujeres.

5.2.3.1. COMPARACIÓN DE TIEMPO/DISTANCIA/VELOCIDAD ENTRE GÉNEROS EN LA FASE DEL DESLIZAMIENTO SUBACUÁTICO.

Durante el deslizamiento subacuático, el tiempo tras el empuje fue el mismo para ambos géneros ($0,59\pm0,03$ s), a pesar de las mínimas diferencias (9,4% y 8,7%) a lo largo de la salida con empuje. Los nadadores del estudio, emplearon aproximadamente entre 2 y 3 décimas por segundo más que en los hombres y mujeres de Puel et al. (2010, 2012) tras analizar el viraje en pruebas de 200 m ($0,32\pm0,14$ y $0,28\pm0,08$ s), ya que estos autores se centraron más en reducir la distancia de deslizamiento. Un excesivo incremento en la duración del deslizamiento incrementaría la resistencia y el gasto energético, junto con la pérdida de velocidad (Lyttle et al., 1998, 2000), que solo se minimizaría con una buena posición hidrodinámica y alineación del cuerpo (Vilas-Boas et al., 2000).

En cuanto a la distancia, los hombres se deslizaron un 12% más que las mujeres tras la salida con empuje ($1,37\pm0,06$ y $1,20\pm0,05$ m), siendo la diferencia de 0,17 m. Este dato, concuerda con los estudios de Puel et al. (2010, 2012) durante el análisis el viraje con nadadores de élite ($2,71\pm0,36$ y $2,43\pm0,16$ m), ya que los hombres registraron mayores los índices que las mujeres, siendo superiores a los nadadores de nivel nacional del estudio debido a la diferencia de rendimiento (Élite vs Nacional).

Por último, se encontraron diferencias significativas para la velocidad del deslizamiento subacuático ($2,36\pm0,03$ y $2,08\pm0,03$ m/s). Los hombres fueron 11,9% más rápidos que las mujeres con una diferencia de 0,28 m/s. Los datos hallados por Puel et al. (2011) para la fase del viraje mostraron una mayor velocidad para las

mujeres ($2,31 \pm 0,22$ a $2,55 \pm 0,15$ m/s) en ambas categorías analizadas (Sub-élite y Élite), en comparación con los hombres de élite ($2,17 \pm 0,19$ m/s) de Puel et al. (2012), siendo mayor la velocidad de empuje de las nadadoras de élite debido a su hidrodinámica. Sin embargo, Puel et al. (2011), también analizó la velocidad de las mujeres tras aumentar la distancia de deslizamiento entre la pared y el inicio de la propulsión hasta los 3 m ($1,68 \pm 0,12$ a $2,01 \pm 0,19$ m/s). Los datos de nuestro estudio, fueron superiores a la velocidad descrita hasta los 3 m y a la de los hombres, siendo la distancia indicada por ambos géneros inferior ($1,37 \pm 0,06$ y $1,20 \pm 0,05$ m). Aun así, fueron inferiores a las de las mujeres que no limitaron el deslizamiento.

Por ello, y aparte de las diferencias en función del nivel de rendimiento vistas anteriormente, los nadadores que poseen una mayor forma (altura y sección transversal) se deslizan mejor ofreciendo una menor resistencia, según las concordancias negativas de varios estudios (Clarys, 1978, 1979; Clarys et al., 1974). Estos, arrastran más masa de agua añadida que aquellos que tienen un mayor tamaño corporal e inferior sección transversal (Naemi et al., 2011), siendo significativas las correlaciones con las características resistivas del cuerpo (Benjanuvatra, Blanksby y Elliott, 2001; Chatard et al., 1990; Clarys et al., 1974; Lyttle et al., 1998). Por consiguiente, la forma y el tamaño del cuerpo pudieron condicionar dicha fase según la opinión de Roig (2010), de cara a conseguir un deslizamiento subacuático eficaz entre los hombres y las mujeres, visto las diferencias entre los parámetros cinemáticos analizados (principalmente, distancia y velocidad). Sin embargo, sería necesario que se llevaran a cabo más investigaciones que diferencien entre géneros debido a la escasez de datos.

5.2.3.2. COMPARACIÓN DE TIEMPO/DISTANCIA/VELOCIDAD ENTRE GÉNEROS EN LA FASE DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO.

La fase del movimiento ondulatorio subacuático fue la que mayor tiempo empleó de todas ($3,01 \pm 0,10$ y $3,27 \pm 0,09$ s) principalmente las mujeres (48,4% vs 47,9%), debido a que fue la fase más larga ($4,82 \pm 0,13$ m) y lenta ($1,50 \pm 0,02$ m/s) en comparación con sus iguales ($5,03 \pm 0,14$ m y $1,73 \pm 0,02$ m/s). En los estudios llevados a cabo por Vantorre et al. (2010b) tras la fase de la salida de crol en hombres, los

tiempos hallados tras comparar el nivel de rendimiento en dos grupos de nadadores (Élite y Entrenados) desde el inicio del batido hasta la salida del brazo del agua fueron de $6,27 \pm 2,55$ s y $4,00 \pm 1,65$ s. Dicho estudio, en el cual no se excluyó la fase de transición como en nuestro estudio, presentaron mayores valores que los encontrados por nuestros hombres. Aun así, y debido a la escasez de datos en función de géneros para esta fase, las conclusiones halladas por Vantorre et al. (2010b) para diferentes niveles de rendimiento se podrían extrapolar entre los hombres y mujeres.

La velocidad durante el movimiento ondulatorio subacuático fue superior (13,3%) en los hombres (1,73 m/s) respecto a las mujeres (1,5 m/s) de nivel nacional. Dicha diferencia entre iguales, coincide con los estudios llevados a cabo por Gavilán et al. (2002) tras analizar y comparar diferencias categorías de nado. La velocidad de los nadadores de nivel nacional del estudio fue superior a la categoría infantil (1,23 y 1,17 m/s) e inferior a la internacional (2,02 y 1,91 m/s) estudiada, siendo muy inferior la velocidad descrita por los ex-nadadores de dicho estudio (1,04 y 1,06 m/s), lo cual demuestra la importancia de esta fase en las categorías superiores, tanto en hombres como mujeres.

5.2.3.3. COMPARACIÓN DE TIEMPO/DISTANCIA/VELOCIDAD ENTRE GÉNEROS EN LA FASE DE TRANSICIÓN AL NADO EN SUPERFICIE.

El tiempo de transición al nado estuvo muy próximo entre ambos géneros ($0,57 \pm 0,03$ y $0,51 \pm 0,03$ s), aunque fuera relativamente mayor en los hombres (0,07 s) respecto a las mujeres (7,6%). Curiosamente, la duración de esta fase fue similar a la fase de deslizamiento a pesar de que la distancia de deslizamiento fuera mayor tras el empuje de la pared. En cuanto a la distancia, los hombres recorriendo casi 20 centímetros más que las mujeres ($0,84 \pm 0,04$ y $0,66 \pm 0,04$ m) mientras que la velocidad ($1,59 \pm 0,03$ vs $1,38 \pm 0,03$ m/s) mostró valores un 13,2% mayor en los hombres. En comparación con otras fases de la salida con empuje, la velocidad fue menor alcanzando niveles similares a los del nado en superficie. Sin embargo, la comparación con otros valores de la literatura se hace complicada debido a la falta de investigaciones que midan y analicen la fase de transición (García y Veiga, 2015).

5.2.4. INFLUENCIA DEL ESTILO EN LAS DIFERENTES FASES DE LA SALIDA CON EMPUJE.

El análisis sobre la influencia de los estilos en las diferentes fases de la salida con empuje indicó que las diferencias de velocidad son pequeñas ($\eta^2= 0,21$) aunque la duración ($\eta^2= 0,44$) y distancia ($\eta^2= 0,45$) recorrida en cada fase varía según el estilo de nado.

5.2.4.1. COMPARACIÓN DE TIEMPO/DISTANCIA/VELOCIDAD ENTRE ESTILOS EN LA FASE DEL DESLIZAMIENTO SUBACUÁTICO.

El tiempo descrito por los tres estilos durante dicha fase estuvo entre $0,50\pm0,04$ (espalda) y $0,66\pm0,04$ (crol) s, siendo inferior al indicado por Sanders (2003) después de entrar en el agua tras la salida (≈ 1 s). Aunque en nuestro estudio la salida se realizó desde el empuje de pared, el estilo de espalda fue el que menos tiempo mostró ($0,50\pm0,04$ s) respecto a los estilos de crol ($0,66\pm0,04$ s) y mariposa ($0,63\pm0,04$ s) ocupando un 6,4% en la salida con empuje frente a los otros estilos (12,3% y 9,8%). Este menor índice pudo deberse a que el desarrollo de la fase en posición dorsal, coincidía con los hallazgos realizado a través de las pruebas de remolque a distintas velocidades y posiciones para cuantificar la resistencia pasiva (Karpovich, 1933; Counsilman, 1955; Kent y Atha, 1971; Jiskoot y Clarys, 1975; Clarys, 1979; Lyttle et al., 1998; Maiello et al., 1998). Todo ello, mostró un mayor índice de resistencia en comparación con los desplazamientos en posición ventral, ya que para Lyttle et al. (2000), el arrastre mínimo se encontró en una posición hidrodinámica ventral, independientemente de la velocidad, coincidiendo así con los mayores tiempos de estilos de crol y mariposa analizados, junto con su desarrollo postural (ventral).

Por consiguiente, se podría especular que el control postural fue mucho más difícil en posición dorsal o que no fuera lo suficientemente hidrodinámico en cuanto al ajuste lineal del tronco y de los segmentos superiores del cuerpo (Chatard et al., 1990; Guimarães y Hay, 1985; Houel et al., 2010, 2013; Marinho et al., 2009, 2011; Mason y Cossor, 2001; Miyashita y Tsunoda, 1978; Naemi, Easson y Sanders, 2010; Vilas-Boas et al., 2000; Vorontsov y Rumyantsev, 2000b). Esto provocaría un incremento de la

resistencia y la pérdida de la velocidad tras impulso, a pesar de que fue el estilo más lento de la fase del deslizamiento ($2,12 \pm 0,04$ m/s). Además, esto pudo obligar a los nadadores del estudio a acotar el deslizamiento e iniciar el batido subacuático antes de tiempo.

Aun así, la mayoría de los datos encontrados en la literatura solo se han centrado en una sola posición (prono) y estilo (crol) tras la salida (Pearson et al., 1998; Vantorre et al., 2010a, b, c; Zatsiorsky, Bulgakova y Chaplinsky, 1979) y el viraje (Maañon et al., 2003; Puel et al., 2010, 2012; Rejman y Borowska, 2008), siendo, por tanto, inferiores a los datos de nuestro estudio. Solo los tiempos del deslizamiento mostrados por Hay (1986) y Wada et al. (2010), estuvieron próximos a los estilos de crol ($0,66 \pm 0,04$ s) y mariposa ($0,63 \pm 0,04$ s), juntos con los estudios realizados durante el análisis de la salida con agarre ($2,09 \pm 0,54$ s) y con enganche ($2,16 \pm 0,59$ s) hasta los 7 m de Pearson et al. (1998) para nadadores de categoría nacional. Por lo tanto, se podría afirmar nuevamente, que el estilo de espalda fue el estilo que menos aprovecho esta fase durante la salida con empuje.

En cuanto a la distancia, y en relación con el tiempo, el estilo de espalda fue el que menor distancia recorrió ($1,01 \pm 0,07$ m) seguido de mariposa ($1,37 \pm 0,07$ m) y crol ($1,47 \pm 0,07$ m), ocupando un 9% en la salida con empuje frente a los anteriores estilos (16,4% y 13,2%). Los valores hallados durante el estilo fueron superiores a los encontrados tras el análisis del viraje con monoaleta en pronación ($0,68 \pm 0,21$ m) por Rejman y Borowska (2008) debido a una corta propulsión. Sin embargo, durante las pruebas de 200 m a crol, los nadadores de élite de Puel et al. (2011, 2012) registraron valores superiores ($2,43 \pm 0,16$ m y $2,71 \pm 0,36$ m) a los nadadores de nivel nacional del estudio, tras tomar como referencia la distancia del viraje entre la pared y la cabeza, no hasta la cadera en sesiones de entrenamiento.

En relación con el resto de estilos durante dicha fase, crol fue el que presentó una mayor velocidad ($2,30 \pm 0,04$ m/s), junto con el estilo de mariposa ($2,25 \pm 0,04$ m/s). En cambio, el estilo de espalda que pudo estar condicionado por el menor tiempo y distancia recorrida, según se explicó en los párrafos anteriores, pudiendo afectar a la velocidad del nadador. En comparación con otros estudios, nuestros datos estuvieron

próximos a los de dos tipos de salidas a espalda De Jesús et al. (2011b) debido a la similitud del empuje desde la pared. En otras investigaciones halladas (Elipot et al., 2009; Lyttle y Blanksby, 2000; Lyttle et al., 1998, 1999, 2000; Vantorre, Chollet y Seifert, 2014; Vantorre et al., 2010c; Wada et al., 2010), la velocidad del deslizamiento en comparación con la nuestra ha variado dependiendo del tipo estudio (salida, viraje y pruebas de remolque entre otras). Pero solo las velocidades ($2,17 \pm 0,19$ m/s) halladas durante los estudios del viraje a crol (Puel et al., 2012) estuvieron más próximas a nuestro estudio, e incluso, algunas fueron superiores a los estilos de crol y mariposa (Puel et al., 2011; Takeda et al., 2009) tras analizar diferente nivel de rendimiento (Sub-élite, Élite y Nacional). Por lo tanto, la alta velocidad que lleva consigo el nadador tras el impulso (Sweetenham y Atkinson, 2003; Collard, 2007), se pudo ver afectada por la orientación del estilo, causando una mala posición hidrodinámica que lo frenó y le hizo anticipar al batido.

5.2.4.2. COMPARACIÓN DE TIEMPO/DISTANCIA/VELOCIDAD ENTRE ESTILOS EN LA FASE DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO.

Al contrario que en el deslizamiento, los resultados hallados durante el movimiento ondulatorio subacuático mostraron que el estilo de espalda fue el que mayor tiempo (55,6%) y distancia (57,7%) empleó en dicha fase ($4,32 \pm 0,12$ s y $6,47 \pm 0,17$ m), seguido de mariposa ($2,72 \pm 0,11$ s y $4,42 \pm 0,16$ m) y crol ($2,38 \pm 0,11$ s y $3,88 \pm 0,16$ m) durante la salida con empuje. En otro estudio que analizaron dos tipos de salida a crol, los tiempos hallados por Vantorre et al. (2010a) fueron sumamente inferiores ($1,93 \pm 0,74$ y $1,98 \pm 0,83$ s), a pesar de la influencia de la fase aérea y tras tomar como referencia la cabeza, debido a que analizaron la fase subacuática con el batido alterno de pies. En los estudios de Elipot et al. (2010a) sobre la salida en nadadores de alto nivel, las distancias encontradas fueron inferiores a las del estudio ($3,8 \pm 0,26$ y $3,73 \pm 0,19$ m), a pesar de que en la literatura se ha analizado principalmente mediante distancias fijas tras la salida y el batido de delfín (e.g.: Arellano et al., 1994; Houel et al., 2010, 2013). Por otro lado, en los estudios de Alves et al. (2006), la mayor extensión del tobillo durante la posición dorsal pudo incrementar la resistencia y el tiempo de ejecución del movimiento ondulatorio subacuático. Según lo demuestran

las diferencias entre los estilos, coincidió así con los hallazgos encontrados por De Jesús et al. (2012).

Además, la diferencia entre los estilos pudo estar relacionada con el número de ciclos (entre 6 y 12) hallados en la literatura (Chow et al., 1984; Connaboy et al., 2010; Miller, Hay y Wilson, 1984; Naemi, Easson y Sanders, 2010; Vantorre et al., 2010c; Veiga et al., 2014a, b; Veiga y Roig, 2016a, b; Zamparo et al., 2012) y que se desarrollará más a fondo en el siguiente apartado. Por lo que se deduce que a mayor número de batido mayor sería la distancia recorrida y el tiempo de ejecución en espalda. Según las opiniones de Arellano (1999) y Clothier et al. (2000a) sobre los beneficios y mejoras que tuvo la técnica ondulatoria subacuática en las pruebas de espalda en las olimpiadas de Moscú (1980) y Seúl (1988). Por otro lado, la fase del movimiento ondulatorio subacuático pudo llegar a compensar las acciones realizadas en la fase del deslizamiento con un prolongado movimiento de espalda, debido a los beneficios del nado subacuático (Counsleman, 1968; Hertel, 1966; Santos et al., 2011; Toussaint y Truijens, 2005; Vennell, Pease y Wilson, 2006).

Los datos de Loebbecke et al. (2009a) sobre el análisis en diferentes posiciones recogen las velocidades de los estilos analizados dentro de sus márgenes (1,2 y 1,85 m/s), junto con los de Lyttle et al. (2000) y con un promedio de $1,45 \pm 0,23$ m/s. El cual estuvo cerca de las velocidades de los estilos de crol ($1,67 \pm 0,02$ m/s) y mariposa ($1,65 \pm 0,02$ m/s) del estudio, a pesar de que el estilo de espalda fuera el más lento (1,52 m/s) debido a la mayor distancia de buceo. Pero para ganar velocidad durante la fase del movimiento ondulatorio subacuático, una buena transición desde la fase del deslizamiento, requiere mantener una alta velocidad adquirida tras el impulso (Hubert et al., 2006), que según Lyttle y Blanksby (2000), tendría que ser superior a 1,9 m/s para que se redujera la resistencia fricción.

Sin embargo, como se comentó anteriormente, la mayoría de los estudio no nombran la transición del buceo al nado posiblemente por su corta duración incluyéndola dentro de esta fase, a pesar de que la mayoría de las investigaciones solo han analizado del batido subacuático (e.g.: Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002; Gavilán et al., 2002, 2006; De Jesús et al., 2012; Loebbecke et al., 2009a; Vantorre et al., 2010a;

Willems et al., 2014) y muy poco en dicha fase (e.g.: Elipot et al., 2010a; Houel et al., 2010, 2013; Shimojo et al., 2014), de ahí que sea un movimiento poco investigado (Pacholak et al., 2014).

5.2.4.3. COMPARACIÓN DE TIEMPO/DISTANCIA/VELOCIDAD ENTRE ESTILOS EN LA FASE DE TRANSICIÓN AL NADO EN SUPERFICIE.

Por último, durante la fase de transición, el estilo de mariposa fue el que menos tiempo (4%) y distancia (3,7%) recorrido de todos (0,26 s y 0,39 m), seguido del estilo de crol (0,47±0,03 s y 0,74±0,05 m) y espalda (0,88±0,04 s y 1,17±0,05 m) tras la salida con empuje. La principal causa, pudo deberse a un efecto simultaneo, ya que la salida de la cabeza se produce justo después de separar las manos, lo cual no solo provocó un menor tiempo sino también una menor distancia de transición a la superficie. En comparación con los estilos de crol y espalda, estos separaron las manos o los pies antes de romper la superficie del agua con la cabeza prolongando ambas variables. Además, según los estudios de García y Veiga (2015) la fase del recobro podría explicar algunas de las diferencias halladas entre los estilos durante la transición, ya que la primera fase propulsiva del batido en el estilo de mariposa fue mayor que la segunda y esto pudo ayudar a coordinar el inicio de la acción de brazos. Dicha afirmación, podría coincidir con el menor tiempo y distancia del estilo de mariposa, y podría demostrar que la coordinación entre el agarre de los brazos con la primera fase propulsiva del batido en el estilo de mariposa, podría ser más beneficiosa que en los estilos de crol y espalda. Por consiguiente, sería conveniente enseñar a identificar cuando suspender el nado subacuático e iniciar el nado en superficie sin perder velocidad (Rouboa et al., 2006; Naemi, Easson y Sanders, 2010). Y, por tanto, se requieren más estudios específicos sobre dicha fase de cara a la caracterización de la salida con empuje.

De cara a la velocidad, el estilo de espalda fue el más lento (1,37±0,04 m/s) seguido de mariposa (1,52±0,04 m/s) y crol (1,57±0,04 m/s). Sin embargo, en la literatura, los datos hallados por García y Veiga (2015) sobre la transición hasta un ciclo de nado podrían aproximarse en parte, ya que también realizaron la fase con empuje al igual que nuestro estudio. Pero la velocidad mostrada por ambos autores en los estilos de

crol (1,72 m/s), mariposa (1,68 m/s) y espalda (1,63 m/s) fueron superior a la de otros estudios (Seifert, Chollet y Bardy, 2004; Seifert et al., 2007; Chollet, Carter y Seifert 2006; Chollet, Seifert y Carter, 2008). Además, las diferencias entre las velocidades pudieron estar marcada por el elevado tiempo y la distancia entre el movimiento ondulatorio subacuático y la transición, lo cual redujo la velocidad de espalda, ya que si la comparamos con la velocidad del nado en superficie ($1,24 \pm 0,04$ m/s), los nadadores del estudio apostaron más por una fase de buceo más larga. Por tanto, según Chollet (2003), pudo tratarse de un modo de nado menos eficiente energéticamente hablando, pero más adaptado a acentuar las fuerzas propulsoras y luchar contra la resistencia al avance, ya que para autores como Kwon y Casebolt (2006), los nadadores constantemente deben interactuar con el agua para producir fuerzas propulsoras que aceleren o mantengan el cuerpo en movimiento. Pero si los nadadores no fueran capaces de reducir al mínimo las fuerzas de arrastre, dicha afirmación carecería de sentido.

5.3. ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL BATIDO SUBACUÁTICO DURANTE EL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO.

Dentro de la fase del movimiento ondulatorio subacuático se analizaron más específicamente los parámetros cinemáticos del batido subacuático, ya que es la fase de la salida con empuje con mayor influencia en el rendimiento en natación (e.g.: Arellano, 2008; Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002, 2003; Cohen, Cleary y Mason, 2012; Hochstein y Blickhan, 2014; Houel et al., 2010, 2013; Maglischo, 2003; Loebbecke et al., 2009a, b, c; Shimojo et al., 2014; Willems et al., 2014).

5.3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA FRECUENCIA, LONGITUD Y VELOCIDAD DEL BATIDO SUBACUÁTICO DURANTE EL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO.

La fase ondulatoria subacuática antes del comienzo de la brazada en diferentes niveles de rendimiento (e.g.: Chow et al., 1984; Miller, Hay y Wilson, 1984; Naemi, Easson y Sanders, 2010; Vantorre et al., 2010b; Veiga et al., 2014a, b; Veiga y Roig, 2016a, b; Zamparo et al., 2012), ha mostrado que el número de batidos realizados a lo largo de esta fase podría estar entre 6 y 12. Sin embargo, en otras investigaciones como las de Connaboy et al. (2010) estarían en 6 ciclos debido a los altos niveles de fiabilidad encontrados por estos autores. Mientras que para Loebbecke et al. (2009a) estuvo entre 4 y 8 de cara a su estudio sobre los parámetros ciclos del batido entre nadadores olímpicos y cetáceos. En nuestro estudio, el número de ciclos estuvo entre $4,53 \pm 1,76$ y $9,49 \pm 2,95$, siendo el estilo de espalda el mayor promedio registro de todos en ambos géneros ($8,89 \pm 2,59$ y $9,49 \pm 2,95$), estando más próximos a los ciclos analizados por Connaboy et al. (2010) y Loebbecke et al. (2009a).

5.3.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LA FRECUENCIA DEL BATIDO SUBACUÁTICO.

La frecuencia del batido subacuático se analizó dentro de la fase del movimiento ondulatorio subacuático, siendo igual entre hombres ($2,18 \pm 0,05$ Hz) pero próxima entre las mujeres para los estilos de crol y mariposa ($2,03 \pm 0,05$ y $2,02 \pm 0,05$ Hz). Sin embargo, para ambos géneros, el estilo de espalda registró los mayores valores

($2,21 \pm 0,05$ y $2,07 \pm 0,05$ Hz). Este rango de datos coincidió con otras investigaciones que han analizado la frecuencia del batido en diferentes posiciones (Alves et al., 2006; Arellano, Pardillo y Gavilán, 2003; Atkison et al., 2013; Connaboy et al., 2007; De Jesús et al., 2012) y género de nado (Gavilán et al., 2002; Loebbecke et al., 2009b, c). Además, en otros estudios que han comparado el nivel de rendimiento (Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002). Nuestros datos sobre la categoría nacional fueron significativamente más altos al de los nadadores internacionales y nacionales de estos autores ($2,14$ y $1,76$ Hz). También, en las investigaciones llevadas a cabo durante los parámetros cíclicos de batido por Loebbecke et al. (2009a), Guillaume et al. (2007) y Willems et al. (2014), estuvieron muy próximos a la frecuencia del estudio ($2,18 \pm 0,34$ Hz; $2,09 \pm 0,31$ Hz; $2,08 \pm 0,40$ Hz), a pesar de las condiciones analizadas (entre ellas el batido con monoaletas y con restricciones articulares). Por el contrario, los valores hallados por Lyttle y Keys (2004) tras analizar el ritmo del batido, fue superiores a la presente investigación ($2,27$ y $2,63$ Hz).

5.3.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LA LONGITUD DEL BATIDO SUBACUÁTICO.

El análisis sobre la longitud del batido fue mayor para los estilos de crol ($0,84 \pm 0,02$ - $0,77 \pm 0,02$ m) y mariposa ($0,82 \pm 0,02$ - $0,78 \pm 0,02$ m), respecto al estilo de espalda ($0,75 \pm 0,02$ - $0,69 \pm 0,01$ m) en ambos géneros. Para Arellano, Pardillo y Gavilán (2002), la longitud del batido no registró diferencias entre los grupos de nadadores analizados ($0,62$ m). En comparación con nuestro estudio, los datos fueron superiores a los hallados por estos autores tras comparar también la categoría nacional. Sin embargo, los estudios de Guillaume et al. (2007), Loebbecke et al. (2009a) y Lyttle y Keys (2004) sobre la longitud del batido ($0,55 \pm 0,10$ m; $0,53 \pm 0,09$ m; $0,54$ - $0,42$ m), fueron inferiores. Mientras que el de Willems et al. (2014), y tras no limitar las articulares del batido ($0,82 \pm 0,21$ m), estuvieron más cercanos a nuestro estudio que cuando si las limitó ($0,69 \pm 0,81$ m).

Con todo ello, tanto para Lyttle y Keys (2004) como Gavilán et al. (2006), una extensa longitud del batido ($0,54$ y $0,76 \pm 0,14$ m) fue mucho más eficaz a velocidades inferiores a $2,4$ m/s, coincidiendo así con los valores de nuestro estudio ($1,41 \pm 0,03$ - $1,81 \pm 0,03$ m/s), a pesar de fueron inferiores a los nuestros. En los estudios de

Hochstein y Blickhan (2014) y Shimojo et al. (2014), un incremento de la longitud debido a un descenso de la frecuencia, ocasionó una mayor fuerza de propulsión durante el batido (Connaboy, Coleman y Sanders, 2009). Por lo tanto, produjo una mayor fuerza resistiva que incrementó el área de la sección transversal (Cohen, Cleary y Mason, 2012) ralentizando la velocidad horizontal. En base a las afirmaciones de estos estudios, las diferencias halladas en la velocidad del batido ($1,66\pm0,03$ y $1,41\pm0,03$ m/s) y en la fase del movimiento ondulatorio subacuático del estilo de espalda, pudieron estar relacionadas con un aumento de la resistencia, lo cual provocó las diferencias halladas entre los nadadores de ambos géneros.

5.3.1.3. CARACTERIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL BATIDO SUBACUÁTICO.

Por último, en cuanto a la velocidad del batido subacuático, los hombres mostraron mayores índices ($1,81\pm0,03$ - $1,66\pm0,03$ m/s) que las mujeres ($1,56\pm0,03$ - $1,41\pm0,03$ m/s) en todos los estilos analizados. Sin embargo, ambos géneros coinciden en que el estilo de espalda fue el más lento de todos ($1,66\pm0,03$ y $1,41\pm0,03$). En los estudios llevados a cabo por Barthels y Adrians (1971) tras analizar la velocidad de dos tipos de batidos ($0,93\pm0,03$ y $1,2\pm0,04$ m/s), estos fueron inferiores a los valores del estudio. Al igual que la velocidad del batido en la categoría nacional (1,15 m/s) de Arellano, Pardillo y Gavilán (2002), tras comprar el nivel de rendimiento de sus nadadores (Internacional vs Nacional). Por el contrario, la velocidad hallada por Lyttle y Keys (2004) tras estudiar el ritmo de dos tipos de batidos (2,13 y 2,16 m/s), fue mayor a los márgenes encontrado en la presente investigación. También, la velocidad del batido mediante el uso de monoaleta en posición ventral ($2,5\pm0,10$ m/s) de Guillaume et al. (2007), fue superior a la de los estilos de crol y mariposa en ambos géneros del estudio. Pero los estudios de Loebbecke et al. (2009a) tras comparar el batido entre nadadores olímpicos y cetáceos ($1,45\pm0,23$ m/s), unidos a los análisis de Arellano, Pardillo y Gavilán (2002) para la categoría internacional (1,61 m/s), junto con las investigaciones de Willems et al. (2014) tras no limitar el movimiento articulares del batido ($1,64\pm0,20$ vs $1,32\pm0,21$ m/s), estuvieron próximas a nuestra velocidad.

5.3.2. INFLUENCIA DEL GÉNERO, EL ESTILO Y LA INTERACCIÓN ENTRE AMBOS DURANTE EL BATIDO SUBACUÁTICO EN EL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO.

Los datos del estudio revelaron que las diferencias técnicas en el batido subacuático son pequeñas en función del estilo ($\eta^2= 0,12$) y medias en cuanto al género ($\eta^2= 0,39$).

5.3.2.1. INFLUENCIA DEL GÉNERO DURANTE EL BATIDO SUBACUÁTICO.

Las comparaciones entre género de los parámetros cíclicos del batido subacuático indicaron diferencias considerables en la velocidad ($\eta^2= 0,37$) pero no así en la frecuencia ($\eta^2= 0,06$) o longitud del batido ($\eta^2= 0,09$). Los hombres alcanzaron mayores valores de velocidad ($1,74\pm 0,02$ vs $1,5\pm 0,02$ m/s), frecuencia ($2,19\pm 0,03$ vs $2,04\pm 0,03$ Hz) y longitud del batido ($0,80\pm 0,01$ vs $0,74\pm 0,01$ m) que sus iguales. Este dato, coincide con otros estudios hallados en la literatura (Loebbecke et al., 2009a) que analizaron y compararon el batido de hombres ($1,5$ m/s; $2,25$ Hz; $0,56$ m) y mujeres ($1,38$ m/s; $2,08$ Hz; $0,49$ m) de categoría olímpica con los cetáceos entre 4 y 8 ciclos. Los valores de nuestro estudio, presentaron mayores diferencias durante la velocidad ($0,24$ y $0,12$ m/s) y la longitud del batido ($0,24$ y $0,25$ m) que Loebbecke et al. (2009a). En cambio, la frecuencia del batido ($0,06$ y $0,02$ Hz) presentó diferencias con respecto a la nuestra. Por lo tanto, una de las diferencias pudo estar marcadas por el límite de batido, ya que no se analizó a lo largo de la fase del movimiento ondulatorio subacuático como en nuestro estudio. Y también, por el nivel de rendimiento de los nadadores (Olímpico vs Nacional) y la mayor fuerza explosiva de las piernas (West et al., 2011), a pesar de la variedad mostrada por ambas categorías y el objeto de la investigación (Nadadores vs Cetáceos).

5.3.2.2. INFLUENCIA DEL ESTILO DE NADO DURANTE EL BATIDO SUBACUÁTICO.

Las comparaciones entre estilos para de los parámetros cíclicos del batido subacuático, solo presentaron pequeñas diferencias tanto la velocidad ($\eta^2= 0,15$) como longitud del batido ($\eta^2= 0,14$).

5.3.2.2.1. DIFERENCIAS EN LA VELOCIDAD DEL BATIDO SUBACUÁTICO EN FUNCIÓN DEL ESTILO.

Los estilos de crol y mariposa presentaron mayor velocidad del batido ($1,68\pm0,02$ y $1,66\pm0,02$ m/s) que el estilo de espalda ($1,53\pm0,02$ m/s), siendo la diferencia de ambos respecto a espalda de 0,15 y 13 m/s. En relación con los estudios de Alves et al. (2006), el batido en posición ventral mostró mayores valores que el batido dorsal ($1,46\pm0,15$ vs $1,42\pm0,21$ m/s), coincidiendo así con la diferencia de velocidad encontrada entre los estilos del estudio. Opuestamente, la velocidad del batido de crol y mariposa mostraron una mayor diferencia (0,22 y 0,20 m/s) respecto al batido en posición ventral. Además, el batido de espalda, fue 0,11 m/s más rápido que el batido en posición dorsal. Con todo ello, la principal diferencia pudo deberse a que estos autores analizaron el batido a lo largo de dos ciclos completos y no durante el desarrollo de la fase del movimiento ondulatorio subacuático, a pesar de ser la misma categoría de nado (Nacional). Aun así, otros autores señalan que la asimetría articular anterior-posterior durante el batido (Loebbecke et al., 2009a), junto con la falta de flexibilidad en los movimientos simétricos del pie (Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002; Loebbecke et al., 2009c; Ungerechts, Daly y Zhu, 1998), podría generar cambios en el impulso y en la estela durante el recorrido. Todo ello, produciría incrementando la flexión de rodilla, y, por consiguiente, un descenso significativo del rendimiento del batido (Willems et al., 2014) que podría afectar al estilo o posición subacuática adoptada por el nadador.

En otros estudios que solo se han centrado en la posición ventral del batido, Connaboy et al. (2007a) tras comparar el nado humano con el animal, mostraron menos velocidad del batido ($1,24\pm0,47$ m/s) que en nuestra investigación. Los estilos de crol y mariposa presentaron mayores diferencias de velocidad (0,44 y 0,42 m/s),

ya que no diferenciaron entre estilos como nosotros, siendo el nivel de rendimiento de categoría universitario y no nacional con el estudio. En esta misma línea, otro de los estudios de Connaboy et al. (2016) también indicó una velocidad inferior ($1,20 \pm 0,13$ m/s) en nadador nacionales tras analizar un total de 6 ciclos (2 por cada tres ensayo), siendo la diferencia de 0,48 y 0,46 m/s respecto al estudio. Pero llegaron a la conclusión que factores como la velocidad angular máxima de la rodilla y el tobillo, junto con el rango de movimiento de la rodilla, influyeron en la velocidad, a pesar de los nadadores utilizaron diferentes técnicas tras intentar maximizar la velocidad.

También, en las investigaciones de Arellano, Pardillo y Gavilán (2002, 2003) en posición ventral, la velocidad en las categorías internacionales (1,61 m/s) y nacionales (1,15 m/s), fueron inferiores a nuestro estudio. Las diferencias de nuestros nadadores fueron mayores con la categoría nacional (0,53 y 0,51 m/s) que internacional comparadas (0,07 y 0,05 m/s). Incluso, el análisis del batido de estos autores se realizó durante un solo ciclo completo, a diferencia del nuestro que fue a lo largo de la fase del movimiento ondulatorio subacuático. En cambio, los estudios de Atkison et al (2013) y Shimojo et al. (2014) sí mostraron valores que estuvieron más próximos a la investigación ($1,64 \pm 0,15$ y $1,60 \pm 0,12$ m/s), siendo mínimas las diferencias con los estilos analizados (0,04 y 0,02 m/s, junto con 0,08 y 0,06 m/s), tras estudiar el batido durante 1 y 3 ciclos completos en nadadores de diferente categoría (Universitario, Local y Nacional).

Por el contrario, el menor índice del batido de espalda del estudio ($1,53 \pm 0,02$ m/s) fue superior a la velocidad mostrada por De Jesús et al. (2012) al comparar dos tipos de salida de espalda durante 12 ciclos del batido. Sin embargo, estos autores no encontraron diferencias significativas entre los cuatro ciclos iniciales ($1,47 \pm 0,11$ y $1,44 \pm 0,04$ m/s) y finales ($1,28 \pm 0,07$ y $1,30 \pm 0,04$ m/s), a pesar de que disminuyó la velocidad media y la aceleración horizontal en los nadadores de alto nivel. Por consiguiente, y en base a los estudios de Alves et al. (2006) y Lyttle y Keys (2004, 2006), la posición ventral presentó menor oscilaciones verticales que en posición dorsal, al igual que en nuestro estudio. También, pudo haber una falta de equilibrio entre la longitud del batido y frecuencia, al igual que en los estudios de estos autores.

Pero un descenso de la longitud con un aumento de la frecuencia, parecía la mejor manera de aumentar la velocidad del nadador.

5.3.2.2.2. DIFERENCIAS EN LA FRECUENCIA DEL BATIDO SUBACUÁTICO EN FUNCIÓN DEL ESTILO.

El análisis de la frecuencia del batido subacuático no mostró diferencias, siendo mayor el valor del estilo de espalda ($2,14 \pm 0,04$ Hz) y parecidos entre crol y mariposa ($2,11 \pm 0,04$ y $2,10 \pm 0,04$ Hz). En comparación con los estudios de Alves et al. (2006), la frecuencia del batido en posición ventral fue mayor que el dorsal, lo cual difiere de nuestro estudio junto con el de otros investigadores (Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002, 2003; Connaboy et al., 2007a). El batido de delfín en posición dorsal ($2,30 \pm 0,33$ Hz) presentó una mayor diferencia en comparación con el estilo de espalda del estudio (0,16 Hz). También, el desarrollo del batido en posición ventral ($2,35 \pm 0,27$ Hz), que podríamos compararlo con los estilos de crol y mariposa del estudio, presentó mayores diferencias (0,24 y 0,25 Hz) siendo iguales las categorías analizadas (Nacional). Pero según afirmaron Alves et al. (2006) y Maglischo (2003), una menor frecuencia podría dar como resultado un patrón de movimiento menos eficiente.

En otros estudios que han analizado el batido subacuático ventral (Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002, 2003; Atkison et al., 2013; Connaboy et al., 2007a; Connaboy et al., 2016). Los valores estuvieron muy próximos a las velocidades de los estilos de crol y mariposa del estudio, siendo mínimas las diferencias entre ellos ($<0,04$ Hz). Incluso, fueron idénticos a los valores del estudio (Atkison et al., 2013; Connaboy et al., 2007a) a pesar de la diferencia de categoría (Universitario vs Nacional). Por el contrario, en los estudios de Houel et al. (2013) y Shimojo et al. (2014), fueron mayores las frecuencias de estos autores frente al estudio ($2,32 \pm 0,21$ y $2,26 \pm 0,16$ Hz), con una diferencia de 0,21 y 0,22 Hz, junto con 0,15 y 0,16 Hz. Mientras que la frecuencia de los nadadores del estudio de Arellano, Pardillo y Gavilán (2002, 2003), fue inferior al estudio (1,76 Hz vs 2,11 y 2,10 Hz) con una diferencia más alta (0,35 y 0,34 Hz) para la misma categoría de nado durante un ciclo completo (Nacional). Pero según las opiniones de Martin, Sanderson y Umberger (2000), la frecuencia del

batido, junto con la longitud, son elegidas de forma natural por el nadador para equilibrar la fuerza de propulsión y disminuir la de resistencia. Lo cual pudo ser un factor determinante vista la variedad de los datos.

5.3.2.2.3. DIFERENCIAS EN LA LONGITUD DEL BATIDO SUBACUÁTICO EN FUNCIÓN DEL ESTILO.

Los estilos de crol y mariposa presentaron la misma longitud del batido ($0,80 \pm 0,01$ m) y fueron superiores a la encontrada en el estilo de espalda ($0,72 \pm 0,01$ m), siendo la diferencia de 0,08 m. Estos datos, difieren de los hallados por Alves et al. (2006), ya que la longitud del batido en posición dorsal ($0,55 \pm 0,08$ m) fue más prolongada (0,05 m) que el desarrollo del batido en posición ventral ($0,50 \pm 0,06$ m), a pesar de ser inferiores al estudio. Con ello, las diferencias de crol y mariposa respecto al batido ventral fueron de 0,30 m. Mientras que la del estilo de espalda fue de 0,17 m frente al batido ventral. Por tanto, y como ya se indicó anteriormente, la principal causa pudo deberse al límite de batidos (2 ciclos), siendo iguales el nivel de rendimiento estudiados (Nacional).

En otros estudios sobre el batido en posición ventral, la longitud mostrada por Arellano, Pardillo y Gavilán (2002, 2003) en categoría internacional y nacional (0,62 m), fue inferior a la nuestra. Los estudios de Atkison et al. (2013) para nadadores universitarios y locales ($0,55 \pm 0,07$ m), junto con la de Connaboy et al. (2016) con nadadores nacionales ($0,57 \pm 0,07$ m) también fueron inferiores a nuestros datos. La diferencia con estos estudios fue de un promedio de 0,22 m. Por el contrario, otras investigaciones (Houel et al.; 2013; Shimojo et al., 2014), sí estuvieron más cercanos a los datos de longitud del nuestro estudio ya que también analizaron nadadores de categoría nacional ($0,70 \pm 0,06$ y $0,71 \pm 0,06$ m), aunque las diferencias fueran más pequeñas (0,09 y 0,10 m) respecto a las anteriores investigaciones.

Ahora bien, los menores valores para el batido de espalda fueron superiores a la longitud del batido tras comparar dos tipos de salida de espalda entre los cuatro ciclos iniciales ($0,61 \pm 0,07$ y $0,6 \pm 0,06$ m) y finales ($0,55 \pm 0,05$ y $0,55 \pm 0,07$ m) en nadadores de alto nivel (De Jesús et al., 2012). No obstante, no se pueden comparar

con los valores del estudio debido a la limitación de los ciclos. Pero diferentes autores que han estudiado como afectan los movimientos descendentes y ascendentes sobre el batido subacuático (Arellano, Pardillo y Gavilán, 2002; Cohen, Cleary y Mason, 2012; Gavilán et al., 2002; Loebbecke et al., 2009a, b, c; Maglischo, 2003; Mittal et al., 2006), podrían poner de manifiesto una característica importante que influiría sobre al batido en función de su orientación.

5.3.2.2.4. DIFERENCIAS DEL BATIDO SUBACUÁTICO EN FUNCIÓN DEL ESTILO.

El estilo de espalda fue el que mayor número de ciclos mostró ($8,89 \pm 2,59$ y $9,49 \pm 2,95$) frente a los estilos de mariposa ($5,52 \pm 1,48$ y $5,27 \pm 1,62$) y crol ($4,53 \pm 1,76$ y $5,08 \pm 2,1$) en ambos géneros. Nuestros datos, fueron superiores a los hallados por Clothier et al. (2000a) tras analizar el batido de delfín ($2,46 \pm 1,07$). Este mayor promedio del estilo de espalda podría guardar relación con los estudios de Alves et al. (2006) tras analizar la cinemática del batido de delfín en tres posiciones. En dicho estudio, se observó una mayor extensión del tobillo durante la ejecución del batido dorsal (n° de Strouhal= $0,95 \pm 1,31$), lo cual que pudo incrementar la resistencia, y, por consiguiente, el tiempo de espalda durante la fase del movimiento ondulatorio subacuático (32%), en comparación con los estilos de crol (26%) y mariposa (27%) analizados. Además, guardaría relación con el menor promedio de los estilos de crol y mariposa, junto con las opiniones de Arellano (1999) y Clothier et al. (2000a) sobre los beneficios y mejoras de la técnica ondulatoria subacuática de espalda en las competiciones oficiales.

En base a los anteriores apartados, pudo haber un descenso de la frecuencia y velocidad del batido que consecuentemente afectaría a la aceleración horizontal, según lo demuestran las diferencias entre los estilos y los hallazgos encontrados por De Jesús et al. (2012) para el estilo de espalda. Por otro lado, las acciones realizadas en la fase del deslizamiento subacuático unidas a los menores valores de tiempo y distancia hallados, pudieron compensarse con un prolongado movimiento ondulatorio subacuático debido a los beneficios del nado subacuático (Counsilman, 1968; Hertel, 1966; Santos et al., 2011; Toussaint y Truijens, 2005; Vennell, Pease y Wilson, 2006). Nuevamente, el batido de espalda pudo estar marcado por su difícil

control postural, unida con los movimientos propulsores y ascendentes del batido (Cohen, Cleary y Mason, 2012; Hochstein y Blickhan, 2011; Mittal et al., 2006; Miwa et al., 2006; Loebbecke et al., 2009b, c), que para dicho estilo fue invertido respecto a crol y mariposa, pudiendo alterar la alineación horizontal y lateral del cuerpo (Maglischo, 2003).

5.3.2.3. INFLUENCIA DEL GÉNERO Y DEL ESTILO DE NADO DURANTE EL BATIDO SUBACUÁTICO EN EL MOVIMIENTO ONDULATORIO SUBACUÁTICO.

Por último, en la interacción entre el género y el estilo de nado no se encontraron diferencias significativas entre los parámetros ciclos del batido subacuático.

5.3.2.3.1. DIFERENCIAS EN LA VELOCIDAD DEL BATIDO SUBACUÁTICO ENTRE GÉNERO Y ESTILO.

La velocidad del batido de espalda ($1,66 \pm 0,03$ y $1,41 \pm 0,03$ m/s) tanto en hombres como en mujeres fue inferior frente a los estilos de crol ($1,81 \pm 0,03$ y $1,55 \pm 0,03$ m/s) y mariposa ($1,77 \pm 0,03$ y $1,56 \pm 0,03$ m/s). En las investigaciones llevadas a cabo por Loebbecke et al. (2009b) para la posición dorsal, mostraron que la velocidad de los hombres (1,18 y 1,31 m/s) fue mayor al de las mujeres (0,95 y 0,97 m/s). Este dato, coincide con el presente estudio durante el desarrollo del batido de espalda siendo mayores nuestras diferencias entre géneros (0,48 y 0,1 m/s). En otros estudios sobre el análisis del batido en posición ventral a través de un modelo geométrico estático con dos nadadores olímpicos (Loebbecke et al., 2009c). Nuevamente la velocidad entre géneros para dicha posición del batido fue mayor en el hombre que en la mujer (1,31 vs 0,95 m/s). Comparado con los estilos de crol (0,50 y 0,46 m/s) y mariposa (0,60 y 0,61 m/s) del estudio fueron inferiores en ambos géneros. Sin embargo, los datos mostrados por estos autores se llevaron a cabo con muestras muy pequeñas de nadadores ($n = 3$ y 2), junto con un nivel de rendimiento mayor al del estudio (Olímpico vs Nacional).

5.3.2.3.2. DIFERENCIAS EN LA FRECUENCIA DEL BATIDO SUBACUÁTICO ENTRE GÉNERO Y ESTILO.

Tanto en hombres como en mujeres, espalda fue el estilo que mayor frecuencia de batido registró ($2,21 \pm 0,05$ y $2,07 \pm 0,05$ Hz) en comparación con crol y mariposa ($2,18 \pm 0,05$ Hz) siendo iguales en los hombres, mientras que en las mujeres estuvo muy próximo ($2,03 \pm 0,05$ y $2,02 \pm 0,05$ Hz) aunque fueran inferiores. En las investigaciones de Loebbecke et al. (2009b) para la posición dorsal, una de las tres mujeres analizadas presentó mayor frecuencia (2,63 Hz) que uno de los dos hombres analizados (1,92 Hz) por estos autores. En comparación con nuestro estudio, la frecuencia del batido de espalda en ambos géneros se halló entre los valores registrados por estos autores (1,92 y 2,38 Hz). Una de las tres mujeres analizadas presentó mayor frecuencia (2,63 Hz) que uno de los dos hombres analizados (1,92 Hz). Sin embargo, la muestra de dicho estudio fue muy reducida ($n= 5$) en comparación con la nuestra, así como la categoría analizada (Olímpica vs Nacional). En esta misma línea, los estudios de Gavilán et al. (2002) tras el despegue de la pared mostraron que la categoría internacional de las mujeres también tuvo mayor frecuencia del batido que sus iguales (2,08 vs 1,72 Hz). Dichos datos, fueron superior a los datos de las mujeres del estudio para crol (2,03 Hz) y mariposa (2,02 Hz) pero no para los hombres (2,18 vs 1,71 Hz). Por el contrario, en otros estudios sobre el análisis del batido en posición ventral (Loebbecke et al., 2009c), los hombres de categoría olímpica a través de un modelo geométrico estático presentaron una mayor frecuencia que las mujeres (2,38 vs 1,81 Hz). Nuestros datos, fueron inferiores a la frecuencia indicada por los hombres con una diferencia de 0,20 Hz respecto a crol y mariposa. En cambio, las mujeres de estos autores tuvieron menos frecuencia frente al estudio, siendo mayor la diferencia (0,22 y 0,21 Hz) en los estilos de crol y mariposa, frente a los hombres. Pero las diferencias con nuestro estudio se debieron principalmente a las categorías analizadas (Olímpico, Internacional y Nacional).

5.3.2.3.3. DIFERENCIAS EN LA LONGITUD DEL BATIDO SUBACUÁTICO ENTRE GÉNERO Y ESTILO.

Los datos sobre la longitud del batido ($0,75 \pm 0,02$ y $0,69 \pm 0,01$ m) también fueron menores en espalda, respecto a crol ($0,84 \pm 0,02$ y $0,77 \pm 0,02$ m) y mariposa ($0,82 \pm 0,02$ y $0,78 \pm 0,02$ m) del estudio. Sin embargo, la mayor longitud del hombre frente a las mujeres difiere de otras investigaciones que han analizado el batido en posición dorsal y ventral (Gavilán et al., 2002; Loebbecke et al., 2009b, c). En los estudios de Loebbecke et al. (2009b) para la posición dorsal, una de las tres mujeres analizadas presentó mayor longitud (0,64 m) que uno de los dos hombres analizados (0,58 m). Solo un hombre y un mujer de dicho estudio (0,75 y 0,64 m) estuvieron muy próximos a los valores hallados en el estilo de espalda, siendo iguales la longitud de los hombres y parecida las de las mujeres (0,05 m). Sin embargo, la muestra de dicho estudio fue muy reducida en comparación con la nuestra ($n= 5$ vs $n= 74$), así como la categoría analizada (Olímpica vs Nacional). Pero estos autores encontraron una mayor resistencia activa durante el batido en el pecho, el abdomen y las caderas, lo cual pudo ser una diferencia entre de la orientación del estilo durante el batido.

Para el batido en posición ventral (Loebbecke et al., 2009c), las mujeres de categoría olímpica a través de un modelo geométrico estático presentaron una mayor longitud (0,64 m) que los hombres (0,58 m), siendo la muestra de los datos de dos nadadores. Si comparamos dicha investigación con los estilos de crol y mariposa del estudio, junto con el mismo desarrollo del batido. La longitud del batido nuestros datos, en cambio, fue mayor en ambos géneros (0,84 y 0,82 m vs 0,77 y 0,78 m) a los mostrados por dicho estudio. En los estudios de Gavilán et al. (2002), la categoría internacional de las mujeres también tuvo mayor longitud del batido que sus iguales (0,82 vs 0,75 m). Dichos datos, fueron superior a los datos del estudio para crol (0,77 m) y mariposa (0,78 m) en las mujeres, pero no en los hombres (0,84 m, junto con 0,82 m). Pero según las investigaciones de Gavilán et al. (2002) la capacidad y potencia de piernas (Connaboy et al., 2007a; Loebbecke et al., 2009a) pudieron modificar determinados parámetros ciclos del batido, visto los anteriores estudios.

6. CONCLUSIONES.

6.1. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO.

El estudio cinemático de la salida con empuje en nadadores competitivos de nivel nacional, ha revelado las siguientes conclusiones de acuerdo a los distintos objetivos planteados.

En relación a la caracterización de las fases que integran la salida con empuje, las siguientes conclusiones extraídas son:

- La fase del movimiento ondulatorio subacuático es la que tiene mayor tiempo y espacio, siendo la fase más influyente en la salida con empuje.
- La fase del deslizamiento y el movimiento ondulatorio subacuático son las fases más rápidas en la salida con empuje.
- La fase de transición al nado es la fase más lenta, siendo una fase poco influyente en la salida con empuje.

En cuanto a la influencia del género en las diferentes fases de la salida con empuje, las conclusiones obtenidas son:

- Los nadadores recorren mayor distancia y en menos tiempo (con mayor velocidad) que las nadadoras en el deslizamiento, el movimiento ondulatorio subacuático y la transición al nado de la salida con empuje.
- Los nadadores y nadadoras emplean tiempos similares durante la fase deslizamiento y transición de la salida con empuje.

En esta misma línea, y en relación a la influencia del estilo de nado en las diferentes fases de la salida con empuje, las conclusiones son:

- Los parámetros cinemáticos de la salida con empuje no muestran diferencias entre los estilos de crol y mariposa.

Conclusiones.

- La salida con empuje (además de sus fases de movimiento ondulatorio subacuático y transición) en nadadores de nivel nacional es más rápida en los estilos de crol y mariposa que en el estilo espalda. Sin embargo, la distancia recorrida es mayor en el estilo espalda.
- En la fase de deslizamiento, la distancia recorrida por nadadores de nivel nacional es mayor en los estilos de crol y mariposa. Sin embargo, en la fase de movimiento ondulatorio subacuático la distancia recorrida es mayor en el estilo espalda.

Y por último, en cuanto a la influencia del género y el estilo de nado durante del batido subacuático en el movimiento ondulatorio subacuático, las conclusiones obtenidas son:

- Los nadadores de nivel nacional obtienen mayores velocidades durante el batido en el movimiento ondulatorio subacuático y muestran mayores frecuencias y longitudes de ciclo que las nadadoras.
- A pesar de que la velocidad alcanzada con el batido en el movimiento ondulatorio subacuático es mayor en los estilos de crol y mariposa, no se han encontrado diferencias significativas entre estilos en los parámetros cinemáticos del movimiento ondulatorio subacuático.

Finalmente, a la vista de las conclusiones obtenidas se deben aceptar las hipótesis:

- Los nadadores obtienen mayor distancia y velocidad que las mujeres en cada una de las fases que integran la salida con empuje.
- Los nadadores realizan el movimiento ondulatorio subacuático con una frecuencia del batido similar pero con una longitud y velocidad mayor que las nadadoras.

Conclusiones.

- La frecuencia, longitud y velocidad media del batido durante el movimiento ondulatorio subacuático en los estilos crol y mariposa (posición ventral) son mayores que en el estilo espalda (posición dorsal).

Por el contrario, se deben de rechazar las hipótesis:

- Además de la fase de movimiento ondulatorio subacuático, las fases de deslizamiento y transición también están relacionadas con el rendimiento en la salida con empuje.
- La duración, distancia y velocidad en las diferentes fases de la salida con empuje es mayor en el estilo espalda que en los estilos de crol y mariposa.

6.2. FUTURAS INVESTIGACIONES.

A continuación, se exponen algunas de las posibles futuras líneas de investigación, que se derivan del estudio realizado y que podrían significar un importante avance en el conocimiento del nado subacuático:

- Determinar que influencia tiene las variables angulares del batido durante la fase del movimiento ondulatorio subacuático y compararlas tras la salida, el viraje, e incluso, la salida con empuje.
- Analizar cómo afectaría la profundidad subacuática de los nadadores tras el empuje de la pared hasta la emersión a la superficie en función de los estilos de nado.
- Compararlas velocidades instantáneas de los nadadores tras la salida, el viraje y la salida con empuje en diferentes estilos y categorías.
- Analizar la aplicación de fuerza tras la salida con empuje en función del género y el estilo de nado, mediante entrenamientos de fuerza (Tor, Pease y Ball, 2014; Willems et al., 2014).
- Examinar como los aspectos coordinativos del batido subacuático influyen en la transición hacia la superficie, según la escasez de datos (García y Veiga, 2015).

6.3. LIMITACIONES DEL ESTUDIO.

En cuanto a las limitaciones encontradas durante la investigación:

- No se tuvo en cuenta la especialidad del nadador en cuanto a su estilo y/o distancia de competición.
- No se tuvo en cuenta la profundidad de buceo de los nadadores durante el estudio.
- No se analizaron las variables angulares del batido durante la fase del movimiento ondulatorio subacuático.

6.4. APLICACIONES PRÁCTICAS.

La mayor utilidad de la presente investigación es caracterizar las distancias individualizadas de nadadores de competición en su salida con empuje. Dichas distancias se han caracterizado en los últimos años en competición para nadadores de diferente nivel competitivo y se ha demostrado que pequeños cambios en las distancias de salida y viraje, provocan cambios importantes en el tiempo de prueba. Esto es debido a que la velocidad por debajo de la superficie es mayor que en superficie.

Por tanto, resulta clave para el entrenador saber cómo se comportan los nadadores de nivel competitivo en la salida que realizan durante el entrenamiento diario, pues pequeños cambios en la distancia también pueden provocar cambios de rendimiento importantes. Por lo tanto, los datos del presente estudio permiten al entrenador saber cuáles son las diferencias entre la distancia de entrenamiento y la de competición. De este modo, le permite tener una idea más concreta de la relación entre los tiempos con salida desde el poyete y los tiempos con salida desde el empuje. Por ello, resulta importante cuando el nadador realiza series a diferentes intensidades (sobre todo a intensidades altas) en el entrenamiento.

Conclusiones.

Otra de sus aplicaciones también se puede extrapolar a los parámetros del batido subacuático durante el nado ondulatorio y su diferencia entre la competición y el entrenamiento diario. Además, los resultados del presente estudio resaltan la importancia del trabajo sobre el control postural para que los nadadores de espalda durante la salida en posición dorsal, ya que mantener una posición alineada permite mantener la velocidad durante la fase de deslizamiento.

7. BIBLIOGRAFÍA

7. 1. BIBLIOGRAFÍA.

- Abdel-Aziz, Y. I. y 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.
- Alves, F., Lopes, P., Veloso, A. y Martins-Silva, A. (2006). Influence of body position on dolphin kick kinematics. In *XXIV international society of sports biomechanics symposium, conference proceedings*. Salzburg, Austria.
- Allard, P., Blanchi, J. P. y Aissaoui, R. (1995). Bases of three-dimensional reconstruction. In, allard, P. (ed.) y col., three-dimensional analysis of human movement, champaign, ill., *human kinetics publishers*, 1995, p. 19-40. United States.
- Anguera, M. T. (1988). *Observación en la escuela*. Barcelona: Graó.
- Anguera, M.T. (1990). *Metodología observacional*. En J. Arnau, M. T. Anguera y J. Gómez (Eds.), *Metodología de la investigación en Ciencias del Comportamiento* (pp. 125-236). Murcia: Secretariado de Publicaciones. Universidad de Murcia.
- Anguera, M. T. (2003). Diseños observacionales en la actividad física y el deporte: estructura, alcance y nuevas perspectivas. En A. Oña y A. Bilbao (Eds.), *Libro de Ponencias del II Congreso Mundial de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Deporte y calidad de vida* (pp.253-282). Granada: Editores.
- Anguera, M. T., Blanco, A., Losada, J. y Hernández, A. (2000). La metodología observacional en el deporte: conceptos básicos. *Lecturas: Educación Física y Deportes*, 24. (En línea) <http://www.efdeportes.com/efd24b/obs.htm>. (21-05-2004).

- Arellano, R. (1999). Vortices and propulsion. In R. Sanders y J. Linsten (Eds.), *Swimming: Applied Proceedings of the XVII International Symposium on Biomechanics in Sports Vol. 1* (pp. 53-66). Perth, Western Australia: School of Biomechanics and Sports Science.
- Arellano, R. (2008). Hydrodynamics of Swimming Propulsion. In M. Sidney, F. Potdevin y P. Pelayo (Eds.), *4èmes Journées Spécialisées de Natation* (Vol. 1, pp. 21-35). Lille: Faculté des Sciences du Sport et de l'Eduation Physique.
- Arellano, R., Brown, P., Cappaert, J. y Nelson, R. (1994). Analysis of 50-, 100-, and 200-m freestyle swimmers at the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 189–199.
- Arellano, R., Pardillo, S. y Gavilan, A. (2002). Underwater undulatory swimming: Kinematic characteristics, vortex generation and application during the start, turn and swimming strokes. In K. E. Gianikellis (Ed.), *Proceedings of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports*. Caceras, Spain: Universidad de Extremadura.
- Arellano, R., Pardillo, S. y Gavilán, A. (2003). Usefulness of the Strouhal number inevaluating human underwater undulatory swimming. In J. C. Chatard (Ed.), *Proceedings of the IX international symposium on biomechanics and medicine in swimming* (pp. 33–38). France: University of Saint-Etienne.
- Atkison, R., Dickey, J., Dragunas, A., y Nolte, V. (2013). Importance of sagital kick symmetry for underwater dolphin kick performance. *Human Movement Science*, 33, 298-311.
- Atkinson, G. y Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217-238.
- Babbie, E. (2000). *Fundamentos de la investigación social*. Mexico: Thomson.

- Ball, K. A. y Pierrynowski, M. R. (1988). Comparison of three dimensional body segment kinematic techniques. In, cotton, C.E. (ed.) y col., *proceedings of the fifth biennial conference and human locomotion symposium of the canadian society for biomechanics*, london, ont., spodym publishers, c. 1988, p. 38-39. Canada.
- Barthels, K. M. y Adrian, M. J. (1971). Variability in the dolphin kick under four conditions. In L. Lewillie, and J. P. Clarys (Eds.), *First international symposium on biomechanics in swimming, water-polo and diving* (pp. 105–118). Bruxelles: Universite libre de Bruxelles.
- Bartlett, R. (1997). *Introduction to sports biomechanics*. London: Spon Press.
- Barbosa, T. M., Keskinen, K. y Vilas-Boas, J. P. (2006). Factores biomecânicos e bioenergéticos limitativos do rendimento em natação pura desportiva. *Motricidade*, 2(4), 201-213.
- Benjanuvatra, N., Blanksby, B. A. y Elliott, B. C. (2001). Morphology and hydrodynamic resistance in young swimmers. *Paediatric Exercise Science*, 13(3), 246-255.
- Bisquerra, R. (2000). *Educación emocional y bienestar*. Barcelona: Praxis.
- Blanco-Villaseñor, A. (1993). Fiabilidad, precisión, validez y generalización de los diseños observacionales. En M. T. Anguera (Ed.), *Metodología observacional en la investigación psicológica* (Vol 2: Fundamentación, pp. 151-261). Barcelona: PPU.
- Blanco-Villaseñor, A. y Anguera, M. T. (2000). *Evaluación de la calidad en el registro del comportamiento: Aplicación a deportes de equipo*. En E. Oñate, F. García Sicilia y L. Ramallo (Eds.), *Métodos Numéricos en Ciencias Sociales* (pp. 30-48). Barcelona: CIMNE.

- Blanco-Villaseñor, A. y Anguera, M. T. (2003). *Calidad de los datos registrados en el ámbito deportivo*. En A. Hernández-Mendo, Psicología del Deporte (Vol. II): Metodología (pp. 35-73). Buenos Aires: Efdeportes.com.
- Blanksby, B. A., Gathercole, D. G. y Marshall, R. N. (1996). Force plate and video analysis of the tumble turn by age-group swimmers. *Journal of Swimming Research, 11*, 40-45.
- Boitel, G., Vercruyssen, F., Alberty, M., Nesi, X., Bourdon, L. y Brisswalter, J. (2010). Kick frequency affects the energy cost of aquatic locomotion in elite monofin swimmers. *European Journal of Applied Physiology, 109*(6), 1087–1093.
- Burkett, B., Mellifont, R. y Mason, B. (2010). The influence of swimming start components for selected Olympic and paralympic swimmers. *Journal of Applied Biomechanics, 2*, 134-141.
- Cala, A., Veiga, S. y Navarro, E. (2007). El apoyo biomecánico al entrenamiento puede contribuir a la mejora del rendimiento en natación. *NSW, Vº* (XXVII), nº 4, 7-12.
- Cala, A., Veiga, S., García, A. y Navarro, E. (2009). Previous cycling does not affect running efficiency during a triathlon world cup competition. *Journal of Sport Medicine and Physical Fitness, 49*, 152-159.
- Challis, J. H. (1995). A multiphase calibration procedure for the direct linear transformation. *Journal of Applied Biomechanics, 11*(3), 351.
- Challis, J. H. (1998). An investigation of the influence of bi-lateral deficit on human jumping. *Human Movement Science, 17*(3), 307.
- Challis, J. H. y Kerwin, D. G. (1992). Accuracy assessment and control point configuration when using the DLT for photogrammetry. *Journal of Biomechanics, 25*(9), 1053-1058.

- Chatard, J. C., Girolld, S., Caudal, N., Cossor, J. y Mason, B. (2003). Analysis of the 200m events in the sydney olympic games. In Chatard, J. C. (ed.) *Biomechanics and Medicine in Swimming*, 9, 261-264.
- Chatard, J. C., Lavoie, J. M., Bourgoïn, B. y Lacour, J. R. (1990). The contribution of passive drag as a determinant of swimming performance. *International Journal of Sports Medicine*, 11(5), 367-372.
- Chatard, J. C. y Wilson, B. (2008). Effect of fastskin suits on performance, drag and energy cost of swimming. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 40, 1149-1154.
- Chollet, D. (2003). *Natación deportiva*. Barcelona: INDE Publicaciones.
- Chollet, D., Carter, M. y Seifert, L. (2006). Effect of technical mistakes on arm coordination in backstroke. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 30-32.
- Chollet, D., Charlies, S. y Chatard, J. (2000). A New Index of Coordination fo the Crawl: Description and Usefulness. *International Journal of Sports Medicine*, 54-59.
- Chollet, D., Seifert, L. y Carter, M. (2008). Arm coordination in elite backstroke swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 675-682.
- Chow, J. W., Hay, J. G., Wilson, B. D. y Imel, C. (1984). Turning technique of elite swimmers. *Journal of Sport Sciences*, 2, 241-255.
- Clarys, J. P. (1978). Relationship of human body form to passive and active hydrodynamic drag. In E. Asmussen y K. Jorgenson (Eds.), *Biomechanics VI-B* (pp. 120-125). Baltimore: University Park Press.
- Clarys, J. P. (1979). Human morphology and hydrodynamics. In J. Terauds y E. W. Bedingfield (Eds.), *Swimming III* (pp. 3-41). Baltimore: University Park Press.

- Clarys, J. P., Jiskoot, J., Rijken, H. y Brouwer, P. J. (1974). Total resistance in water and its relation to body form. In R. C. Nelson y C. A. Morehouse (Eds.), *Biomechanics IV* (pp. 187-196). Baltimore: University Park Press.
- Clauser, J. F. (1969). *Measurement of the Cosmic Microwave Background by Optical Observations of Interstellar Molecules*. PhD. Thesis. Columbia University.
- Clothier, P. J., McElroy, G. K., Blanksby, B. A. y Payne, W. (2000a). A comparison and analysis of traditional and modified freestyle tumble turns by age-group swimmers. *Journal of Human Movement Studies*, 38(2), 93-108.
- Clothier, P. J., Mcelroy, G. K., Blanksby, B. A. y Payne, W. R. (2000b). Traditional and modified exits following freestyle tumble turns by skilled swimmers. *South African Journal for Research In Sport Physical Education and Recreation*, 22, 41-55.
- Cohen, R. C., Cleary, P. W. y Mason, B. R. (2012). Simulations of dolphin kick swimming using smoothed particle hydrodynamics. *Human Movement Science*, 31(3), 604-619.
- Collard L., (2007). Average swimming speeds for 6 sections of the 50-meter backstroke race: Comparison of performance in zones swum underwater or at the surface in 12 international short course events. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, Volume 7, Number 3, October 2007, pp. 37-45(9).
- Connaboy, C., Coleman, S., McCabe, C., Naemi, R., Psycharakis, S. y Sanders, R. H. (2007a). Tadpole, troutor tuna: The equivalence of animal and human aquatic undulatory locomotion. *Proceedings of the XXVth International Symposium on Biomechanics in Sports*, Ouro Preto, Brazil.
- Connaboy, C., Coleman, S. y Sanders, R.H. (2007b). Coordinating undulatory underwater swimming: A comparison of skilled versus unskilled swimmers. *Motor Control*, 11, S189-S190.

- Connaboy, C., Coleman, S. y Sanders, R. H. (2009). Hydrodynamics of undulatory underwater swimming: A review. *Sports Biomechanics*, 8(4), pp. 360-380.
- Connaboy, C., Naemi, R., Brown, S., Psycharakis, S., McCabe, C., Coleman, S., y Sanders, R. (2016). The key kinematic determinants of undulatory underwater swimming at maximal velocity. *Journal of Sports Sciences*, 34(11), 1036-1043.
- Connaboy, C., Moir, G., Coleman, S. y Sanders R. H. (2010). Measures of Reliability in the Kinematics of Maximal Undulatory Underwater Swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(4), pp. 762-770.
- Costa, M., Marques, M., Louro, H., Ramos, R., Morais, J., Conceico, A., ... Barbosa, T. (2014). Strength power and the start performance in a national swimming squad (pp. 150–151). *Paper presented at the Biomechanics and Medicine in Swimming Conference 2014*, Canberra.
- Costill, D. L., Maglischo, E. W. y Richardson, A. B. (1992). *Swimming*. London, England: Blackwell Scientific Publications.
- Counsilman, J. E. (1955). Forces in swimming two types of crawl stroke. *Research Quarterly*, 26, 127-139.
- Counsilman, J. E. (1968). *The science of swimming*. Englewood Cliffs: Prentice–Hall.
- D'Acquisto, L. J., Costill, D. L., Gehlsen, G. M., Young, W. T. y Lee, G. (1988). Breaststroke economy skill and performance: study of breaststroke mechanics using a computer based “velocity video”. *Journal of Swimming Research*, 4, 9–14.
- Dapena, J. y Teves, M. A. (1982). Influence of the diameter of the hammer head on the distance of a hammer throw. (Influence du diametre du marteau sur la distance du lancer du marteau). *Research Quarterly for Exercise y Sport*, 53(1), 78-81.

- De Jesús, S., Costa, M. J., Marinho, D. A., Garrido, N., Silva, A. J. y Barbosa, T. M. (2011a). 13th FINA World Championship finals: Stroke kinematical and race times according to performance, gender and event. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 11(Suppl. 2), 275–278.
- De Jesús, K., De Jesús, K., Machado, L., Fernandes, R. y Vilas-Boas, J.P. (2012). Linear kinematics of the underwater undulatory swimming of two backstroke starting techniques. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11, pp.784-, 2012.
- De Jesús, K., Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R. J., Figueiredo, P., Gonçalves, P. y Pereira, S. (2011b). Biomechanical analysis of backstroke swimming starts. *International Journal of Sports Medicine*, 32, 546–551.
- De la Fuente, B., García López, F. y Arellano, R. (2001). Análisis cinemático y cinético de las salidas en natación en nadadores de alto nivel. Análisis biomecánico de la técnica en natación: *Programa de control del deportista de alta competición* (pp. 149-182). Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Consejo Superior de Deportes.
- Duboy, J., Junqua, A. y Lacouture, P. (1994). *Mécanique humaine: Eléments d'une analyse des gestes sportifs*. Paris: Edition Revue EPS. Collection Activités physiques et sports.
- Elipot, M., Dietrich, G., Hellard, P. y Houel, N. (2010a). High-Level Swimmers' Kinetic Efficiency During the Underwater Phase of a Grab Start. *Journal Of Applied Biomechanics*, 26(4), 501-507.
- Elipot, M., Hellard, P., Boissiere, E., Rey, J., Lecat, S., Taiar, R. y Houel, N. (2006). Evaluation of the lose of speed at the water entry during a grab start for elite swimmers. *4thInternational Days of Sport Sciences*; 87–88.

- Elipot, M., Hellard, P., Taïar, R., Boissiere, E., Rey, J-L., Lecat, S. y Houel, N. (2009). Analysis of swimmers velocity during the underwater gliding motion following a grab start. *Journal of Biomechanics*, 42, 1367-1370.
- Elipot, M., Houel, N., Hellard, P. y Dietrich, G. (2010b). Motor coordination during the underwater undulatory swimming phase of the start for high level swimmers. *XIth International Symposium for Biomechanics y Medicine in Swim*; Issue 11, p72.
- FINA. (2009). *FINA Swimming Rules 2009-2013*. Fédération Internationale de Natation.
http://www.fina.org/project/index.php?option=com_content&task=view&id=45&Itemid=119
- Galbraith, H., Scurr, J., Hencken, C., Wood, L. y Graham-Smith, P. (2008). Biomechanical comparison of the track start and the modified one-handed track start in competitive swimming: An intervention study. *Journal of Applied Biomechanics*, 24, 307-315.
- García, I. y Veiga, S. (2015). Análisis coordinativo y temporal de la transición del buceo al nado en superficie. *Congreso AETN*. Santa Cruz de Tenerife.
- Garganta, J. (2000). Análisis del juego en el fútbol. El recorrido evolutivo de las concepciones, métodos e instrumentos. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 14(2), 5-14.
- Gavilán, A., Arellano, R. y Sanders, R. (2006). Underwater undulatory swimming: Study of frequency, longitude and phase characteristics of the 'body wave'. In J. P. Vilas-Boas, F. Alves y A. Marques (Eds.). *Biomechanics and medicine in swimming X* (pp. 35-37). Porto: Portuguese Journal of Sport Sciences.

- Gavilán, A., García, F., Pardillo, S. y Arellano, R. (2002). Análisis de los factores del movimiento ondulatorio subacuático. In R. Arellano y A. Ferro (Eds.). *Análisis biomecánico de la técnica en natación: Programa de control del deportista de alto nivel* (1 ed., Vol. 32, pp. 87-130). Madrid: Consejo Superior de Deportes-Ministerio de Educación y Ciencia.
- Grimston, S. K. y Hay, J. G. (1986). Relationships among anthropometric and stroking characteristics of college swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18, 60-68.
- Guimarães, A. y Hay, J. (1985). A mechanical analysis of the grab starting technique in swimming. *International Journal of Sports Biomechanics*, 1, 25-35.
- Guillaume, N., Bideau, B., Colbert, B. y Berton, E. (2007). How are Strouhal number, drag, and efficiency adjusted in high level underwater monofin-swimming? *Human Movement Science*, 26, 426-442.
- Gutiérrez-Dávila, M. y Oña S. A. (2005). *Metodología en las ciencias del deporte*. Madrid, España: Síntesis.
- Hay, J. G. (1986). *Starting, stroking and turning*. A compilation of research on the biomechanics of swimming. Iowa City: The University of Iowa.
- Hay, J. G. y Guimarães, A. C. S. (1983). A quantitative look at the swimming biomechanics. *Swimming Technique*, 20(2), 11-17.
- Havriluk, R. (2007). Variability in measurement of swimming forces: a meta-analysis of passive and active drag. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 78, 32-39.
- Hertel, H. (1966). *Structure-form-movement*. New York: Reinhold Publishing Corporation.

- Hochstein, S. y Blickhan, R. (2011). Vortex re-capturing and kinematics in human underwater undulatory swimming. *Human Movement Science*, 30(5): 998-1007.
- Hochstein, S. y Blickhan, R. (2014). Body movement distribution with respect to swimmer's glide position in human underwater undulatory swimming. *Human Movement Science*, 38, 305–318.
- Hollander, A. P., De Groot, G., Van Ingen Schenau, G. J., Toussaint, H. M., De Best, H. y Peeters, W. (1986). Measurement of active drag during crawl arm stroke swimming. *Journal of Sports Sciences*, 4, 21–30.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M. y Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and science in sports and exercise*, 41, 3-12.
- Houel, N., Elipot, M., Andrée, F. y Hellard, P. (2010). Kinematics analysis of the undulatory underwater swimming during a grab start of national level swimmers. *A paper presented at the XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming*, Oslo, June 16–19.
- Houel, N., Elipot, M., Andrée F. y Hellard, P. (2013). Influence of angles of attack, frequency and kick longitude on swimmer's horizontal velocity during underwater phase of a grab start. *Journal of Applied Biomechanics* 29(1), 49-54.
- Hubert, M., Silveira, G. A., Freitas, E., Pereira, S. y Roesler, H. (2006). Speed variation analysis before and after the beginning of the stroke in swimming starts. *Portugal Journal Sport Science*, 6 (Suppl 2): 44 – 45.
- Hughes, M. D. (1996). *Notational analysis*. En T. Reilly (Ed.), *Science and Soccer* (pp: 343-361). London: E. y F. N. Spon.

- Jiskoot, J. y Clarys, J. P. (1975). Body resistance on and under the water surface. In L. Lewillie y J. P. Clarys (Eds.), *Swimming II* (pp. 105–109). Baltimore: University Park Press.
- Karpovich, P. V. (1933). Water resistance in swimming. *Research Quarterly*, 4, 21-28.
- Kennedy, P., Brown, P., Chengalur, S. y Nelson, R. (1990). Analysis of male and female olympic swimmers in the 100-meter events. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6(2), 187-197.
- Kent, M. y Atha, J. (1971). Selected critical transient body positions in breast stroke and their influence upon water resistance. In *Proceedings of the First International Symposium on Biomechanics in Swimming* (edited by L. Lewille and J. P. Clarys), pp. 250-257. Brussels: Presse Universitaire de Bruxelles.
- Konstantaki, M. y Winter, E. (2009). The effectiveness of a leg-kicking training program on performance and physiological measures of competitive swimmers. *International Journal of Sports Science and Coaching* 2(1):37-48.
- Krüger, T., Hohmann, A., Kirsten, R. y Wick, D. (2006). Kinematics and dynamics of the backstroke start technique. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6, 58–59.
- Kwon, Y. H. y Casebolt, J. B. (2006). Effects of light refraction on the accuracy of camera calibration and reconstruction in underwater motion analysis. *Sports Biomechanics*, 5(2), 315-340.
- Loebbecke, A., Mittal, R., Fish, F. y Mark, R., (2009a). “A comparison of the kinematics of the dolphin kick in humans and cetaceans.” *Human Movement Science*, 28, pp. 99–112.
- Loebbecke, A., Mittal, R., Fish, F. y Mark, R. (2009b). Propulsive efficiency of the underwater dolphin kick in humans. *Journal of Biomechanical Engineering*, 131(5): 054504.

- Loebbecke, A., Mittal, R., Mark, R., y Hahn, J. (2009c). "A computational method for analysis of underwater dolphin kick hydrodynamics in human swimming". *Sports Biomechanics*, 8(1), pp. 60–77.
- Lyttle, A. y Benjanuvatra, N. (2005). *Start right?* A biomechanical review of dive start performance.
<http://coachesinfo.com/category/swimming/321>.
- Lyttle, A. y Blanksby, B. (2000). A look at gliding and underwater kicking in the swim turn. *Paper presented at the XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports*. Applied Program: Application of Biomechanical Study in Swimming, Hong Kong.
- Lyttle, A. D., Blanksby, B. A., Elliott, B. C. y Lloyd, D. G. (1998). The effect of depth and velocity on drag during the streamlined glide. *Journal of Swimming Research*, 13, 15-22.
- Lyttle, A. D., Blanksby, B. A., Elliott, B. C. y Lloyd, D. (1999) A comparison of underwater gliding and kicking techniques. In Sanders, R. H., y Gibson, B. J, eds. *Scientific Proceedings of the XVII International Symposium on Biomechanics in Sports*. Perth: W. Australia; 81–84.
- Lyttle, A. D., Blanksby, B. A., Elliot, B. C. y Lloyd, D. G. (2000). Net forces during tethered simulation of underwater streamlined gliding and kicking techniques of the freestyle turn. *Journal of Sport Sciences*, 18, 801–807.
- Lyttle, A. D. y Keys, M. (2004). The use of computational fluids dynamics to optimise underwater kicking performance. In M. Lamontagne, D. G. E. Robertson, and H. Sveistrup (Eds), *Proceedings XXIIInd International Symposium of Biomechanics in Sport* (pp. 438–441). Ottawa, Canada: University of Ottawa.

- Lyttle, A. D. y Keys, M. (2006). The application of computational fluid dynamics for technique prescription in underwater kicking. *Revista Portuguesa de Ciencias do Desporto*, 6 (suppl. 2), 233-255.
- Maañon, R., Sánchez, J., Eiroa, J., Braña, S. y Mon, J. (2003). Evolution of the Crawl Turn After Technical Intervention in the Swimming Training. *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*. Saint-Etienne, p. 201-206.
- Maglischo, E. W. (2003). *Swimming fastest*. Champaign: Human Kinetics.
- Maglischo, C. W., Maglischo, E. W., Santos, T. R. y Zier, D. J. (1985). The effect of sprint-assisted and sprint-resisted swimming on stroke mechanics. *Journal of Swimming Research*, 1(2), 27-33.
- Maiello, D., Sabatini, A., Demarie, S., Sardella, F. y Dal Monte, A. (1998). Passive drag on and under the water surface. *Journal of Sports Sciences*, 16(5), 420-421.
- Marinho, D. A., Rouboa, A. I., Alves, F. B., Vilas-Boas, J. P., Machado, L., Reis, V. M. y Silva, A. J. (2009). Hydrodynamic analysis of different thumb positions in swimming. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8, 58-66.
- Marinho, D. A., Barbosa, T. M., Rouboa, A. I. y Silva, A. J. (2011). The Hydrodynamic Study of the Swimming Gliding: a Two-Dimensional Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis. *Journal of Human Kinetics*, 29, 80-89.
- Mason, B. y Cossor, J. (2000). What can we learn from competition analysis at the 1999 Pan Pacific Swimming Championships? In R. Sanders y Y. Hong (Eds.), *Proceedings of XVIII Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 75-82). Hong Kong: Chinese University of Hong Kong.

- Mason, B. y Cossor, J. (2001). Swim turns performances at the Sydney 2000 Olympic Games. In J. Blackwell, y R. Sanders (Eds.), *Proceedings of swim sessions of the XIX International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 65-69). San Francisco: University of San Francisco.
- Martin, P. E., Sanderson, D. J. y Umberger, B. R. (2000). Factors affecting preferred rates of movement in cyclic activities. In V. M. Zatsiorsky (Ed.), *Biomechanics in sport: Performance enhancement and injury prevention* (pp. 142-160).
- Marzan, G. T. y Karara, H. M. (1975). A computer program for direct linear transformation solution of collinearity condition, and some applications of it. *Proceedings of the symposium on close-range photogrammetric systems* (pp. 420-476). Falls Church, VA: Champaign.
- Miller, J., Hay, J. y Wilson, B. (1984). Starting techniques of elite swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 2, 213-223.
- Miller, N., Shapiro, R. y McLaughlin, T. (1980). A technique for obtaining spatial kinematic parameters of segments of biomechanical systems from cinematographic data. *Journal of Biomechanics*, 13(7), 535-541.
- Mittal, R., Dong, H., Bozkurttas, M., Lauder, G. y Madden, P. (2006). Locomotion with flexible propulsors: II. Computational modeling of pectoral fin swimming in sunfish. *Bioinspiration and Biomimetics: Learning from Nature*, 1, S35-S41.
- Miwa, T., Matsuuchi, K., Shintani, H., Kamata, E. y Nomura, T. (2006). Unsteady flow measurement of dolphin kicking wake in sagittal plane using 2C-PIV. In J. P. Vilas-Boas, F. Alves, y A. Marques (Eds.), *Proceedings of the Xth congress of biomechanics and medicine in swimming* (pp. 66-68). Portuguese: Portuguese Journal of Sports Sciences.

- Miyashita, M. y Tsunoda, T. (1978). Water resistance in relation to body size. In: Eriksson y Furberg (Eds.), *Swimming Medicine IV*, pp.395-401. University Park Press. Baltimore.
- Moreno, M. I. y Pino, J. (2000). La observación en los deportes de equipo. *Lecturas Educación Física y Deportes*, 18.
<http://www.efdeportes.com/efd18a/dequipo.htm>. (20-09-05).
- Naemi, R. y Sanders, R. H. (2008). A “hydro-kinematic” method of measuring glide efficiency of a human swimmer. *Journal of Biomedical Engineering*, 130, 061016.
- Naemi, R., Easson, W. J. y Sanders, R. H. (2010). Hydrodynamic glide efficiency in swimming. *Journal of Science y Medicine in Sport*, 13, 4, 444-8.
- Naemi, R., Psycharakis, S., McCabe, C., Connaboy, C. y Sanders, R. (2011). Relationships Between Glide Efficiency and Swimmers' Size and Shape Characteristics. *Journal Applied Biomechanics* 28(4): 400-11.
- Navarro, E. (2004). *Sistemas de análisis biomecánico*. Anteproyecto INEF-UPM.
- Navarro, E. (2006). Apuntes de la asignatura análisis biomecánico de la técnica deportiva. Sin publicar.
- Novais, M., Silva, A., Mantha, V., Ramos, R., Rouboa, A., Vilas-Boas, J., Luís, S. y Marinho, D. (2012). The Effect of Depth on Drag During the Streamlined Glide: A Three-Dimensional CFD Analysis. *Journal of Human Kinetics*, 33(-1), pp. 5-194. Retrieved 19 Mar. 2013, from doi:10.2478/v10078-012-0044-2.
- Ntoumanis, N. (2001). *Step-by-step guide to SPSS for sport exercise studies*. London: Routledge.
- Ortega, E. (2005). *La competición como medio formativo en el baloncesto*. Sevilla: Ed. Wanceulen, S. L.

- Ortega, E., Cárdenas, D., Sainz de Baranda, P. y Palao, J. (2006a). Differences in competitive participation according to player's position in formative basketball. *Journal of Human Movement Studies*, 50, 103-122.
- Ortega, E., Cárdenas, D., Sainz de Baranda, P. y Palao, J. (2006b). Analysis of the final actions used in basketball during formative years according to player's position. *Journal of Human Movement Studies*, 50, 421-437.
- Ortega, E., Palao, J., Gómez, M., Lorenzo, A. y Cárdenas, D. (2007). Analysis of the efficacy of possessions in boys' 16 and under basketball teams: differences between winning and losing teams. *Perceptual and Motor Skills*, 104, 961-964.
- Pacholak, S., Hochstein, S., Alexander Rudert, A. y Brücker, C. (2014). Unsteady flow phenomena in human undulatory swimming: a numerical approach. *Sports Biomechanics*. 13(2), 176-194.
- Pai, Y., Hay, J. G. y Wilson, B. D. (1984). Stroking techniques of elite swimmers (techniques de nage chez des nageurs d' elite). *Journal of Sports Sciences* 2(3), 225-239.
- Pearson, C. T., Mcelroy, G. K., Blitvich, J. D., Subic, A. y Blanksby, B. (1998). A comparison of the swimming start using traditional and modified starting blocks. *Journal of Human Movement Studies*, 34, 49-66.
- Pease, D. y Vennell, R. (2010). The effect of angle of attack and depth on passive drag. *A paper presented at the XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming*, Oslo, June 16-19.
- Pereda, S. (1987). *Psicología Experimental. Metodología*. Madrid. Pirámide.

- Pereira, S., Ruschel, C. y Araújo, L. (2006). Biomechanical analysis of the underwater phase in swimming start. In: Vilas-Boas J, Alves F, Marques A, eds. *Biomechanics and Medicine in Swimming X*. Porto: *Portugal Journal Sport Science*, 6: 79–81.
- Pourcelot, P., Audigié, F., Degueurce, C., Geiger, D. y Denoix, J. (2000). A method to synchronise cameras using the direct linear transformation technique. *Journal of Biomechanics*, 33(12), 1751-1754.
- Puel, F., Morlier, J., Avalos, M., Mesnard, M., Cid, M. y Hellard, P. (2012). 3D kinematic and dynamic analysis of the front crawl tumble turn in elite male swimmers. *Journal of biomechanics*, 45(3), 510-515.
- Puel, F., Morlier, J., Mesnard, M., Cid, M. y Hellard, P. (2010). Dynamics and kinematics in tumble turn: an analysis of performance. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 13(S1), 109-111.
- Puel, F., Morlier, J., Mesnard, M., Cid, M. y Hellard, P. (2011). Three dimensional kinematic and dynamic analysis of the crawl tumble turn performance: the expertise effect. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 14(sup1), 215-216.
- Rejman, M. y Borowska, G. (2008). Searching for Criteria in Evaluating the Monofin Swimming Turn from the Perspective of Coaching and Improving Technique. *Journal of Sports Science y Medicine*, 7(1), 67–77.
- Remmert, H. (2003). Analysis of group-tactical offensive behavior in elite basketball on the basis of a process orientated model. *European Journal of Sport Science*, 3(3), 1-12.
- Roberts, B. S., Kamel, K. S., Hedrick, C. E., Mclean, S. P. y Sharp, R. L. (2003). Effect of a FastskinTM suit on submaximal freestyle swimming. *Medicine Science Sports Exercise*, 35(3): 519-524.

- Robertson, G., Caldwell, G., Hamill, J., Kamen, G. y Whittlesey, S. (2004). *Research methods in biomechanics*. Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- Roig, A. (2010). Evaluation of the gliding capacity of a swimmer. *XIth International Symposium for Biomechanics y Medicine in Swim*; Issue 11, p163.
- Rouboa, A., Silva, A., Leal, L., Rocha, J. y Alves, F. (2006). The effect of swimmer's hand/forearm acceleration on propulsive forces using computational fluid dynamics. *Journal of Biomechanics*, 39, 1239-1248.
- Ruschel C., Araújo L., Pereira S. y Roesler H. (2007). Kinematical analysis of the swimming start: block, flight and underwater phases. *ISBS-Conference Proceedings 1*, 385-388.
- Sanders, R. H. (2002). New analysis procedure for giving feedback to swimming coaches and swimmers. *Paper presented at the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports–Applied Program–Swimming*. Cáceres: University of Extremadura.
- Sanders, R. H. (2003). *Start Technique – recent findings*.
<http://coachesinfo.com/category/swimming/88/>, Date accessed 04/07/07.
- Sanders, R. H. y Byatt-Smith, J. (2001). Improving feedback on swimming turns and starts exponentially. *Proceedings of XIX Symposium on Biomechanics in Sports*, San Francisco; 91–94.
- Santos, J. J., Dias J., Nogueira, M. D. y Mansoldo, A. C. (2011). Nado submerso ondulatório: uma visão sobre o quinto nado. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, 19(1):100-107.
- Seifert, L. y Chollet, D. (2005). A new index of flat breaststroke propulsion: A comparison of elite men and women. *Journal of Sports Sciences* 23(3), 309-320.

- Seifert, L., Chollet, D. y Bardy, B. (2004). Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl. A dynamic analysis. *Journal of Sports Science* 22(7), 651-660.
- Seifert, L., Delignieres, D., Boulesteix, L. y Didier, C. (2007). Effect of expertise on butterfly stroke coordination. *Journal of Sports Sciences*, 25(2), 131-141.
- Seifert, L., Payen, V., Vantorre, J. y Chollet, D. (2006). The breaststroke start in expert swimmers: a kinematical and coordinative study. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6 (Supl. 2), 90-92.
- Shimadzu, H., Shibata, R. y Ohgi, Y. (2008). Modelling swimmers speeds over the course of a race. *Journal of Biomechanics*, 41, 549-555.
- Shimojo, H., Sengoku, Y., Miyoshi, T., Tsubakimoto, S. y Takagi, H. (2014). Effect of imposing changes in kick frequency on kinematics during undulatory underwater swimming at maximal effort in male swimmers. *Human movement science*, 38, 94-105.
- Shin, I. y Groppel, J. (1986). A comparison of the grab start and track start as utilized by competitive swimmers. In D. L. Landers (Ed.). *Sport and elite performers* (pp. 171-175). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Slawson, S., Conway, P., Cossor, J., Chakravorti, N. y 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 Sport Science*, 31(5): 468-78.
- Strojnik, V., Strumbelj, B. y Bednarik, J. (1998). A comparison between front crawl and butterfly start (pp. 177-180). *Paper presented at the Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*, Finland.

- Sweetenhham, B. y Atkinson, J. (2003). *Championship swim training*. Human Kinetics.
- Talaga, J. (1985). Las estadísticas del fútbol. *Stadium 110*, 11-17.
- Takeda, T., Ichikawa, H., Takagi, H. y Tsubakimoto, S. (2009). Do differences in initial speed persist to the stroke phase in front-crawl swimming? *Journal of Sports Sciences*, 27, 1449–1454.
- Thomas, J. R. y Nelson, J. K. (1996). *Research Methods in Physical Activity* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Thomas, J. R. y Nelson, J. K. (2001). *Research methods in physical activity*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Thomas, J. R. y Nelson, J. K. (2007). *Métodos de investigación en actividad física*. Badalona: Paidotribo.
- Thow, J., Naemi, R. y Sanders, R. (2012). Comparison of modes of feedback on glide performance in swimming. *Journal Sport Science*, 30: 43–52.
- Tor, E., Pease, D. y Ball, K. (2014). Characteristics of an elite swimming start (pp. 257–263). *Paper presented at the Biomechanics and Medicine in Swimming Conference 2014*, Canberra.
- Tourny-Chollet, C., Chollet, C., Hogie, S. y Pappardopoulos, C. (2002). Kinematic analysis of butterfly turns of international and national swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 20, 383–390.
- Toussaint, H. M. y Truijens, M. (2005). Biomechanical aspects of peak performance in human swimming. *Animal Biology*, 55, 17–40.

- Trinidad, A. y Lorenzo, A. (2012). Análisis de los indicadores de rendimiento en las finales europeas de natación en pruebas cortas y en estilo libre. *Apunts. Educación Física y Deportes*, n.º 107, 1.er trimestre, pp. 97-107 ISSN-1577-4015
- Ungerechts, B. E. (1983). The validity of the Reynolds number for swimming bodies which change form periodically. In A. P. Hollander, P. Huijing y G. de Groot (Eds), *International series on sport sciences*, Volume 14; Biomechanics and medicine in swimming: *Proceedings of the fourth international symposium of biomechanics in swimming and the fifth international congress on swimming medicine* (pp. 81–88). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Ungerechts, B., Daly, D. y Zhu, J. (1998). What dolphins tell us about hydrodynamics. *Journal of Swimming Research*, 13, 1-7.
- Vantorre, J., Chollet, D. y Seifert, L. (2014). Biomechanical Analysis of the Swim-Start: A Review. *Journal of Sports Science y Medicine*, 13(2), 223–231.
- Vantorre, J., Seifert, L., Fernandes, R., Vilas-Boas, J. y Chollet, D. (2010a). Biomechanical influence of start technique preference for elite track starters in front crawl. *The Open Sports Sciences Journal* 3, 137-139.
- Vantorre, J., Seifert L., Fernandes, R. J., Vilas-Boas, J. y Chollet, D. (2010b) Comparison of grab start between elite and trained swimmers. *International Journal of Sports Medicine* 31, 887–893.
- Vantorre, J., Seifert, L., Fernandes, R., Vilas-Boas, J. y Chollet, D. (2010c). Kinematical profiling of the front crawl start. *International Journal of Sport Medecine* 31, 16-21.
- Veiga, S., Cala, A., Frutos, P. y Navarro, E. (2014a). Comparison of starts and turns of national and regional level swimmers by individualized distance measurements. *Sports Biomechanics*, 13(3), 285–295.

- Veiga, S., Mallo, J., Navandar, A. y Navarro, E. (2014b). Effects of different swimming race constraints on turning movements. *Human Movement Science*, 36, 217-226.
- Veiga, S. y Roig, A. (2016a). Effect of the starting and turning performances on the subsequent swimming parameters of elite swimmers. *Sports Biomechanics*, May 31: 1-11.
- Veiga, S. y Roig, A. (2016b) Underwater and surface strategies of 200 m world level swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 34(8), 766-771.
- Vennell, R., Pease, D. y Wilson, B. (2006). Wave drag on human swimmers. *Journal of Biomechanics*, 39, 664-671.
- Vilas-Boas, J., Costa, L., Fernandes, R., Ribeiro, J., Figueiredo, P. y Marinho, D. (2010). Determination of the drag coefficient during the first and second gliding positions of the breaststroke underwater stroke. *Journal of Applied Biomechanics*, 26(3), 324-331.
- Vilas-Boas, J., Cruz, M., Sousa, F., Conceição, F. y Carvalho, J. (2000). Integrated kinematic and dynamic analysis of two trackstart techniques. In R. Sanders and Y. Hong (Eds.), *Proceedings of the XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports*, Applied Program–Application of Biomechanical Study in Swimming (pp. 113-117). Hong Kong: The Chinese University Press.
- Vilas-Boas, J., Cruz, J., Sousa, F., Conceição, F., Fernandes, R. y Carvahlo, J. (2003). Biomechanical analysis of ventral swimming starts: Comparison of the grab start with two track-start techniques. In J.-C. Chatard (Eds.), *Biomechanics and medicine in swimming IX* (Vol. 1). Saint-Etienne (France): Publications de l'Université Saint-Etienne.
- Vorontsov, A. R. y Rummyantsev, V. A. (2000a). Propulsive forces in swimming. In *Biomechanics in sport* (1st ed., Vol. 1, pp. 184–204). Oxford: Blackwell Science Ltd.

- Vorontsov, A. R. y Rumyantsev, V. A. (2000b). Resistive Forces in Swimming. In V. Zatsiorsky (Ed.), *Biomechanics in Sport* (1 ed., Vol. 1, pp. 184-204). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Wada, T., Sato, T., Ohishi, K., Tago, T., Izumi, T., Matsumoto, T., Yamamoto, N., Isaka, T. y Shimoyama, Y. (2010). An analysis of the underwater gliding motion in collegiate competitive swimmers. *A paper presented at the XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming*, Oslo, June 16–19, 2010.
- Watkins, J. y Gordon, A. (1983). The effect of leg actions in performance in the sprint front crawl sprint. In Hollander, A. P., Huijing, P. A. y de Groot, G. (Eds). *International Series on Sport Sciences: Vol 14. Biomechanics and Medicine in Swimming* (p. 310-314). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Welcher, R., Hinrichs, R. y George, T. (2008). Front- or rear-weighted track start or grab start: Which is the best for female swimmers? *Sports Biomechanics*, 7, 100.
- West D. J., Owen N. J., Cunningham D. J., Cook C. J. y Kilduff L. P. (2011). Strength and power predictors of swimming starts in international sprint swimmers. *Journal Strength Conditioning Research*, 25(4): 950-5.
- Willems T. M., Cornelis J. A., De Deurwaerder L. E., Roelandt F. y De Mits, S. (2014). The effect of ankle muscle strength and flexibility on dolphin kick performance in competitive swimmers. *Human Movement Science*, 36: 167-76.
- Winter, D. A. (1990). *Biomechanics and motor control of human movement*. New York: Wiley.
- Woltring, H. J. (1980). Planar control in multi-camera calibration for 3-D gait studies. *Journal of Biomechanics*, 13(1), 39-48.
- Wood, G. A. y Marshall, R. N. (1986). The accuracy of DLT extrapolation in threedimensional film analysis. *Journal of Biomechanics*, 19(9), 781-783.

- Yeadon, M. R. (1989). A methode of obtaining three dimensional data on ski jumping using pan and tilt cameras. *International Journal of Sport Biomechanics*, 5(2), 238.
- Yeadon, M. R. y Kerwin, D. G. (1999). Contributions of twisting techniques used in backward somersaults with one twist. / Contribution des techniques de la vrille utilisees dans le salto arriere avec une vrille. *Journal of Applied Biomechanics*, 15(2), 152-165.
- Zamparo, P., Bonifazi, M., Faina, M., Milan, A., Sardella, F., Schena, F. y Capelli, C. (2005). Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. *Eur J Appl Physiol* 94(5-6): 697-704. doi:10.1007/ s00421-005-1337-0.
- Zamparo, P., Pendergrast, D., Termin, B. y Minetti, A. (2002). How fins affect the economy and efficiencyof human swimming. *The Journal Of Experimental Biology*, 205, 2665-2676.
- Zamparo, P., Vicentini, M., Scattolini, A., Rigamonti, M. y Bonifazi, M. (2012). The contribution of underwater kicking efficiency in determining “turning performance” in front crawl swimming. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 52(5), 457-464.
- Zatsiorsky, V. M., Bulgakova, N. Z. y Chaplinsky, N. M. (1979). Biomechanical Analysis of Starting Techniques in Swimming. *Paper presented at the Third International Symposium of Biomechanics in Swimming, Edmonton, Canada.*

ANEXOS.

A. 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^a 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:

Firma Responsable del Servicio:

Fdo: Enrique Navarro Cabello