

# **EFFECTOS DE UN PROGRAMA DE EJERCICIOS, BASADO EN LA CORRECCIÓN DE VARIABLES CINEMÁTICAS RELACIONADAS CON LESIONES DE HOMBRO, SOBRE LA BIOMECÁNICA DEL REMATE EN VOLEIBOL**

## **GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE**



Realizado por: Miguel García Pavón y Adrián Hernández López

Grupo TFG: MIX 61

Año Académico: 2022-2023

Tutor/a: Marta Domínguez Díez

Área: Diseño de un estudio experimental

## Resumen

**Contexto:** El remate implica una gran carga para el hombro. Esta articulación es de las que más lesiones sufre en voleibol y el 80% de ellas están relacionadas con esta acción. La rotación externa y flexión máxima de hombro y el déficit de extensión de codo son factores cinemáticos asociados a un mayor riesgo de lesión de hombro en voleibol y su modificación permitiría mantener e incluso aumentar el rendimiento del remate. Las técnicas de remate alternativa y tradicional son las dos más utilizadas y la primera está asociada a un mayor rendimiento y menor riesgo de lesión. El feedback externo es el método más utilizado para cambiar la biomecánica de un gesto deportivo.

**Objetivo:** Analizar el efecto de un programa de ejercicios, basado en la corrección de variables cinemáticas de la técnica de remate asociadas a un mayor riesgo de lesión de hombro (rotación externa y flexión máxima y déficit de extensión de codo), sobre la biomecánica de remate en jugadoras de voleibol universitario, en comparación con un programa de entrenamiento convencional.

**Diseño:** Estudio experimental, aleatorizado, abierto y prospectivo

**Ubicación:** Universidad Europea de Madrid

**Participantes:** 46 jugadoras de voleibol universitario de entre 18 y 25 años que serán divididas, aleatoriamente, en grupo control (n=23) y experimental (n=23).

**Mediciones y procedimiento:** Se medirá la cinemática de la extremidad superior (hombro y codo) mediante el análisis 3D del gesto del remate con Vicon tras la aplicación de una intervención de 5 semanas de duración (10 sesiones). Esta intervención consiste en una serie de ejercicios, basados en la corrección de variables cinemáticas relacionadas con lesiones de hombro, junto a la aplicación de un sistema de feedback verbal y visual en tiempo real.

**Palabras clave:** jugadoras de voleibol, voleibol universitario, feedback, extremidad superior, biomecánica, lesión de hombro, técnica de remate, cinemática 3D.

**Abstract**

**Context:** Spiking implies a big load for the shoulder. This joint is one of the most injured in volleyball and 80% of the injuries are related to this action. Maximum shoulder external rotation and flexion as well as lack of elbow extension are kinematic factors associated to a higher risk of shoulder injury in volleyball and its modification could maintain and even improve performance during spikes. Alternative and traditional spiking techniques are the most used and the first one is associated to a higher performance and a lower risk of injury. External feedback is the most used method to change sports biomechanics.

**Objective:** To analyze the effect of an exercise program, based on the correction of kinematic variables of the spiking technique associated with an increased risk of shoulder injury (maximum shoulder external rotation and flexion and the lack of elbow extension) on the spiking biomechanics of college volleyball players compared to a conventional training program.

**Design:** Experimental, randomized, open and prospective study

**Setting:** Universidad Europea de Madrid

**Participants:** 46 college volleyball players between 18 and 25 years old will be randomly divided into a control (n=23) and an experimental (n=23) group.

**Measures and procedure:** A kinematic analysis of upper extremity (shoulder and elbow) will be performed through a 3D analysis of the spike with Vicon after the application of an intervention of 5 weeks duration (10 sessions). This intervention consists of exercises, based on the correction of kinematic factors associated with shoulder injuries, together with the application of a verbal and visual real time feedback.

**Key words:** volleyball players, college volleyball, feedback, upper extremity, biomechanics, shoulder injury, spiking technique, 3D kinematics.

## Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Contextualización. Fases del remate y tipos de técnicas.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Recuerdo anatómico, incidencia y etiología lesional .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Factores cinemáticos lesivos del remate.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4 El feedback como método para modificar la biomecánica.....</b>	<b>8</b>
<b>1.5 Modificación de la técnica y rendimiento .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Justificación .....</b>	<b>10</b>
<b>3. Objetivos e hipótesis del estudio .....</b>	<b>11</b>
<b>4. Metodología .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1 Diseño .....</b>	<b>12</b>
<b>4.2 Muestra y formación de grupos .....</b>	<b>12</b>
<b>4.3 Variables y material de medida .....</b>	<b>13</b>
<b>4.4 Procedimiento.....</b>	<b>15</b>
<b>4.5 Análisis de datos .....</b>	<b>19</b>
<b>5. Equipo investigador.....</b>	<b>20</b>
<b>6. Viabilidad del estudio .....</b>	<b>22</b>
<b>6.1 Limitaciones del estudio .....</b>	<b>23</b>
<b>7. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>25</b>
<b>8. Anexos .....</b>	<b>30</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Fases del remate en voleibol.....	<b>30</b>
<b>Figura 2</b> Diferencias cinemáticas entre los dos estilos de remate .....	<b>30</b>
<b>Figura 3</b> Anatomía de la cintura escapular .....	<b>31</b>
<b>Figura 4</b> Anatomía de la articulación glenohumeral y disposición de la musculatura del hombro .....	<b>32</b>
<b>Figura 5</b> Mecanismos estabilizadores pasivos del hombro.....	<b>33</b>
<b>Figura 6</b> Frecuencia de las diferentes lesiones de hombro en voleibol .....	<b>34</b>
<b>Figura 7</b> Rangos de flexión y rotación externa del hombro durante el remate.....	<b>34</b>
<b>Figura 8</b> Rango de movimiento del codo durante el remate .....	<b>35</b>
<b>Figura 9</b> Comparación de las variables relacionadas con el rendimiento en el remate en las dos técnicas diferentes .....	<b>35</b>
<b>Figura 10</b> Mecanismo lesional en jugadores de voleibol .....	<b>36</b>
<b>Figura 11</b> Tamaño muestral.....	<b>37</b>
<b>Figura 12</b> Hoja informativa.....	<b>38</b>
<b>Figura 13</b> Hoja informativa.....	<b>39</b>
<b>Figura 14</b> Consentimiento informado.....	<b>40</b>
<b>Figura 15</b> Movimientos de flexo-extensión y rotaciones de hombro y flexo-extensión de codo .....	<b>42</b>
<b>Figura 16</b> Programación del estudio .....	<b>43</b>
<b>Figura 17</b> Posición de los marcadores.....	<b>44</b>
<b>Figura 18</b> Descripción de la posición de los marcadores.....	<b>44</b>
<b>Figura 19</b> Equipo investigador .....	<b>51</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Variables antropométricas .....	<b>41</b>
<b>Tabla 2</b> Programa de intervención de 5 semanas.....	<b>46</b>
<b>Tabla 3</b> Diagramas de los ejercicios propuestos en la intervención.....	<b>49</b>
<b>Tabla 4</b> Equipo investigador.....	<b>51</b>
<b>Tabla 5</b> Equipo investigador.....	<b>52</b>

## 1. Introducción

### 1.1 Contextualización. Fases y tipos de técnicas de remate

El voleibol es uno de los deportes más populares en el mundo y se juega tanto a nivel aficionado como profesional (Jurkojć et al., 2017). El remate es uno de los gestos más relevantes del voleibol ya que será el que principalmente decida la evolución del juego (Garrido-Castro et al., 2017). Se trata de una acción que implica elevadas demandas coordinativas y está caracterizado por varias fases: una carrera/batida, un salto con contra-movimiento, un conjunto de acciones explosivas por encima de la cabeza mientras el jugador se mantiene en el aire y un aterrizaje (Oliveira et al., 2020). Como concluyen Hu et al. (2022) en su estudio, además de la gran relevancia que tiene en el juego, el remate es la técnica más agresiva del voleibol. Asimismo, se ejecuta con una elevada frecuencia durante el juego pudiendo, los jugadores profesionales, llegar a repetirlo hasta 40.000 veces a lo largo de un año (Challoumas et al., 2017).

El gesto del remate consta de 5 fases: (1) “windup” (33% del tiempo de remate), que comienza con el hombro extendido, se flexiona hasta los 90°, se produce una ligera abducción horizontal y termina con el inicio de la rotación externa; (2) “cocking” o “armado” (23% del tiempo de remate), en el que se alcanzan los mayores valores de abducción y rotación externa del hombro; (3) “aceleración” (8% del tiempo de remate), que se inicia con rotación externa máxima, se produce una rápida rotación interna y aducción y termina con el golpeo de balón; (4) “deceleración” (9% del tiempo total del remate), que permite disipar la energía cinética que no ha sido transferida al balón a través de una continuación de la rotación interna y aducción hasta que el brazo se encuentra perpendicular al tronco; y (5) “follow trough” o “seguimiento” (27% del tiempo total del remate), que va desde que el brazo se encuentra perpendicular al tronco hasta que finaliza el movimiento del hombro (Challoumas et al., 2017) (Anexos, Figura 1).

Estas fases son comunes para las dos técnicas de remate más utilizadas: La técnica “tradicional” o “elevation style” y la técnica “alternativa” o “backswing style”. Sin embargo, como se observa en la Figura 2 (Anexos), a nivel cinemático existen algunas diferencias: la técnica tradicional se caracteriza por una fase de

armado donde los brazos se balancean hacia anterior en el plano sagital durante la fase de vuelo. Este movimiento hacia adelante y arriba se inicia en el despegue y alcanza una amplitud por encima de los 90°; por el contrario, la técnica alternativa se caracteriza por una fase de armado que se inicia con una semicircunducción de ambos miembros superiores. El hombro derecho alcanza una menor flexión, parándose aproximadamente en 90°. Además, el brazo se mueve siguiendo un patrón de látigo antes de golpear el balón (Oliveira et al., 2020; Seminati et al., 2015) (Anexos, Figura 1).

En su estudio, Giatsis y Tilp (2022) investigaron si existían diferencias al utilizar distintas técnicas de remate en función de la posición en el campo (centrales, alas y opuestas). No encontraron diferencias significativas y concluyeron que la principal diferencia en el ataque, entre las posiciones de juego, era la velocidad y el tipo de colocación a los centrales en comparación con alas y opuestos. Añaden que es frecuente que, en voleibol femenino, las centrales realicen ataques a una pierna por detrás de la colocadora. Independientemente de la posición en el campo y la técnica de remate, la articulación del hombro o glenohumeral debe soportar una gran carga durante este gesto (Shih y Wang, 2019).

## **1.2 Recuerdo anatómico, incidencia y etiología lesional**

Según varios estudios, el voleibol ocupa la octava posición en el ranking de disciplinas deportivas en cuanto a incidencia lesional, registrando por cada 1000 horas de juego, en torno a 3,8 y 4,2 lesiones en hombres y mujeres respectivamente. La más común a nivel de la extremidad superior es la de hombro (Jurkojć et al., 2017). Al comparar con otros deportes donde es fundamental el uso del miembro superior como el béisbol, el tenis o la natación se observa como el número de lesiones de hombro es mayor en los jugadores de voleibol (Eshghi et al., 2022).

El hombro o articulación glenohumeral une la cabeza del húmero a la cavidad glenoidea de la escápula (Peterson et al., 2007). Está estrechamente relacionada con las articulaciones vecinas (acromioclavicular, esternoclavicular y escapulotorácica), formando la cintura escapular (Llusá et al., 2004; Peterson et al., 2007; Zhang et al., 2020) (Anexos, Figura 3). El manguito rotador es uno de los principales grupos musculares de la cintura escapular que intervienen en el

remate (Hadžić et al., 2022). Está formado por los músculos infraespinoso, supraespinoso, redondo menor y subescapular (Drake et al., 2010; Llusá et al., 2004) (Anexos, Figura 4) y sus funciones son de rotación externa, abducción, rotación externa y rotación interna respectivamente (Llusá et al., 2004; Peterson et al., 2007). Además, tienen un importante papel de estabilizar dinámicamente la articulación glenohumeral durante los movimientos del hombro (Llusá et al., 2004; Peterson et al., 2007; Reeser y Bahr, 2017). También existen otros mecanismos estabilizadores estáticos del hombro como el labrum o los ligamentos que, junto al manguito rotador, deben absorber las altas cargas que implica el gesto del remate (Reeser y Bahr, 2017) (Anexos, Figura 5).

Esta articulación es la responsable de entre el 5 y 20% de todas las lesiones en voleibol, estando el 80% relacionadas con el gesto de remate. En su mayoría son lesiones por sobreuso y pocas veces se deben a un trauma directo. La agresividad de este gesto deportivo radica en que, al llevarse a cabo cuando el jugador está en el aire, tiene que golpear el balón usando la fuerza de su tronco y brazo, sin ayuda de un punto de apoyo para sus miembros inferiores, lo que expone a la extremidad superior a una elevada carga que incrementa el riesgo de lesión. Del mismo modo, las elevadas velocidades angulares que se generan en esos rangos de movimiento someten al hombro a un estrés muy alto (Clarsen et al., 2015; Reeser y Bahr, 2017; Shih y Wang, 2019).

Pese a que las lesiones por sobreuso del hombro no supongan la ausencia inmediata del jugador del campo, tienden a mantenerle alejado de la competición entre 4 y 6,2 semanas, siendo esta lesión la que causa mayores bajas (6,2 – 9,4 semanas) (Seminati y Minetti, 2013). Además de las lesiones por sobreuso, existen otras lesiones de hombro frecuentes en este deporte: impingement subacromial o del manguito de los rotadores, neuropatías, SICK escápula (Scapular malposition Inferior medial border prominence, Coracoid pain and malposition and scapula dysKinesis), bursitis y distensiones musculo tendinosas (Seminati y Minetti, 2013) (Anexos, Figura 6). El riesgo de lesión deportiva del hombro puede variar en función de la presencia de una serie de factores de riesgo: intrínsecos (historia previa de dolor de hombro con o sin lesión, rango de movimiento, flexibilidad, debilidad/desequilibrio muscular, dyskinesia escapular,



años de práctica, índice de masa corporal, género, edad y nivel de juego); o extrínsecos (posición de juego, carga de partidos y entrenamientos y frecuencia de estos) (Reeser y Bahr, 2017; Tooth et al., 2020).

### **1.3 Factores cinemáticos lesivos del remate**

Varios autores han estudiado los aspectos cinemáticos del remate asociados a una mayor probabilidad de desarrollar lesiones de hombro en jugadores de voleibol. En comparación con jugadores de béisbol y tenis, los jugadores de voleibol utilizan un mayor rango de flexión (elevación) durante los movimientos por encima de la cabeza, lo que incrementa el riesgo de “impingement” (Shih y Wang, 2019). Algunos autores afirman que la máxima rotación externa y la flexión máxima durante la elevación del brazo son las maniobras más lesivas durante el remate. Esto es así porque, durante la elevación, cuando se produce una flexión por encima de los 90°, el tendón del supraespinoso, el de la cabeza larga del bíceps, la bursa (bolsa) subacromial (Anexos, Figura 4) y otras estructuras involucradas se comprimen bajo el ligamento coracoacromial, incrementando el riesgo de inflamación y lesión (Seminati et al., 2015).

Como se ha mencionado anteriormente, en la técnica de remate alternativa, con respecto a la tradicional, se reduce considerablemente la flexión del hombro, tanto en ataques con salto como desde el suelo, por lo que algunos autores (Oliveira et al., 2020; Seminati et al., 2015) sugieren que esta técnica es una potencial solución preventiva de lesiones. Respecto a la rotación externa, no se encontraron diferencias entre los dos tipos de remate (Oliveira et al., 2020) (Anexos, Figura 7). En cuanto a la articulación del codo, una mayor extensión cuando comienza la rotación interna disminuye el estrés sobre el hombro, dado que el momento de inercia será menor. Esto también sucede en los lanzamientos de balonmano y saques de tenis (Serrien et al., 2016). Los valores medios aproximados encontrados para los movimientos de rotación externa y flexión máximas de hombro y extensión máxima de codo en el remate son 139°, 141° y 135° respectivamente (Charalabos et al., 2013; Mitchinson et al., 2013; Reeser et al., 2010; Serrien et al., 2016; Shih y Wang, 2019) (Anexos, Figura 8).

### **1.4 El feedback como método para modificar la biomecánica**

Cuando se trata de la corrección de la biomecánica de un gesto deportivo, el feedback es el sistema más utilizado. Varios autores han demostrado que una fuente de retroalimentación externa, tanto visual como verbal, es un sistema efectivo a la hora de modificar aspectos lesivos de la técnica o biomecánica de un gesto deportivo concreto (Ghorbanzadeh et al., 2017; Leonard et al., 2021). La forma óptima de aplicar esta técnica para desarrollar un nuevo patrón motor consiste en ir eliminándola gradualmente hasta que el deportista es capaz de reproducir los mecanismos correctos confiando en sus propias fuentes internas de feedback (Bowser et al., 2018).

La bibliografía sobre la utilización de este sistema en voleibol es escasa y en gran medida se centra en la enseñanza de técnicas de pase y saque a jugadores en edad de aprendizaje (Barzouka et al., 2015; Ghorbanzadeh et al., 2017). Algunos autores (Dempsey et al., 2014) han demostrado que, con el objetivo de reducir el riesgo de rotura del ligamento cruzado anterior, la aplicación de un feedback externo en tiempo real puede modificar la biomecánica del aterrizaje de jugadoras de voleibol experimentadas. La alteración permanente de la biomecánica de un gesto implica desarrollar un nuevo patrón que reemplace el anterior. En este aspecto, las investigaciones existentes se quedan cortas ya que no es suficiente con demostrar que el deportista es capaz de replicar el nuevo gesto, sino que debe ser capaz de reproducirlo de forma consistente al eliminar la fuente de feedback externo y de mantener los cambios a largo plazo (Bowser et al., 2018).

El feedback externo en tiempo real ha sido ampliamente utilizado en corredores para corregir su biomecánica con el objetivo de reducir el impacto de la carrera y el riesgo de lesión. En su estudio, Bowser et al. (2018) encontraron que en 8 sesiones fue posible modificar la biomecánica de la carrera. Además, hicieron un seguimiento 1, 6 y 12 meses después del final del protocolo observando que estos cambios se mantenían, concluyendo que el feedback es una forma eficaz para lograr cambios en la biomecánica de un gesto deportivo a largo plazo. Estos cambios fueron más significativos y consistentes a largo plazo que en otros estudios donde el número de sesiones fue menor (6 sesiones). Esto coincide con otros estudios en los que, a través de una intervención de 8 sesiones, consiguieron mejoras en el control postural y salto de jugadoras de voleibol (Fuchs et al., 2020).

### **1.5 Modificación de la técnica y rendimiento**

Es importante considerar que cuando se plantea modificar determinados aspectos de la biomecánica de un gesto deportivo, para prevenir la aparición de lesiones, no debe alterarse negativamente el rendimiento. El rendimiento en el remate de voleibol está determinado por factores como la máxima altura de la mano, la velocidad máxima de la mano y la del balón (Seminati et al., 2015; Serrien et al., 2016). En la técnica alternativa de remate, con una menor flexión de hombro, se produce un mayor rendimiento en todos estos aspectos, tanto en hombres como mujeres. Por este motivo, podría reducirse el riesgo de lesión de hombro, manteniendo e incluso aumentando el rendimiento, tanto en jugadoras de élite como en jugadoras de voleibol universitario (Seminati et al., 2015) (Anexos, Figura 9).

Por otro lado, Serrien et al. (2016) exponen que en jugadores de élite se produce una mayor extensión de codo que en jugadores junior, por lo que además de considerarse un factor protector para las lesiones de hombro, está asociado a un mayor rendimiento deportivo. Por último, respecto a la rotación externa durante el armado se sugiere que, en cuanto al rendimiento, es más importante el momento del armado que la máxima rotación externa. Añaden que esta podría ser una conclusión relevante debido a que la máxima rotación externa es un factor de riesgo muy importante para las lesiones de hombro (Serrien et al., 2016).

## **2. Justificación**

El hombro es una articulación muy móvil y poco estable y, por tanto, muy susceptible de sufrir lesiones en voleibol (Peterson et al., 2007; Reeser y Bahr, 2017). Se trata de un deporte practicado por más de 200 millones de personas y cuyas acciones específicas deben combinarse con movimientos a alta velocidad, lo que genera unas demandas altísimas del sistema musculoesquelético y, por lo tanto, un gran riesgo de lesión. Para poder hacerse a la idea de la seriedad de estas lesiones, se puede observar el ejemplo de Países Bajos, donde por cada 100.000 horas de juego, hay 12 lesiones que requieren una intervención de emergencia, lo que supera el promedio del resto de deportes, que se sitúa en 7,9 (Kilic et al., 2017).

Respecto a las lesiones de hombro, existe una falta de información acerca de la etiología y de métodos de prevención (Kilic et al., 2017), los cuales son de suma importancia, dado que tratar lesiones deportivas es difícil, caro y consume mucho tiempo (Serrien et al., 2016). Concretamente, las lesiones de hombro suelen tener un efecto debilitante a largo plazo teniendo un gran impacto negativo sobre el rendimiento y la calidad de vida del jugador de voleibol (Mitchinson et al., 2013). Para prevenirlas, es importante detectar los factores que predisponen a los jugadores a un mayor riesgo de lesión. Varios autores coinciden en que uno de los principales factores de riesgo para las lesiones de hombro es una inadecuada biomecánica y técnica de golpeo. Por lo tanto, mediante una correcta medición de los parámetros biomecánicos del gesto, se puede enseñar a los deportistas a ejecutarlo adecuadamente con el objetivo de reducir lesiones deportivas derivadas de una mala técnica de remate (Baugh et al., 2018; Garrido-Castro et al., 2017; Jurkojć et al., 2017; Serrien et al., 2016) (Anexos, Figura 10).

Baugh et al. (2018) demostraron que existe una mayor incidencia lesional del hombro en mujeres (7,07 lesiones por cada 1000 horas) que en hombres (4,69). Además, se concluyó que en ellas las lesiones de hombro suelen acarrear problemas más serios (Baugh et al., 2018; Reitmayer, 2017). Por otro lado, se ha escogido la competición universitaria como categoría para el estudio ya que, a partir de los 18 años, el índice lesional es de 0,78 lesiones por jugador al año, mientras que en jugadoras entre 15 y 18 es de 0,52 (Malliou et al., 2008).

### **3. Objetivos e hipótesis del estudio**

**Objetivo principal:** Analizar el efecto de un programa de ejercicios, basado en la corrección de variables cinemáticas de la técnica de remate asociadas a un mayor riesgo de lesión de hombro (rotación externa y flexión máxima de hombro y déficit de extensión de codo), sobre la biomecánica de remate de jugadoras de voleibol universitario en comparación con un programa de entrenamiento convencional.

**Objetivos secundarios:**

- Analizar si el programa basado en la corrección biomecánica de la técnica de remate influye sobre las variables relacionadas con el rendimiento: altura máxima de la mano, velocidad máxima de la mano y velocidad máxima del balón.

- Comparar la incidencia lesional de hombro entre el grupo control y experimental después de 1 año de la intervención.
- Analizar si el nuevo patrón biomecánico se conserva tras 1 año desde la intervención.

**Hipótesis:** Un programa basado en la corrección de variables cinemáticas del remate asociadas a un mayor riesgo de lesión de hombro permite modificar la biomecánica de remate de jugadoras de voleibol universitario en comparación con un programa de entrenamiento convencional.

## **4. Metodología**

### **4.1 Diseño**

Estudio experimental, aleatorizado, abierto y prospectivo.

### **4.2 Muestra y formación de grupos**

Los criterios de inclusión para la selección de la muestra son: jugadoras de voleibol con más de 2 años de experiencia que tengan entre 18 y 25 años y compitan en la categoría de voleibol universitario; que realicen un mínimo de 2 entrenamientos semanales más la competición y no padezcan ninguna historia previa de lesión de hombro en el último año (lesión que haya dejado 2 o más semanas sin competir). Los criterios de exclusión para la selección de la muestra son: haber sufrido algún tipo de operación, fractura, dislocación o subluxación del miembro superior o tronco; presentar dolor cervical, dorsal o lumbar en el momento de la selección de la muestra, así como amenorrea o embarazo durante ese periodo; haber dado a luz en el último año; y jugadoras cuya posición sea líbero, colocadora o central.

A la hora de formar los grupos para el estudio, se empleará un muestreo probabilístico en el que, tras la medición inicial, cada una de las jugadoras podrá ser seleccionada o no para formar parte del grupo en el que se aplique el protocolo de intervención. El método de selección para formar parte del grupo experimental será la aleatorización simple y se encargará una persona ajena a la investigación a través del software informático Excell.

El tamaño muestral será de 46 jugadoras (23 formarán parte del grupo control y 23 del experimental). Esta muestra se obtendrá del total de jugadoras que participen en la competición de voleibol universitario en la Comunidad de Madrid y formen parte de los equipos de las siguientes universidades: Universidad Europea de Madrid (UEM), Universidad Francisco de Vitoria (UFV) y Universidad Complutense de Madrid (UCM). El motivo por el que se escogieron estas universidades fue que los horarios y días de entrenamiento no coincidían entre ellas ni tampoco con actividades que tuviesen lugar en el pabellón de la UEM en ese horario. El proceso de selección del número de jugadoras incluidas en el estudio se refleja en la Figura 11 (Anexos). Los encargados de reclutar a las jugadoras serán un grupo de graduados en CAFYD, miembros del equipo investigador, quienes se comunicarán con cada universidad y entrenadores de estos equipos. Ellos se pondrán en contacto con las jugadoras para citarlas en fecha y hora en las instalaciones de la UEM, donde se llevarán a cabo las mediciones.

El proyecto planteado se adhiere a la Declaración de Helsinki (Asociación Médica Mundial, 2019) y deberá ser aprobado por el Comité Ético del Hospital Universitario de Getafe de la Comunidad de Madrid. A las jugadoras seleccionadas para formar parte de la investigación, se les facilitará una hoja informativa y un documento de consentimiento informado que deberán firmar antes de iniciarse el proyecto (Anexos, Figuras 12, 13, 14).

### **4.3 Variables y material de medida**

Para dar respuesta al objetivo principal, será necesario medir las siguientes variables:

- **Medidas antropométricas:** Medidas del cuerpo del sujeto necesarias para calcular la cinemática del miembro superior durante del gesto del remate a partir de marcadores con Vicon. Estas son: masa corporal (kg), estatura (mm), “offset” o desplazamiento del hombro (mm), anchura del codo (mm), anchura de la muñeca (mm) y grosor de la mano (mm) (Vicon, 2021). Cada uno de estos conceptos se definen en la Tabla 1 (Anexos). Se tratan de variables dependientes cuantitativas continuas. En cuanto al material de medida, para medir la estatura, será necesario un estadiómetro portátil (SECA 213), para la

masa corporal una báscula digital (Tefal/0-160 kg) y para el resto de las variables un antropómetro pequeño (Kalikisim et al., 2022).

- El protocolo de entrenamiento: Programa de ejercicios con uso de feedback. Es una variable independiente, cualitativa y nominal. El espacio necesario será el pabellón de la UEM que consta de tres campos de voleibol (uno para entrenamiento del equipo y dos para llevar a cabo las sesiones de intervención). El material necesario serán 3 redes de voleibol, 16 balones, 10 pelotas de tenis, dos sistemas de cámaras y dos monitores donde poder enseñar la técnica correcta y reproducir el feedback visual. En esta variable, no existe como tal una unidad de medida ya que las jugadoras simplemente realizarán o no (SI/NO) las sesiones de entrenamiento de la manera expuesta en el apartado “procedimiento”.
- La cinemática del hombro y codo durante el remate: Rangos de movimiento de flexión y rotación externa de hombro y extensión de codo máximos durante el remate (Anexos, Figura 15). Son variables de tipo dependiente, cuantitativas y continuas. Son angulares y su unidad de medida será en grados ( $^{\circ}$ ). Serán medidas y analizadas con Vicon (Vicon MX-13, Oxford, UK) (Fuchs et al., 2019) y será necesario un campo de voleibol con red y un balón. Todo el material que conforma el sistema Vicon así como el protocolo de medición es descrito más adelante en el apartado “Procedimiento”. Serán medidas al inicio y al final de la intervención.

Para responder a los objetivos secundarios, se medirán las siguientes variables:

- La variable “rendimiento” está determinada por “altura máxima de la mano”, “velocidad máxima de la mano” y “velocidad máxima del balón” (Seminati et al., 2015): La “altura máxima de la mano” se define como la máxima altura alcanzada por la mano de la jugadora durante el gesto del remate; la “Velocidad de la mano” es la máxima velocidad lineal alcanzada por la mano durante el gesto; y la “velocidad del balón” es la máxima velocidad lineal alcanzada por el balón tras el remate (Seminati et al., 2015). Son variables dependientes cuantitativas continuas. Son cinemáticas lineales y serán medidas y analizadas con Vicon (Vicon MX-13, Oxford, UK) (Fuchs et al., 2019; Seminati et al., 2015). Sus unidades de medida serán metros (m) y metros/ segundo (m/s) respectivamente. Todo el material que conforma el



sistema Vicon así como el protocolo de medición es descrito más adelante en el apartado “Procedimiento”.

- La cinemática del hombro y codo durante el remate: Será necesario realizar una nueva medición al cabo de un año tras el final de la intervención para valorar si estos cambios en la cinemática del gesto del remate se mantienen a largo plazo (Bowser et al., 2018).
- Incidencia lesional: Número de casos nuevos de lesiones o procesos dolorosos de hombro desde el final de la intervención. Es una variable dependiente, cuantitativa y discreta. Para medir esta variable se utilizará un cuestionario, adaptado del realizado por Seman et al. (2019), donde las jugadoras deberán indicar si han padecido o no lesión o dolor de hombro desde el final de la intervención y, en caso afirmativo, el número de procesos diferentes. Se contarán y compararán los casos entre el grupo control y experimental.

#### **4. 4 Procedimiento**

El procedimiento consistirá en realizar un análisis cinemático de la extremidad superior (hombro y codo) durante el remate a todas las jugadoras que conformen la muestra. Al grupo experimental se le aplicará el protocolo de intervención, basado en la modificación de la técnica hacia un modelo menos lesivo y fundamentado en la técnica alternativa, mientras que el grupo control seguirá con sus entrenamientos con normalidad. Tras la intervención, se realizará una nueva medición y se compararán los valores obtenidos con los valores iniciales y con los del grupo control. 12 meses después se realizará un nuevo análisis para valorar si los resultados obtenidos se mantienen a largo plazo (Anexos, Figura 16).

Todas las participantes recibirán una hoja informativa, un documento de consentimiento informado y un cuestionario (donde se recogerán datos como los años de experiencia, la edad, la posición, etc.) que deberán leer, rellenar y firmar el primer día. La primera medición se realizará durante la 2ª y 3ª semana del mes de septiembre (Anexos, Figura 16). Antes del análisis biomecánico se recogerán las medidas antropométricas necesarias para medir con Vicon (Anexos, Tabla 1). El centro de la articulación glenohumeral será calculada utilizando un modelo de regresión (Mitchinson et al., 2013). Para evitar posibles lesiones, se llevará a cabo



un calentamiento previo de 15 minutos que consistirá en una parte cardiovascular y otra de ejercicios específicos de voleibol (Serrien et al., 2016).

El protocolo de medición consistirá en registrar 3 remates con éxito de cada jugadora con un minuto de descanso entre estos. Se entiende por éxito que el balón supere la red por encima y caiga en un objetivo de 3x3 metros situado entre las zonas 5 y 6 del campo contrario. Al ejecutar los ataques, se les solicitará a las jugadoras que los realicen como si estuviesen en un partido normal, marcando ellas las distancias y velocidades en función de sus preferencias. Todos los ataques serán realizados por zona 4 y habrá un jugador profesional de voleibol (colocador) encargado de las colocaciones. De esta forma, se evita usar cuerdas o máquinas que harían que la situación de remate se alejase de la usual durante la competición. La secuencia en la que se realizará la jugada será la siguiente: se lanza un balón al colocador que pasará el balón a la jugadora para que ejecute el remate (Jurkojć et al., 2017; Serrien et al., 2016). Este protocolo tendrá lugar en las instalaciones de la UEM. Las variables cinemáticas que se analizarán serán angulares (rotación externa máxima, flexión máxima y extensión de codo) y lineales (altura máxima de la mano, velocidad máxima de la mano y velocidad máxima del balón). Estas últimas permitirán valorar si, al modificarse la técnica de remate, el rendimiento se ve alterado.

Para la obtención de datos cinemáticos se utilizará un sistema optoelectrónico de 6 cámaras Vicon (Vicon MX-13, Oxford, UK) que registrarán la posición a 250Hz de 16 marcadores reflectivos de 25mm. Estos serán situados en el miembro superior siguiendo el protocolo establecido por Vicon para miembro superior explicado en las Figuras 17 y 18 (Anexos) (Seminati et al., 2015). Se colocarán dos marcadores adicionales en la cara dorsal de la mano (cabeza de metatarsianos 2 y 5) para medir la velocidad y altura de la mano y 6 en la pelota para medir su velocidad (Garrido-Castro et al., 2017; Seminati et al., 2015; Serrien et al., 2016). Las cámaras estarán situadas a una distancia de entre 8 y 12 metros de la zona de remate, a una altura de 1.40 metros y junto a un sistema de iluminación que permitirá conseguir un mayor realce de los marcadores. Para la medición de la velocidad del balón se utilizará una cámara adicional de alta frecuencia (CASIO Exilim, 210Hz), orientada perpendicularmente al plano de

movimiento (sagital) a una distancia de 10m (Seminati et al., 2015). Estas cámaras estarán conectadas a un ordenador central y los datos obtenidos serán procesados y analizados a través del software Vicon Nexus 2.14 (Nexus; Oxford Metrics, Inc.) siguiendo el protocolo realizado por Seminati et al. (2015). En cada jugadora, se obtendrán los valores medios de cada una de las variables mencionadas anteriormente.

Tras la primera medición se dispondrá de una semana para analizar los datos obtenidos y la primera semana de octubre dará comienzo el protocolo de intervención, que tendrá una duración total de 5 semanas (2 sesiones semanales de 30´ de duración) durante las cuales, el grupo control continuará con sus entrenamientos con normalidad (Anexos, Figura 16). Las jugadoras pertenecientes al grupo experimental serán sometidas a un protocolo de entrenamiento basado en la corrección de la biomecánica del remate e inspirado en el modelo metodológico 5C ideado por Ureña (2021). Este modelo consiste en una propuesta de la Real Federación Española de Voleibol para el Plan Nacional de Tecnificación del Consejo Superior de Deportes del Gobierno de España donde el objetivo principal es ampliar y depurar el repertorio técnico de los jugadores de voleibol (Ureña, 2021).

En primer lugar, se construirá un modelo técnico del remate basado en la técnica alternativa (Anexos, Figura 2) donde se corrijan aquellos factores cinemáticos (flexión y rotación externa máxima de hombro y flexión de codo) que anteriormente se han establecido como lesivos para el hombro. La primera semana estará enfocada en la comprensión por parte de las jugadoras del modelo técnico del remate construido. Para ello se realizarán 2 sesiones teóricas de formación con imágenes y videos en los que las jugadoras puedan observar y aprender cómo es la correcta realización de este gesto y compararlo con otros modelos incorrectos.

Una vez comprendido el gesto, se procederá a instruir a las jugadoras en cómo realizar correctamente la técnica, de forma práctica, a la vez que se aplica un feedback en tiempo real. En base a distintos protocolos que mostraron su efectividad a la hora de modificar ciertos aspectos de la técnica dentro de la práctica deportiva se han establecido 2 sesiones prácticas semanales de 30´ de

duración durante 4 semanas dejando, entre ellas, un mínimo de 48 horas de descanso (Dos Santos et al., 2021; Fuchs et al., 2020). Estas sesiones coincidirán con los días de la semana que las jugadoras tengan entrenamiento con su equipo. Durante ese día, su equipo al completo acudirá a su hora normal de entrenamiento a las instalaciones de la UEM para realizarlo, pero aquellas jugadoras que formen el grupo experimental deberán acudir 40 minutos antes para poder llevar a cabo la intervención. Tras realizar un calentamiento de 10 minutos, las jugadoras y equipo de investigación serán repartidos en dos campos para agilizar el proceso y que puedan hacer al máximo número posible de repeticiones. Con el objetivo de que no haya interrupciones en la intervención, durante el periodo que dure la misma no se contemplan periodos festivos tan largos como para no poder llevar a cabo estas sesiones. Por equipo, podrá haber hasta 8 jugadoras que formen parte del grupo experimental.

Las primeras semanas se comenzará con ejercicios analíticos para que las jugadoras enfoquen su atención de forma concreta en el movimiento del hombro. Para ello se realizarán tareas sin batida (salto), red ni colocador. Estos ejercicios irán progresando hacia tareas más complejas y globales, asemejándose cada vez más a situaciones reales de juego. Inicialmente se introducirán elementos como la red y la figura del colocador y de forma progresiva se irán planteando situaciones de remate donde previamente se ha producido una fase característica del juego de voleibol (defensa, recepción, bloqueo, apoyo, etc.). Finalmente se plantearán ejercicios que consistan en un partido para recrear una situación lo más similar posible al juego real. Todo este proceso se explica con detalle en las Tablas 2 y 3 (Anexos).

El volumen de remates estimado de cada sesión será de entre 10 y 40 e irá disminuyendo a medida que la complejidad e intensidad de los ejercicios vaya aumentando. La intensidad será menor en los ejercicios más analíticos (50-75%) para que las jugadoras se centren en el movimiento del hombro e irá aumentando progresivamente hasta solicitarles una intensidad del 100% para que se asemeje lo máximo posible a una situación real de competición (Dos Santos et al., 2022). Dispondrán de un tiempo de descanso considerable entre repeticiones y series (1´- 2´) para que, en la medida de lo posible, los resultados no se vean alterados

por la fatiga y tengan el tiempo suficiente para recibir el feedback visual y verbal. Durante estos entrenamientos, la red se situará a una altura de 2.24 metros y se utilizarán los balones reglamentarios de la FIVB (Federation Internationale de Volleyball, 2021).

Como se ha mencionado anteriormente, mientras que las jugadoras se encuentran realizando las tareas propuestas, se aplicará un feedback visual y verbal en tiempo real. El feedback visual será posible gracias a un sistema de video formado por una cámara conectada a un monitor central. En la pantalla se reflejará la ejecución del remate grabado gracias a una aplicación de retardo de video para lograr así un acceso dinámico y sencillo a las imágenes. Mientras se muestra la ejecución realizada por la jugadora, se le facilitarán comparaciones entre la ejecución propia y del modelo y se indicarán aquellos aspectos que se deben modificar de forma verbal. Inicialmente el feedback se realizará tras cada repetición y a medida que las jugadoras van obteniendo una imagen clara de la técnica, se va prescindiendo del modelo, disminuyendo la frecuencia del feedback externo hasta que desaparece casi por completo (Bowser et al., 2018; Ureña, 2021).

Una vez finalizada la intervención, se repetirá la medición biomecánica en la muestra y se compararán los valores obtenidos en el grupo experimental con los iniciales y con los del grupo control. De la misma forma, con el objetivo de valorar si los cambios obtenidos se mantienen a largo plazo, se realizará un nuevo análisis tras 12 meses a las jugadoras del grupo experimental (Anexos, Figura 16). En ese momento también se les facilitará a todas las jugadoras de la muestra un cuestionario donde deberán indicar si han padecido o no lesiones o dolor de hombro desde el final de la intervención y, en caso afirmativo, detallar el número de procesos diferentes. Se compararán los datos obtenidos entre el grupo control y experimental para valorar si hay diferencias en cuanto a la incidencia lesional. En caso de que se cumpla la hipótesis propuesta, a aquellas jugadoras que conformen el grupo control, se les ofrecerá recibir dicha intervención una vez finalice el estudio.

#### **4.5 Análisis de datos**

En base a la facilidad de uso y el dominio del software por parte del equipo investigador, el proceso de análisis de los datos obtenidos se llevará a cabo con el software SPSS versión 27.0 (IBM Corp. Amork, NY). La descripción de variables se hará a través de la media, la moda y la mediana (tendencia central). Para comprobar su distribución (paramétricas o no paramétricas), se utilizará la prueba estadística Shapiro Wilk ( $n < 50$ ). Previo a las pruebas de análisis estadístico se utilizará la prueba de ANOVA para medidas repetidas para el análisis del efecto del cambio producido por el factor grupo (experimental y control) y tiempo (pre y post intervención). Dichas diferencias vendrán determinadas por el tamaño del efecto que podrá ser: entre 0,01 - 0,059 pequeño, entre 0,060 - 0,148 medio y  $> 0,50$  grande.

Para comparar las variables cinemáticas entre los dos grupos tras la aplicación de la intervención, se utilizarán las pruebas de T-Test (paramétricas) o de U de Mann-Whitney (no paramétricas). Estas mismas pruebas, se utilizarán para analizar si la intervención influye sobre las variables relacionadas con el rendimiento (altura máxima de la mano, velocidad máxima de la mano y velocidad). Para comparar la incidencia lesional de hombro entre el grupo control y experimental 1 año después de la intervención se utilizarán las pruebas T-Test (paramétricas) y de Wilcoxon (no paramétricas). Se utilizarán estas mismas pruebas para comparar las variables cinemáticas medidas en situación basal y tras un año de la intervención. Se considerará que existe una diferencia estadísticamente significativa cuando  $p < 0,05$ .

## **5. Equipo investigador**

El equipo investigador para el presente estudio está compuesto por dos graduados en CAFYD y Fisioterapia que, dentro del estudio, serán el investigador principal (IP) y el coinvestigador principal (CO-IP). El IP será el encargado de seguir todas las fases del estudio, montar y recoger todo el material que conforma el sistema Vicon, así como la puesta en marcha y calibración de este sistema el día de la medición, siendo el responsable de solucionar cualquier problema que surja relacionado con Vicon. También se encargará del montaje, preparación y puesta en marcha del material que conforma el sistema de feedback de video (cámaras, ordenador y monitor) así como de su recogida. Durante los

entrenamientos y mediciones se situará en los monitores comprobando que los datos se recogen correctamente y supervisando que el protocolo se aplica adecuadamente.

Las labores del CO-IP consistirán en asistir al IP en las tareas de preparación y recogida del material que conforma el sistema de feedback de video y el Vicon, realizar las medidas antropométricas y colocar los marcadores sobre los puntos anatómicos concretos del cuerpo de las jugadoras para la medición. Durante los entrenamientos, se situará en la zona de visualización de los monitores. Ambas figuras son las principales responsables del desarrollo de la investigación y diseño del protocolo de intervención y, de forma conjunta, deberán instruir correctamente al resto del equipo en los objetivos, funciones, protocolos y tiempos que deben seguir durante el estudio. También serán los responsables de realizar el análisis de datos y los procedimientos estadísticos y podrán asistir en la transmisión del feedback durante los entrenamientos en caso de que sea necesario.

También formarán parte de dicho equipo 3 graduados en CAFYD expertos en biomecánica del remate de voleibol. Estos serán los responsables del reclutamiento y citación de las jugadoras, de contactar y establecer comunicación con los entrenadores de cada equipo universitario y de entregar y recoger correctamente cumplimentados los consentimientos informados. También tendrán la función de preparar el campo y los balones y situar la red a la altura adecuada. Durante los días de medición, deberán acudir 2 de ellos (siempre los mismos) para anotar los datos antropométricos. Posteriormente se situarán en el ordenador iniciando y deteniendo la grabación. Durante los entrenamientos, se requerirá de estos expertos para que impartan las formaciones teóricas y posteriormente las prácticas a las jugadoras. También serán los encargados de proporcionar el feedback durante las sesiones. Se necesitará un graduado en CAFYD por cada 3 jugadoras que realicen el entrenamiento. Por este motivo, el equipo lo forman 3 graduados, ya que el máximo de jugadoras que realizarán la sesión entre los dos campos será de 8.

Por último, dos alumnos del Máster de Biomecánica Deportiva serán los encargados de lanzar los balones al colocador y recogerlos, contando su intervención en esta investigación como horas de prácticas para el Máster.

Estarán supervisados en todo momento por el IP y el CO-IP que se encontrarán en la misma sala (Anexos, Figura 19). Los colocadores, serán dos alumnos del doble Grado de Fisioterapia Y CAFYD en la Universidad Europea, jugadores profesionales de Superliga Masculina 2. Su intervención en la investigación contará como horas de compromiso necesarias para cumplir con los requisitos de su beca “Los diez de CAFYD”. Todas estas funciones se encuentran resumidas en las Tablas 4 y 5 (Anexos).

## **6. Viabilidad del estudio**

Para garantizar la viabilidad del estudio, se concienciará a las jugadoras sobre la incidencia y etiología de las lesiones de hombro en jugadores de voleibol, así como del impacto negativo que tienen tanto a nivel deportivo como sobre la calidad de vida. Se les informará sobre la relación entre la biomecánica y el riesgo de desarrollar lesiones de hombro durante un gesto tan exigente como es el remate y de los posibles beneficios de un plan de prevención basado en corregir ciertos factores cinemáticos que, en caso de no modificarse podrían dar lugar a este tipo de lesiones. Entre estos beneficios, cabe resaltar que se ha demostrado que la modificación de las variables sobre las que se pretende actuar en esta intervención no genera un impacto negativo en el rendimiento del remate y que incluso podría generar un aumento de este. De esta forma, se pretende incitar y motivar a las jugadoras a la participación activa en el estudio hasta el final y reducir las posibilidades de desinterés y abandono de este. Además, se aclararán todas las dudas que tengan las jugadoras y sus entrenadores. A pesar de esto, dado que el estudio se desarrollará durante más de una temporada, se seleccionará la muestra teniendo en cuenta que hay diferentes factores que pueden hacer que las jugadoras abandonen, como una posible lesión o desinterés.

Aunque la duración total será de más de una temporada ya que la última medición cinemática se realizará un año después de finalizar la intervención, el periodo de intervención será de 5 semanas. De esta forma se favorece la continuidad de las participantes y la viabilidad del estudio.



En cuanto al tamaño muestral, se ha decidido incluir 46 jugadoras en el estudio, de las cuales a la mitad (grupo experimental) se les aplicará la intervención. Habría sido interesante realizar este proceso en una muestra más grande e incluso tras la medición, aplicar la intervención solo a aquellas jugadoras con una biomecánica alterada, sin embargo, realizar tantas mediciones cinemáticas con Vicon habría sido inviable teniendo en cuenta los recursos de los que se dispone para llevar a cabo la presente investigación. Aplicar la medición e intervención a un grupo reducido de jugadoras garantiza la viabilidad de la investigación. Por la misma razón, no se ha contemplado medir y diferenciar entre remates desde diferentes zonas del campo (zonas 2 y 3) ni hacia diferentes lugares del campo contrario (diagonal y línea). Si bien es cierto que sería de interés dado que posiblemente la cinemática del remate sea diferente en estos diferentes supuestos, realizar tal protocolo implicaría un elevado número de mediciones con Vicon, afectando a la viabilidad del estudio.

El desembolso económico necesario para desarrollar el estudio no será muy elevado dado que la mayor parte del material y espacio empleados se encuentran en la propia UEM, quien lo cederá durante el tiempo que dure la intervención. Asimismo, se trata de un equipo investigador reducido, estando compuesto únicamente por 7 personas además del IP y CO-IP, entre las que se encuentran 2 alumnos del Máster de Biomecánica y 2 alumnos del doble grado de Fisioterapia y CAFYD. Para lograr la financiación del proyecto, se solicitará al Consejo Superior de Deportes una de las ayudas destinadas a las “Redes de Investigación en Ciencias del Deporte” a las que se podría acceder por tratarse de una universidad privada y con cierta prioridad por estar nuestra investigación relacionada con la mujer y el deporte y la salud. También se solicitará una beca a la Real Federación Española de Voleibol, entidad colaboradora en el desarrollo del estudio dado al interés que tiene en la correcta formación de jugadoras de voleibol y en la disminución del número de lesiones en este deporte.

### **6.1 Limitaciones del estudio**

Aunque se trata de un estudio experimental abierto, prospectivo y randomizado, presenta algunas limitaciones. Al excluir de la muestra a hombres, los resultados del estudio son únicamente aplicables a jugadoras de voleibol. También se ha



limitado la muestra a jugadoras mayores de 18 años con ficha federativa para un equipo universitario, por lo que existiría una limitación a la hora de extrapolar los resultados a categorías inferiores y élite de este deporte.

En cuanto al protocolo, solo se han medido remates desde zona 4 hacia zona 5-6 del campo contrario, por lo que al realizar ataques desde otros lugares como zonas 3 y 2 y hacia otras zonas del campo contrario, la biomecánica podría cambiar y, por tanto, diferir de los resultados obtenidos en esta investigación. No se ha diferenciado entre jugadoras zurdas y diestras ni entre las diferentes posiciones (opuesta y ala), por lo que los resultados podrían estar condicionados por la lateralidad de las jugadoras y su posición ya que su biomecánica podría tener ciertas diferencias. Tampoco se han considerado otras formas de remate como, por ejemplo, desde el suelo.

Si bien es cierto que la duración de la intervención se ha basado en literatura ya existente, es posible que el tiempo de intervención sea escaso para lograr cambios consistentes en la biomecánica del remate. Sin embargo, se ha decidido no ampliar la intervención para asegurar la viabilidad y la continuidad de las participantes en el estudio.

A la hora de realizar el análisis cinemático, no se tuvieron en cuenta otros segmentos del cuerpo como el tronco, que influyen en la ejecución de este gesto deportivo. Solo se han considerado aquellas variables cinemáticas relacionadas con un mayor riesgo de lesión de hombro y que, según la bibliografía, su modificación no influye negativamente en el rendimiento, sin embargo, existen otros componentes cinemáticos del remate asociados a un mayor riesgo de lesión de hombro. Las mediciones fueron realizadas en situaciones del juego analíticas controladas, distando estas de las situaciones normales durante una competición.

Para garantizar la viabilidad de la presente investigación, se ha limitado la muestra a 46 jugadoras. Por último, respecto a la intervención, el último ejercicio aplicado se realiza tras el entrenamiento por lo que los resultados podrían estar alterados por la fatiga. Sin embargo, por viabilidad es necesario realizarlo en este momento dado que se necesita la participación de más jugadoras.

## 7. Referencias bibliográficas

- Asociación Médica Mundial AMM. (2019). Declaración de Helsinki de la AMM – Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. <http://35.171.53.77/bitstream/handle/123456789/386/Declaracion-Helsinki-2013-Esp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barzouka, K., Sotiropoulos, K. y Kioumourtzoglou, E. (2015). The effect of feedback through an expert model observation on performance and learning the pass skill in volleyball and motivation. *Journal of Physical Education and Sport*, 15(3), 407–416. <https://doi.org/10.7752/jpes.2015.03061>
- Baugh, C. M., Weintraub, G. S., Gregory, A. J., Djoko, A., Dompier, T. P. y Kerr, Z. Y. (2018). Descriptive Epidemiology of Injuries Sustained in National Collegiate Athletic Association Men’s and Women’s Volleyball, 2013-2014 to 2014-2015. *Sports Health*, 10(1), 60–69. <https://doi.org/10.1177/1941738117733685>
- Bowser, B. J., Fellin, R., Milner, C. E., Pohl, M. B. y Davis, I. S. (2018). Reducing Impact Loading in Runners: A One-Year Follow-up. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(12), 2500–2506. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001710>
- Challoumas, D., Stavrou, A. y Dimitrakakis, G. (2017). The volleyball athlete’s shoulder: biomechanical adaptations and injury associations. *Sports Biomechanics*, 16(2), 220–237. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1222629>
- Charalabos, I., Savvas, L., Sophia, P. y Theodoros, I. (2013). Biomechanical differences between jump topspin serve and jump float serve of elite Greek female volleyball players. *Sports Medicine Journal / Medicina Sportivã*, 9(2), 2083–2086. [https://www.researchgate.net/publication/238187547\\_Biomechanical\\_differences\\_between\\_jump\\_topspin\\_serve\\_and\\_jump\\_float\\_serve\\_of\\_elite\\_Greek\\_female\\_volleyball\\_players](https://www.researchgate.net/publication/238187547_Biomechanical_differences_between_jump_topspin_serve_and_jump_float_serve_of_elite_Greek_female_volleyball_players)
- Dempsey, A. R., Elliott, B. C., Munro, B. J., Steele, J. R. y Lloyd, D. G. (2014). Can technique modification training reduce knee moments in a landing task? *Journal of Applied Biomechanics*, 30(2), 231–236. <https://doi.org/10.1123/jab.2013-0021>
- Dos Santos, T., Thomas, C., Comfort, P. y Jones, P. A. (2021). Biomechanical effects of a 6-week change-of-direction technique modification intervention on anterior

- cruciate ligament injury risk. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(8), 2133-2144. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004075>
- Dos Santos, T., Thomas, C., Comfort, P. y Jones, P. A. (2022). Biomechanical effects of a 6-week change of direction speed and technique modification intervention: Implications for change of direction side step performance. *Journal of strength and conditioning research*, 36(10), 2780-2791. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003950>
- Drake, R. L., Vogl, A. W. y Mitchell, A. M. (2010). *Gray. Anatomía para estudiantes: Vol. 2nd ed.* Elsevier. <https://web-s-ebcsohost.com.ezproxy.universidadeuropea.es/ehost/detail/detail?vid=0&sid=97ef4b8a-ef04-4211-bf0e-5df20e2815fa%40redis&bdata=JkF1dGhUeXBIPWlwLHVpZCZsYW5nPWVzJnNpdGU9ZWWhvc3QtbGI2ZSZzY29wZT1zaXRI#AN=808906&db=nlebk>
- Eshghi, S., Zarei, M., Abbasi, H. y Alizadeh, S. (2022). The Effect of Shoulder Injury Prevention Program on Shoulder Isokinetic Strength in Young Male Volleyball Players. *Research in Sports Medicine (Print)*, 30(2), 203–214. <https://doi.org/10.1080/15438627.2020.1860050>
- Federación de Madrid de Voleibol (2022). Clasificaciones y resultados. <https://fmvoley.com/index.php/voleibol/clasificaciones-y-resultados-2/#!>
- Federation Internationale de Volleyball (2021). Reglas oficiales de voleibol 2021-2024. [https://www.rfevb.com/Files/Descargas/FIVB-Volleyball\\_Rules2021\\_2024-SP-pdfEs20220517034448.pdf](https://www.rfevb.com/Files/Descargas/FIVB-Volleyball_Rules2021_2024-SP-pdfEs20220517034448.pdf)
- Fuchs, P. X., Fusco, A., Cortis, C. y Wagner, H. (2020). Effects of Differential Jump Training on Balance Performance in Female Volleyball Players. *Applied Sciences*, 10(17), 5921. <https://doi.org/10.3390/app10175921>
- Fuchs, P. X., Menzel, H. J. K., Guidotti, F., Bell, J., von Duvillard, S. P. y Wagner, H. (2019). Spike jump biomechanics in male versus female elite volleyball players. *Journal of Sports Sciences*, 37(21), 2411–2419. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1639437>
- Garrido-Castro, J. L., Gil-Cabezas, J., Silva-Grigoletto, M. E. da, Mialdea-Baena, A., González-Navas, C., Garrido-Castro, J. L., Gil-Cabezas, J., Silva-Grigoletto, M. E. da, Mialdea-Baena, A. y González-Navas, C. (2017). Caracterización cinemática 3D del gesto técnico del remate en jugadoras de voleibol. *Revista*

*Andaluza de Medicina Del Deporte*, 10(2), 69–73.

<https://doi.org/10.1016/J.RAMD.2016.02.011>

- Ghorbanzadeh, B., Bayar, P. y Koruç, Z. (2017). The effect of feedback on serve and bump skills training in volleyball. *Journal of Physical Education and Sport*, 17, 995–1001. <https://doi.org/10.7752/jpes.2017.s3153>
- Hadžić, V., Dervišević, E., Pori, P., Hadžić, A. y Sattler, T. (2022). Preseason shoulder rotational isokinetic strength and shoulder injuries in volleyball players. *Isokinetics and Exercise Science*, 30(3), 273–278. <https://doi.org/10.3233/IES-210127>
- Instituto Nacional de Estadística (2021). Madrid: Población por Municipios y sexo. <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2881>
- Instituto Nacional de Estadística (2022). Cifras de población y Censos demográficos. [https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176951&menu=ultiDatos&idp=1254735572981](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176951&menu=ultiDatos&idp=1254735572981)
- Jurkojć, J., Michnik, R. y Czapla, K. (2017). Mathematical modelling as a tool to assessment of loads in volleyball player's shoulder joint during spike. *Journal of Sports Sciences*, 35(12), 1179–1186. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1214284>
- Kalkışım, Ş. N., Çan, M. A., Erden, A., Uzun, Ö., Ertemoğlu Öksüz, C. y Zihni, N. B. (2022). Relationships between anthropometric measurements, muscle strength and body awareness. *Acta Neurologica Belgica*, 122(1), 31–42. <https://doi.org/10.1007/s13760-020-01578-x>
- Kilic, O., Maas, M., Verhagen, E., Zwerver, J. y Gouttebauge, V. (2017). Incidence, aetiology and prevention of musculoskeletal injuries in volleyball: A systematic review of the literature. *European journal of sport science*, 17(6), 765-793. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1306114>
- Leonard, K. A., Simon, J. E., Yom, J. y Grooms, D. R. (2021). The immediate effects of expert and dyad external focus feedback on drop landing biomechanics in female athletes: An instrumented field study. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(1), 96–105. <https://doi.org/10.26603/001c.18717>
- Llusá, M., Merí, A. y Ruano, D. (2004). *Manual y atlas fotográfico de anatomía del aparato locomotor*. Editorial Médica Panamericana.

- Malliou, P., Beneka, A., Tsigganos, G., Gioftsidou, A., Germanou, E. y Michalopoulou, M. (2008). Are injury rates in female volleyball players age related? *Sport Sciences for Health*, 2(3), 113–117. <https://doi.org/10.1007/s11332-008-0049-3>
- Ministerio de Cultura y Deporte (2021). Estadística de deporte federado. <https://www.culturaydeporte.gob.es/dam/jcr:6b7e9a1a-e3e5-4b45-8ae5-6f187b50235f/estadistica-de-deporte-federado.pdf>
- Mitchinson, L., Campbell, A., Oldmeadow, D., Gibson, W. y Hopper, D. (2013). Comparison of Upper Arm Kinematics During a Volleyball Spike Between Players With and Without a History of Shoulder Injury. *Journal of Applied Biomechanics*, 29, 155-164. <https://doi.org/10.1123/jab.29.2.155>
- Oliveira, L. dos S., Moura, T. B. M. A., Rodacki, A. L. F., Tilp, M. y Okazaki, V. H. A. (2020). A systematic review of volleyball spike kinematics: Implications for practice and research. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 15(2), 239–255. <https://doi.org/10.1177/1747954119899881>
- Peterson, P., Kendall, E., Geise, P. McIntyre, M. y Anthony, W. (2007). *Kendall's Músculos. Pruebas funcionales. Postura y dolor*. Marbán.
- Pita-Fernández, S. (1996). Determinación del tamaño muestral. *Cadernos de atención primaria*, 3(3), 138-141. <https://www.fisterra.com/formacion/metodologia-investigacion/determinacion-tamano-muestral/#sec4>
- Reitmayer, H. E. (2017). A review on volleyball injuries. *Timisoara Physical Education and Rehabilitation Journal*, 10(19), 189–194. <https://doi.org/10.1515/tperj-2017-0040>
- Reeser, J. C. y Bahr, R. (Eds.). (2017). *Handbook of sports medicine and science, Volleyball* (2<sup>o</sup> ed). John Wiley & Sons. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ehqACgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Handbook+of+sports+medicine+and+science,+Volleyball+&ots=luv370ELgQ&sig=M6L7n\\_TnPg9UlnsGWbph92VduLM#v=onepage&q=Handbook%20of%20sports%20medicine%20and%20science%2C%20Volleyball&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ehqACgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Handbook+of+sports+medicine+and+science,+Volleyball+&ots=luv370ELgQ&sig=M6L7n_TnPg9UlnsGWbph92VduLM#v=onepage&q=Handbook%20of%20sports%20medicine%20and%20science%2C%20Volleyball&f=false)
- Reeser, J. C., Fleisig, G. S., Bolt, B. y Ruan, M. (2010). Upper Limb Biomechanics During the Volleyball Serve and Spike. *Sports Health*, 2(5), 368–374. <https://doi.org/10.1177/1941738110374624>
- Seman, S., Macura, M., Markovic, B. y Barak, O. (2019). Injury Incidence in Female Serbian Elite Volleyball Players. *Sport Mont*, 17(3), 101–104. <http://www.sportmont.ucg.ac.me/?sekcija=article&artid=1494>

- Seminati, E., Marzari, A., Vacondio, O. y Minetti, A. E. (2015). Shoulder 3D range of motion and humerus rotation in two volleyball spike techniques: injury prevention and performance. *Sports Biomechanics*, 14(2), 216–231. <https://doi.org/10.1080/14763141.2015.1052747>
- Seminati, E. y Minetti, A. E. (2013). Overuse in volleyball training/practice: A review on shoulder and spine-related injuries. *European Journal of Sport Science*, 13(6), 732–743. <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.773090>
- Serrien, B., Ooijen, J., Goossens, M. y Baeyens, J. P. (2016). A Motion Analysis in the Volleyball Spike - Part 1: Three-dimensional Kinematics and Performance. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, 4(4), 70–82. <https://doi.org/10.13189/saj.2016.040403>
- Shih, Y. F. y Wang, Y. C. (2019). Spiking Kinematics in Volleyball Players With Shoulder Pain. *Journal of Athletic Training*, 54(1), 90–98. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-216-17>
- Tooth, C., Gofflot, A., Schwartz, C., Croisier, J. L., Beudart, C., Bruyère, O. y Forthomme, B. (2020). Risk Factors of Overuse Shoulder Injuries in Overhead Athletes: A Systematic Review. *Sports Health*, 12(5), 478–487. <https://doi.org/10.1177/1941738120931764>
- Ureña, A. (2021) Método 5C. Voleibol. Cinco competencias para entrenar en la etapa de formación. <https://www.programa2025.com/wp-content/uploads/2021/03/Me%CC%81todo-5C-voleibol.pdf>
- Vicon (2021). Vicon Nexus user guide. <https://docs.vicon.com/display/Nexus212/PDF+downloads+for+Vicon+Nexus?preview=/133828966/133829808/Vicon%20Nexus%20User%20Guide.pdf>
- Zhang, C., Dong, M., Li, J. y Cao, Q. (2020). A modified kinematic model of shoulder complex based on vicon motion capturing system: generalized GH joint with floating Centre. *Sensors*, 20(13), 3713. <https://doi.org/10.3390/s20133713>



## 8. Anexos

### Figura 1

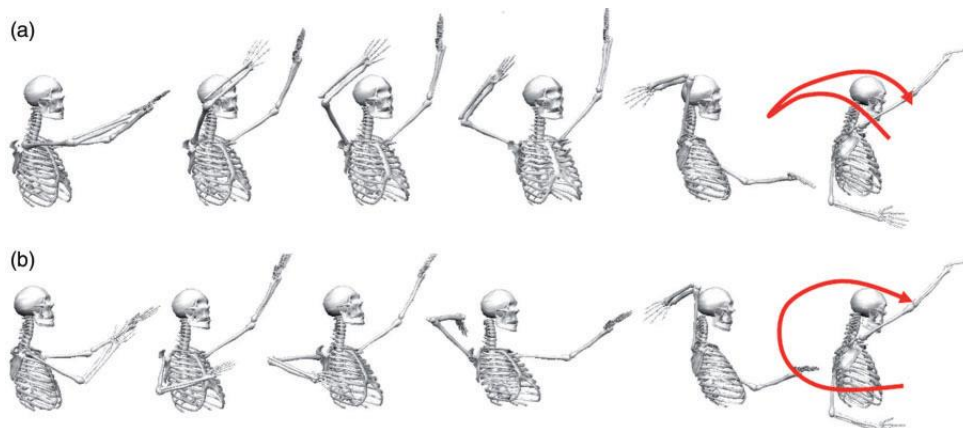
*Fases del remate en voleibol*



*Nota.* División del gesto de remate en las diferentes fases que lo componen. De “The volleyball athlete’s shoulder: biomechanical adaptations and injury associations” por D. Challoumas, A. Stavrou y G. Dimitrakakis, 2017, *Sports Biomechanics*, 16(2), p. 220 (<https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1222629>)

### Figura 2

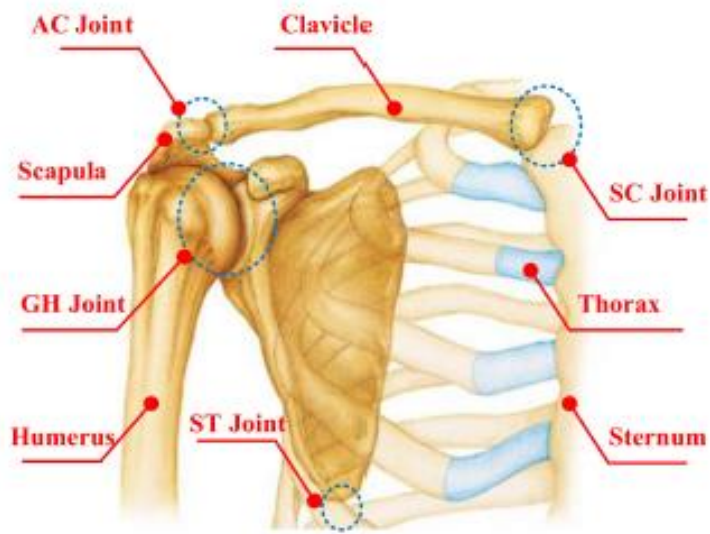
*Diferencias cinemáticas entre los dos estilos de remate*



*Nota.* Técnicas de armado en el remate de voleibol: (a) técnica tradicional o “elevation style; (b) técnica alternativa o “backswing style”. De “A systematic review of volleyball spike kinematics: Implications for practice and research” por L. dos S. Oliveira, T. B. M. A. Moura, A. L. F. Rodacki, M. Tilp y V. H. A. Okazaki, 2020, *International Journal of Sports Science & Coaching*, 15(2), p. 239 (<https://doi.org/10.1177/1747954119899881>)

### Figura 3

#### Anatomía de la cintura escapular

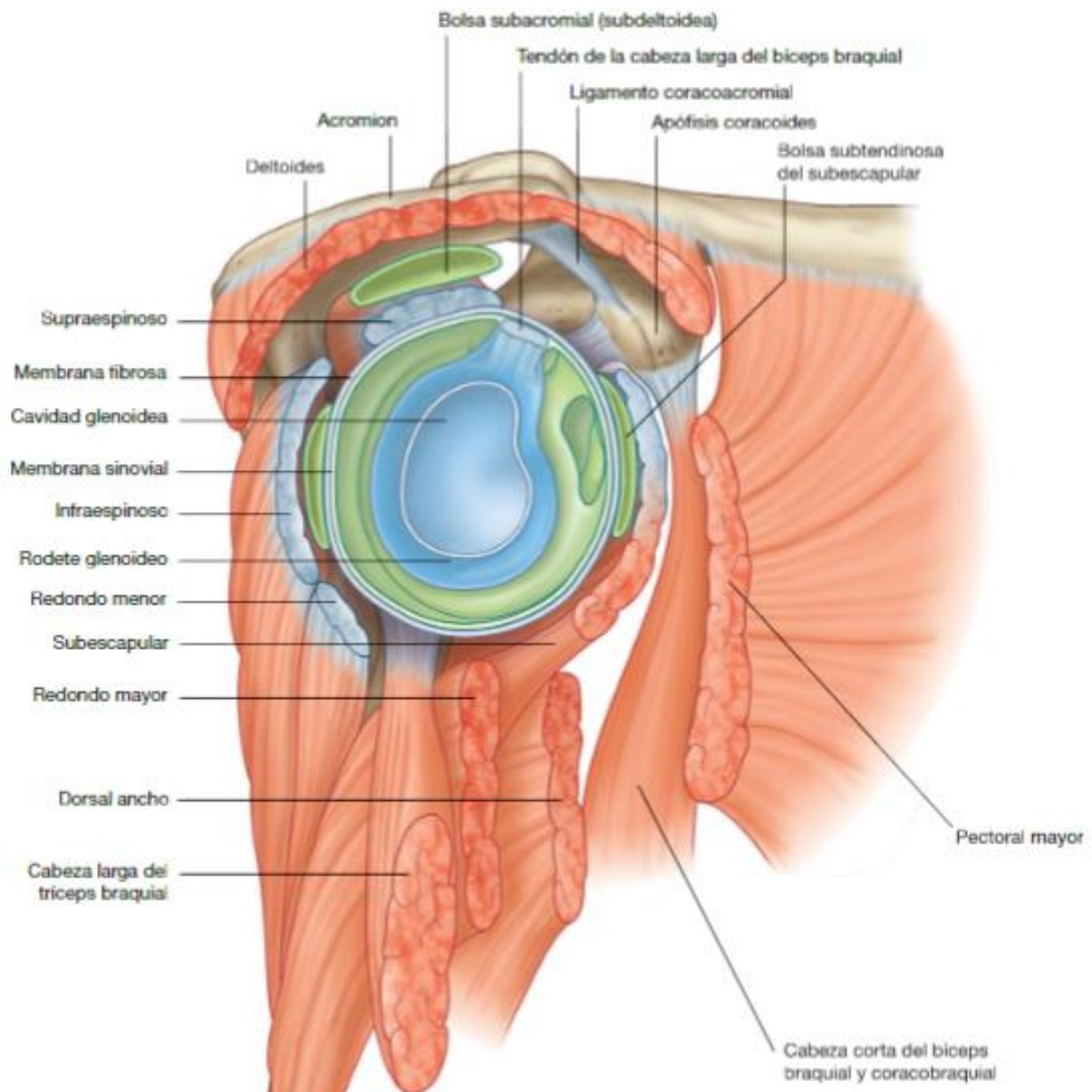


*Nota.* Anatomía del complejo del hombro. Se representan algunas de las articulaciones que conforman la cintura escapular: Glenohumeral (GH joint), esternoclavicular (SC joint) y acromioclavicular (AC joint). De “A modified kinematic model of shoulder complex based on vicon motion capturing system: generalized GH joint with floating Centre” por C. Zhang, M. Dong, J. Li y Q. Cao, 2020, *Sensors*, 20(13), p. 3713 (<https://doi.org/10.3390/s20133713>)



## Figura 4

### *Anatomía de la articulación glenohumeral y disposición de la musculatura del hombro*

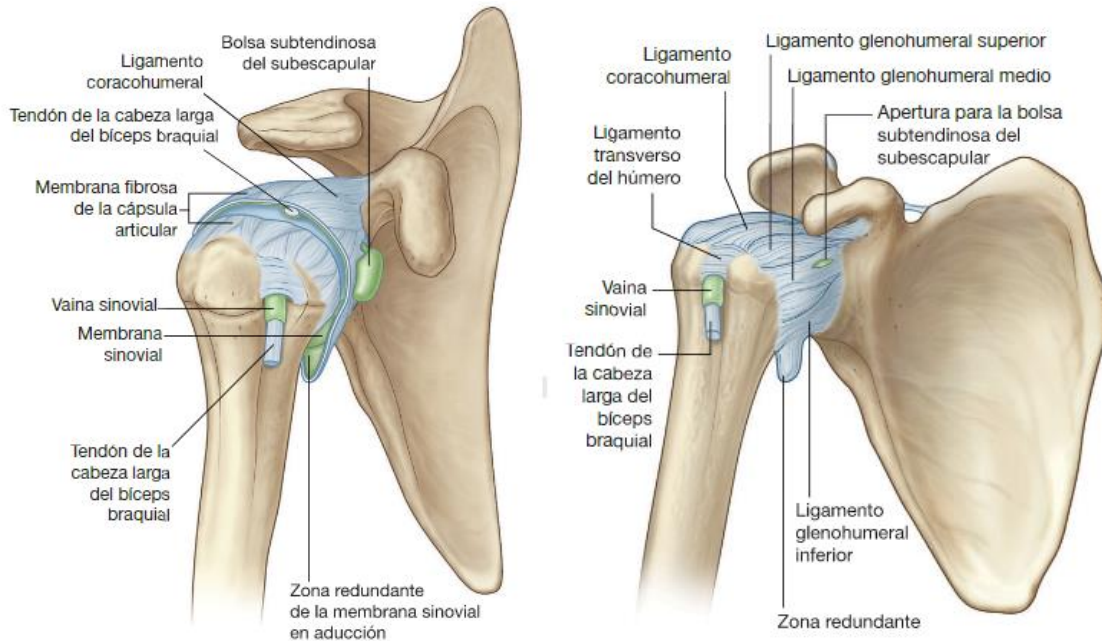


*Nota.* Esta imagen muestra: la anatomía interna de la articulación glenohumeral derecha donde se pueden observar estructuras como el rodete glenoideo; la disposición de la musculatura periarticular del hombro; y otros elementos como la bursa o bolsa subacromial. De “Gray. Anatomía para estudiantes: Vol. 2nd ed” por R. L. Drake, A. W. Vogl y A. M. Mitchell, 2010, Elsevier, p. 672 (<https://web-s-ebscohost.com.ezproxy.universidadeuropea.es/ehost/detail/detail?vid=0&sid=97ef4b8a-ef04-4211-bf0e->

5df20e2815fa%40redis&bdata=JkF1dGhUeXBIPWlwLHVpZCZsYW5nPWVzJnNpdGU9ZWhvc3QtbGI2ZSZzY29wZT1zaXRI#AN=808906&db=nlebk)

**Figura 5**

*Mecanismos estabilizadores pasivos del hombro*



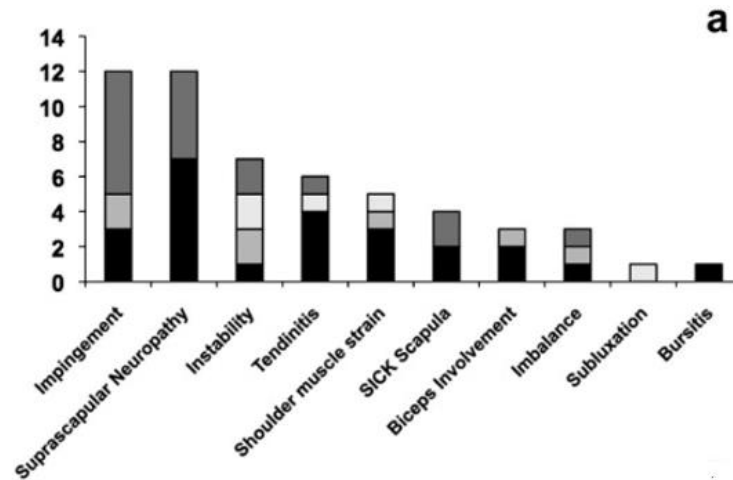
*Nota.* Ligamentos y otros mecanismos que intervienen en la estabilización pasiva de la articulación glenohumeral. De “Gray. Anatomía para estudiantes: Vol. 2nd ed” por R. L. Drake, A. W. Vogl y A. M. Mitchell, 2010, Elsevier, p.671 (<https://web-s-ebsohost>

[com.ezproxy.universidadeuropea.es/ehost/detail/detail?vid=0&sid=97ef4b8a-ef04-4211-bf0e-](https://web-s-ebsohost.com.ezproxy.universidadeuropea.es/ehost/detail/detail?vid=0&sid=97ef4b8a-ef04-4211-bf0e-)

5df20e2815fa%40redis&bdata=JkF1dGhUeXBIPWlwLHVpZCZsYW5nPWVzJnNpdGU9ZWhvc3QtbGI2ZSZzY29wZT1zaXRI#AN=808906&db=nlebk)

**Figura 6**

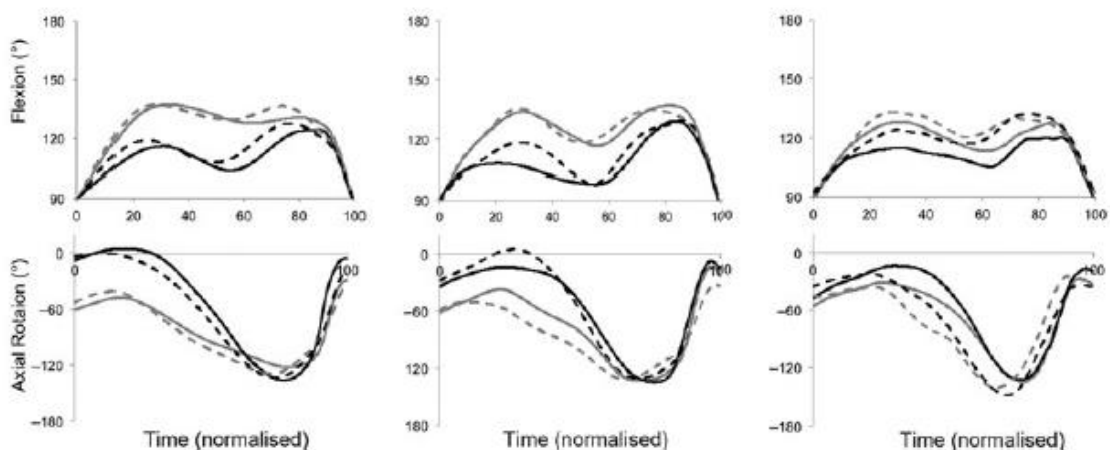
*Frecuencia de las diferentes lesiones de hombro en voleibol*



*Nota.* Número de artículos que han mencionado de cada tipo de lesión de hombro en jugadores de voleibol en función de su categoría (negro: jugadores de élite, gris oscuro: no especifican nivel, gris: jugadores recreacionales y blanco: jugadores en colegio y universidad). Adaptado de “Overuse in volleyball training/practica: A review on shoulder and spine.related injuries” por E. Seminati y A. E. Minetti. 2013, *European Journal of Sport Science*, 13(6), p. 735 (<https://doi.org/10.1080/17461391.2013.773090>).

**Figura 7**

*Rangos de flexión y rotación externa del hombro durante el remate*

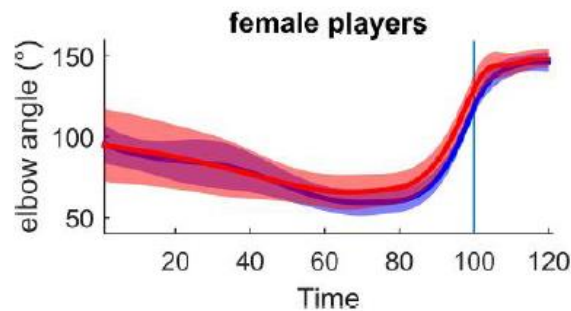


*Nota.* En la parte superior se muestran los grados de flexión y en la inferior los de rotación del hombro durante el remate en diferentes situaciones: (a) sin saltar; (b) saltando sin golpear el balón; y (c) saltando y golpeando el balón. La línea continua representa hombres y la discontinua mujer (técnica alternativa en negro)

y tradicional en gris). Se puede observar como la flexión se reduce considerablemente en la técnica alternativa mientras que en la rotación externa no hay diferencias significativas. De “Shoulder 3D range of motion and humerus rotation in two volleyball spike techniques: injury prevention and performance” por E. Seminati, A. Marzari, O. Vacondio y A. E. Minetti, 2015, *Sports Biomechanics*, 14(2), p. 216 ([https://doi/ 10.1080/14763141.2015.105274](https://doi/10.1080/14763141.2015.105274))

**Figura 8**

*Rango de movimiento del codo durante el remate*



*Nota.* Representación gráfica de los ángulos de flexión y extensión que presenta la articulación del codo durante la ejecución de un remate en jugadoras de voleibol. De “A Motion Analysis in the Volleyball Spike – Part 1: Three-dimensional Kinematics and Performance” por B. Serrien, J. Ooijen, M. Goossens, J. P. Baeyens, 2016, *Journal of Human Movement and Sports Sciences*, 4(4), p. 74 (<https://doi.org/10.13189/saj.2016.040403>).

**Figura 9**

*Comparación de las variables relacionadas con el rendimiento en el remate en las dos técnicas diferentes*

		Max hand height <sup>b</sup> (m)	Hand velocity <sup>b</sup> (m/s)	Ball speed (m/s)
1st condition	M (TT)	2.29 ± 0.07 <sup>a</sup>	16.19 ± 2.55 <sup>a</sup>	–
	M (AT)	2.30 ± 0.07 <sup>a</sup>	17.07 ± 2.34 <sup>a</sup>	–
	F (TT)	2.11 ± 0.08	13.99 ± 1.24	–
	F (AT)	2.10 ± 0.06	14.88 ± 1.59 <sup>**</sup>	–
2nd condition	M (TT)	2.89 ± 0.14 <sup>a</sup>	18.95 ± 2.19 <sup>a</sup>	–
	M (AT)	2.90 ± 0.10 <sup>a</sup>	20.44 ± 2.12 <sup>a</sup>	–
	F (TT)	2.54 ± 0.07	16.11 ± 1.81	–
	F (AT)	2.55 ± 0.06	17.27 ± 1.56 <sup>**</sup>	–
3rd condition	M (TT)	3.04 ± 0.09 <sup>a</sup>	20.66 ± 1.32 <sup>a</sup>	25.56 ± 3.35 <sup>a</sup>
	M (AT)	3.05 ± 0.10 <sup>a</sup>	21.90 ± 2.03 <sup>a</sup>	26.25 ± 2.04 <sup>a</sup>
	F (TT)	2.72 ± 0.06	17.86 ± 1.98	20.41 ± 3.68
	F (AT)	2.73 ± 0.06	18.65 ± 1.40	22.19 ± 2.54

*Nota.* Se puede observar cómo los valores de las tres variables son significativamente más altos en la técnica alternativa (AT) en comparación con la tradicional (TT) tanto en hombres como mujeres y en las 3 condiciones de remate diferentes: (1) sin saltar; (2) saltando sin golpear el balón; y (3) saltando y golpeando el balón. De “Shoulder 3D range of motion and humerus rotation in two volleyball spike techniques: injury prevention and performance” por E. Seminati, A. Marzari, O. Vacondio y A. E. Minetti, 2015, *Sports Biomechanics*, 14(2), p. 216 (<https://doi/10.1080/14763141.2015.105274>)

**Figura 10**

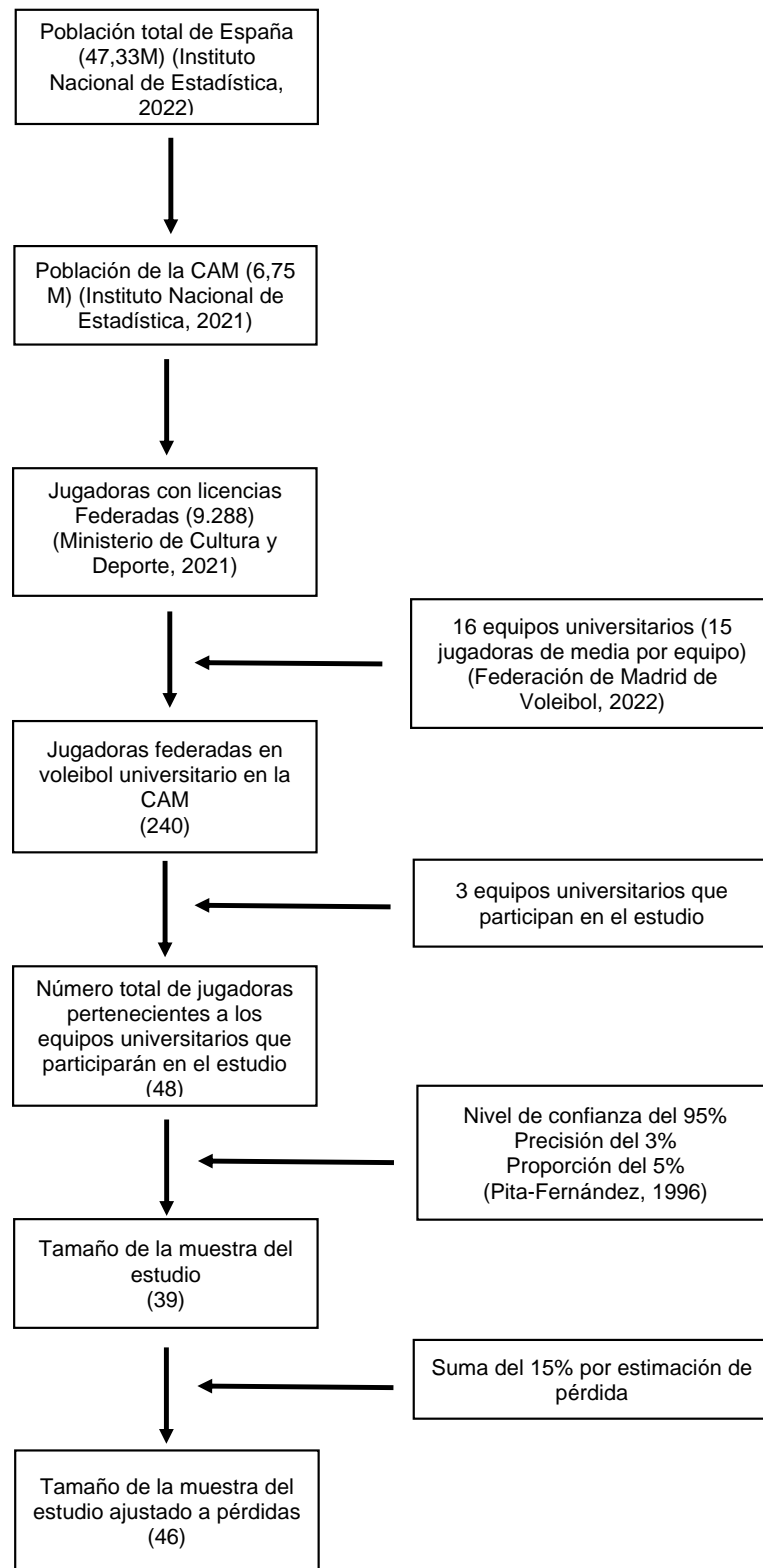
*Mecanismo lesional en jugadores de voleibol*

Injury mechanism	n (%)
Incorrect sprawls	109 (26.8)
Wrong technique	38 (9.3)
Step on other’s foot	95 (23.3)
Ball contact	40 (9.8)
Fatigue	70 (17.2)
Inappropriate warm up	16 (3.9)
Other	10 (2.5)
Unknown	29 (7.1)

*Nota.* Principales mecanismos lesionales en 407 jugadoras de voleibol. De “Are injury rates in female volleyball players age related?” por P. Malliou, A. Beneka, G. Tsigganos, A. Gioftsidou, E. Germanou, M. Michalopoulou, 2008, *Sport Sciences for Health*, 2(3), p. 115 (<https://doi.org/10.1007/s11332-008-0049-3>).

Figura 11

Tamaño muestral



Nota. Procedimiento seguido para seleccionar la muestra que participará en el estudio. Elaboración propia.



## Figura 12

### Hoja informativa

**Hoja informativa**

**EFFECTOS DE UN PROGRAMA DE EJERCICIOS, BASADO EN LA CORRECCIÓN DE VARIABLES CINEMÁTICAS RELACIONADAS CON LESIONES DE HOMBRO, SOBRE LA BIOMECÁNICA DEL REMATE EN VOLEIBOL**

**Promotor:** \_\_\_\_\_

**Investigadores:** \_\_\_\_\_

**Institución:** \_\_\_\_\_

**Código del estudio:** \_\_\_\_\_

**1. Introducción**

A continuación, se le presenta una hoja informativa en la cual nos dirigimos a usted para informarle sobre un estudio de investigación en el que se le invita a participar de manera totalmente voluntaria y sabiendo que no existe ningún tipo de compensación económica por dicha participación. El motivo de esta invitación es que forma parte de uno de los equipos seleccionados para que participen en el estudio. Toda información suya que sea recogida y analizada para el estudio será tratada con confidencialidad respetando en todo momento su anonimato siendo utilizados sus datos exclusivamente con fines de investigación y/o académicos.

La intervención que se llevará a cabo en el grupo experimental consiste en la implementación de un protocolo de entrenamiento basado en la modificación de la biomecánica del remate en voleibol hacia una menos lesiva. Dicho entrenamiento tendrá una duración de 30 minutos y se llevará a cabo dos veces a la semana durante 5 semanas antes de los entrenamientos que realice el equipo durante la semana. El contenido de estas sesiones variará conforme avancen las semanas, al inicio serán temas más teóricos y poco a poco se irán llevando a la práctica hasta que se integren a situaciones reales del juego.

**2. Propósito y objetivos del estudio**

El objetivo principal del estudio es comprobar si es posible modificar, por medio de esas sesiones de entrenamiento, la biomecánica del gesto del remate en voleibol hacia una que reduzca el riesgo de lesión de hombro y aumente el rendimiento del remate de cada jugadora.

**3. Pruebas y procedimientos**

Al usted firmar y confirmar su participación en el estudio, debe saber que será sometido a tres mediciones de su gesto de remate por medio del dispositivo Vicon que tendrán lugar antes de iniciar la temporada, al finalizar la intervención y un año después de finalizar la intervención. La medición consiste en la grabación de varios remates de cada jugadora para posteriormente analizarlos y sacar valores de rango de movimiento así como una medición antropométrica de los pliegues y diámetros corporales de las jugadoras.

Por otro lado la intervención consistirá en someterse, durante 5 semanas, a sesiones de entrenamiento semanales dirigidas a la modificación de su biomecánica por medio del uso del feedback proporcionado por un equipo especializado como guía.

**EFFECTOS DE UN PROGRAMA DE EJERCICIOS, BASADO EN LA CORRECCIÓN DE VARIABLES CINEMÁTICAS RELACIONADAS CON LESIONES DE HOMBRO, SOBRE LA BIOMECÁNICA DEL REMATE EN VOLEIBOL**

*Nota.* Documentación que será entregada a las jugadoras para aportarles toda la información que pueda ser de su interés relacionada con la realización del estudio. Elaboración propia.

## Figura 13

### Hoja informativa

#### 4. Beneficios y riesgos

Como tal la intervención presenta los riesgos asociados a un entrenamiento normal (posibles lesiones o sobrecargas musculares) pero también existe la posibilidad de padecer una ligera incomodidad asociada a la repetición de un nuevo gesto de remate o una disminución del rendimiento deportivo durante las primeras semanas. En cuanto a los beneficios, por medio de este método de entrenamiento se busca lograr que las jugadoras que participen adquieran una técnica de remate con un riesgo de lesión inferior y que, a largo plazo, aumente significativamente su rendimiento.

#### 5. Duración y muestra

El estudio tendrá una duración de en torno a 1 año y medio ya que uno de los objetivos secundarios busca valorar si los cambios se mantienen un año después de finalizar los entrenamientos del grupo experimental. En todo ese tiempo, únicamente habrá una intervención durante las primeras 5 semanas, el resto del tiempo la jugadora continuará con sus entrenamientos normales y únicamente deberá acudir a realizar las mediciones en las fechas marcadas. Por ello, mediante la firma de este consentimiento, usted se compromete a participar en este proyecto hasta el final.

Para la realización de este estudio se contará con 46 jugadoras, todas participantes de la competición de voleibol universitario de la Comunidad de Madrid, en concreto, serán las jugadoras de los equipos de la Universidad Europea de Madrid, Universidad Complutense y Universidad Francisco de Vitoria. Estas serán repartidas en los grupos control y experimental de manera aleatoria para determinar a quienes se les aplica el entrenamiento.

#### 6. Confidencialidad y protección de datos

En cumplimiento del Reglamento General de Protección de Datos y la Ley Orgánica 3/2018, de 5 diciembre de PDGDD, los datos personales que facilite se recogerán con la única finalidad de llevar a cabo el estudio y en caso de hacerse público el estudio, la forma de mostrar estos datos será anónima. Además, toda la información que concierna a su evaluación e intervención, incluyendo cualquier grabación o imagen, será confidencial y no será entregada sin su consentimiento a ningún individuo ajeno a la investigación.

#### 7. Seguros

El Promotor del estudio dispone de una póliza de seguros que se ajusta a la legislación vigente (Real decreto 1090/2015) y que le proporcionará la compensación e indemnización en caso de menoscabo de su salud o de lesiones que pudieran producirse en relación con su participación en el estudio. Si desea más información relativa a este apartado, consulte con el investigador principal del estudio en su centro.

#### 8. Costes para el jugador

Su participación en el estudio no le supondrá ningún gasto adicional a la práctica habitual de sus entrenamientos y le serán reintegrados los gastos extraordinarios (Por ejemplo comidas y traslados) que la participación en el mismo le generen.

EFFECTOS DE UN PROGRAMA DE EJERCICIOS, BASADO EN LA CORRECCIÓN DE VARIABLES CINEMÁTICAS RELACIONADAS CON LESIONES DE HOMBRO, SOBRE LA BIOMECÁNICA DEL REMATE EN VOLEIBOL

*Nota.* Documentación que será entregada a las jugadoras para aportarles toda la información que pueda ser de su interés relacionada con la realización del estudio. Elaboración propia.



### Figura 14

#### Consentimiento informado

**Consentimiento informado**

Fecha: a \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_ en Madrid, Villaviciosa de Odón.

Yo \_\_\_\_\_ (Nombre y Apellidos) declaro que:

- He leído la hoja de información que me han facilitado.
- He podido formular las preguntas que he considerado necesarias acerca del estudio.
- He recibido información adecuada y suficiente por el investigador arriba indicado sobre:
  - Los objetivos del estudio y sus procedimientos.
  - Los beneficios e inconvenientes del proceso.
  - Que mi participación es voluntaria y altruista
  - El procedimiento y la finalidad con que se utilizarán mis datos personales y las garantías de cumplimiento de la legalidad vigente.
  - Que tengo derecho de acceso y rectificación a mis datos personales.

Atendiendo a todo esto (rodear),      CONFIRMO      NO CONFIRMO      mi participación en el estudio comprometiéndome a permanecer en este hasta que finalice en su totalidad.

<b>Firma de la jugadora:</b>  -----	<b>Firma del investigador:</b>  -----
<b>Nombre y apellidos:</b>	<b>Nombre y apellidos:</b>
<b>DNI:</b>	<b>DNI:</b>

EFECTOS DE UN PROGRAMA DE EJERCICIOS, BASADO EN LA CORRECCIÓN DE VARIABLES CINEMÁTICAS RELACIONADAS CON LESIONES DE HOMBRO, SOBRE LA BIOMECÁNICA DEL REMATE EN VOLEIBOL

*Nota.* Documentación que será entregada a las jugadoras para que comprendan la muestra del estudio para que confirmen su participación en este. Elaboración propia.

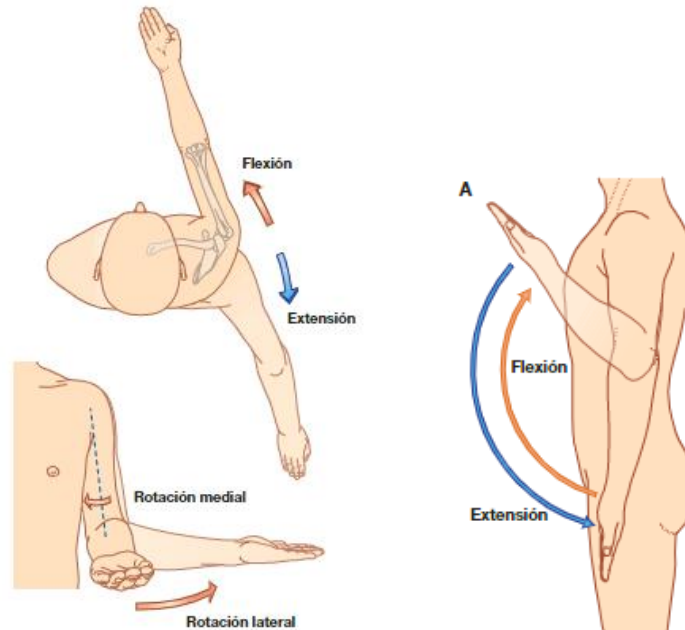
**Tabla 1**
*Variables antropométricas*

<b>Nombre de la variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad de medida</b>
<i>Masa corporal</i>	Masa corporal del sujeto	kg
<i>Estatura</i>	Estatura del paciente	mm
<i>Desplazamiento u offset del hombro</i>	Distancia vertical entre el centro de la articulación glenohumeral hasta la base del marcador situado en la articulación acromioclavicular	mm
<i>Ancho del codo</i>	Medida a lo largo del eje de flexión (entre el epicóndilo medial y lateral del húmero)	mm
<i>Ancho de la muñeca</i>	Comprendida entre la zona palmar y dorsal a nivel del marcador	mm
<i>Ancho de la mano</i>	Comprendido entre la zona palmar y dorsal de la mano en el punto donde se coloca el marcador.	mm

*Nota.* Descripción de las diferentes variables antropométricas necesarias para calcular la cinemática del miembro superior durante del gesto del remate a partir de marcadores con el sistema Vicon. Adaptado de “Vicon Nexus user guide” por Vicon, 2021 (<https://docs.vicon.com/display/Nexus212/PDF+downloads+for+Vicon+Nexus?preview=/133828966/133829808/Vicon%20Nexus%20User%20Guide.pdf>)

**Figura 15**

*Movimientos de flexo-extensión y rotaciones de hombro y flexo-extensión de codo*

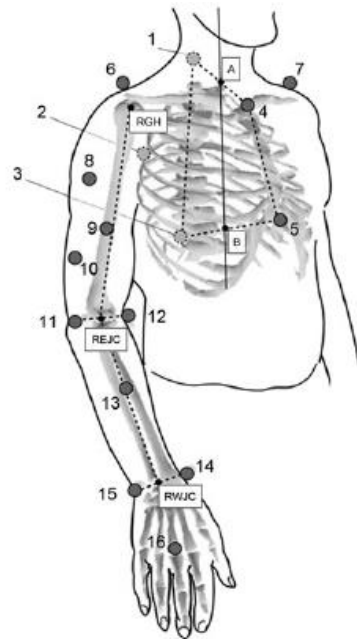


*Nota.* Representación gráfica de los movimientos *flexo-extensión* y *rotaciones de hombro* y *flexo-extensión de codo*. De “Gray. Anatomía para estudiantes: Vol. 2nd ed” por R. L. Drake, A. W. Vogl y A. M. Mitchell, 2010, Elsevier, p.653 (<https://web-s-ebsohost.com.ezproxy.universidadeuropea.es/ehost/detail/detail?vid=0&sid=97ef4b8a-ef04-4211-bf0e-5df20e2815fa%40redis&bdata=JkF1dGhUeXBIPWlwLHVpZCZsYW5nPWVzJnNpdGU9ZWwhvc3QtbGI2ZSZzY29wZT1zaXRI#AN=808906&db=nlebk>)



### Figura 17

#### Posición de los marcadores



*Nota.* Localización de los marcadores necesarios para medir la cinemática del miembro superior con el sistema Vicon. De “Shoulder 3D range of motion and humerus rotation in two volleyball spike techniques: injury prevention and performance” por E. Seminati, A. Marzari, O. Vacondio y A. E. Minetti, 2015, *Sports Biomechanics*, 14(2), p. 216 (<https://doi/10.1080/14763141.2015.105274>)

### Figura 18

#### Descripción de la posición de los marcadores

Definition	Marker anatomical position
1. 7th cervical vertebra	On the spinous process of the 7th cervical vertebra.
2. Right back	Over the right scapula.
3. 10th thoracic vertebra	On the spinous process of the 10th thoracic vertebra.
4. Clavicle	On the jugular notch where the clavicles meet the sternum
5. Sternum	On the xiphoid process of the sternum.
6. Right shoulder	On the right acromioclavicular joint.
7. Left shoulder	On the left acromioclavicular joint.
8. Right upper arm A	On the lateral upper right arm (technical reference frame).
9. Right upper arm B	On the lateral upper right arm (technical reference frame).
10. Right upper arm C	On the lateral upper right arm (technical reference frame).
11. Right elbow	On the lateral epicondyle approximating the elbow joint axis.
12. Right medial epicondyle	On the humerus medial epicondyle <sup>a</sup> .
13. Right forearm	Right forearm.
14. Right wrist marker A	Right wrist marker A. At the thumb side of the right radial styloid attached symmetrically with a wristband on the posterior of the right wrist, as close to the wrist joint centre as possible.
15. Right wrist marker B	Right wrist marker B. At the little finger side of the right ulnar styloid attached symmetrically with a wristband on the posterior of the right wrist, as close to the wrist joint centre as possible.
16. Right finger	Right finger just below the right third metacarpus.

*Nota.* Descripción de los puntos anatómicos donde se localiza cada marcador. De “Shoulder 3D range of motion and humerus rotation in two volleyball spike techniques: injury prevention and performance” por E. Seminati, A. Marzari, O. Vacondio y A. E. Minetti, 2015, *Sports Biomechanics*, 14(2), p. 216 (<https://doi/10.1080/14763141.2015.105274>).

**Tabla 2**
*Programa de intervención de 5 semanas*

PROGRAMA DE INTERVENCIÓN DE 5 SEMANAS							
Semanas	Número de sesiones semanales	Contenido y duración de las sesiones	Tipo de sesión y ejercicios	Feedback	Volumen total por sesión y por jugadora	Intensidad	Observaciones
Semana 1	2	Teórico (30')	Se busca el aprendizaje y comprensión por parte de las jugadoras del modelo técnico del remate. A través de vídeos e imágenes podrán observar y analizar la adecuada ejecución del gesto y compararlo con ejecuciones erróneas.	-	-	-	-
Semana 2	2	Práctico (30')	<p><b>Sesión 1: Ejercicios de remate analíticos sin batida y sin red.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ejercicio 1: Gesto de armado y remate sin balón para interiorizar la técnica alternativa (3x10/1')</li> <li>Ejercicio 2: Remate desde el suelo, tras autopase y sin red (5/2')</li> <li>Ejercicio 3: Remate desde el suelo, tras pase del colocador y sin red (5/2')</li> </ul> <p><b>Sesión 2: Ejercicios de remate analíticos sin batida y sin red</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ejercicio 4: Remates consecutivos contra pared para interiorizar técnica alternativa (2x8/1')</li> <li>Ejercicio 5: Remate frente a pared, deteniendo el balón el punto más alto (6/2')</li> <li>Ejercicio 6: Transición recepción - ataque sin red (6/2')</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Claves: Armado según técnica alternativa, modificar exceso de rotación externa y flexión de hombro y buscar extensión de codo máxima</li> <li>Tipo: Visual y verbal</li> <li>Frecuencia: Después de cada remate</li> </ul>	40 remates	50-75%	<ul style="list-style-type: none"> <li>En los ejercicios 1 y 4 solamente se utilizará feedback verbal para aumentar el dinamismo de la tarea y que las jugadoras realicen el mayor número de repeticiones posibles. Por este motivo, el volumen y descanso es indicado de forma específica.</li> <li>No será necesario montar la red.</li> <li>En el ejercicio 6, el colocador será quien lanzará el balón bombeado a la jugadora para que esta lo defienda y se produzca la transición.</li> </ul>
Semana 3	2	Práctico (30')	<p><b>Sesión 3: Ejercicios de remate analíticos con batida con y sin red.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ejercicio 7: Remates consecutivos contra pared para interiorizar técnica alternativa (2x8/1')</li> <li>Ejercicio 8: Remate desde el suelo, tras autopase y sin red (6/2')</li> <li>Ejercicio 9: Remate con batida y red lanzando pelota de tenis (6/2')</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Claves: Armado según técnica alternativa, modificar exceso de rotación externa y flexión de hombro y buscar extensión de codo máxima</li> </ul>	28 remates	75%	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el ejercicio 7 solamente se utilizará feedback verbal para aumentar el dinamismo de la tarea y que las jugadoras realicen el mayor número de repeticiones posibles. Por este motivo, el volumen y descanso es indicado de forma específica.</li> </ul>



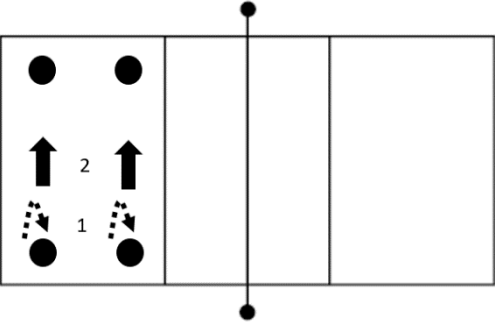
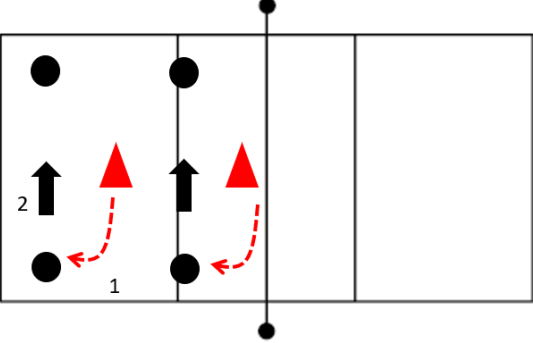
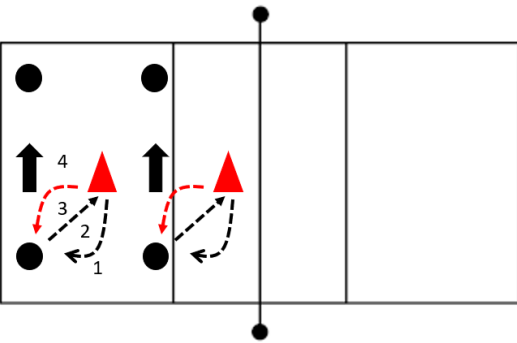
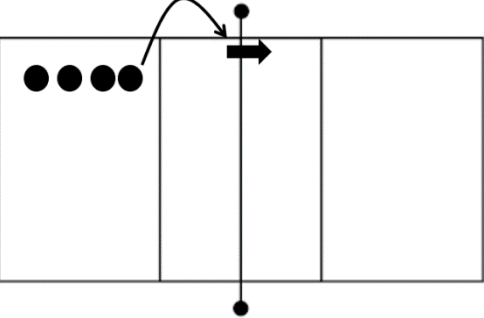
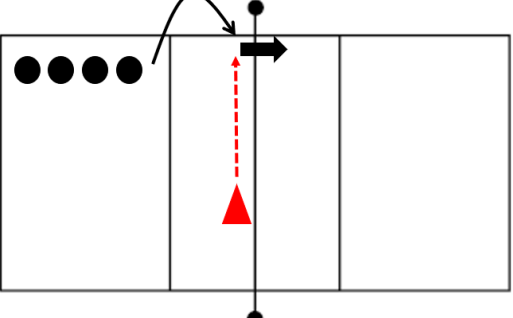
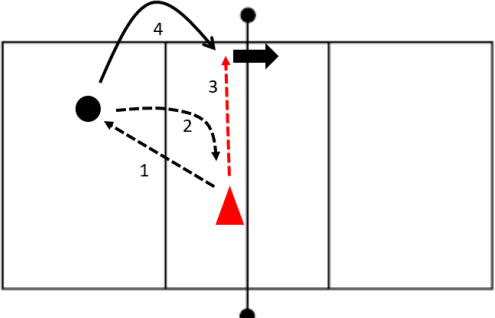
			<b>Sesión 4: Ejercicios de remate analíticos con batida con y sin red.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ejercicio 10: Remate con batida y red lanzando pelota de tenis (6/2')</li> <li>Ejercicio 11: Remate con batida, tras colocación, con red y por zona 4 (8/2')</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo: Visual y verbal</li> <li>Frecuencia: Después de cada remate</li> </ul>	14 remates		
Semana 4	2	Práctico (30')	<b>Sesión 5: Remate tras recuperación de posición y transiciones del juego con red</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ejercicio 12: Remate con batida, tras colocación, con red y por zona 4 (8/2')</li> <li>Ejercicio 13: Remate con batida, tras colocación, con red por zona 4 y tras recuperar posición (6/2')</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Claves: Armado según técnica alternativa, modificar exceso de rotación externa y flexión de hombro y buscar extensión de codo máxima</li> <li>Tipo: Visual y verbal</li> <li>Frecuencia: Alternando un remate sí y uno no</li> </ul>	14 remates	100%	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el ejercicio 13, se recuperará la posición desde distintas zonas del campo, simulando posiciones de defensa/recepción, bloqueo y apoyo al bloqueo.</li> <li>En el ejercicio 14 y 15 los pases y ataques serán ejecutados por el colocador para que la jugadora reciba y defienda y se produzca la transición.</li> </ul>
			<b>Sesión 6: Remate tras recuperación de posición y transiciones del juego</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ejercicio 14: Transición recepción-ataque con red por zona 4 (7/2')</li> <li>Ejercicio 15: Transición defensa-ataque con red por zona 4 (7/2')</li> </ul>				
Semana 5	2	Práctico (30')	<b>Sesión 7: Ejercicios de remate tras situaciones de bloqueo, recepción de saque, defensa de un freeball, defensa de un ataque y apoyo.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ejercicio 16: Remate tras situaciones de bloqueo, recepción de saque, defensa de un freeball ataque y/o finta y apoyo en equipo (10/2')</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Claves: Armado según técnica alternativa, modificar exceso de rotación externa y flexión de hombro y buscar extensión de codo máxima</li> <li>Tipo: Visual y verbal</li> <li>Frecuencia: Alternando un remate sí y uno no</li> </ul>	10 remates	100%	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el ejercicio 16 habrá un equipo completo en el campo formado por las jugadoras que conformen la muestra, de tal forma que sea una situación lo más real posible. Únicamente se rematará por zona 4. Todas las jugadoras, incluida la rematadora, podrán recibir o defender el balón. Los ataques, fintas y freeballs se realizarán desde distintos lugares del campo contrario. En el ejercicio de ataque tras recepción, solo habrá 5 jugadores en el campo ya que el central no participará en la recepción ni ataque.</li> </ul>
			<b>Sesión 8: Situaciones reales de juego</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ejercicio 17: Partido</li> </ul>				

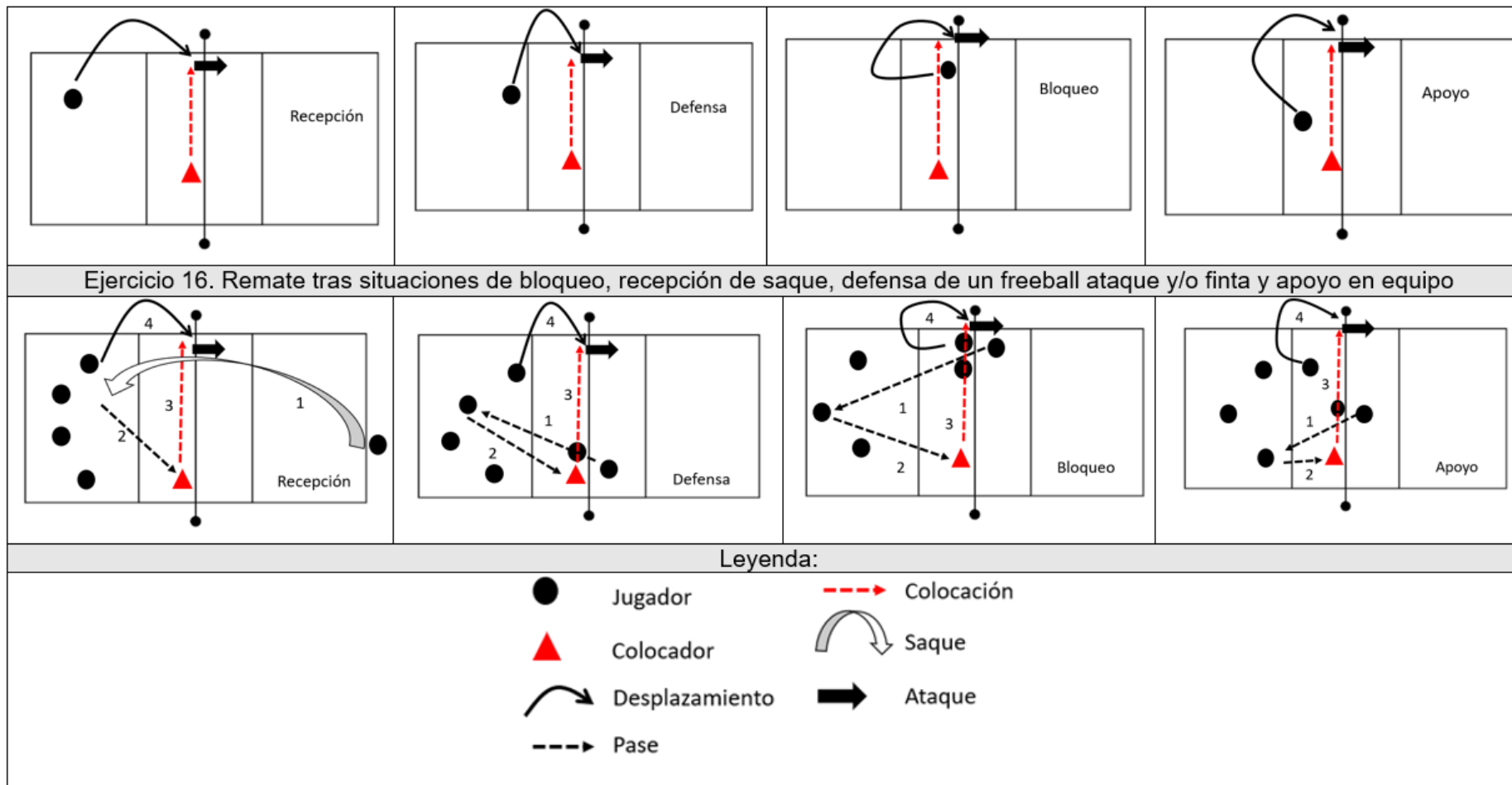
				<p>externa y flexión de hombro y buscar extensión de codo máxima</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo: Verbal</li> <li>• Frecuencia: Acciones puntuales cuando la jugadora solicite</li> </ul>	<p>en la medida de lo posible, priorice su colocación a zona 4.</p>	<p>jugadoras, aunque el feedback solo sea aplicado a las pertenecientes al grupo experimental.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las jugadoras que conformen el grupo experimental serán siempre atacantes delanteras por zona 4 y no rotarán.</li> <li>• Para favorecer que cada jugadora haga el máximo número posible de remates durante el partido, se requerirán 2 días para completar esta sesión. El primer día se le aplicará la intervención a la mitad de las jugadoras y el siguiente a las restantes.</li> <li>• Habrá 1 jugadora del equipo experimental por campo y otra más en espera. Cuando pasen 15' se cambiarán para que cada jugadora juegue el mismo tiempo.</li> </ul>
--	--	--	--	---	---	--

*Nota.* Tabla en la que se explican los ejercicios que se llevarán a cabo durante las diferentes sesiones, así como la intensidad y número de remates en cada entrenamiento. Puede observarse la progresión que se seguirá según vayan avanzando las semanas tanto en el tipo de ejercicio realizado como en el feedback que se proporcionará a las jugadoras y la frecuencia de este. Elaboración propia.

Tabla 3

Diagramas de los ejercicios propuestos en la intervención

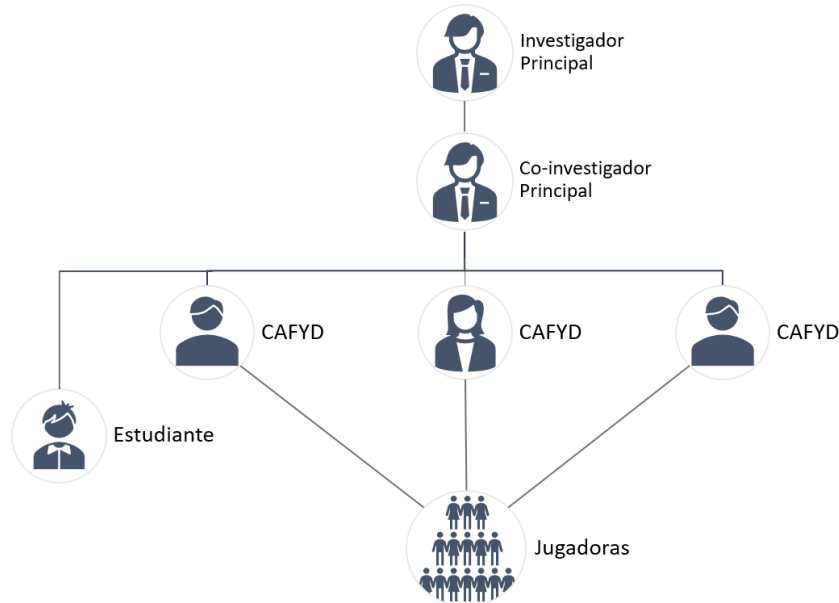
DIAGRAMAS DE LOS EJERCICIOS PROPUESTOS EN LA INTERVENCIÓN		
Ejercicios 2 y 8. Remate desde el suelo, tras autopase y sin red	Ejercicio 3. Remate desde el suelo, tras pase del colocador y sin red	Ejercicio 6. Transición recepción – ataque sin red
		
Ejercicios 9 y 10. Remate con batida y red lanzando pelota de tenis	Ejercicios 11 y 12. Remate con batida, tras colocación, con red y por zona 4	Ejercicios 14 y 15. Transición recepción-ataque con red por zona 4
		
Ejercicio 13. Remate con batida, tras colocación, con red por zona 4 y tras recuperar posición		



*Nota.* Tabla en la que se muestra la representación gráfica de aquellos ejercicios cuya comprensión podía resultar más complicada. Los números presentes en los diagramas (1, 2, 3, 4) hacen referencia al orden en el que se dan las diferentes situaciones dentro del ejercicio. Elaboración propia.

**Figura 19**

*Equipo investigador*



*Nota.* Organigrama en el que se reflejan los diferentes participantes dentro del estudio, así como su nivel de responsabilidad. Elaboración propia.

**Tabla 4**

*Funciones del equipo investigador*

PERSONA RESPONSABLE	TAREAS						
	Reclutamiento	Montaje, puesta en marcha, calibración, solución de problemas y recogida del sistema VICON	Montaje, puesta en marcha y recogida del sistema de feedback de video	Realización de medidas antropométricas	Colocación de marcadores	Instrucción del resto del equipo investigador y supervisión	Análisis de datos y procedimientos estadísticos
Investigador principal (IP)		X	X			X	X
Coinvestigador principal (CO-IP)		X	X	X	X	X	X
Graduado en CAFYD 1	X						
Graduado en CAFYD 2	X						
Graduado en CAFYD 3	X						
Alumno de Máster en Biomecánica 1							
Alumno de Máster en Biomecánica 1							
Alumno de Fisioterapia y Cafyd 1							
Alumno de Fisioterapia y Cafyd 2							

*Nota.* Reparto de las tareas entre los diferentes miembros que conforman el equipo investigador. Elaboración propia.

**Tabla 5**
*Funciones del equipo investigador*

PERSONA RESPONSABLE	TAREAS							
	Establecer contacto con entrenadores y jugadoras y citar a las jugadoras	Entrega y recogida del consentimiento informado	Preparación de red, campo y balones	Anotación de datos antropométricos	Iniciar y detener grabación	Impartición de sesiones teóricas y prácticas y feedback	Lanzamiento y recogida de balones	Colocación del balón
Investigador principal (IP)						X		
Coinvestigador principal (CO-IP)						X		
Graduado en CAFYD 1	X	X	X	X	X	X		
Graduado en CAFYD 2	X	X	X	X	X	X		
Graduado en CAFYD 3	X	X	X	X	X	X		
Alumno de Máster en Biomecánica 1							X	
Alumno de Máster en Biomecánica 1							X	
Alumno de Fisioterapia y Cafyd 1								X
Alumno de Fisioterapia y Cafyd 2								X

*Nota.* Reparto de las tareas entre los diferentes miembros que conforman el equipo investigador. Elaboración propia.