



**ESCUELA  
DE ENFERMERÍA  
Y FISIOTERAPIA**



**SAN JUAN DE DIOS**

**Grado en Fisioterapia**

## **Trabajo Fin de Grado**

**Comparación entre contracción isométrica de empuje  
(PIMA) y de retención (HIMA) en la recuperación funcional  
del cuádriceps tras reconstrucción del ligamento cruzado  
anterior en futbolistas**

Alumno: Ricardo García Olivares

Tutor: Raúl Coto Martín

**Madrid, mayo de 2025**

## Tabla de contenido

Índice de tablas:.....	4
Índice de gráficos:.....	5
Índice de ilustraciones: .....	6
Tabla de abreviaturas .....	7
1. Antecedentes y estado actual del tema.....	10
1.1. Anatomía y función del ligamento cruzado anterior (LCA). .....	10
1.2. Lesión del LCA: Factores de riesgo y epidemiología. ....	11
1.3. Modalidades de tratamiento de la lesión de LCA y sus complicaciones.....	14
1.4. Lesión de LCA en el fútbol.....	17
1.5. Consecuencias de la reconstrucción de LCA .....	20
1.6. Tipos de contracciones musculares.....	24
1.7. Diferencia entre acción isométrica de empuje y acción isométrica de retención (PIMA e HIMA) .....	25
1.8. Intervención de fisioterapia.....	29
2. Evaluación de la evidencia .....	35
3. Objetivos del estudio .....	41
4. Hipótesis conceptual .....	42
5. Metodología .....	43
5.1. Diseño .....	43
5.2. Sujetos de estudio.....	45
5.3. Cálculo muestral.....	46
5.4. Variables .....	50
5.5. Hipótesis operativa .....	52
5.6. Recogida, análisis de datos y contraste de hipótesis.....	53
5.7. Limitaciones del estudio .....	57
5.8. Equipo investigador .....	58
6. Plan de trabajo.....	59

6.1.	Diseño de intervención .....	59
6.2.	Etapas de desarrollo.....	71
6.3.	Distribución de tareas de todo el equipo investigador.....	72
6.4.	Lugar de realización del proyecto .....	73
7.	Listado de referencias .....	75
8.	Anexos.....	83
	Anexo I: Solicitud al comité ético de investigación clínica:.....	83
	Anexo II: Informe datos participante: .....	85
	Anexo III: Hoja informativa para los participantes del diseño del estudio:.....	86
	Anexo IV: Consentimiento informado CI: .....	89
	Anexo V: Hoja de revocación a la participación.....	90
	Anexo VI: Cuestionario de evaluación subjetiva de la rodilla (IKDC) (63).....	91
	Anexo VII: Macrociclo de rehabilitación de RLCA en futbolistas (64).....	95
	Anexo VIII: Autorización para repositorio.....	96

## Índice de tablas:

Tabla 1: Abreviaturas y significado correspondiente (Elaboración propia). ....	7
Tabla 2: Resistencia del LCA en N según el tipo de actividad (3) .....	11
Tabla 3: Factores de riesgo asociados a la lesión de LCA (4,5).....	12
Tabla 4: Incidencia de lesiones del LCA y las tasas de lesiones del LCA por cada 100.000 atletas expuestos (AEs) con relación a los deportes en la escuela universitaria de Estados Unidos (6).....	14
Tabla 5: Comportamiento de las complicaciones según el momento de la complicación (8). ....	15
Tabla 6: Evidencia de las diferentes modalidades de fisioterapia en la rehabilitación de RLCA (43). ....	29
Tabla 7: RF: recto femoral; VL: vasto lateral; VM: vasto medial; EXC: excéntrico; CON: concéntrico; mV: milivoltios (46). ....	33
Tabla 8: Términos MeSH, DeCS y términos libres (Elaboración propia). ....	35
Tabla 9: Primera estrategia de búsqueda en PUBMED (Elaboración propia).....	36
Tabla 10: Segunda estrategia de búsqueda en PUBMED (Elaboración propia). ....	37
Tabla 11: Primera estrategia de búsqueda en EBSCO (Elaboración propia). ....	38
Tabla 12: Segunda estrategia de búsqueda EBSCO (Elaboración propia).....	39
Tabla 13: Criterios de inclusión y exclusión (Elaboración propia).....	45
Tabla 14: Fórmula del cálculo muestral (Elaboración propia).....	46
Tabla 15: Nivel de significación con relación al poder estadístico (Elaboración propia) .....	46
Tabla 16: Variables del estudio (Elaboración propia). ....	50
Tabla 17: Plantilla de recogida de datos de las variables (Elaboración propia). ....	54
Tabla 18: Localización y orientación de los electrodos (59,60). ....	65
Tabla 19: Microciclo de evaluación inicial y final (Elaboración propia). ....	69
Tabla 20: Microciclo de entrenamiento (Elaboración propia).....	69
Tabla 21: Microciclo de reevaluación (Elaboración propia). ....	70
Tabla 22: Etapas de desarrollo (Elaboración propia).....	71

## Índice de gráficos:

Gráfica 1: Factores físicos y psicológicos que interactúan para producir resultados y permitir que los pacientes regresen al deporte después de RLCA (13). .....	17
Gráfica 2: Proporción de LLCA por mes durante el transcurso de una temporada (en porcentaje) en diferentes niveles de fútbol en la liga alemana (azul = profesional; naranja = semiprofesional; gris = amateur) (21). .....	19
Gráfica 3: Tamaño muestral de las siguientes variables (Elaboración propia).....	48
Gráfica 4: Esquema tamaño muestral (Elaboración propia). .....	48
Gráfica 5: Representación gráfica test FIM de HIMA. A = postura de inicio del test en la que se avanza a la posición B mediante una contracción isocinética concéntrica; B = posición de obtención de la FIM; C = alineación de comienzo del movimiento isocinético excéntrico hasta alcanzar la postura de inicio del test (Elaboración propia). .....	62

## Índice de ilustraciones:

Ilustración 1: Fórmula del índice de las extremidades (LSI) .....	22
Ilustración 2: Ejemplo de la diferencia de ejecución de PIMA (a) e HIMA (b) (40) .....	26
Ilustración 3: Herramienta 701 (Elaboración propia). .....	60
Ilustración 4: Colocación del paciente en el test FIM de extensión de rodilla (Elaboración propia). .....	60
Ilustración 5: Herramienta 191 sentadilla (Elaboración propia). .....	61
Ilustración 6: Colocación del paciente en la prueba de FIM de sentadilla (Elaboración propia). .....	61
Ilustración 7: Ejemplo de resultado del test de FIM de PIMA de sentadilla (Elaboración propia). .....	63
Ilustración 8: Ejemplo de resultado del test de FIM de HIMA de sentadilla (Elaboración propia). .....	63
Ilustración 9: Electrodo BTS technology (Elaboración propia). .....	64
Ilustración 10: Colocación de electrodos en el Vasto Lateral (Elaboración propia). ....	65
Ilustración 11: Colocación de electrodos en el Vasto Medial (Elaboración propia). ....	65
Ilustración 12: Colocación de electrodos en el Recto Femoral (Elaboración propia). ....	65
Ilustración 13: Posición final del ejercicio sentadilla HIMA (Elaboración propia). .....	67
Ilustración 14: Posición inicial del ejercicio sentadilla HIMA (Elaboración propia). ....	67
Ilustración 15: Posición inicial del ejercicio sentadilla PIMA (Elaboración propia). ....	68
Ilustración 16: Posición final del ejercicio sentadilla PIMA (Elaboración propia). .....	68
Ilustración 17: Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios Universidad Pontificia Comillas (Google Maps) .....	73

## Tabla de abreviaturas

<b>Activación central bilateral</b>	<b>CAR</b>
<b>Cadena cinética abierta</b>	<b>CCA</b>
<b>Cadena cinética cerrada</b>	<b>CCC</b>
<b>Concéntrico</b>	<b>CON</b>
<b>Área de sección transversal</b>	<b>CSA</b>
<b>Electromiografía</b>	<b>EMG</b>
<b>Excéntrico</b>	<b>EXC</b>
<b>Fuerza adaptativa</b>	<b>FA</b>
<b>Fuerza isométrica máxima</b>	<b>FIM</b>
<b>Acción isométrica de retención</b>	<b>HIMA</b>
<b>Ligamento Cruzado Anterior</b>	<b>LCA</b>
<b>Lesión del LCA</b>	<b>LLCA</b>
<b>Índice de las extremidades</b>	<b>LSI</b>
<b>Miembros inferiores</b>	<b>MMII</b>
<b>Contracción voluntaria isométrica máxima</b>	<b>MVIC</b>
<b>Contracción voluntaria máxima</b>	<b>MVC</b>
<b>Acción isométrica de empuje</b>	<b>PIMA</b>
<b>Recto femoral</b>	<b>RF</b>
<b>Tasa de desarrollo de fuerza</b>	<b>RFD</b>
<b>Resistencia hasta el fallo</b>	<b>RHF</b>
<b>Retition in reserve</b>	<b>RIR</b>
<b>reconstrucción del ligamento cruzado anterior</b>	<b>RLCA</b>
<b>Repetición máxima</b>	<b>RM</b>
<b>Tiempo en llegar al fallo</b>	<b>TTF</b>
<b>Vasto lateral</b>	<b>VL</b>

Tabla 1: Abreviaturas y significado correspondiente (Elaboración propia).

## **Resumen**

### **Antecedentes:**

La lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las lesiones más prevalentes en el fútbol con afectación multidimensional. Tras la reconstrucción quirúrgica (RLCA), la recuperación funcional del cuádriceps se establece como un objetivo indispensable en la fisioterapia por las múltiples repercusiones asociadas a su debilidad. El tratamiento debe enfocarse no solo en la mejora de la fuerza y el volumen muscular, sino también en el restablecimiento del control neuromuscular y la activación más eficiente del cuádriceps.

El entrenamiento de fuerza isométrica forma parte de los programas de recuperación funcional tradicionales tras la RLCA. Sin embargo, en la actualidad existe aún una escasa evidencia sobre cuál de sus dos modalidades, la isometría de empuje (PIMA) o la isometría de retención (HIMA), desempeña un papel más eficiente en la recuperación del cuádriceps.

### **Objetivo principal:**

El objetivo de este estudio es determinar si el tratamiento PIMA es más eficaz que el tratamiento HIMA en futbolistas que han sido intervenidos quirúrgicamente del LCA.

### **Metodología:**

Se realizará un estudio experimental con futbolistas derivados de la Federación Madrileña de Fútbol, que hayan sido intervenidos de RLCA y cumplan los criterios de inclusión y exclusión. Se dividirán a los participantes en dos grupos de trabajo. Cada grupo realizará un protocolo diferente de trabajo, PIMA o HIMA.

Las variables de estudio serán la fuerza isométrica máxima, el volumen muscular y el reclutamiento muscular del cuádriceps, y la evaluación subjetiva de la rodilla. Se realizarán dos mediciones, una pre-tratamiento y otra post-tratamiento. Con los datos obtenidos se realizará un análisis estadístico para valorar los posibles cambios de cada protocolo.

### **Palabras clave:**

Isometría de empuje (PIMA)

Isometría de retención (HIMA)

Reconstrucción de ligamento cruzado anterior (RLCA)



## **Abstract**

### **Background:**

Anterior cruciate ligament (ACL) injury is one of the most prevalent injuries in football and presents with multidimensional implications. Following surgical reconstruction (ACLR), functional recovery of the quadriceps is considered an essential objective in physiotherapy due to the numerous consequences associated with its weakness. Treatment should focus not only on improving muscle strength and volume, but also on restoring neuromuscular control and achieving more efficient quadriceps activation.

Isometric strength training is commonly included in traditional functional rehabilitation programmes after ACLR. However, there is currently limited evidence regarding which of its two modalities, push isometric (PIMA) or hold isometric (HIMA), plays a more effective role in quadriceps recovery.

### **Main objective:**

The aim of this study is to determine whether PIMA treatment is more effective than HIMA treatment in football players following surgical reconstruction of the ACL.

### **Methodology:**

An experimental study will be conducted with football players referred by the Madrid Football Federation who have undergone ACL reconstruction (ACLR) and meet the established inclusion and exclusion criteria. Participants will be randomly assigned to two intervention groups. Each group will follow a different training protocol: PIMA or HIMA.

The study variables will include maximal isometric quadriceps strength, quadriceps muscle volume, quadriceps muscle recruitment, and subjective knee assessment. Two measurements will be taken: one before and one after the intervention. The data obtained will be subjected to statistical analysis to evaluate the potential changes associated with each protocol.

### **Keywords:**

Push isometric muscle action (PIMA)

Hold isometric muscle action (HIMA)

Anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR)

## 1. Antecedentes y estado actual del tema

### 1.1. Anatomía y función del ligamento cruzado anterior (LCA).

El ligamento cruzado anterior es una estructura extrasinovial e intraarticular. Se origina en la cara postero-interna del cóndilo femoral externo y se inserta en la zona antero-interna de la meseta tibial. Está inervado por ramificaciones del nervio tibial y posee una escasa vascularización. Estructuralmente se compone de fibras de colágeno rodeadas de tejido conjuntivo laxo y tejido sinovial (1).

El LCA tiene la función de estabilizar la articulación de la rodilla conectando el fémur con la tibia, además de evitar el desplazamiento anterior tibial respecto al fémur frente a una hiperextensión y una rotación interna excesiva. La lesión del LCA (LLCA) es el esguince o desgarro de dicho ligamento. Tras su ruptura, el menisco interno es la siguiente barrera protectora frente a dicha traslación. Esto explica la alta prevalencia (62%) de lesiones asociadas cuando hay una LLCA. Otras de sus funciones secundarias son aportar estabilidad frente al valgo-varo (desplazamientos en el plano frontal) y ser guía de la tibia en los movimientos de autotornillado en los últimos grados de la hiperextensión junto con un papel antagónico respecto al cuádriceps en este movimiento (2,3).

La funcionalidad del LCA depende del grosor y de la longitud de sus fibras. El grosor del ligamento es directamente proporcional a su resistencia e inversamente proporcional con su capacidad elástica. Por otro lado, el LCA presenta una extensa e irregular zona de inserción que produce una diferencia de longitudes de las fibras ligamentosas. Por ello, el ligamento no se activa de manera uniforme, sino que lo hace de forma progresiva, por lo que puede hablarse de un “reclutamiento” del ligamento que modifica su resistencia y elongación acorde a sus necesidades (1).

La resistencia media del LCA hasta llegar al fallo estructural es de 2.160 N y su rigidez media es de 242 N/mm en pacientes jóvenes. Las cargas que soporta el ligamento dependen de la actividad desarrollada, tal y como se muestra en la Tabla 2 (1).

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>Resistencia del LCA (N)</b>
Deambulaci3n en llano	169
Subir escaleras	67
Bajar escaleras	445
Subir rampas	27
Bajar rampas	93

*Tabla 2: Resistencia del LCA en N seg3n el tipo de actividad (3)*

## 1.2. Lesi3n del LCA: Factores de riesgo y epidemiolog3a.

El principal problema en el tratamiento de esta lesi3n es la incapacidad de regeneraci3n del ligamento y los problemas asociados que esto conlleva. Se pueden provocar problemas cr3nicos en la articulaci3n de la rodilla tales como inestabilidad, lesiones meniscales, cartilaginosas y osteoartritis pudiendo afectar significativamente a la cinemática de la rodilla, teniendo el paciente que cambiar su forma de vida debido a la p3rdida de funcionalidad del miembro afecto (2,3).

Las LLCA se encuadran entre las lesiones deportivas m3s frecuentes en el mundo, con una incidencia aproximada de 0,3 a 0,8 casos por cada 1,000 personas. Es com3n en deportes que presentan cambios r3pidos de direcci3n, saltos, aterrizajes y detenciones bruscas, como es el caso del f3tbol y el baloncesto. En la mayor3a de los casos la rotura se produce cuando el deportista tiene el pie apoyado, por un mecanismo lesional en cadena cin3tica cerrada. Esta lesi3n se ha asociado a multitud de factores de riesgo como se ve reflejado en la Tabla 3 (4-6).

FACTORES NO MODIFICABLES	FACTORES MODIFICABLES	
	INTRÍNSECOS	EXTRÍNSECOS
Genética	Índice de masa corporal	Tipo y nivel de deporte
Antecedentes familiares	Déficits neuromusculares	Calzado
Edad	Déficits biomecánicos	Superficie de juego
Sexo	Estado hormonal	Condiciones climáticas
Tamaño estrecho de la escotadura intercondílea		
Área transversal del LCA		
Laxitud articular		

*Tabla 3: Factores de riesgo asociados a la lesión de LCA (4,5).*

Las lesiones del LCA son más frecuentes en las mujeres que en los hombres, favorecidas por factores hormonales, anatómicos, neuromusculares y biomecánicos. Las hormonas sexuales femeninas, y en particular los estrógenos, pueden originar una falta de síntesis de colágeno de hasta un 40%. Las diferencias anatómicas, como una menor escotadura intercondílea, una menor área transversal del LCA o una mayor laxitud articular, aumentan el riesgo de sufrir lesión. La mayor prevalencia de LLCA en el sexo femenino parece tener relación con los factores de riesgo biomecánicos como un control muscular deficitario, siendo estos los únicos modificables (4,5).

Dentro de las alteraciones o déficits biomecánicos, manifestar una correcta alineación de los miembros inferiores es primordial para disminuir el riesgo de lesiones y poseer una correcta mecánica de aterrizaje. Para ello, es esencial presentar unos parámetros óptimos de fuerza y un buen control intermuscular de los principales grupos musculares de los miembros inferiores tales como los cuádriceps, isquiotibiales, glúteos medios y glúteos mayores. Destaca la adecuada relación de ratio de fuerzas entre cuádriceps e isquiotibiales (ratio H/Q)

(normalmente 0,6 – 0,8), un desequilibrio a favor del cuádriceps (valores de la ratio H/Q inferiores a 0,6) aumenta el riesgo de lesión por aumentar el cajón anterior tibial en situaciones dinámicas como en el aterrizaje o en los cambios bruscos de dirección. Es crucial tener una buena fuerza analítica de la musculatura a la vez que un correcto equilibrio intermuscular (4).

Dentro de los déficits biomecánicos el predictor más relevante de LLCA, en un 80% de los casos, es el valgo dinámico de rodilla, que provoca una desalineación en el plano frontal de los miembros inferiores, manifestándose habitualmente durante los aterrizajes. Una dorsiflexión reducida y un déficit en la musculatura abductora y rotadora externa de la cadera podrían explicar esta alteración, siendo más prevalente en el género femenino (7).

La incidencia de LLCA aumenta en la práctica deportiva universitaria femenina frente al nivel profesional cuando tienden a igualarse con los hombres. La disminución de la incidencia a nivel profesional femenina puede explicarse por el aumento del control neuromuscular a medida que las características deportivas ascienden (4,5).

En la Tabla 4 se muestra la Incidencia de lesiones del LCA y las tasas de lesiones del LCA por cada 100.000 atletas expuestos (AEs) en relación con diferentes deportes de la escuela universitaria de Estados Unidos, con edades comprendidas entre 14 y 18 años, durante el periodo 2007-2012. Las ratios por 100.000 AEs más altas se registraron en el fútbol femenino (12,2 lesiones/100.000 AEs), seguido del fútbol americano (11,1 lesiones/100.000AEs) y el baloncesto femenino (10,3 lesiones/100.000AEs), mientras que las ratios más bajas fueron el baloncesto masculino (2,3 lesiones/100.000 AEs) y el beisbol (0,7 lesiones/100.000 AEs). La mayoría de las lesiones de LCA en niños se produjo mientras jugaban al fútbol americano (71,2% de las lesiones totales), seguido del fútbol (17,2%) y del baloncesto (5,5%). Por otro lado, en las niñas se produjo principalmente en el fútbol (53,2% de las lesiones totales de LCA), seguido del baloncesto (26,5%) y del voleibol (8,8%). Las lesiones de LCA tuvieron lugar principalmente durante la competición (74,9%), en comparación con los entrenamientos (25,1%) (6).

Deporte	Lesión de LCA			Ratio por 100.000 AEs		
	Competición	Entrenamiento	Total	Competición	Entrenamiento	Total
<b>Fútbol Americano</b>	198	88	286	46.7	4.1	11.1
<b>Fútbol Masculino</b>	35	9	44	12.9	1.4	4.8
<b>Fútbol Femenino</b>	83	13	96	35.2	2.4	12.2
<b>Voleibol</b>	15	5	20	5.3	0.9	2.4
<b>Baloncesto masculino</b>	18	7	25	5.5	0.9	2.3
<b>Baloncesto femenino</b>	71	21	92	26.6	3.3	10.3
<b>Beisbol</b>	3	3	6	1.0	0.5	0.7

*Tabla 4: Incidencia de lesiones del LCA y las tasas de lesiones del LCA por cada 100.000 atletas expuestos (AEs) con relación a los deportes en la escuela universitaria de Estados Unidos (6).*

### 1.3. Modalidades de tratamiento de la lesión de LCA y sus complicaciones.

En todos los pacientes que padecen una lesión aguda de LCA es esencial comenzar un programa de rehabilitación con los objetivos de reducir la inflamación, restablecer el rango de movimiento y recuperar la fuerza del cuádriceps. Sin embargo, la elección de un tratamiento conservador o de un tratamiento quirúrgico seguido de su rehabilitación depende de factores como el grado de lesión del LCA, las posibles lesiones asociadas, la edad del paciente, el nivel de participación deportiva, etc. (3,6).

Dentro de la población no deportista, se sigue “la regla de los tercios” como base para aconsejar un posible tratamiento quirúrgico, solo un 33% evoluciona desfavorablemente ante un tratamiento conservador y tendrán que someterse a una operación (3). Sin embargo, en la población deportista asciende la probabilidad de requerir un tratamiento quirúrgico hasta el 75% (6).

Hay diferentes modelos de actuación dentro del tratamiento quirúrgico. En la actualidad hay dos opciones de plastias para la intervención de reconstrucción del ligamento cruzado anterior

(RLCA): los autoinjertos y los aloinjertos. El autoinjerto obtiene el tejido de otra parte del cuerpo del propio paciente frente al aloinjerto que obtiene el tejido donado de otro huésped. Aunque ambos tipos de injertos presentan resultados similares en cuanto a estabilidad y funcionabilidad de la rodilla, el aloinjerto ha sido propuesto como alternativa quirúrgica por las ventajas de reducir la morbilidad de la zona donante, reducir los tiempos y las incisiones postquirúrgicas. Sin embargo, el uso de aloinjertos conlleva desventajas potenciales como la inmunogenicidad, el riesgo de transmisión de enfermedades y una reincorporación tardía respecto a los autoinjertos junto con menores propiedades biomecánicas de la plastia al someterse a procesos de esterilización y conservación. Por ello, crece la probabilidad de complicaciones con la utilización de aloinjerto frente a autoinjerto, siendo el injerto del tibial anterior o posterior el que más complicaciones genera (1,8).

Tradicionalmente el injerto obtenido del tendón rotuliano (HTH) ha sido el más utilizado para la RLCA proporcionando una resistencia hasta el fallo (RHF) de 2.977 N frente a los 2.160 N del LCA, con el inconveniente de generar dolor en la cara anterior de la rodilla en la zona donante. Actualmente, la utilización de los tendones de la pata de ganso son una buena alternativa ya que desarrolla una RHF de 4.590 N, seguido del tendón cuadricipital con una RHF de 2.353 N (1).

La RLCA puede generar posibles complicaciones asociadas, como se observa en la Tabla 5 con relación al momento temporal de aparición (8).

Momento de complicación	Intraquirúrgica	Del día 8 al día 30 posquirúrgico	Del día 31 al día 180	De 6 meses a 12 meses	Después de 1 año
Rotura del injerto	33,3% (2)	0,0% (0)	16,7% (2)	60,0% (3)	66,7% (2)
Rotura de la pared posterior del túnel femoral	33,3% (2)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Complicaciones en el túnel tibial	33,3% (2)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Inestabilidad residual	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	33,3% (1)
Infección	0,0% (0)	50,0% (4)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)
Dolor	0,0% (0)	12,5% (1)	33,3% (4)	0,0% (0)	0,0% (0)
Artrofibrosis	0,0% (0)	37,5% (3)	50,0% (6)	40,0% (2)	0,0% (0)
Total	100,0% (6)	100,0% (8)	100,0% (12)	100,0% (5)	100,0% (3)
Total de complicaciones	17,6% (6)	23,5% (8)	35,2% (12)	14,7% (5)	8,8% (3)

Tabla 5: comportamiento de las complicaciones según el momento de la complicación (8).

Las principales causas de las complicaciones asociadas son, en orden de relevancia, factores relacionados con el paciente y el proceso de rehabilitación (23.5%), nuevos traumatismos (20.5%) y aspectos vinculados a las técnicas quirúrgicas (14.7%) (8).

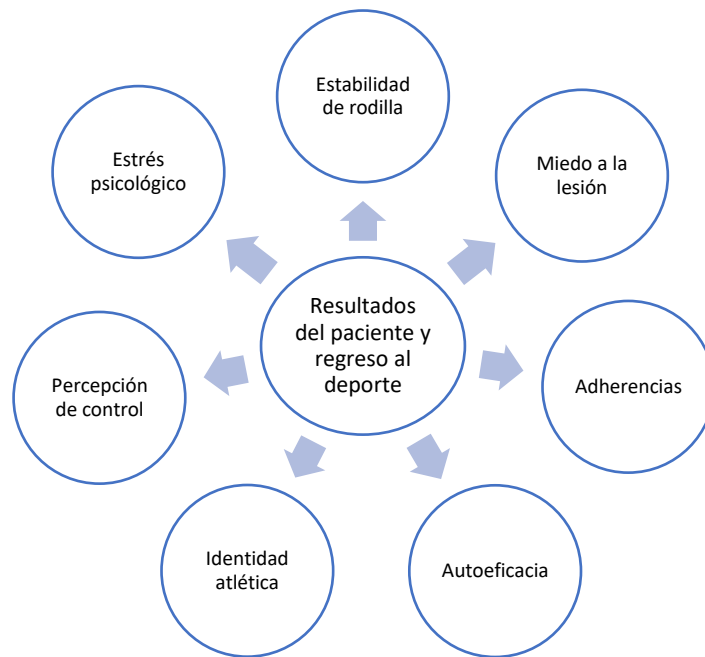
Para aquellas personas que retoman la práctica deportiva habitual hay una probabilidad de recidiva entre un 3% y un 19% en la rodilla operada y entre un 5% y un 24% de rotura del LCA de la rodilla contralateral. Por tanto, se puede concluir que el riesgo de la lesión del LCA contralateral es mayor que el de la primera lesión o de recidiva del injerto de la rodilla operada (9-11).

La tasa exacta de reincorporación a la práctica deportiva tras la RLCA se desconoce. Algunos estudios afirman que el 81% retoma la práctica deportiva recreativa y solo el 50% continua en deportes competitivos. Parece demostrarse en la literatura científica que además de los factores de la condición física, como los déficits de fuerza, influyen también las prioridades, expectativas, motivación, miedo a la recaída o la edad de los deportistas. Por ello, los aspectos cualitativos presentan una influencia notable a tener en cuenta junto a los aspectos cuantitativos, como los datos objetivos de variables físicas, en el periodo de recuperación del deportista (10,12).

Es importante destacar los factores psicológicos que interactúan en la reincorporación a la actividad deportiva después de una RLCA, mostrado en la Gráfica 1. Estudios demuestran que las consecuencias emocionales como la depresión, disminución de la autoestima, alteraciones en el estado del ánimo, angustia y/o estrés postraumático, pueden generar estrategias de afrontación subóptimas y llegar a la evitación (13). Posiblemente, el factor psicológico más preocupante es la Kinesiofobia, definida como “un miedo excesivo, irracional y debilitante al movimiento físico y la actividad que resulta de un sentimiento de vulnerabilidad a una lesión dolorosa o una nueva lesión”. Esta tiene una mayor prevalencia entre los pacientes mayores de 35 años que esperan un mayor tiempo entre el momento de la lesión ligamentosa y el proceso quirúrgico (13,14).

Todo ello hace patente la necesidad de trabajar en un equipo multidisciplinar y realizar una atención centralizada en el paciente, no enfocándose únicamente en las capacidades de rendimiento funcional, sino también en la percepción de su capacidad funcional, abarcando mediante la implementación de un modelo holístico todas las carencias objetivas y subjetivas, de manera que podamos realizar una evaluación y un tratamiento que se centre en mejorar la calidad de vida, además de la práctica deportiva, previniendo con ello futuras lesiones secundarias (10,12-14).





*Gráfica 1: Factores físicos y psicológicos que interactúan para producir resultados y permitir que los pacientes regresen al deporte después de RLCA (13).*

#### 1.4. Lesión de LCA en el fútbol

El fútbol es el deporte por excelencia en el mundo practicado por 24 millones de personas aproximadamente. Este deporte se relaciona con una gran prevalencia de lesiones y con una mayor probabilidad de padecer lesiones de rodilla, destacando la LLCA entre las lesiones postraumáticas (40%) con una frecuencia de 0,4 lesiones por equipo y temporada (15).

La LLCA presenta consecuencias graves en el nivel de actividad física y calidad de vida de los jugadores generando severos problemas a corto, medio y largo plazo. Pueden desarrollar alteraciones negativas como una mala función de la rodilla, sensación de inestabilidad, osteoartrosis temprana, posteriores lesiones de rodilla, falta de confianza y/o miedo. Todo ello puede redirigir a los deportistas a una vida más sedentaria, conllevando una disminución en el rendimiento influido, a su vez, por los extensos tiempos de baja post rotura ( $\geq 9$  meses), reduciendo claramente la duración de la carrera deportiva de los jugadores (16-20).

La incidencia de LLCA aumenta a medida que el nivel de la categoría desciende, siendo mucho más evidente en las ligas amateurs. Esto puede deberse a una menor importancia en los ejercicios preventivos, un escaso conocimiento del cuerpo técnico o una menor proactividad de los jugadores (21).

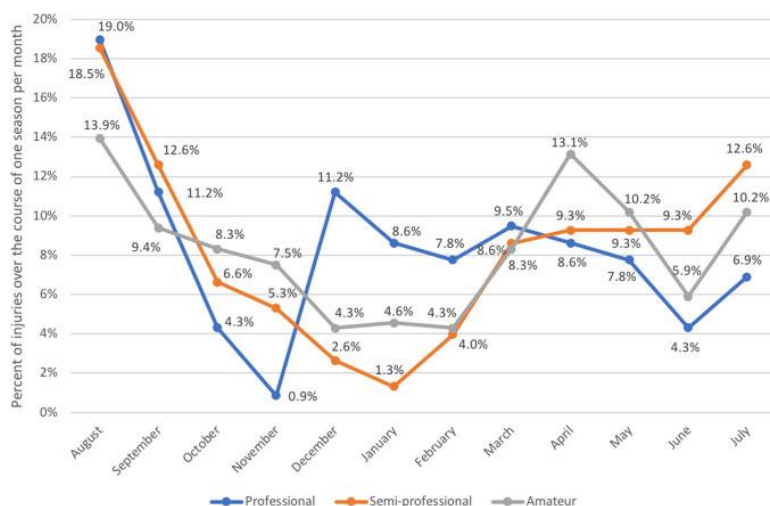
Las LLCA en el fútbol se pueden producir por dos tipos de mecanismos, directo e indirecto (66% y 44% respectivamente). Los mecanismos indirectos se suelen producir durante las situaciones de presión defensiva o en la recuperación del equilibrio después de patear el balón, registrando una prevalencia superior los mecanismos indirectos en jugadores de menor nivel frente a los jugadores profesionales (16,19,21).

A pesar de la gran cantidad de estudios y el aumento de conocimiento sobre dicha lesión, la cantidad de informes científicos de investigación son aún limitados. Varios estudios destacan la alarmante tasa de recidiva después de una RLCA en el regreso de la actividad competitiva, siendo más prevalente en el fútbol respecto a otros deportes. En torno al 17,8% de los jugadores de fútbol vuelven a tener una segunda rotura del LCA ipsilateral o contralateral, con una duración media del futuro profesional de 3,4 años después de una RLCA y sólo el 60% siguen jugando al mismo nivel a los 5 años posteriores (16-19).

Existen dos factores de riesgo independientes en la aparición de recidiva de LLCA tras un tratamiento quirúrgico. En primer lugar, haber padecido la lesión mediante un mecanismo indirecto aumenta siete veces más la probabilidad de recidiva. Esto se relaciona con factores no modificables como laxitud articular, morfología ósea, etc, así como con factores modificables tales como patrones biomecánicos incorrectos, déficits neuromusculares o forma de juego. Destaca la importancia del entrenamiento neuromuscular en la disminución de los factores de riesgo modificables (16,19,21) comentados previamente en la Tabla 3. En segundo lugar, el haber experimentado una lesión aislada del LCA se asocia con una probabilidad tres veces mayor de afrontar una nueva LLCA. Resulta significativo por los tiempos más cortos de recuperación en las lesiones aparentemente sin complicaciones (13,87% menos) en comparación cuando hay lesiones complementarias al LCA, como alteraciones en meniscos u otros ligamentos de la articulación. La presencia de ambos factores de riesgo aumenta un 42% la probabilidad de recidiva, considerando imprescindible una rehabilitación compleja dedicada a enfatizar estrategias preventivas en el regreso al entrenamiento (16,19).

Existe una diferencia significativa en la incidencia de LCA dependiendo del momento de la temporada, siendo mayor durante el inicio del calendario deportivo (los primeros dos meses) y en el reinicio de la segunda parte de la temporada. Estas tasas de incidencia posiblemente estén ocasionadas por una escasa preparación física y preventiva tras el parón veraniego y durante el periodo de descanso invernal. En el final de la temporada también se evidencia un aumento de la incidencia por la excesiva fatiga crónica acumulada, como se muestra en la Gráfica 2. Por otra parte, en los primeros treinta minutos de juego durante los partidos es

cuando se producen la mayoría de las lesiones; por esta razón, la fatiga aguda no parece ser un factor de riesgo predominante y apunta una mayor relación con una preparación neuromuscular inadecuada (16,17,21,22).



Gráfica 2: Proporción de LLCA por mes durante el transcurso de una temporada (en porcentaje) en diferentes niveles de fútbol en la liga alemana (azul = profesional; naranja = semiprofesional; gris = amateur) (21).

La diferencia en la incidencia de LCA entre sexos también se hace patente en la tasa de reincorporación a la práctica deportiva con una mayor reincorporación de los hombres frente a las mujeres (77% frente al 55%) y un menor abandono de los hombres frente a las mujeres después de la vuelta a la actividad deportiva (35% frente al 61%) (20).

En el estudio de Fältstöm, et al. (20) se evaluó la importancia de la percepción del paciente en el retorno de la actividad deportiva (fútbol) mediante diferentes escalas: se utilizaron resultados informados por el paciente (PRO), formularios de evaluación subjetiva de la rodilla (IKDC-SKF) y subescalas de deporte/recreación y calidad de vida (KOOS). La razón para jugar al fútbol parece influir con los síntomas psicológicos y la función emocional. Las mujeres comentan que la razón principal para jugar al fútbol antes de la LLCA era “divertirse” (59%) y “ganar” (13%) en comparación con los hombres (35% y 32%) respectivamente. Por lo general los hombres tienden a reportar puntuaciones más altas que las mujeres informando PRO superiores, obteniendo 2 puntos más en la escala IKDC-SKF, 10 puntos más en la escala KOOS deporte/recreación y 5 puntos más en la escala KOOS calidad de vida (20).

### 1.5. Consecuencias de la reconstrucción de LCA

El objetivo principal tras una RLCA es conseguir restaurar la función, la estabilidad y la cinemática de la rodilla, mejorar la función de las extremidades inferiores y volver de forma progresiva a la actividad física. Sin embargo, al ser una rehabilitación post cirugía extensa en el tiempo provoca un cese significativo en la práctica deportiva, siendo incapaz de alcanzar los objetivos salvo que se consiga restaurar la fuerza muscular previa a la lesión o incluso aumentarla a un nivel superior (1,23-25).

El cuádriceps se establece como un músculo diana en el proceso de rehabilitación, aunque no siempre se logra la recuperación esperada. Puede generar limitaciones a largo plazo, disminuir la actividad física progresivamente y desarrollar osteoartrosis de rodilla. Por ello, es esencial la recuperación de las competencias del cuádriceps para observar mejoras físicas y psicológicas en los pacientes (24,26).

La mayoría de las personas tras una RLCA presentan una debilidad notable en la extensión de rodilla además de una reducción de activación del cuádriceps respecto a su lado contralateral. Por lo general, continúan presentando déficits de fuerza extensora, medido a través de la contracción isométrica voluntaria máxima (MVIC) a 90° de flexión de rodilla por un dinamómetro en la pierna intervenida con RLCA ( $2,38 \pm 0,63$  N·m/kg) frente al miembro contralateral ( $2,90 \pm 0,63$  N·m/kg) y una menor activación central bilateral (CAR) del cuádriceps del miembro afecto ( $87,46 \% \pm 9,66 \%$ ) frente al cuádriceps contralateral ( $90,00 \% \pm 8,04\%$ ) tras acabar la rehabilitación (24).

Estos desequilibrios propiciados por las disfunciones del cuádriceps tras una RLCA generan adaptaciones biomecánicas globales como la presencia de una asimetría en el plano sagital durante la cinemática de la marcha, teniendo una relación directa entre la asimetría de la fuerza isométrica del cuádriceps con la asimetría en la flexo-extensión de la rodilla. Estos desequilibrios se relacionan con mecanismos compensatorios defectuosos, degradación del cartílago pudiendo generar cambios artríticos prematuros y nuevas lesiones después de la intervención quirúrgica, hasta tres veces más que las personas sin asimetrías. Dado que los déficits del cuádriceps son significativos, es necesario implementar una rehabilitación orientada en corregir los niveles subóptimos de activación central por medio de una mejora del CAR, contribuyendo al aumento de la fuerza de los individuos (24,27-29).

El volumen del cuádriceps se ve atrofiado después de la RLCA con una disminución en el área de sección transversal (CSA) respecto al miembro contralateral de manera drástica tras

el primer mes poscirugía. Durante el primer mes desciende un 15,09% el recto femoral (RF) y un 25,06% el vasto lateral (VL), mejorando al tercer mes con una reducción del 13,46% el RF y un 17,85% el VL en comparación con los valores iniciales. Estos déficits en el CSA pueden mantenerse en los seis meses posteriores e incluso ser visibles las diferencias hasta un año después de la RLCA, después de que muchos deportistas vuelvan a su práctica deportiva (30).

Aunque existe una mejora en los primeros meses del CSA, no tiene por qué conllevar una mejora en la calidad muscular. La atrofia produce cambios en la composición muscular generando una mayor rigidez y una peor calidad muscular del cuádriceps, aumentando el tejido no contráctil, como el tejido graso o el fibroso. El aumento de tejido conectivo es un factor de riesgo para posibles disfunciones musculares crónicas futuras, resultando necesario un plan de ejercicio terapéutico continuo y específico en la mejora de la fuerza de extensión de la rodilla (24,30,31).

El dolor se encuentra presente en la mayoría de los pacientes y representa una de las principales barreras para el retorno a la actividad física previa a la lesión. Existe una estrecha relación entre los niveles de dolor preoperatorios y la disposición futura de afrontar los deportistas la práctica deportiva. Además, se observa una relación directa entre el dolor y la incapacidad de activar completamente el cuádriceps, mayor que el edema de la rodilla (11,23,32). Asimismo, se establece una relación directa de las variables de fuerza del cuádriceps pre-post cirugía con la disminución de la función autoinformada de la rodilla de los pacientes (23).

El dolor y la fuerza del cuádriceps son variables significativas en la discapacidad de la rodilla autoinformadas, influyendo ambos aspectos en casi las tres cuartas partes de la autoevaluación funcional de la rodilla en el momento que el cirujano permite la vuelta a la actividad física sin restricciones. Cabe destacar que en el momento del retorno a la actividad física el cuádriceps es el predictor más influyente en la percepción personal de la función de la rodilla por encima del dolor (23).

En las primeras fases postquirúrgicas (primeros 3 meses) se generan cambios en los patrones de reclutamiento de las unidades motoras y en los patrones de activación musculares del cuádriceps, medidos a través de la electromiografía (EMG) mediante la frecuencia media y la amplitud frecuencia media de la EMG, de la pierna intervenida con un déficit en el reclutamiento de unidades motoras con una menor presencia de activación de las fibras rápidas (tipo II). La amplitud de la EMG muestra un aumento gradual mejorando la cantidad

de unidades motoras reclutadas, pero permaneciendo disminuida  $35 \pm 18\%$  en comparación con la pierna no lesionada al 100% MVC. En los tres primeros meses hay un progreso objetivado en relación con la MVC entre el lado lesionado y el no lesionado (L/NL), al primer mes L/NL  $39 \pm 3\%$  frente al tercer mes L/NL  $61 \pm 3\%$ . Aunque en la mayoría de los pacientes se consigue una recuperación de la activación muscular voluntaria, la recuperación es incompleta al no recuperar los valores de activación y reclutamiento de la pierna no lesionada o de los grupos control (32).

En el caso de que el cuádriceps adquiriera la fuerza y la activación voluntaria necesarias tras una RLCA se observaría una mejora de la función física, desempeñando un papel esencial en la confianza del paciente y en la realización de sus actividades de la vida diaria, aumentando su capacidad emocional y en consecuencia una mayor predisposición para afrontar la vuelta a la actividad deportiva (23).

Cabe pensar que comparar el miembro intervenido mediante la RLCA con el contralateral para cuantificar la fuerza puede dar lugar a confusión, puesto que el cuerpo genera adaptaciones compensatorias para suplir la deficiencia de la pierna contraria. El índice de las extremidades (LSI) es una prueba controvertida, hay disparidad de opiniones entre diferentes autores de si se considera objetiva o subjetiva (Ilustración 1). A pesar de ello, es una de las pruebas más extendidas dentro de la evaluación de la fuerza muscular tras una RLCA, aunque no demuestran diferencias significativas entre el miembro lesionado y el no lesionado (10,24,28).

$$LSI = \left[ \frac{\text{Injured Limb}}{\text{Uninvolved Limb}} \right] \times 100$$

*Ilustración 1: Fórmula del índice de las extremidades (LSI)*

Se consideran valores normativos de fuerza si el miembro afecto adquiere al menos el 90% de fuerza respecto al miembro contralateral. Sin embargo, al ser la vuelta a la actividad deportiva competitiva escasa y la probabilidad de recidiva alta, cabe pensar que los criterios de medición de fuerza no deben de ser los adecuados y deberían ser más exigentes para garantizar una vuelta segura y con garantías reales. Por otro lado, diferentes autores afirman la hipótesis de que, para realizar unas mediciones más válidas y precisas, no debemos de compararlo con el miembro contralateral ni hallar el LSI, sino contrastar los datos con personas sanas porque los pacientes con RLCA presentan un déficit bilateral neuromuscular, pudiendo dar posibles errores en las mediciones. Por todo ello, no está claro que el LSI sea la forma adecuada para cuantificar la fuerza (9,11,24,28).

Estudios muestran como a los cuatro meses después de la intervención de RCLA se observan déficits bilaterales frente a los controles sanos, una disminución de contracción voluntaria máxima (MVC) y de la fuerza explosiva, es decir, la tasa de desarrollo de fuerza (RFD). Además, en la pierna no afecta se observa el deterioro de la RFD en las fases iniciales de contracción (0-100 ms), mientras que en la pierna afecta se muestran durante toda la contracción (0-250 ms). Estos déficits bilaterales en la MVC y de la RFD se pueden deber a factores como la inhibición muscular artrogénica, que disminuye la activación voluntaria de ambos cuádriceps y/o a una menor retroalimentación sensorial producida por la lesión afectando al “bucle gamma”, encargado de la activación muscular rápida. Esto respalda el deterioro neuronal y contráctil de ambas piernas afirmando el déficit de ambas manifestaciones de fuerza en etapas tempranas y tardías en la recuperación. Por esto, cuantificar únicamente los datos en la pierna afecta puede subestimar el verdadero estado del déficit en la fuerza (25).

Además, la debilidad del cuádriceps se atribuye a una serie de factores multifactoriales que intervienen en el proceso de recuperación tras una intervención quirúrgica. Entre las posibles causas se incluyen aspectos relacionados con una curación inmadura del injerto en los sitios donantes y un fallo posicional de la rótula dificultando la transmisión correcta de las fuerzas, sin presentar en ocasiones dolor ni edema que puedan limitar directamente la capacidad de fuerza. Sin embargo, se manifiesta una debilidad residual hasta los seis meses posteriores a la operación y que, en ocasiones, resulta incluso inferior a los valores preoperatorios. Se ha evidenciado que durante los 3 primeros meses puede empeorar el déficit un 30% y no es hasta aproximadamente al año después cuando el déficit de la pierna intervenida, respecto a la pierna contralateral, se estabiliza en torno al 40% en la fuerza de MVC (25,28).

Aunque las disminuciones de fuerza se ven mejoradas entre los 6 y los 12 meses, las capacidades coordinativas no experimentan un aumento provocado por las alteraciones mecanorreceptoras que generan una pérdida en la sensibilidad propioceptiva. A través de ejercicios de coordinación neuromuscular se podría mitigar esta invariabilidad coordinativa como objetivo a medio-largo plazo (33).

Además de las alteraciones biomecánicas en los miembros inferiores, se hacen patentes en la biomecánica del aterrizaje, observado mediante la prueba Drop-Landing, utilizada para medir de forma global el control motor, las demandas neuromusculares y el nivel de recuperación junto con la probabilidad de recidiva (34).

Durante los aterrizajes en personas con RLCA se observa una disminución significativa del momento de flexión de rodilla frente a personas sanas por una insuficiente participación del cuádriceps en su acción excéntrica, realizando compensaciones a nivel de cadera y tobillo. Los sujetos que han sufrido una RLCA presentan comúnmente una menor flexión de rodilla (72,7%), una flexión de cadera reducida (45,5%) y un valgo de rodilla aumentado (40,9%) en el contacto inicial del aterrizaje. La falta de control y debilidad del cuádriceps altera los patrones de movimiento asociándose con un mayor porcentaje de error en el aterrizaje ( $6,0 \pm 3,6$  errores) y un movimiento deficiente durante las actividades dinámicas, apoyando la hipótesis de la alteración del patrón biomecánico de los MMII tras una RLCA (34).

## 1.6. Tipos de contracciones musculares

El cuerpo humano puede realizar dos actividades a través de las contracciones musculares: estáticas y dinámicas. Dentro de las formas dinámicas podemos incluir las contracciones concéntricas y excéntricas, mientras que en el ámbito de la forma estática se engloba la contracción isométrica. Mediante la contracción concéntrica somos capaces de superar una resistencia y cuando queremos desacelerar un objeto ejercemos una contracción excéntrica. Por el contrario, hay ocasiones que no observamos un movimiento visible, pero si lleva consigo un consumo de energía al ejecutarla, la contracción isométrica (35).

Los métodos concéntricos ocurren cuando un músculo genera una tensión suficiente para vencer una resistencia externa, acortándose su vientre muscular y venciendo la resistencia, generando una preactivación isométrica previo al acortamiento muscular. Los métodos excéntricos aparecen cuando la resistencia a vencer es mayor que la tensión ejecutada por el músculo, que no puede vencer ni mantener la posición, generándose un alargamiento del vientre muscular. A su vez, los métodos de trabajo isométrico trabajan con los componentes de tensión muscular al no variar la longitud de las palancas durante el movimiento. Estas contracciones pueden conseguir entre un 10-15% más de fuerza máxima respecto a los métodos concéntricos. A pesar de haber discrepancias, este aumento de fuerza se puede deber a una mejora en la coordinación intramuscular junto con un incremento en la sincronización de unidades motoras y en la producción de un mayor estrés en las fibras musculares (36).

El entrenamiento isométrico genera menos fatiga en comparación con el dinámico y muestra efectos beneficios sobre el rendimiento deportivo. Mejora aspectos como la velocidad, la aceleración, los cambios de dirección y la fuerza. Por otro lado, contribuye en la reducción del



índice de lesión y al alivio de dolores miotendinosos. Por lo tanto, se debe emplear en el entrenamiento de futbolistas para mejorar y/o mantener los niveles de condición física, así como para prevenir sobrecargas y posibles lesiones a lo largo del año (37).

Entre las ventajas de este modelo de contracción se encuentra la posibilidad de controlar y corregir el gesto deportivo de manera precisa, lo que permite orientar de forma más analítica el trabajo hacia el grupo muscular que queremos incidir. Además, este modelo de activación facilita el incremento del tiempo de tensión máxima mientras se disminuye el volumen total de entrenamiento y permite una mayor capacidad de concentración durante el esfuerzo en un movimiento analítico al disminuir las variables externas que puedan interferir (36).

Por otro lado, las contracciones isométricas presentan una serie de desventajas. Entre ellas destaca la limitada transferencia al deporte, dado que no es régimen dominante en disciplinas como el fútbol. Además, adquiere una menor coordinación intermuscular, una reducción del flujo sanguíneo y un posible incremento del tono pasivo, lo que puede disminuir la eficacia de este modelo de trabajo en contextos que exijan una adaptación funcional más específica (36).

#### 1.7. Diferencia entre acción isométrica de empuje y acción isométrica de retención (PIMA e HIMA)

La división comentada anteriormente era la clasificación más estandarizada. Sin embargo, existe una subdivisión dentro de las contracciones isométricas: la acción isométrica de empuje (PIMA) y la acción isométrica de retención (HIMA). PIMA ejerce un empuje sobre un objeto frente a HIMA que intenta resistirlo, ambas sin movimiento visible o aparente (35,38-40).

Para aclarar esta subdivisión isométrica vamos a poner un ejemplo: durante un pulso un sujeto está realizando una fuerza contra el contrincante intentando ganarle sin que haya movimiento (PIMA) y el otro está reteniendo la fuerza que ejerce el otro sin ceder (HIMA). Ambos participantes están realizando un tipo de fuerza diferente y por ello una contracción distinta a pesar de no haber ninguna variación en el movimiento de ambos brazos (35,38-40). En la Ilustración 2 se representa un ejemplo gráfico para aclarar la distinción.

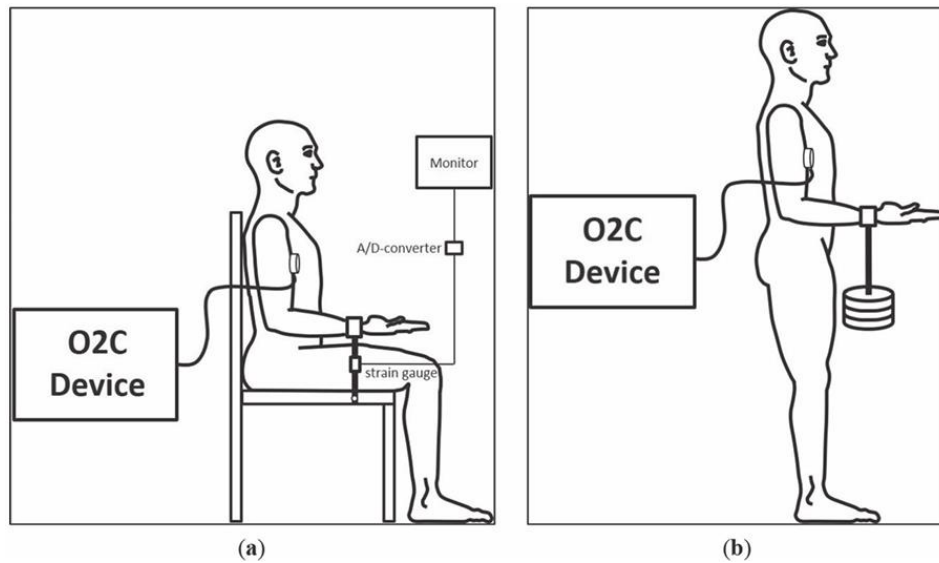


Ilustración 2: Ejemplo de la diferencia de ejecución de PIMA (a) e HIMA (b) (40)

Esta subdivisión surge de la hipótesis en la que el movimiento isométrico puro no existe más allá de los laboratorios. En la vida real siempre existen ciertas oscilaciones, en ocasiones imperceptibles por la vista, validando la idea en la que hay ciertas variaciones en la longitud debido a acortamientos y alargamientos dentro del músculo. Por ello suponemos que PIMA se asemeja a una acción concéntrica sin movimiento e HIMA una contracción excéntrica sin movimiento (38).

A pesar de que en ambas contracciones no haya movimiento aparente, no son iguales. Se muestran las siguientes diferencias: PIMA puede generar una mayor potencia, prolongar esta fuerza más en el tiempo y tardar más tiempo en llegar al fallo (TTF) muscular en intensidades en torno al 15% de la contracción isométrica máxima (MVIC) respecto a HIMA. PIMA parece tener una mayor capacidad en mantener actividades, una mejor resistencia isométrica submáxima en intensidades idénticas de fuerza y un mayor tiempo de posición isométrica estable a la vez que la meseta isométrica respecto a HIMA (35,38,40).

Dentro de las contracciones anisométrica o heterométricas, mal llamadas isotónicas, la manera de objetivar la fuerza es a través de repetición máxima (1RM). Se conoce que durante la realización de ejercicios excéntricos se puede desarrollar una mayor fuerza máxima, valores por encima del 100% del RM, en parte por la tensión pasiva y la participación de la titina. Durante PIMA la fuerza aplicada es inferior, aunque el reclutamiento es mayor por no contar con la capacidad pasiva de la titina entre otros (36,41).

Es importante destacar que todos los artículos que afirman una mayor potencia de PIMA respecto a HIMA se basan en la ejecución de la misma fuerza para ambas acciones musculares. Diferente es que HIMA pueda desarrollar una mayor fuerza máxima, pero sin mantenerla tanto en el tiempo trabajando con cargas supramáximas por encima del 1RM (35,36,38,40,41).

Durante las contracciones HIMA el sistema nervioso central requiere una mayor activación para controlar esta activación. Autores comentan que la acción excéntrica es más difícil de ejecutar que la concéntrica dando como resultado una mayor activación cerebral y presentando estrategias más complejas de control. Durante las acciones excéntricas el organismo tiene que controlar la regulación motora y responder a los estímulos exteroceptivos provocando un desafío mayor a nivel neuromuscular. A través de investigaciones neurocientíficas se afirma que, a medida que una tarea motora es más compleja presenta más variaciones externas y requiere un mayor control retroalimentativo para responder a la incesante variabilidad sensoriomotora, es decir, una mayor capacidad adaptativa (35,38).

En el ejemplo anterior, la persona que realizaba la acción PIMA solo tiene que empujar sobre un objeto inmóvil y no tiene que reaccionar cinestésicamente. Por el contrario, la otra persona que realiza la contracción HIMA tiene una mayor exigencia por los procesos adaptativos regulando continuamente la fuerza que tiene que realizar, generando un control neuronal continuo y más complejo. Esto podría explicar el por qué HIMA tiene un menor tiempo de resistencia respecto a PIMA (35,38,40).

Posiblemente la respuesta a la disminución de la resistencia submáxima en HIMA se pueda entender a través del concepto de Fuerza Adaptativa (FA). La FA muestra la capacidad neuromuscular que presenta el organismo en la adaptación a cargas externas durante las acciones musculares de sujeción, asimilándose mejor a las acciones musculares de la vida real y deportivas. Por ello, frente a una fuerza externa en aumento el cuerpo tiene que adaptarse isométricamente por medio de un sistema neuromuscular en continuo cambio, una fuerza excéntrica en adaptación. Hay sospechas de que la FA es vulnerable a las perturbaciones del sistema neuronal como las entradas mentales u olfativas, manifestando especial relevancia en las implicaciones prácticas al igual que en los mecanismos lesionales (38,39,42).

El cerebro posiblemente interaccione de manera más intensa durante las acciones HIMA por medio de una mayor coherencia inter-músculo-cerebro. Podría apoyar la hipótesis de que las estrategias de control durante HIMA son más complejas y que estén relacionadas con

procesos de mayor complejidad neuronal durante acciones excéntricas, permitiendo reaccionar al sujeto de manera más eficiente a perturbaciones externas (38,39).

Otras explicaciones en la reducción de la resistencia de HIMA pueden deberse a la fatiga central y metabólica, un aumento de la fatiga central por unas mayores demandas neuronales y una fatiga metabólica de las fibras musculares. Este último escenario podría deberse a un déficit local de intercambio metabólico por las situaciones de compresión, una isquemia local, durante las actividades isométricas comprometiendo el aporte de oxígeno y el lactato. La falta de oxígeno daría lugar a la vía anaeróbica produciendo lactato, ascendiendo hasta 15 veces más desde los valores iniciales, unido a unas mayores demandas energéticas, un mayor consumo de glucosa a través de los músculos por un aumento en la captación y una mayor presión arterial media (35,38,40).

A través de EMG se observa como existen oscilaciones mecánicas dentro de las fibras musculares necesarias para mantener el intercambio y transporte de sustratos durante las actividades isométricas. Estas oscilaciones se consiguen a través de movimientos vibratorios que realiza la musculatura para evitar la fatiga metabólica comentada previamente. Durante PIMA se generan oscilaciones más altas que en HIMA apoyando un mayor transporte de sustratos y evitando la acumulación de lactato. Aunque durante las acciones excéntricas la producción de lactato es menor, el cómputo global producción-eliminación es mayor durante HIMA, pudiendo ser este mecanismo una razón fisiológica en la explicación de una mayor fatiga metabólica (35,40).

Diferentes autores establecieron HIMA como contracción de referencia en sus investigaciones, en las que comparaban las dos modalidades de contracciones isométricas, debido a sus características específicas previamente mencionadas (38,40,42). En base a la evidencia aportada por los estudios científicos actuales, se plantea HIMA como una opción adecuada para establecer el grupo control en un proyecto de trabajo de fuerza isométrica.

Las tendencias actuales de las investigaciones tienen por objetivo centrarse en la evaluación de la capacidad adaptativa frente a cargas externas, un aspecto que se relaciona de forma más directa con la naturaleza de la contracción HIMA. Este tipo de acción isométrica implica un mayor nivel de complejidad de control motor al paciente, dado que el sistema neuromuscular necesita realizar reajustes para conservar la estabilidad. Por el contrario, PIMA únicamente genera una fuerza de manera activa contra una resistencia inmóvil o inamovible, lo que conlleva un menor control motor y una menor necesidad adaptativa a las variaciones externas. Esta diferencia de demanda del organismo al control y a la adaptación frente a las

variaciones externas ha llevado a que PIMA haya sido menos estudiada en comparación con HIMA, reflejado en los estudios recientes en los que priorizan modelos que permitan analizar de manera más precisa la estabilidad funcional y la respuesta adaptativa del sistema (38,40,42).

## 1.8. Intervención de fisioterapia

Durante el periodo postoperatorio el cirujano tiene la responsabilidad de los resultados y técnicas quirúrgicas y el fisioterapeuta de la toma de decisiones en los procesos de rehabilitación. Es importante el intercambio de información entre el cirujano y el fisioterapeuta porque cada tipo de técnicas quirúrgicas requiere de unos tiempos de recuperación y llevan asociadas diferentes complicaciones (11).

Está evidenciado que la rehabilitación es un aspecto esencial en la recuperación de la reconstrucción del LCA. Aunque hay una gran heterogeneidad de protocolos de rehabilitación dentro de la literatura científica, no hay unanimidad en los criterios de progresión ni en los objetivos antes del retorno a la práctica deportiva (43,44).

La actuación del fisioterapeuta complementa el tratamiento farmacológico y médico en etapas precoces de la rehabilitación cuando hay dolor u otros problemas derivados de la cirugía. Sin embargo, muchas modalidades de fisioterapia carecen de la evidencia suficiente presentando contradicciones en los beneficios frente a las posibles complicaciones, en el coste o el tiempo necesario para su implementación, como se muestran en la Tabla 6 (43).

Recomendada	No recomendada	¿Se recomienda?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Crioterapia	<input type="checkbox"/> Movimientos pasivos continuos	<input type="checkbox"/> Biofeedback
<input type="checkbox"/> Estimulación neuromuscular	<input type="checkbox"/> Punción seca	<input type="checkbox"/> kKnesio-tape
<input type="checkbox"/> Restricción de flujo sanguíneo con carga baja	<input type="checkbox"/> Vibración en cuerpo completo	<input type="checkbox"/> Vibración local

Tabla 6: Evidencia de las diferentes modalidades de fisioterapia en la rehabilitación de RLCA (43).

En fases tempranas al momento postoperatorio (2 semanas) adquieren importancia las siguientes técnicas de fisioterapia: la crioterapia tiene un efecto analgésico principalmente favoreciendo la disminución del tratamiento farmacológico para aliviar el dolor junto con una

mejora en el rango de movimiento en la flexión de rodilla; la introducción de la estimulación neuromuscular obtiene mejora en la fuerza del cuádriceps y restablece la simetría entre ambos miembros inferiores, evitando la atrofia por desuso; el entrenamiento con restricción del flujo con baja carga presenta un efecto antiedematoso y analgésico además de mejorar el CSA y la fuerza del cuádriceps, pudiendo ser una alternativa cuando el paciente no puede realizar ejercicios a altas cargas de trabajo por un dolor o hinchazón incapacitante (43).

Las guías de práctica clínica de RLCA recomiendan la utilización de movilizaciones inmediatas postquirúrgicas sin abusar de los movimientos pasivos ni órtesis en el tiempo, junto con el entrenamiento de fuerza y de control motor, siendo la atención precoz un factor predisponente en la mejora del paciente (44). Aun así, los programas de entrenamiento de fuerza después de una RLCA no están claros, debe de investigarse aún más las actuaciones más eficientes para conseguir restaurar las capacidades físicas del cuádriceps y optimizar los resultados (11).

A pesar de la falta de investigación, en la actualidad hay algunos ítems relevantes en el entrenamiento de fuerza a tener en consideración: los ejercicios isométricos se pueden realizar con seguridad a partir de la segunda semana de la cirugía y generan ventajas en una recuperación más rápida sin afectar negativamente a la estabilidad; la integración de cadena cinética cerrada (CCC) y cadena cinética abierta (CCA) dan resultados significativamente mejores en los niveles de fuerza y en una vuelta anticipada a la práctica deportiva; se recomienda la utilización de ejercicios concéntrico y excéntricos pero no la realización únicamente de ejercicios anisométricos, sino la combinación con isométricos; todo el entrenamiento de fuerza ha de ser complementario con el control motor, no sustitutivo (26,43,44).

El control motor se basa en el entrenamiento integral de componentes como el equilibrio, la propiocepción, la agilidad y la pliometría. Para ello, es imprescindible realizar evaluaciones sistemáticas mediante baterías de pruebas funcionales, como test de fuerza y de salto, que permiten cuantificar la cantidad y calidad de movimiento. Complementariamente, el uso de análisis de video resulta primordial para estudiar la técnica y detectar posibles deficiencias, ya que la ejecución adecuada de los movimientos desempeña un papel clave en la tasa de re-lesión del LCA (43,44).

A pesar de los ítems que tenemos que seguir como fisioterapeutas en nuestro plan de trabajo, ¿cuándo realmente podemos cerciorarnos que un deportista puede volver a su práctica deportiva con garantías reales? (43).

Como se muestra en la guía: “Aspetar clinical practice guideline on rehabilitation after ACL”, estos son los requisitos durante el proceso de rehabilitación que tienen que superar el deportista para asegurarnos de un regreso seguro a la práctica deportiva: presentar ausencia de dolor e hinchazón; obtener un rango de movimiento completo; restablecer la estabilidad en la rodilla; normalizar la función subjetiva y preparación psicológica de la rodilla; adquirir momentos de fuerza isocinético del cuádriceps e isquiotibiales del 100% en deportes de altas exigencias, como es el fútbol; normalizar los valores de simetría y absolutos en la biomecánica del salto y de la mecánica de carrera; y finalizar un programa específico para el deporte (43).

El tiempo que transcurre desde la operación hasta la recuperación biológica del injerto es inamovible. La maduración biológica del injerto conlleva como mínimo nueve meses y puede llegar a demorarse hasta los doce meses o más, en función del tipo de injerto utilizado y de las características individuales del paciente. Si bien, se requiere la realización continua de pruebas, informes de los pacientes, exámenes clínicos, criterios de rendimiento que pueden hacer oscilar el tiempo “variable” de la recuperación (43).

Entre los criterios utilizados destacamos: pruebas de simetría de fuerza medida mediante la ratio cuádriceps isquiotibiales normalizado con la utilización de un dinamómetro isocinético; pruebas de control neuromuscular usando EMG y de equilibrio a través de Drop-Landing; pruebas de ROM medida por goniometría; evaluación del edema y del CSA a través de ecografía; criterios psicológicos utilizando los test PRO, IKDC-SKF, subescalas de deporte/recreación y calidad de vida (KOOS) y ACL-RSI (Return to Sport Index) para medir la confianza de la rodilla lesionada y la kinesiofobia; y exámenes clínicos médicos para evaluar la evolución del injerto (4,14,20,30,34,43).

Desde las primeras semanas después de la cirugía se pueden realizar ejercicios isométricos, pero con objetivos diferentes. Durante las tres primeras semanas los objetivos son conseguir movilidad temprana y control del cuádriceps, siempre bajo la tolerancia de cada paciente. Se deben evitar los ejercicios a altas intensidades hasta la sexta semana, aunque los ejercicios de entrenamiento de fuerza isométrica máxima no pueden iniciarse hasta la doceava semana. No por ello se deben suprimir los ejercicios, sino realizarlos a menores intensidades (26,33,45).

Además de trabajar el cuádriceps no hay que obviar el trabajo de otros músculos de los miembros inferiores (MMII) tales como los isquiotibiales y el glúteo mayor. Un entrenamiento desproporcionado del cuádriceps respecto a los isquiotibiales puede generar una descompensación agonistas-antagonistas inhibiendo la co-activación de los isquiotibiales,

pudiendo aumentar el cajón anterior de la tibia. Por otro lado, un déficit en el glúteo mayor puede generar una inestabilidad pélvica y de tronco, dando lugar a una mala alineación de los MMII. Por ello, realizando un buen trabajo intermuscular mejorará la alineación de los MMII, el gesto de recepción de salto y disminuirá el riesgo de sufrir una LLCA o una recidiva de LLCA (4,7,46).

Cuando realizamos ejercicios en CCC frente a ejercicios en CCA de los MMII se aumenta la cocontracción de los músculos para estabilizar y controlar los movimientos fisiológicos y articulares, produciéndose una activación global de la musculatura y no analítica, mejorando así la estabilidad activa de la rodilla. Actualmente la evidencia es baja aún en la elección de la mejor modalidad de ejercicio para el periodo postoperatorio de RLCA, aunque muestran niveles inferiores de percepción del dolor con la realización de ejercicios en CCC (11,43,47).

Tanto los ejercicios monoarticulares o analíticos como multiarticulares o globales generan cambios a nivel muscular en nuestro organismo, los ejercicios monoarticulares se centran en un único músculo siendo útiles cuando queremos una hipertrofia localizada con el objetivo de corregir desbalances musculares, frente a los ejercicios multiarticulares que presentan beneficios superiores en la ganancia de fuerza funcional y acondicionamiento general, más semejantes a actividades funcionales como el fútbol (48).

A través del EMG se muestran los resultados en la Tabla 7 de la activación muscular medida en milivoltios (mV) de las diferentes partes del cuádriceps durante la ejecución de diferentes ejercicios globales de MMII, procesada a través de la raíz promedio de los cuadrados con una ventana móvil de 125 milisegundos (46).



Parte del cuádriceps	Tipo de ejercicio		
	Sentadilla	Subida al cajón	Peso muerto
<b>RF EXC</b>	0.81 ± 0.35 mV	0.63 ± 0.27 mV	0.54 ± 0.49 mV
<b>VL EXC</b>	0.94 ± 0.40 mV	0.90 ± 0.41 mV	0.61 ± 0.28 mV
<b>VL CON</b>	1.33 ± 0.68 mV	1.31 ± 0.82 mV	0.63 ± 0.32 mV
<b>VM EXC</b>	1.17 ± 0.49 mV	1.22 ± 0.61 mV	0.78 ± 0.34 mV
<b>VM CON</b>	1.49 ± 0.54 mV	1.73 ± 0.94 mV	1.32 ± 0.68 mV

Tabla 7: RF: recto femoral; VL: vasto lateral; VM: vasto medial; EXC: excéntrico; CON: concéntrico; mV: milivoltios (46).

En los resultados se manifiesta las diferencias de activación muscular en los diferentes tipos de ejercicios. Los datos de la tabla se analizaron mediante repeticiones de rango completo (fases concéntricas y excéntricas), usando el promedio de ambas repeticiones de la prueba para cada uno de los 3 ejercicios. Por lo tanto, se observa como el ejercicio que presenta una mayor activación del cuádriceps casi en su totalidad, independientemente del tipo de contracción, es la sentadilla (46).

Después de la RLCA se observan las mayores pérdidas de fuerza en los 90° y 70° de flexión de rodilla y en velocidades bajas, debiendo orientar el programa de rehabilitación en estas angulaciones (28). Con relación a la dosis-respuesta difiere si nuestro objetivo está dirigido en la ganancia de fuerza o en la hipertrofia, mientras que la ganancia de fuerza se genera en un amplio rango de RIR o “Repetition In Reserve”, para la hipertrofia es necesario acercarse al fallo muscular o RIR más bajos (49).

Según Clark et al. (50) la realización de sentadilla con barra libre frente a la máquina Smith o Multipower muestra un incremento del 43% en la actividad musculares medido a través de EMG, destacando la activaciones en los gemelos (34%), bíceps femoral (26%) y vasto medial (49%). Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en la actividad muscular en función de la profundidad de ejecución de la sentadilla.

Un programa de entrenamiento de isometría de nueve semanas de duración genera cambios significativos en la fuerza, con una frecuencia de entrenamiento de mínimo 48 horas de descanso entre sesiones para favorecer la recuperación y reducir la fatiga acumulada.

Mediante este modelo de entrenamiento se persigue conseguir una mejora en la fuerza muscular, un aumento de la RFD y un incremento de la hipertrofia muscular en la fase de rehabilitación y prevención de lesiones (51). Es importante considerar el criterio de progresión de cargas durante los programas de entrenamiento de fuerza, de forma que es necesario realizar reevaluaciones periódicas cada dos o tres semanas para restablecer las cargas de trabajo y optimizar el rendimiento durante los entrenamientos (52).

En base a los aspectos comentados previamente en nuestros antecedentes, nuestro proyecto experimental comenzará a la doceava semana del proceso de rehabilitación de RLCA de los futbolistas. El protocolo de trabajo isométrico máximo tendrá una duración de nueve semanas con dos entrenamientos por semana, siendo la sentadilla libre con barra trasera a 90° de flexión de rodilla el ejercicio escogido. Para garantizar la seguridad y permitir la delimitación de los límites precisos entre ejercicios PIMA y HIMA se utilizará un rack.

## 2. Evaluación de la evidencia

Para desarrollar la evaluación de la evidencia hemos seleccionado los siguientes términos de nuestro título. Tras ello, realizamos la búsqueda en los descriptores MeSH, DeCS y en caso de no existir, como término libre, dando como resultado:

<b>Numeración</b>	<b>Término (inglés)</b>	<b>Término MeSH</b>	<b>Término DeCS</b>
<b>1</b>	Athletes	"Athletes"	No
<b>2</b>	Postoperative period	"Postoperative period"	Postoperative Period
<b>3</b>	ACL	"Anterior cruciate ligament" OR "anterior cruciate ligament injuries"	Anterior Cruciate Ligament Injuries
<b>4</b>	Isometric contraction	"Isometric contraction"	Exercise, isometric
<b>5</b>	Overcoming isometric o PIMA	No	No
<b>6</b>	Yielding isometrics o HIMA	No	No
<b>7</b>	Exercise	"Exercise"	Exercise
<b>8</b>	Muscle strength	"Muscle strength" OR "muscle strength dynamometer"	Muscle strength
<b>9</b>	Electromyography	"Electromyography"	Electromyography
<b>10</b>	Muscle fatigue	"Muscle fatigue"	Muscle Fatigue
<b>11</b>	Epidemiology	"Epidemiology"	Clinical Epidemiology
<b>12</b>	Soccer	"Soccer"	Soccer
<b>13</b>	Risk factors	"Risk factors"	Risk Factors
<b>14</b>	physiotherapy intervention	"Physical therapy specialty" OR "Physical therapy modalities" AND "Therapeutics"	Physical Therapy Specialty

Tabla 8: Términos MeSH, DeCS y términos libres (Elaboración propia).

Seguidamente, hemos realizado las siguientes estrategias de búsquedas en base a nuestros términos previamente elegidos, utilizando boléanos y de truncamiento AND y OR

## ESTRATEGIA DE PUBMED

En primer lugar, tras buscar los términos MeSH realizamos la siguiente estrategia de búsqueda, salvo la búsqueda 5 y 6 realizada por medio de término libre. Aunque en algunos casos (como en la búsqueda 3, 6 o 12) utilizamos booleanos para obtener unos resultados más completos sobre dichos términos.

BÚSQUEDA	ESTRATEGIAS	ARTÍCULOS ENCONTRADOS
1	"Athletes"	23.406
2	"Postoperative period"	62.895
3	"Anterior cruciate ligament" OR "anterior cruciate ligament injuries"	19.623
4	"Isometric contraction"	17.074
5	Overcoming isometric	3.925
6	Yielding isometrics	8.977
7	"Exercise"	266.086
8	"Muscle strength" OR "muscle strength dynamometer"	49.857
9	"Electromyography"	87.137
10	"Muscle fatigue"	9.657
11	"Epidemiology"	29.981
12	"Soccer"	11.221
13	"Risk factors"	1.018.001
14	"Physical therapy specialty" OR "Physical therapy modalities"	6.639

Tabla 9: Primera estrategia de búsqueda en PUBMED (Elaboración propia).

Tras la gran cantidad de artículos encontrados, realizamos en PUBMED una nueva búsqueda de artículos con la combinación de las anteriores estrategias, a través de los siguientes booleanos y limitadores de búsqueda:

BÚSQUEDA	ESTRATEGIAS	ARTÍCULOS ENCONTRADOS	FILTROS
15	1 AND 2 AND 3	9	Sin filtros
16	3 AND 4 AND 8	47	Desde 2020
17	2 AND 3 AND 7	4	Desde 2020
18	3 AND 4 AND 7 AND 8	9	Sin filtro
19	3 AND 4 AND 7 AND 9	3	Sin filtro
20	3 AND 4 AND 7 AND 10	1	Sin filtro
21	3 AND 11 AND 12	47	Sin filtro
22	5 AND 6	11	Sin filtro
23	3 AND 14	71	Desde 2019
24	2 AND 3 AND 4 AND 9	0	Sin filtro
25	2 AND 3 AND 4 AND 10	0	Sin filtro

*Tabla 10: Segunda estrategia de búsqueda en PUBMED (Elaboración propia).*

En consecuencia, a la escasa variedad de artículos encontrados, en la mayoría de las estrategias, no fue necesario la implementación de ningún filtro, salvo en la estrategia 16,17 y 23.

Finalmente, tras los filtros aplicados, obtenemos 202 artículos.

## ESTRATEGIA DE EBSCO

Realizamos en EBSCO una búsqueda de artículos incluyendo las siguientes bases de datos: Academic Search Complete, E-Journals, MEDLINE, CINAHL Complete y MEDLINE Complete. Tras buscar los términos DeCS realizamos la siguiente búsqueda, salvo la 1, 5 y 6 realizada por medio de término libre.

BÚSQUEDA	ESTRATEGIAS	ARTÍCULOS ENCONTRADOS
1	Athletes	604.686
2	Postoperative Period	546.150
3	Anterior Cruciate Ligament Injuries	73.522
4	Exercise, isometric	50.065
5	Overcoming isometric	86
6	Yielding isometrics	350
7	Exercise	2.757.977
8	Muscle strength	328.924
9	Electromyography	333.624
10	Muscle Fatigue	104.178
11	Clinical Epidemiology	2.653.846
12	Soccer	213.053
13	Risk Factors	7.243.500
14	Physical Therapy Specialty	92.214

*Tabla 11: Primera estrategia de búsqueda en EBSCO (Elaboración propia).*

Tras la gran cantidad de artículos encontrados, realizamos en EBSCO una nueva búsqueda de artículos con la combinación de las anteriores estrategias, a través de los siguientes booleanos y limitadores de búsqueda:

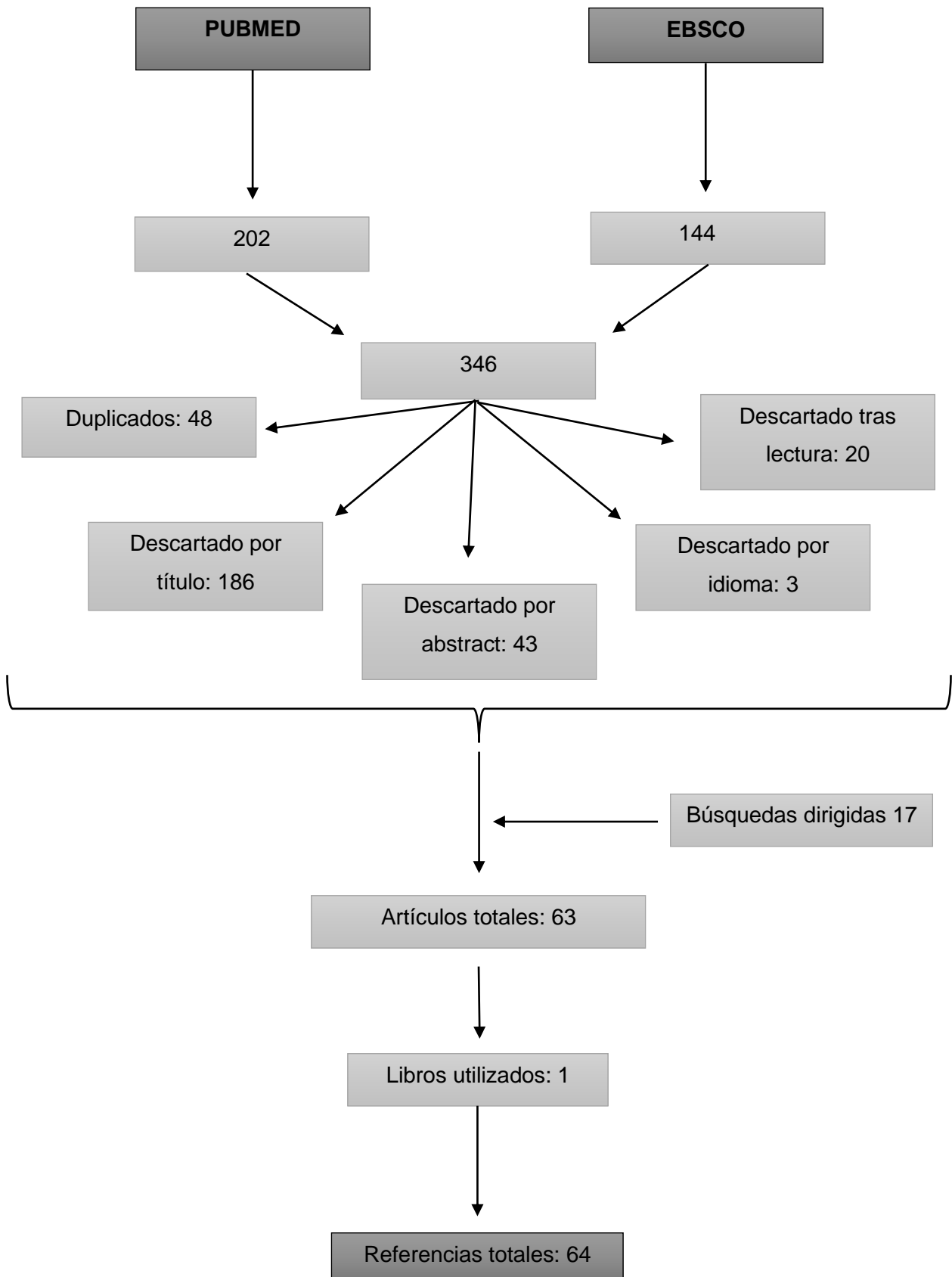
<b>BUSQUEDA</b>	<b>ESTRATEGIAS</b>	<b>ARTÍCULOS ENCONTRADOS</b>	<b>FILTROS</b>
<b>15</b>	1 AND 2 AND 3	5	Sin filtros
<b>16</b>	3 AND 4 AND 8	20	Desde 2014
<b>17</b>	2 AND 3 AND 11	2	Sin filtros
<b>18</b>	3 AND 7 AND 8	47	Desde 2024
<b>19</b>	3 AND 4 AND 7 AND 9	1	Sin filtro
<b>20</b>	3 AND 4 AND 10	12	Desde 2000
<b>21</b>	3 AND 11 AND 13	10	Sin filtros
<b>22</b>	5 AND 6	5	Sin filtro
<b>23</b>	3 AND 14	42	Desde 2019
<b>24</b>	2 AND 3 AND 4 AND 9	0	Sin filtro
<b>25</b>	2 AND 3 AND 4 AND 10	0	Sin filtro

*Tabla 12: Segunda estrategia de búsqueda EBSCO (Elaboración propia).*

Debido a la escasa variedad de artículos encontrados en la mayoría de las estrategias no fue necesario la implementación de ningún filtro, salvo en la estrategia 16,18 y 23.

Finalmente, tras los filtros aplicados, obtenemos en nuestra búsqueda 144 artículos

## FLUJOGRAMA



*Flujograma (Elaboración propia).*



### 3. Objetivos del estudio

#### Objetivo general

Determinar si el tratamiento PIMA es más eficaz que el tratamiento HIMA en futbolistas que han sido intervenidos quirúrgicamente de LCA.

#### Objetivos específicos:

- Determinar si realizar un tratamiento PIMA es más efectivo que el tratamiento HIMA, en futbolistas que han sido intervenidos quirúrgicamente de LCA, en la **fuerza isométrica máxima** del cuádriceps medido con dinamómetro.
- Determinar si realizar un tratamiento PIMA es más efectivo que el tratamiento HIMA, en futbolistas que han sido intervenidos quirúrgicamente de LCA, en el **volumen** del cuádriceps medido con cinta métrica.
- Determinar si realizar un tratamiento PIMA es más efectivo que el tratamiento HIMA, en futbolistas que han sido intervenidos quirúrgicamente de LCA, en el **reclutamiento muscular** del cuádriceps medido con EMGs.
- Determinar si realizar un tratamiento PIMA es más efectivo que el tratamiento HIMA, en futbolistas que han sido intervenidos quirúrgicamente de LCA, en la **evaluación subjetiva de la rodilla** medido con el cuestionario IKDC-SKF.

#### 4. Hipótesis conceptual

El tratamiento PIMA es más efectivo que el tratamiento HIMA en futbolistas que han sido intervenidos quirúrgicamente de LCA.

## 5. Metodología

### 5.1. Diseño

El trabajo de investigación consistirá en un diseño experimental, analítico, longitudinal y prospectivo. Se utilizará un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando a los participantes en función de su disponibilidad y accesibilidad para el estudio. La muestra estará compuesta por jugadores de fútbol pertenecientes a la Federación Madrileña de Fútbol que hayan sido intervenidos de RCLA y que manifiesten voluntariamente su interés en participar en el estudio. Estará conformada por dos grupos (control/experimental) y se establecerá un ensayo clínico aleatorizado con el objetivo de aumentar la probabilidad de obtener dos grupos lo más homogéneos posibles. No se realizarán técnicas de enmascaramiento debido a la imposibilidad de ocultar a los participantes la acción a desarrollar en el experimento, por ello no existirá cegamiento. La recogida de datos sobre las variables dependientes se realizará antes y después del estudio, permitiendo una comparación pre-post intervención que nos informe de la posible variación.

Se dividirán a los sujetos en 2 grupos de manera aleatoria:

- Grupo A (grupo control) realizarán el protocolo de trabajo HIMA
- Grupo B (grupo experimental) realizarán el protocolo de trabajo PIMA

En base a la evidencia aportada por los estudios científicos actuales, se plantea HIMA como una opción adecuada para establecerla como el grupo control de nuestro proyecto de trabajo de fuerza isométrica. Diferentes autores implementaron HIMA como contracción de referencia en sus investigaciones, en las que comparaban las dos modalidades de contracciones isométricas, debido a sus características específicas previamente mencionadas. Por el contrario, como se ha explicado previamente en los antecedentes, PIMA ha sido menos estudiada en comparación con HIMA, reflejado en los estudios recientes en los que priorizan modelos que permitan analizar de manera más precisa la estabilidad funcional y la respuesta adaptativa del sistema. Por ello, establecemos PIMA como el grupo experimental.

La muestra se aleatorizará de forma simple. El investigador principal dispondrá de una lista numerada con todos los participantes que hayan entrado en el estudio identificados con un código numérico para preservar el anonimato en todo momento. Posteriormente a través de Microsoft Excel mezclará la lista de los participantes y se le asignará de manera alterna: el primero al grupo A y el segundo al grupo B, y así sucesivamente.

Para llevar a cabo el estudio será necesario la aprobación por parte del Comité Ético de Investigación Clínica del hospital Clínico San Carlos, entidad encargada de evaluar y supervisar los aspectos éticos, metodológicos y científicos de nuestra investigación. Se presentará la solicitud mediante el documento necesario (Anexo I). El estudio se basa en los principios éticos de los estudios médicos en seres humanos que se declararon en 1964 en Helsinki por la Asamblea Médica Mundial.

Previo a formar parte del proyecto de investigación, los sujetos que vayan a participar tendrán que aportar un informe con sus datos personales (Anexo II), siendo estos datos confidenciales y asignando a cada participante un número identificativo para preservar así la confidencialidad.

Presentaremos un documento informativo para los participantes sobre el diseño del estudio en cuestión (Anexo III). Con el objetivo de proporcionar a los sujetos de nuestro estudio una información completa del proyecto que van a formar parte con todos los detalles como los grupos de trabajo, los objetivos de estudio, la duración estimada, técnicas utilizadas, contraindicaciones, etc. Por último, deberán leer y firmar el consentimiento informado (Anexo IV), en el cual indican que quieren formar parte voluntariamente del estudio. Aquel participante que tenga la decisión de abandonar el estudio por la razón particular que posea, podrá hacerlo libremente sin ninguna repercusión rellenando una hoja de revocación (Anexo V).

## 5.2. Sujetos de estudio

Los sujetos de estudio que formarán parte serán futbolistas que hayan sido intervenido quirúrgicamente de RLCA y que estén inscritos en la Federación Madrileña de Fútbol. Los siguientes criterios de inclusión y exclusión (Tabla 13) serán esenciales para definir de la manera más homogénea y relevante posible nuestros grupos de estudio, garantizando la validez científica del proyecto.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
Sexo masculino	Antecedentes de cirugía previa de LCA en cualquiera de las dos rodillas, distinta al episodio actual.
Futbolista de nivel semiprofesional o profesional que pertenezcan a la Federación Madrileña de Fútbol.	Haber recibido tratamiento postoperatorio de fisioterapia
Intervenido quirúrgicamente de RLCA	Seguir con los entrenamientos de fuerza en su equipo de fútbol
Mayor de edad	Pacientes con tratamiento farmacológico susceptibles de influir en la funcionabilidad del aparato musculoesquelético. Esto incluye, aunque no se limita a, la administración de relajantes musculares, analgésicos opioides, inmunosupresores y/o tratamientos hormonales que puedan alterar la masa muscular, el tono, la fuerza o el metabolismo óseo.
Comprender el castellano y/o inglés	

Tabla 13: Criterios de inclusión y exclusión (Elaboración propia).

### 5.3. Cálculo muestral

El tamaño muestral se obtiene a partir de la siguiente fórmula (Tabla 14), empleada en estudios de contraste de hipótesis con comparación de dos medias.

$$n = \frac{2K * SD^2}{d^2}$$

<b>k</b>	Constante dependiente del nivel de significación y de la potencia estadística
<b>n</b>	Tamaño de la muestra
<b>SD</b>	Desviación típica
<b>d</b>	Precisión

Tabla 14: Fórmula del cálculo muestral (Elaboración propia).

Se ha establecido un nivel de significación  $\alpha = 0,05$ , lo que indica que hay un 5% de probabilidad de cometer un error tipo I (rechazar la hipótesis nula cuando es cierta). En la potencia estadística se ha establecido un 80%,  $1-\beta = 0,80$ .

El valor de K se estima a través de la siguiente tabla (Tabla 15):

Poder estadístico (1- $\beta$ )	Nivel de significación $\alpha$		
	5	1	1,10
<b>80%</b>	<b>7,8</b>	11,7	17,1
<b>90%</b>	10,5	14,9	20,9
<b>95%</b>	13	17,8	24,3
<b>99%</b>	18,4	24,1	31,6

Tabla 15: Nivel de significación con relación al poder estadístico (Elaboración propia)

Por todo ello, el valor constante de K será igual a 7,8.

A continuación, se realizará el tamaño muestral de las siguientes variables, tomando como la precisión el 10% de la media (53).

- **Fuerza isométrica máxima**

En base al artículo de Lisee et al. (24) Se obtiene la desviación estándar (SD) con un valor de 0.63. La precisión (d) obtenida a partir del 10% de la media 3,44, será 0,34.

$$n = \frac{2 \times 7,8 \times 0,63^2}{0,34^2} = 53,56$$

El tamaño muestral para esta variable será de 54 sujetos.

- **Volumen muscular**

En base al artículo de Schoenfeld et al. (54) se obtiene la desviación estándar (SD) con un valor de 0.10. La precisión (d) obtenida a partir del 10% de la media 0,53, será 0,05.

$$n = \frac{2 \times 7,8 \times 0,10^2}{0,05^2} = 62,4$$

El tamaño muestral para esta variable será de 63 sujetos.

- **Reclutamiento muscular**

En base al artículo de Gulick et al. (55) se obtiene la desviación estándar (SD) con un valor de 146. La precisión (d) obtenida a partir del 10% de la media 646, será 64,6.

$$n = \frac{2 \times 7,8 \times 146^2}{64,6^2} = 79,68$$

El tamaño muestral para esta variable será de 80 sujetos

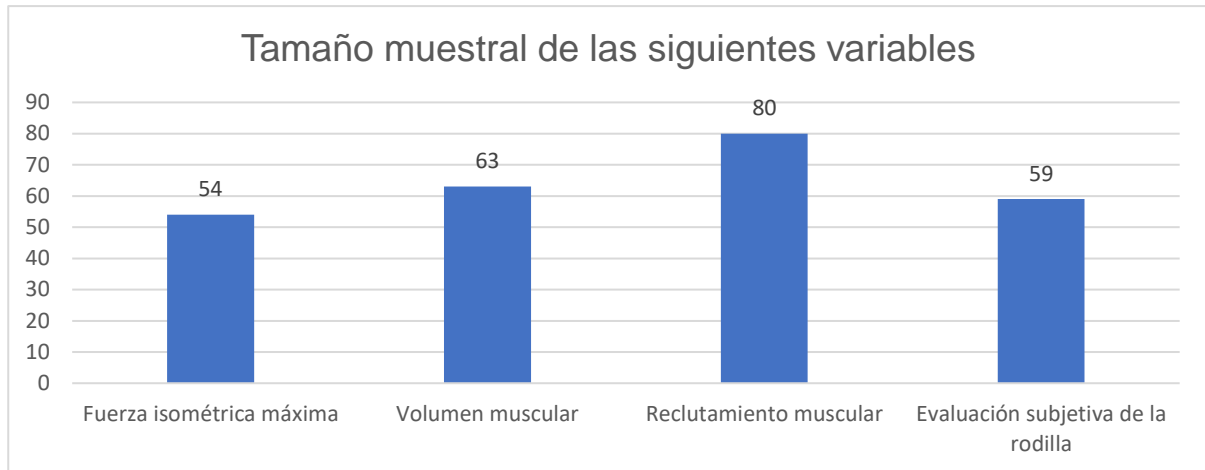
- **Evaluación subjetiva de la rodilla**

En base al artículo de Fältstöm et al. (20) se obtiene la SD con un valor de 16,1. La precisión (d) obtenida a partir del 10% de la media 82,8, será 8,28.

$$n = \frac{2 \times 7,8 \times 16,1^2}{8,28^2} = 58,98$$

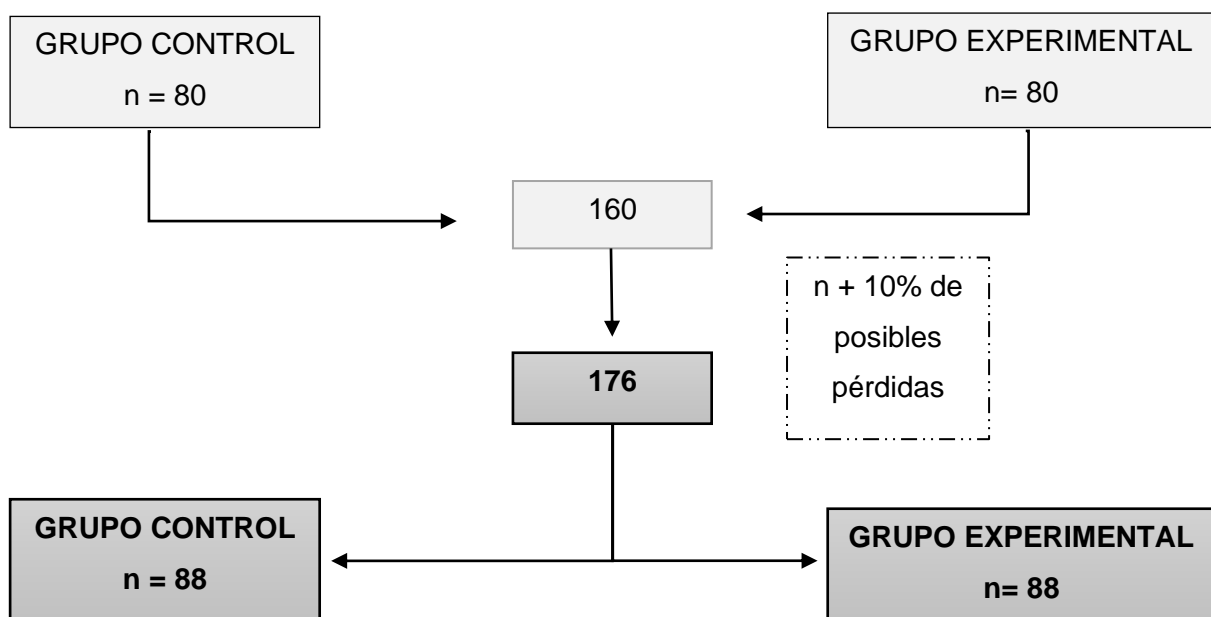
El tamaño muestral para esta variable será de 59 sujetos.

Después de analizar el tamaño muestral de todas nuestras variables del estudio de manera independiente. A continuación, las agrupamos para elegir el tamaño muestral de la variable que haya obtenido el mayor número muestral. Por ello, establecemos el tamaño muestral de 80 personas, obtenida de la variable reclutamiento muscular (Gráfica 3).



Gráfica 3: Tamaño muestral de las siguientes variables (Elaboración propia).

Al presentar nuestro estudio un grupo control y un grupo experimental, el tamaño muestral del trabajo experimental consistirá en 160 participantes (80 participantes en el grupo control y 80 participantes en el grupo experimental). A parte de eso, hay que incluir un 10% adicional por los posibles abandonos a lo largo del desarrollo del experimento, abarcando un resultado total de 176 sujetos (88 participantes en el grupo control y 88 participantes en el grupo experimental).



Gráfica 4: Esquema tamaño muestral (Elaboración propia).



A continuación, se aleatorizará la muestra de forma simple. El investigador principal dispondrá de una lista numerada con todos los participantes que hayan entrado en el estudio identificados con un código numérico para preservar el anonimato en todo momento. Posteriormente a través de Microsoft Excel mezclará la lista de los participantes y se le asignará de manera alterna: el primero al grupo A y el segundo al grupo B, y así sucesivamente.

#### 5.4. Variables

Nombre de variable	Tipo	Unidad de medida	Forma de medirla
<b>Fuerza isométrica máxima (FIM)</b>	Dependiente Cuantitativa Continua	N*m	Dinamómetro
<b>Volumen muscular</b>	Dependiente Cuantitativa Continua	Cm	Cinta métrica
<b>Reclutamiento muscular</b>	Dependiente Cuantitativa Continua	Frecuencia media y amplitud de EMG milivoltios (mV)	EMGs
<b>Evaluación subjetiva de la rodilla</b>	Dependiente Cuantitativa Discreta	Puntuación de la escala	Cuestionario IKDC-SKF
<b>Tipo de intervención</b>	Independiente Cualitativa discreta	0 = PIMA 1= HIMA	Datos informados por el paciente
<b>Momento de medición*</b>	Independiente Cualitativa discreta	0 = Pre 1 = Post	Datos informados por el paciente

Tabla 16: Variables del estudio (Elaboración propia).

\* La variable momento de medición se expresa de esta forma, pero se hará una variable diferencia entre la medición pre y la medición post de todas las variables dependientes.

La variable FIM del cuádriceps se medirá con el dinamómetro PRIMUS RS de BTE Technologie. Se realizarán 6 contracción máximas de 3 segundos de duración (cada una) con la rodilla posicionada a 90° de flexión. Entre cada repetición se realizará un minuto de descanso. Previo a la prueba será necesario un calentamiento previo de la musculatura. Este consistirá en 3 contracciones isométricas al 50%, 75% y 100% del esfuerzo percibido por el paciente con un minuto de descanso entre cada una. La unidad de medida en la que obtendremos los resultados será en N x m (56,57).

La variable volumen muscular del cuádriceps se obtendrá con una cinta métrica para evaluar el desarrollo muscular del muslo. La prueba la realizamos con el paciente descalzo en bipedestación, obteniendo el perímetro del muslo a 10 centímetros por encima de la rótula. Realizamos la medición 3 veces y obtenemos la media de estas (58).

La variable reclutamiento muscular del cuádriceps se registrará con la EMGs con el objetivo de analizar la actividad bioeléctrica del comportamiento promedio del cuádriceps. Seguimos las recomendaciones propuestas por SENIAM del protocolo de colocación de los electrodos para evitar posibles errores intra e interveluador. Entre muchos parámetros que podemos evaluar a través de la EMGs nos centramos en la amplitud y frecuencia media, calculados a partir de la RMS (59-61).

La variable función subjetiva de la rodilla se medirá a través del cuestionario IKDC-SKF (Anexo VI). El formulario se califica sumando los resultados de los diferentes ítems y extrapolando los resultados a una escala de 0 a 100. La obtención de puntuaciones más cercanas a 0 conlleva una mayor restricción hacia las actividades de la vida diaria y deportivas, frente a puntuaciones más elevadas que presentan una menor restricción (62,63).

La variable independiente tipo de intervención se determinará de forma aleatoria como se ha explicado previamente. Habrá 2 grupos de trabajo distintos: grupo control (grupo A) que realizará la contracción HIMA y el grupo experimental (grupo B) que ejecutará la contracción PIMA.

La variable independiente momento de medición tomará dos valores: pre-tratamiento y post-tratamiento, que se evaluará una semana antes de comenzar el tratamiento y una semana después de haberlo concluido. Se deja esta separación de una semana entre el tratamiento y las mediciones para evitar el acúmulo de fatiga muscular que pueda interferir en nuestros resultados.

Las variables independientes como el sexo o la edad que pudieran influir en los resultados no se incluyen en el estudio, por razones que se plantearán en el apartado de limitaciones.

## 5.5. Hipótesis operativa

### - **Fuerza muscular:**

- Hipótesis nula ( $H_0$ ) = no existe diferencias estadísticamente significativas en la variación de la fuerza isométrica máxima medida con dinamómetro, entre el tratamiento PIMA y el tratamiento HIMA.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ) = existe diferencias estadísticamente significativas en la variación de la fuerza isométrica máxima medida con dinamómetro, entre el tratamiento PIMA y el tratamiento HIMA.

### - **Volumen muscular:**

- Hipótesis nula ( $H_0$ ) = no existe diferencias estadísticamente significativas en la variación del volumen muscular medido con cinta métrica, entre el tratamiento PIMA y el tratamiento HIMA.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ) = existe diferencias significativas en la variación del volumen muscular medido con cinta métrica, entre el tratamiento PIMA y el tratamiento HIMA.

### - **Reclutamiento muscular:**

- Hipótesis nula ( $H_0$ ) = no existe diferencias estadísticamente significativas en la variación del reclutamiento muscular medido con EMGs, entre el tratamiento PIMA y el tratamiento HIMA.
- Hipótesis nula ( $H_1$ ) = existe diferencias estadísticamente significativas en la variación del reclutamiento muscular medido con EMGs, entre el tratamiento PIMA y el tratamiento HIMA.

### - **Evaluación subjetiva de la rodilla:**

- Hipótesis nula ( $H_0$ ) = no existe diferencias estadísticamente significativas en la variación de la evaluación subjetiva de la rodilla medido con la cuestionario IKDC-SKF, entre el tratamiento PIMA y el tratamiento HIMA.
- Hipótesis nula ( $H_1$ ) = existe diferencias estadísticamente significativas en la variación de la evaluación subjetiva de la rodilla medido con la cuestionario IKDC-SKF, entre el tratamiento PIMA y el tratamiento HIMA.

## 5.6. Recogida, análisis de datos y contraste de hipótesis

El investigador principal concretará cita y acudirá de forma presencial con la Federación Madrileña de Fútbol. Se le planteará el proyecto al equipo médico de la federación y serán ellos los que nos informen que deportistas han sido intervenidos quirúrgicamente de RLCA y accedan a participar en nuestro estudio.

Los participantes que accedan a formar parte de nuestro estudio se les citará en la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios, Ciempozuelos. Allí, el investigador principal le realizará una entrevista y evaluará si son aptos o no, según los criterios de inclusión y exclusión, para formar parte del estudio.

Tras ser aceptados en nuestro estudio, los participantes tendrán que completar el informe de datos del paciente (Anexo II) y el consentimiento informado (Anexo IV). Para preservar el anonimato y la protección de datos de los participantes, como aparece reflejada en la Ley Orgánica 3/2018 del 5 de diciembre y la Ley Orgánica 15/1999 del 13 de diciembre, se le asignará un código numérico.

El estudio cumple con cada uno de los aspectos éticos desarrollados en la declaración de Helsinki en 1964 y deberá ser aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica para su desarrollo.

A todos los participantes se le llevará a cabo la valoración inicial y final de las siguientes variables: FIM, volumen muscular, reclutamiento muscular y evaluación subjetiva de la rodilla. Se detallará en el apartado de diseño como se realizarán las mediciones para extraer dichas variables y las fechas establecidas para ello. Los datos de las mediciones se recogerán en un Excel® (Tabla 17) y posteriormente se analizarán a través del programa estadístico SPSS® Statistics 30.0.0. para realizar el análisis estadístico de los resultados del estudio.

Los participantes que no finalicen el estudio por abandono o por el incumplimiento de los criterios se considerarán datos perdidos que no formarán parte del futuro análisis estadístico de los resultados.

Participante	Grupo	FIM ext rodilla pre	FIM sentadilla PIMA pre *	FIM sentadilla HIMA pre *	Volumen muscular pre	Reclutamiento muscular pre	Evaluación subjetiva de la rodilla pre
xxx	(A-B)	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	(0-100)
		FIM sentadilla PIMA Reev 1 *		FIM sentadilla PIMA Reev. 2 *		FIM sentadilla HIMA Reev.1 *	FIM sentadilla HIMA Reev. 2*
		xxx		xxx		xxx	xxx
		FIM post	FIM sentadilla PIMA post *	FIM sentadilla HIMA post *	Volumen muscular post	Reclutamiento muscular post	Evaluación subjetiva de la rodilla post
		xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	(0-100)

Tabla 17: Plantilla de recogida de datos de las variables (Elaboración propia).

\* Tanto el registro de “FIM sentadilla PIMA pre, reevaluación 1, reevaluación 2 y post” como el de “FIM sentadilla HIMA pre, reevaluación 1, reevaluación 2 y post” no se considerarán variables de resultado en este estudio. Estas mediciones se utilizarán exclusivamente como herramientas para cuantificar y reajustar la carga en la progresión del ejercicio de sentadilla durante el desarrollo de las semanas de intervención.

El análisis estadístico consistirá en dos partes. En primer lugar, un análisis estadístico descriptivo y en segundo lugar un análisis estadístico interferencial de nuestras variables de estudio.

Estadística descriptiva: se llevará a cabo con el objetivo de organizar y resumir nuestros futuros datos de las variables a estudiar, de forma que sean sencillos y comparables con otros datos y/o que muestren información por sí mismos.

Se realizarán un análisis descriptivo de las variables dependientes, que incluyen: fuerza isométrica máxima, volumen muscular, reclutamiento muscular y función subjetiva de la rodilla, en los dos momentos de medición: pre-intervención, post-intervención y de la variable diferencia (calculada como la variación entre las mediciones pre y post intervención dentro de cada grupo).

De cada una de estas variables, se obtendrán medidas de tendencia central, como la media, la mediana y la moda, así como medidas de dispersión, incluyendo la desviación estándar, la varianza y el rango. Para aquellas variables que se distribuyan de forma normal, los resultados se expresarán a través de la media junto con la desviación típica ( $\text{media} \pm \text{SD}$ ). En el caso de las variables no normales se presentarán mediante la mediana y los cuartiles primero y tercero (Q1-Q3).

Asimismo, se calculará y se incluirá en el análisis descriptivo la variable diferencia correspondiente a cada grupo de trabajo, con el objetivo de describir cuantitativamente la magnitud del cambio experimentado tras la intervención.

Estas medidas descriptivas ofrecerán una visión general y simplificada de nuestras variables, analizando posibles patrones o anomalías. La representación gráfica de los datos de las variables cuantitativas se representará a través de histogramas, mientras que las variables cualitativas a través de diagrama de cajas.

Estadística inferencial: se realizará con el fin de determinar si los resultados obtenidos de nuestra muestra pueden generalizarse a la población de estudio o, por el contrario, no serán concluyentes. Para ello, se analizará la existencia de diferencias estadísticamente significativas en las variables de objeto de estudio. Se compararán los valores registrados en la valoración inicial (pre-intervención) con los obtenidos al finalizar el protocolo de intervención (post-intervención).

En primer lugar, previo a la selección de la prueba inferencial, se verificará si las variables presentan una distribución normal. Para ello, utilizaremos la prueba de Kolmogorov-Smirnov (al ser la muestra mayor de 30 sujetos). La interpretación de los resultados será la siguiente:

- Si  $p > 0,05$ , se considera que los datos siguen una distribución normal.
- Si  $p < 0,05$ , se considera que los datos no siguen una distribución normal.

Asimismo, llevaremos a cabo la prueba de Levene para comprobar la homogeneidad de las varianzas entre los grupos:

- Si  $p > 0,05$  indica que las varianzas son homogéneas, lo que permitirá el uso de pruebas paramétricas.
- Si  $p < 0,05$  verifica que las varianzas no son homogéneas, lo que conllevará la aplicación de pruebas no paramétricas.

### Comparación intra e intergrupo:

En el caso de que nuestras variables sigan una distribución normal, la comparación de las medias pre-post dentro de cada grupo se llevará a cabo mediante la prueba T-Student para muestras relacionadas. Si las variables no presentan una distribución normal, se optará por la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas.

Por otro lado, se realizará una comparación entre ambos grupos de las mediciones iniciales (pre-intervención), con el objetivo de comparar la equivalencia basal entre ellos. Además, se calculará la variable “diferencia”, definida como la variación entre los valores pre y post intervención dentro de cada grupo, y se procederá a comparar esta variable entre ambos grupos para determinar si las intervenciones generaron cambios significativamente diferentes.

- Si la variable diferencia sigue una distribución normal, se utilizará la prueba T-Student para muestras independientes.
- Si no cumple el criterio de normalidad, se empleará la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney.

Gracias a los resultados de estas pruebas podremos comprobar las diferencias significativas de nuestras variables. Dependiendo de los resultados obtenidos rechazaremos o aceptaremos la hipótesis nula ( $H^0$ ) o la hipótesis alternativa ( $H1$ )

- Si  $p < 0,05$ , se considerará que existen diferencias estadísticamente significativas, lo que conllevará la aceptación de  $H1$  y el rechazo de  $H^0$ .
- Si  $p > 0,05$ , no se podrá afirmar diferencias significativas, por lo que se aceptará  $H^0$  y se rechazará  $H1$ .



## 5.7. Limitaciones del estudio

Dentro de las limitaciones más relevantes encontramos las siguientes:

- La insuficiente información, estudios y evidencia científica que en la actualidad hay sobre la diferencia entre los métodos isométricos PIMA e HIMA, y sobre los protocolos de actuación de fisioterapia en la RLCA.
- El elevado tamaño muestral de 176 participantes puede complicar la captación suficiente de participantes. Por ello, se restringe el estudio al sexo masculino por falta de participantes y de tiempo.
- La posibilidad de que la Federación Madrileña de Fútbol no acceda a permitir que sus deportistas realicen nuestra rehabilitación.
- La certeza del cumplimiento estricto del protocolo de actuación por todos los participantes. La incomparecencia a alguna de las sesiones presenciales de entrenamiento y la realización de ejercicios u otros tratamientos complementarios al estudio que puedan interferir en los resultados, por parte de los participantes.
- La incapacidad de poder realizar el protocolo de medición de FIM de sentadilla estrictamente con la angulación deseada por las oscilaciones de las articulaciones durante la realización del test.
- La imposibilidad de realizar el protocolo estrictamente isométrico, siendo necesario que el grupo que realiza HIMA genere una ligera contracción excéntrica, mientras que el grupo que realiza PIMA produzca una breve contracción concéntrica.
- La distribución semanal de las sesiones del protocolo, establecida en dos grupos diferenciados: el grupo A o control que realiza la intervención lunes y jueves, y el grupo B o experimental los martes y viernes. Esta organización podría influir en los resultados.

## 5.8. Equipo investigador

### Investigador principal:

Ricardo García Olivares, graduado en Fisioterapia en la Universidad Pontificia Comillas (promoción 2021-2025) y en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, en 2021.

### Fisioterapeutas:

Mediciones: Raúl Coto Martín, fisioterapeuta graduado en 2020. Máster en biomecánica y fisioterapia deportiva en 2021. Personal Docente e Investigador en Universidad Pontificia Comillas.

Además, se asignarán cuatro fisioterapeutas, dos por cada grupo. Todos ellos cuentan con más de cinco años de experiencia en el sector de la investigación, con varios estudios que lo acreditan, y presentan el máster en biomecánica y fisioterapia deportiva.

### Analista:

Un estadístico graduado mínimo hace cinco años y con experiencia en el ámbito de la investigación de las ciencias de la salud.

## 6. Plan de trabajo

### 6.1. Diseño de intervención

Una vez se hayan ultimado los detalles acerca del estudio, redactado el diseño y planteado correctamente, antes de ponerlo en marcha será necesario enviar la solicitud al Comité Ético de Investigación Clínica para su aprobación (Anexo I).

Una vez concedida la aprobación para la realización del proyecto el investigador principal se comunicará telefónicamente con la Federación Madrileña de Fútbol y tras concretar una reunión acudirá de forma presencial. Allí se reunirá con los médicos responsables de la federación y se les expondrá el diseño del proyecto para que estos deriven a los futbolistas mayores de edad que hayan sido intervenidos quirúrgicamente de RLCA a la Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios, siempre y cuando quieran formar parte del estudio. El investigador principal proporcionará sus datos personales (teléfono y correo electrónico) a la federación para ponernos en contacto con aquellos posibles sujetos que pudieran participar en nuestro estudio.

Durante este periodo de tiempo, el investigador principal habrá concretado una reunión con todos los integrantes del equipo investigador poniéndoles en contexto el rol que van a ejercer cada uno y que tareas tendrán que realizar durante la duración del mismo.

Posteriormente, una vez explicado el proceso (a aquellos sujetos que hayan superado la entrevista y no presenten ningún criterio de exclusión) y firmada toda la documentación necesaria: informe de datos del paciente (Anexo II), hoja informativa para los participantes del diseño del estudio (Anexo III), consentimiento informado (Anexo IV) y hoja de revocación (Anexo V), se procederá a aleatorizar en los grupos a los sujetos que hayan concluido este proceso. Para comenzar a aleatorizar a los sujetos se esperará a obtener 50 sujetos registrados en la base de datos como mínimo. Teniendo en cuenta que la muestra total la deberán constituir 176, se realizarán 2 aleatorizaciones hasta completar los dos grupos de trabajo. Se les informará por teléfono de la fecha y la hora para realizar las mediciones pre-tratamiento, con el fisioterapeuta encargado de ello, en la sala de biomecánica de la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios, Ciempozuelos.

El proceso de valoración inicial se llevará a cabo a la doceava semana del proceso de rehabilitación de RLCA del futbolista. Se realizarán las siguientes pruebas o mediciones para obtener los datos de partida de las siguientes variables que pretendemos estudiar:

Medición de la variable fuerza isométrica máxima, en primer lugar, se cuantificará la fuerza isométrica máxima de extensión de rodilla. Para ello se utilizará el dinamómetro PRIMUS RS de BTE Technologies con la herramienta 701 (Ilustración 3 y 4). Antes de la realización de la prueba el dinamómetro se ajustará a las medidas fisiológicas de cada paciente, modificando la altura del asiento, el ángulo y el posicionamiento del respaldo, para conseguir una angulación de 90° de flexión de rodilla y 90° de flexión de cadera, con una correcta alineación del cóndilo lateral del fémur con del eje del dinamómetro. Durante la realización de la prueba de FIM de extensión de rodilla utilizaremos el accesorio del dinamómetro que consiste en una almohadilla colocada a 3 centímetros por encima del calcáneo, para evitar el contacto doloroso que pueda interferir en la producción de fuerza durante la prueba. Además, se estabilizarán con cinchas los hombros, la pelvis y la pierna contralateral para limitar movimientos compensatorios que nos den una información alterada de la fuerza isométrica máxima real (56).



*Ilustración 4: Colocación del paciente en el test FIM de extensión de rodilla (Elaboración propia).*



*Ilustración 3: Herramienta 701 (Elaboración propia).*

Previo a la realización de la prueba de FIM, los participantes realizarán un calentamiento que consiste en tres contracciones isométricas al 50%, 75% y 100% del esfuerzo percibido por el paciente con un minuto de descanso entre cada repetición. Tras el calentamiento, los sujetos realizarán seis repeticiones al 100% de esfuerzo con un minuto de descanso entre cada repetición. Se seleccionará el valor máximo de fuerza alcanzada en cualquier repetición. La unidad de medida será N x m (57).

Durante la realización de la prueba se le comentará a los participantes que pueden estabilizarse con la sujeción de las manos sobre los agarres del dinamómetro. Por otro lado, mientras ejecuten la prueba le administraremos feedback extrínseco mediante la visualización de la gráfica de fuerza a través de la pantalla del dinamómetro y por medio de comandos verbales se les corregirán los posibles movimientos compensatorios inconscientes (56).

En segundo lugar, cuantificaremos la fuerza isométrica máxima en el ejercicio de sentadilla para establecer la posterior carga de nuestro estudio mediante el dinamómetro PRIMUS RS de BTE Technologies con la herramienta 191. Diferenciaremos dos mediciones, una para la FIM de HIMA y otra para la FIM de PIMA, que realizarán ambos pacientes independientemente del grupo al que hayan sido asignados.



*Ilustración 6: Colocación del paciente en la prueba de FIM de sentadilla (Elaboración propia).*



*Ilustración 5: Herramienta 191 sentadilla (Elaboración propia).*

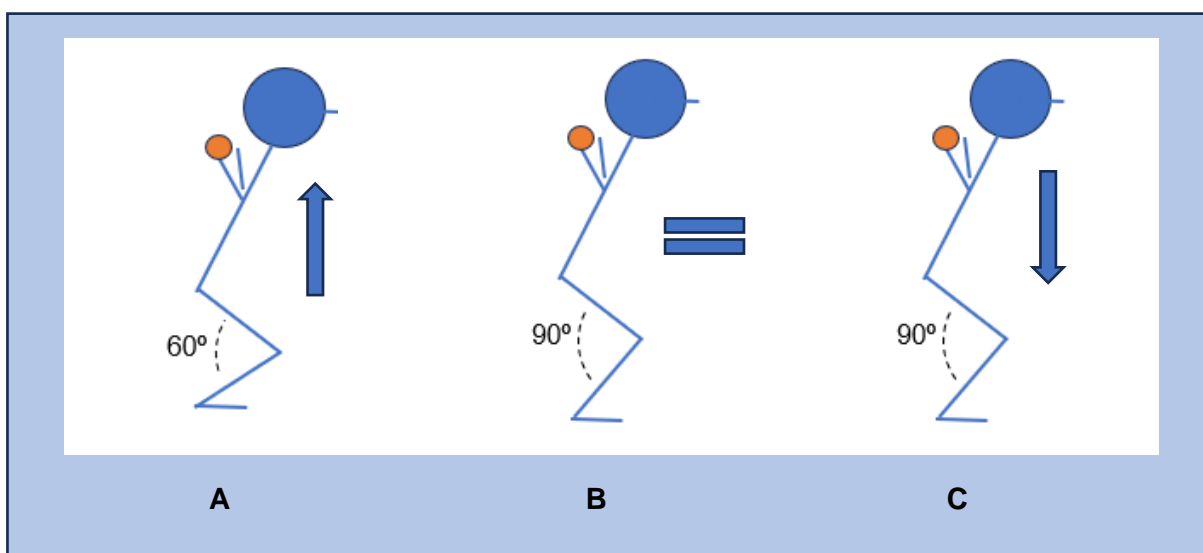
En ambas mediciones la posición de obtención de la FIM del paciente será la siguiente: pies separados a la anchura de las caderas con ligera rotación externa (colocamos dos objetos a los lados para indicarle la anchura de los pies), flexión de rodilla y cadera de 90°, tronco erguido con retracción escapular y orientación de la mirada hacia el frente.

Para cuantificar la FIM de PIMA realizaremos el test de fuerza isométrica a través de una contracción isométrica de 6 segundos, durante el cual el paciente deberá de empujar en posición de sentadilla la barra “hacia arriba” siendo esta inmóvil. La prueba la realizaremos 3 veces con un minuto de descanso entre cada repetición. Obtendremos el valor de fuerza más elevado obtenido en cualquier repetición. La unidad de medida será N x m.

En cambio, para cuantificar la FIM de HIMA realizaremos el test isocinético, el paciente deberá empujar en posición de sentadilla la barra, previamente descrita. El test isocinético consistirá en tres fases: iniciaremos el test desde una flexión de  $60^\circ$  de rodilla hasta alcanzar  $90^\circ$  de flexión de rodilla a través un movimiento isocinético concéntrico, a una velocidad de  $10^\circ/\text{segundo}$ . Durante esta fase el paciente realizará una fuerza liviana, únicamente acompañará a la barra en su ascenso para evitar una posible fatiga acumulada al final del test. Una vez alcanzada la angulación de  $90^\circ$  de flexión de rodilla, el dinamómetro ejecutará una señal sonora durante la cual le indicaremos al paciente que intente aguantar lo máximo posible sin moverse en dicha posición, realizando una contracción isométrica a  $90^\circ$  de flexión de rodilla, hasta que no pueda resistirla más y ceda la posición a través de un movimiento isocinético excéntrico controlado hasta la posición inicial.

Durante el desarrollo el test los datos de fuerza obtenidos durante el rango articular descrito no nos serán de utilidad. Al comenzar el test con una contracción concéntrica submáxima, para evitar la fatiga, serán menores los datos de fuerza y durante la contracción excéntrica se alcanzarán valores de fuerza mayores que la FIM en  $90^\circ$  de flexión de rodilla. Por ello, nos centraremos en el dato de fuerza previo al inicio de fuerza excéntrica. Al igual que el test de FIM de PIMA, se realizará 3 repeticiones con un minuto de descanso entre cada repetición y obtendremos el valor más elevado de fuerza en cualquier repetición, en el instante mencionado. La unidad de medida será N x m.

Aquí mostramos una representación gráfica del test FIM de HIMA:



Gráfica 5: Representación gráfica test FIM de HIMA. A = postura de inicio del test en la que se avanza a la posición B mediante una contracción isocinética concéntrica; B = posición de obtención de la FIM; C = alineación de comienzo del movimiento isocinético excéntrico hasta alcanzar la postura de inicio del test (Elaboración propia).



A continuación, mostramos los resultados como ejemplo de la ejecución de ambos test:

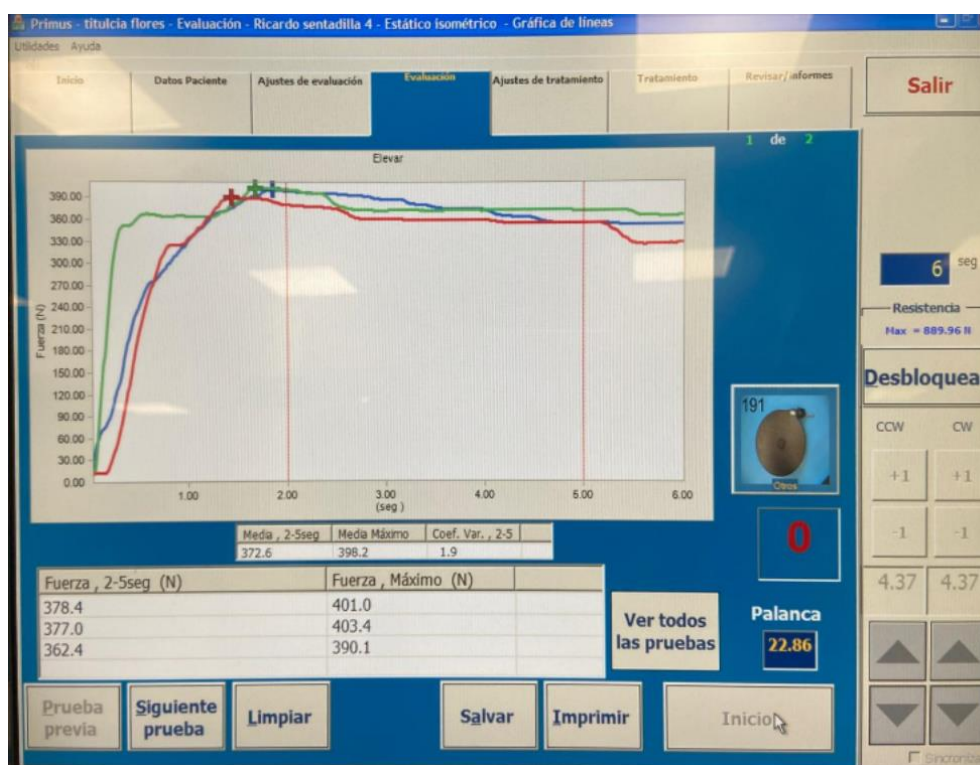


Ilustración 7: Ejemplo de resultado del test de FIM de PIMA de sentadilla (Elaboración propia).

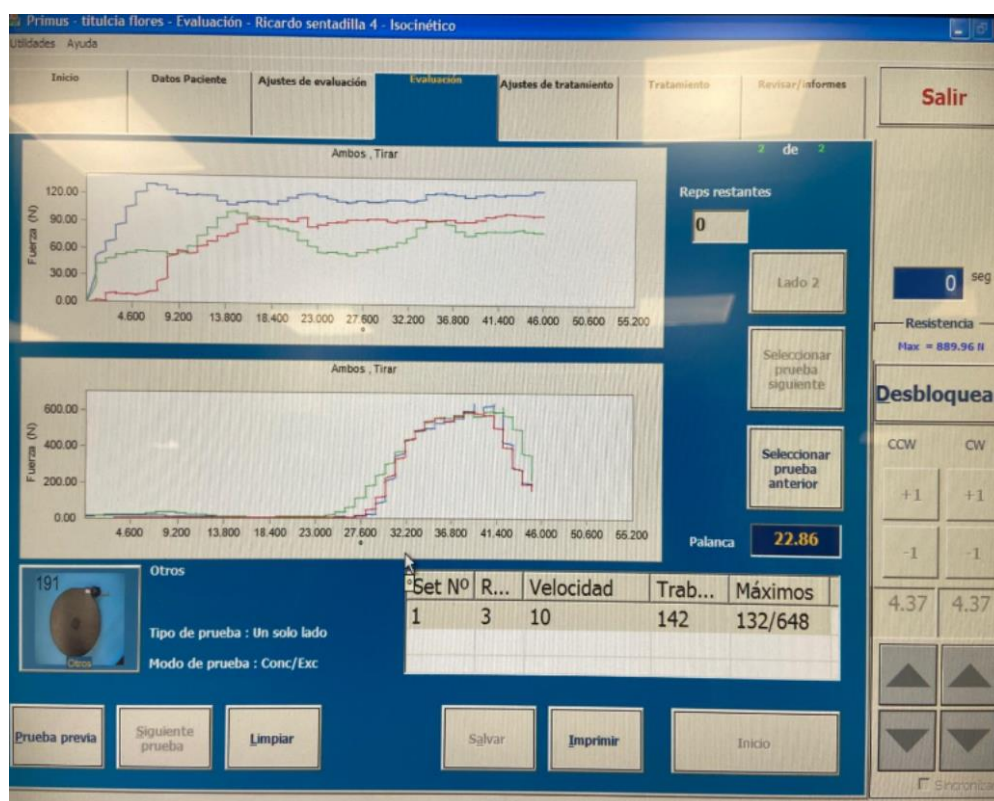


Ilustración 8: Ejemplo de resultado del test de FIM de HIMA de sentadilla (Elaboración propia).

Para la medición de la variable volumen muscular se utilizará una cinta métrica para evaluar el desarrollo muscular del muslo. La prueba la realizaremos con el paciente descalzo en bipedestación, obteniendo el perímetro del muslo a 10 centímetros por encima de la rótula. Realizaremos la medición 3 veces y obtenemos la media de estas. La unidad de medida será cm (58).

Para la medición de la variable reclutamiento muscular se utilizará la EMGs con el objetivo de analizar la actividad bioeléctrica del comportamiento promedio del cuádriceps. Seguiremos las recomendaciones propuestas por SENIAM del protocolo de colocación de los electrodos para evitar posibles errores intra e interevaluador. Entre muchos parámetros que podemos evaluar a través de la EMGs nos centraremos en la amplitud y frecuencia media, calculados a partir de la RMS. La unidad de medida será milivoltios (mV) (60).

Para hallar el porcentaje de activación muscular durante nuestro gesto de estudio, previamente tendremos que normalizar los resultados. Por ello, para realizar la normalización tendremos que hallar el registro electromiográfico de la FIM en extensión de cuádriceps definiendo esta señal como el 100% de la activación voluntaria del cuádriceps (60). Se realizará a través del mismo ejercicio que utilizamos en el dinamómetro para hallar la FIM de extensión de cuádriceps. Por ello, obtendremos los resultados de FIM y reclutamiento muscular de manera unísona.



*Ilustración 9: Electrodo BTS technology (Elaboración propia).*

Previo a la colocación de los electrodos será necesario rasurar de bello y limpiar la piel para evitar interferencias que afecten a los electrodos y a los resultados de estos. Una vez tenemos la superficie apta para el estudio colocaremos los electrodos en el RF, VM y VL según el protocolo SENIAM en los siguientes puntos (Tabla 18), los electrodos se orientarán siguiendo como referencia el origen y la inserción de cada vientre muscular, como se observan en las Ilustraciones 10, 11 y 12 (59,60).

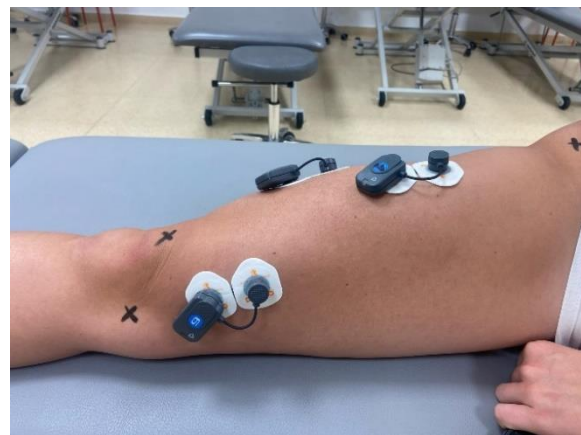


MÚSCULO	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
<b>RECTO FEMORAL (RF)</b>	Al 50% entre la espina iliaca antero-superior y la parte superior de la rótula.	-20°
<b>VASTO MEDIAL (VM)</b>	Al 80% entre la espina iliaca antero-superior y el ligamento medial de la rodilla.	70°
<b>VASTO LATERAL (VL)</b>	Al 66% entre la espina iliaca antero-superior y la parte lateral de la rótula.	0°

*Tabla 18: Localización y orientación de los electrodos (59,60).*



*Ilustración 11: Colocación de electrodos en el Vasto Lateral (Elaboración propia).*



*Ilustración 10: Colocación de electrodos en el Vasto Medial (Elaboración propia).*



*Ilustración 12: Colocación de electrodos en el Recto Femoral (Elaboración propia).*

Para el registro de los resultados electromiográficos utilizaremos el electromiógrafo inalámbrico “Wireless Surface EMG”. Elegimos este sistema por la libertad de movimiento que concede al paciente durante el ejercicio, está compuesto por electrodos superficiales inalámbricos, un sistema de recepción y un software de captación, BTS technology (59).

La señal electromiográfica captada inicialmente será procesada mediante la aplicación de un filtro de alta y baja frecuencia, con el objetivo de suavizar la señal y eliminar posibles interferencias de los movimientos articulares como de frecuencias ajenas a la actividad muscular estudiada. Posteriormente se rectificará la señal convirtiendo los valores negativos en positivos simplificar su análisis. Finalmente, a través de la integral se calculará el valor RMS, que proporcionada un dato cuantitativo de la magnitud de la señal electromiográfica. Este procesamiento permite registrar datos limpios y estandarizados para su posterior análisis estadístico (61).

La medición de la variable función subjetiva de la rodilla se obtendrá a través del cuestionario IKDC (Anexo VI), el cual rellenarán antes de comenzar el experimento. El formulario se calificará sumando los resultados de los diferentes ítems y extrapolando los resultados a una escala de 0 a 100. La obtención de puntuaciones más cercanas a 0 conllevará una mayor restricción hacia las actividades de la vida diario y deportivas, frente a puntuaciones más elevadas que presentarán una menor restricción. La unidad de medida será un valor numérico (62,63).

La variable independiente de momento de medición pre, post, se realizará los días descritos en la planificación (Tabla 19). El protocolo comenzará a la duodécima semana del proceso de rehabilitación tras la RCLA de los futbolistas. La duración total será de once semanas, distribuidas en tres fases: una semana inicial destinada a la realización de las valoraciones iniciales, nueve semanas correspondientes al desarrollo del programa de tratamiento específico, y una última semana dedicada a la obtención de las valoraciones finales. El macrociclo lo realizarán ambos grupos (ANEXO VII), al ser el protocolo habitual de rehabilitación en futbolistas tras RCLA, presentando diferencias únicamente en la fase de entrenamiento de fuerza isométrica, en el que el grupo A hará HIMA y el grupo B realizará PIMA. Comenzaremos en la semana 12 realizando la valoración inicial de las variables, en la fase de hipertrofia, cuando se haya conseguido todo el rango articular y no presenten dolor. Previamente a partir del microciclo 7 habrán conocido la técnica del ejercicio a realizar y lo habrán ejecutado con cargas muy livianas, bajo la tolerancia de cada paciente. En el microciclo 22 se concluirá el estudio con la valoración final, que consistirá en las mismas pruebas y mediciones que en la valoración inicial.

Dentro de los microciclos de trabajo, del 13 al 21, se realizarán dos sesiones de entrenamiento isométrico con un descanso de 48 horas entre sesiones. En los microciclos 15 y 18 se llevarán a cabo las reevaluaciones 1 y 2 de la FIM de PIMA e HIMA en sentadilla, por lo tanto solo contarán con una sesión de entrenamiento esas semanas. Por este motivo, el estudio constará de 16 sesiones de entrenamiento en total. El grupo A asistirá lunes y jueves, mientras que el grupo B acudirá martes y viernes.

En el Grupo A (que realizará la contracción HIMA) se colocarán dos barras de seguridad en el rack, ubicadas a una altura en la que el participante mantenga una posición de  $90^{\circ}$  de flexión de rodilla, tras coger la barra desde unos soportes colocados frente a él a una altura de  $95^{\circ}$ .



*Ilustración 13: Posición inicial del ejercicio sentadilla HIMA (Elaboración propia).*



*Ilustración 14: Posición final del ejercicio sentadilla HIMA (Elaboración propia).*

En el Grupo B (que realizará la contracción PIMA) se colocarán cuatro barras de seguridad en el rack (dos por cada lado del rack), las inferiores ubicadas a una altura en la que el participante mantenga una posición de  $85^{\circ}$  de flexión de rodilla y las dos superiores colocadas a una altura en la que el participante permanezca en posición de  $90^{\circ}$  de flexión de rodilla sobre la cual tiene que ejercer una fuerza ascendente con la barra sobre dichos soportes.



*Ilustración 15: Posición inicial del ejercicio sentadilla PIMA (Elaboración propia).*



*Ilustración 16: Posición final del ejercicio sentadilla PIMA (Elaboración propia).*

Ambos grupos mantendrán el ejercicio isométrico en una angulación de  $90^{\circ}$  de flexión de rodilla. Sin embargo, frente a la imposibilidad de ejercer las fuerzas directamente en la angulación descrita, el grupo A ejercerá un breve movimiento anisométrico excéntrico mientras que el grupo B producirá un movimiento anisométrico concéntrico, hasta alcanzar en ambos casos los  $90^{\circ}$  de flexión de rodilla.

La carga en el grupo A será el 1RM previamente obtenida. Sin embargo, en el grupo B no será necesario modificar la carga durante el ejercicio, ya que es una resistencia inmóvil y se le indicará que empuje hacia ella con la máxima fuerza posible en todo momento. En el microciclo 15 y 18 se volverá a realizar la reevaluación de la FIM de sentadilla de cada paciente para reajustar las cargas de trabajo, independientemente del grupo de trabajo al que pertenezcan. Con el objetivo de homogeneizar la programación para evitar posibles sesgos entre ambos.

Ambos protocolos de actuación consistirán en una sesión de 10 series de 1 repetición de 6 segundos al 100% de fuerza isométrica con un descanso entre series de 3 minutos. Con un tiempo total de trabajo de 60 segundos (36,37). En ambos grupos, al acabar los 6 segundos de contracción depositarán la barra en los soportes inferiores.

Mostramos gráficamente el cronograma de los microciclos de evaluación inicial y final, el microciclo de valoración intermedia y los microciclos de entrenamiento. Ante el gran número

de participantes de nuestra muestra, subdividiremos cada grupo (A y B) a su vez en cuatro subgrupos (A1.1-A1.2-A2.1-A2.2 y B1.1-B1.2-B2.1-B2.2) para evitar la aglomeración de participantes de forma simultánea y agilizar el proceso en la valoración inicial y final.

Microciclo de evaluación inicial y final (12 y 22)							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	Grupo A1.1	Grupo B1.1		Grupo A1.2	Grupo B1.2		
Tarde	Grupo A2.1	Grupo B2.1		Grupo A2.2	Grupo B2.2		

Tabla 19: Microciclo de evaluación inicial y final (Elaboración propia).

Durante los entrenamientos subdividiremos a los participantes de cada grupo (A y B) en dos subgrupos (A1-A2 y B1-B2), de horario de mañana y de tarde. Para evitar posibles interferencias en los resultados por el momento del día en realizar el programa, intercambiaremos el horario de mañana y tarde cada semana en ambos grupos.

Microciclo de entrenamiento (13-14, 16-17, 19-21)							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	Grupo A1	Grupo B1		Grupo A1	Grupo B1		
Tarde	Grupo A2	Grupo B2		Grupo A2	Grupo B2		

Tabla 20: Microciclo de entrenamiento (Elaboración propia).

En los microciclos de reevaluación intermedia (Reev.1 y Reev. 2) solo se reevaluará la FIM en sentadilla, al agilizarse la toma de datos por ser únicamente una variable de medición, dividiremos a los participantes en dos subgrupos, al igual que realizarán los entrenamientos, siendo el lunes y el martes los días de toma de datos mientras que el jueves y el viernes continuarán con sus entrenamientos habituales con normalidad.

Microciclo de reevaluación (15 y 18)							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	Reevaluación			Entrenamiento			
Mañana	Grupo A1	Grupo B1		Grupo A1	Grupo B1		
Tarde	Grupo A2	Grupo B2		Grupo A2	Grupo B2		

Tabla 21: Microciclo de reevaluación (Elaboración propia).

## 6.2. Etapas de desarrollo

<b>ETAPAS DE DESARROLLO</b>	<b>Tiempo de investigación</b>
Búsquedas bibliográficas y desarrollo de antecedentes.	Septiembre 2024 – diciembre 2024
Realización del diseño y redacción del proyecto de investigación.	Enero 2025 – marzo 2025
Solicitud del proyecto de investigación al CEIC.	Abril 2025
Reuniones con los responsables y contacto con los clubes de fútbol.	Mayo 2025
Entrevista previa con los posibles participantes del estudio.	Mayo 2025
Recogida de mediciones previas de las variables de estudio.	Junio 2025
Intervención del estudio.	Junio 2025 – diciembre 2025
Recogida de mediciones previas de las variables de estudio	Enero 2026
Interpretación y análisis de los resultados obtenidos.	Febrero 2026
Elaboración de las conclusiones del estudio y publicación	Marzo 2026

Tabla 22: Etapas de desarrollo (Elaboración propia).



### 6.3. Distribución de tareas de todo el equipo investigador

#### Investigador principal:

Ricardo García Olivares, graduado en Fisioterapia en la Universidad Pontificia Comillas (promoción 2021-2025). Será el encargado de concretar las citas y acudir presencialmente a la Federación Madrileña de Fútbol, también tendrá las funciones de realizar las entrevistas para seleccionar a los participantes y durante la ejecución del estudio estará a la hora de realizar las mediciones y en la realización de las sesiones de entrenamiento.

#### Fisioterapeutas:

Mediciones: Raúl Coto Martín, fisioterapeuta graduado en 2020. Estará encargado de realizar las mediciones de la valoración inicial, las reevaluaciones y la valoración final.

Además, se asignarán cuatro fisioterapeutas, dos por cada grupo. Todos ellos cuentan con más de cinco años de experiencia en el sector de la investigación, con varios estudios que lo acreditan, y presentan el máster de biomecánica y fisioterapia deportiva. Acudirán de manera presencial a todos los entrenamientos que realicen su grupo.

#### Analista:

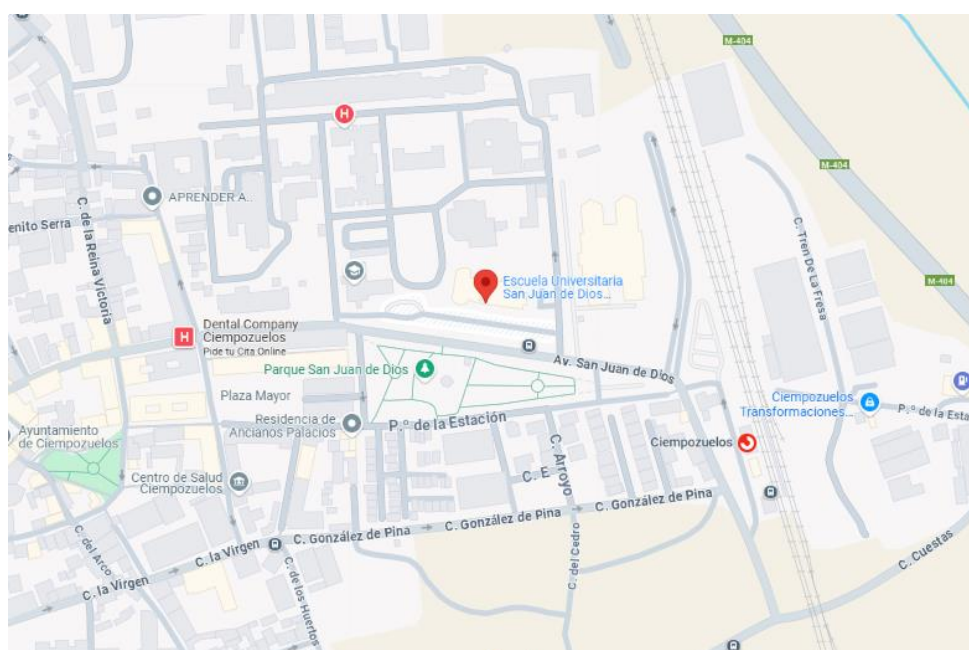
Un estadístico graduado mínimo hace cinco años y con experiencia en el ámbito de la investigación de las ciencias de la salud. Será el encargado de analizar e interpretar los resultados obtenidos de la valoración inicial, las reevaluaciones y la valoración final.



#### 6.4. Lugar de realización del proyecto

Nuestro estudio comienza cuando el investigador principal inicia la captación de posibles participantes desplazándose a la Federación Madrileña de Fútbol, en C/San Severo, 16 (PQ. Empresarial Barajas Park- Edificio C) 28042 - Madrid.

Una vez captados los participantes se les citará para las entrevistas en la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios Universidad Pontificia Comillas, Av. San Juan de Dios, 1, 28350 Ciempozuelos, Madrid.



*Ilustración 17: Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios Universidad Pontificia Comillas (Google Maps)*

En el mismo lugar se llevarán a cabo las mediciones iniciales en el laboratorio de biomecánica de la propia universidad. Se realizarán una semana antes de comenzar el protocolo. A continuación, se proporcionará un calendario a cada participante con las fechas y horario correspondiente de sus días de tratamiento.

Las sesiones de tratamiento se llevarán a cabo de forma individualizada en las distintas aulas de la escuela, capacitadas con el material necesario para el desarrollo de estas. Cada grupo de trabajo cuenta con dos fisioterapeutas, por lo que en el aula habrá dos sujetos simultáneamente, un participante por cada fisioterapeuta. A pesar de distribuir los grupos A y B en diferentes días para evitar la presencia simultánea de dos participantes de grupos

diferentes, estará prohibido bajo ningún concepto que dos sujetos de diferentes grupos trabajen a la vez.

Las mediciones finales se llevarán a cabo una semana después de haber finalizado el programa de tratamiento isométrico en el laboratorio de biomecánica de la escuela.

## 7. Listado de referencias

1. Ayala-Mejías JD, García-Estrada GA, Alcocer Pérez-España L. Lesiones del ligamento cruzado anterior. *Acta Ortop Mex.* 2014 Feb;28(1):57–67.
2. Sanchis Alfonso V, Gomar-Sancho F. Anatomía descriptiva y funcional del ligamento cruzado anterior. Implicaciones clínico-quirúrgicas. *Rev Esp Cir Osteoartic.* 1992 Jan;27(157):33–42.
3. Arabia WHM, Arabia JJM, Gómez JC. ¿Qué ocurre con las lesiones del ligamento cruzado anterior, su tratamiento, la recuperación de la función y el desarrollo de osteoartritis a largo plazo? ¿Hay espacio para el tratamiento conservador? Revisión de conceptos actuales. *Rev Colomb Ortop Traumatol.* 2017 Apr;31(2):75–86.
4. Franco D, Ambrosio L, Za P, Maltese G, Russo F, Vadalà G, et al. Effective prevention and rehabilitation strategies to mitigate non-contact anterior cruciate ligament injuries: a narrative review. *Appl Sci.* 2024 Jan;14(20):9330.
5. Lluna Llorens ÁD, Sánchez Sabater B, Medrano Morte I, García García EM, Sánchez López S, Abellán Guillén JF. Rotura del ligamento cruzado anterior en la mujer deportista: factores de riesgo y programas de prevención. *Arch Med Deporte.* 2017 Sep-Oct;34(181):288-292.
6. Joseph AM, Collins CL, Henke NM, Yard EE, Fields SK, Comstock RD. A multisport epidemiologic comparison of anterior cruciate ligament injuries in high school athletics. *J Athl Train.* 2013 Nov-Dec;48(6):810-817.
7. García-Luna MA, Cortell-Tormo JM, García-Jaén M, Ortega-Navarro M, Tortosa-Martínez J. Acute effects of ACL injury-prevention warm-up and soccer-specific fatigue protocol on dynamic knee valgus in youth male soccer players. *Int J Environ Res Public Health.* 2020 Aug 4;17(15):5608.
8. Correa Posada JR, Guzmán RD, Restrepo VE, Mejía LA, Álvarez G, López JJ, et al. Complicaciones en cirugía de reconstrucción de ligamento cruzado anterior: cohorte retrospectiva. *Rev Colomb Ortop Traumatol.* 2017;31(4):178–186.

9. Angelozzi M, Madama M, Corsica C, Calvisi V, Properzi G, McCaw ST, et al. Rate of force development as an adjunctive outcome measure for return-to-sport decisions after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012 Sep;42(9):772–780.
10. Hartshorne MT, Turner JA, Cameron KL, Padua DA. Strength of the uninvolved limb following return to activity after ACL injury: implications for symmetry as a marker of sufficient strength. *Int J Sports Phys Ther.* 2024 Jun;19(6):657–669.
11. Melick Nv, Cingel RE, Brooijmans F, Neeter C, Tienen T, Hullegie W, et al. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med.* 2016 Dec;50(24):1506–1515.
12. Werner JL, Burland JP, Mattacola CG, Toonstra J, English RA, Howard JS. Decision to return to sport participation after anterior cruciate ligament reconstruction, part II: self-reported and functional performance outcomes. *J Athl Train.* 2018 May;53(5):464-474.
13. Christino MA, Fantry AJ, Vopat BG. Psychological aspects of recovery following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Am Acad Orthop Surg.* 2015 Aug;23(8):501–509.
14. Raizah A, Alhefzi A, Alshubruqi AAM, Hoban MAMA, Ahmad I, Ahmad F. Perceived kinesiphobia and its association with return to sports activity following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a cross-sectional study. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 Aug 30;19(17):10776.
15. Domzalski ME, Pieta F, Przybylak K. The knee function of the soccer players after ACLR is comparable with non-injured controls: a case-control study. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 2021;29(3):23094990211036101.
16. Della Villa F, Buckthorpe M, Grassi A, Nabiuzzi A, Tosarelli F, Zaffagnini S, et al. Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *Br J Sports Med* 2020 Dec;54(23):1423–1432.
17. Mouton C, Gokeler A, Urhausen A, Nührenbörger C, Seil R. High Incidence of anterior cruciate ligament injuries within the first 2 months of the season in amateur team ball sports. *Sports Health.* 2022 Mar-Apr;14(2):183–187.

18. Montalvo AM, Schneider DK, Silva PL, Yut L, Webster KE, Riley MA, et al. 'What's my risk of sustaining an ACL injury while playing football (soccer)?' A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med* 2019 Nov;53(21):1333–1340.
19. Della Villa F, Häggglund M, Della Villa S, Ekstrand J, Waldén M. High rate of second ACL injury following ACL reconstruction in male professional footballers: an updated longitudinal analysis from 118 players in the UEFA Elite Club Injury Study. *Br J Sports Med* 2021 Dec;55(23):1350–1356.
20. Fältström A, Häggglund M, Kvist J. Male football players have better patient-reported outcomes after primary anterior cruciate ligament reconstruction compared with females. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2024 Sep 25;16:199.
21. Szymiski D, Achenbach L, Zellner J, Weber J, Koch M, Zeman F, et al. Higher risk of ACL rupture in amateur football compared to professional football: 5-year results of the 'Anterior cruciate ligament-registry in German football'. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2022 May;30(5):1776–1785.
22. De Carli A, Koverech G, Gaj E, Marzilli F, Fantoni F, Liberati Petrucci G, et al. Anterior cruciate ligament injury in elite football players: video analysis of 128 cases. *J Sports Med Phys Fitness* 2022 Feb;62(2):222–228.
23. Lepley AS, Pietrosimone B, Cormier ML. Quadriceps function, knee pain, and self-reported outcomes in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train.* 2018 Apr;53(4):337.
24. Lisee C, Lepley AS, Birchmeier T, O'Hagan K, Kuenze C. Quadriceps strength and volitional activation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Sports Health.* 2019 Jan;11(2):163-179.
25. Mirkov DM, Knezevic OM, Maffiuletti NA, Kadija M, Nedeljkovic A, Jaric S. Contralateral limb deficit after ACL-reconstruction: an analysis of early and late phase of rate of force development. *J Sports Sci* 2017 Mar;35(5):435–440.
26. Arna Risberg M, Lewek M, Snyder-Mackler L. A systematic review of evidence for anterior cruciate ligament rehabilitation: how much and what type? *Phys Ther Sport.* 2004 Aug;5(3):125–145.

27. Shi H, Huang H, Ren S, Yu Y, Liang Z, Wang Q, et al. The relationship between quadriceps strength asymmetry and knee biomechanics asymmetry during walking in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. *Gait Posture*. 2019 Sep;73:74–79.
28. Hsiao S, Chou P, Hsu H, Lue Y. Changes of muscle mechanics associated with anterior cruciate ligament deficiency and reconstruction. *J Strength Cond Res* 2014 Feb;28(2):390–400.
29. Blackburn JT, Pietrosimone B, Harkey MS, Luc BA, Pamukoff DN. Quadriceps function and gait kinetics after anterior cruciate ligament reconstruction. *Med Sci Sports Exerc*. 2016 Sep;48(9):1664–1670.
30. Johnston CD, Dewig DR, Pietrosimone B, Padua D, Ryan ED, Hart J, et al. Longitudinal changes in quadriceps morphology over the first 3 months after anterior cruciate ligament reconstruction. *Med Sci Sports Exerc*. 2024 May;56(5):933–941.
31. McPherson AL, Bates NA, Haider CR, Nagai T, Hewett TE, Schilaty ND. Thigh musculature stiffness during active muscle contraction after anterior cruciate ligament injury. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020 May;21(1):320.
32. Drechsler WI, Cramp MC, Scott OM. Changes in muscle strength and EMG median frequency after anterior cruciate ligament reconstruction. *Eur J Appl Physiol*. 2006 Dec;98(6):613–623.
33. Yosmaoglu HB, Baltaci G, Kaya D, Ozer H. Tracking ability, motor coordination, and functional determinants after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Rehabil*. 2011 May;20(2):207–218.
34. Kuenze CM, Foot N, Saliba SA, Hart JM. Drop-landing performance and knee-extension strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train*. 2015 Jun;50(6):596–602.
35. Schaefer LV, Bittmann F. Are there two forms of isometric muscle action? Results of the experimental study support a distinction between a holding and a pushing isometric muscle function. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2017 Dec;9(1):1–13.

36. Padial Puche P, Feriche Fernández-Castany MB. Manual de entrenamiento deportivo. 2ª ed. Granada: Técnica Avicam; 2017.
37. Pobersnik MN. Efectos del trabajo de fuerza isométrica en el fútbol profesional: una revisión bibliográfica [tesis de grado]. Rosario: Universidad del Gran Rosario; 2024.
38. Schaefer LV, Bittmann FN. Paired personal interaction reveals objective differences between pushing and holding isometric muscle action. PLoS One. 2021 May 6;16(5):e0238331.
39. Schaefer LV, Bittmann FN. Case study: intra - and interpersonal coherence of muscle and brain activity of two coupled persons during pushing and holding isometric muscle action. Brain Sci. 2022 Jun;12(6):703.
40. Dech S, Bittmann FN, Schaefer LV. Muscle oxygenation and time to task failure of submaximal holding and pulling isometric muscle actions and influence of intermittent voluntary muscle twitches. BMC Sports Sci Med Rehabil. 2022 Mar 30;14(1):55.
41. Herzog W. The role of titin in eccentric muscle contraction. J Exp Biol. 2014 Aug 15;217(Pt 16):2825–2833.
42. Schaefer LV, Carnarius F, Dech S, Bittmann FN. Repeated measurements of adaptive force: maximal holding capacity differs from other maximal strength parameters and preliminary characteristics for non-professional strength vs endurance athletes. Front Physiol. 2023 Feb 17; 14:1020954.
43. Kotsifaki R, Korakakis V, King E, Barbosa O, Maree D, Pantouveris M, et al. Aspetar clinical practice guideline on rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. Br J Sports Med. 2023 May;57(9):500–514.
44. Andrade R, Pereira R, Cingel Rv, Staal JB, Espregueira-Mendes J. How should clinicians rehabilitate patients after ACL reconstruction? A systematic review of clinical practice guidelines (CPGs) with a focus on quality appraisal (AGREE II). Br J Sports Med 2020 May;54(9):512–519.

45. Kotsifaki R, Korakakis V, King E, Barbosa O, Maree D, Pantouveris M, et al. Aspetar clinical practice guideline on rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med* [Internet]. 2023 Feb;57(9):500-514. doi:10.1136/bjsports-2022-106158.
46. Sacrfó R. Activación de los músculos isquiotibiales, cuádriceps y glúteos durante 4 ejercicios de fuerza de tren inferior [Internet]. Buenos Aires: G-SE; 2014 [cited 2024 Nov 1]. Available from: <https://g-se.com/es/activacion-de-los-musculos-isquiotibiales-cuadriceps-y-gluteos-durante-4-ejercicios-de-fuerza-de-tren-inferior>
47. Pamboris GM, Pavlou K, Paraskevopoulos E, Mohagheghi AA. Effect of open vs closed kinetic chain exercises in ACL rehabilitation on knee joint pain, laxity, extensor muscles strength, and function: a systematic review with meta-analysis. *Front Sports Act Living*. 2024 Jun 3; 6:1416690.
48. Paoli A, Gentil P, Moro T, Marcolin G, Bianco A. Resistance training with single vs multi-joint exercises at equal total load volume: effects on body composition, cardiorespiratory fitness, and muscle strength. *Front Physiol*. 2017 Dec 14; 8:1105.
49. Robinson ZP, Pelland JC, Remmert JF, Refalo MC, Jukic I, Steele J, et al. Exploring the dose-response relationship between estimated resistance training proximity to failure, strength gain, and muscle hypertrophy: a series of meta-regressions. *Sports Med*. 2024 Sep;54(9):2209–2231.
50. Clark DR, Lambert MI, Hunter AM. Muscle activation in the loaded free barbell squat: a brief review. *J Strength Cond Res*. 2012 Apr; 26(4):1169–1178.
51. Riquelme MR, Guajardo CM, Ferrer JFL, Bolados CC, Castillo-Paredes A. Efectos de los ejercicios isométricos sobre el rendimiento, fuerza, potencia o aptitud en jóvenes y adultos. una revisión narrativa. *Retos*. 2024 Dec 1; 61:1290–1297.
52. Hennessy L, Watson A. Efectos de Interferencia de los entrenamientos simultáneos de fuerza y resistencia. *Sports Injuries Res Cent*. 2024 Sep 15.
53. Anumula MSK, Murthy YSN. Measurement of reliability in grip strength. *Int J Healthc Sci*. 2013;1(1):1–8.



54. Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn D, Krieger JW. Strength and hypertrophy adaptations between low - vs high-load resistance training: a systematic review and meta-analysis. *J Strength Cond Res.* 2017 Dec;31(12):3508–3523.
55. Gulick DT, Fagnani JA, Gulick CN. Comparison of muscle activation of hip belt squat and barbell back squat techniques. *Isokinet Exerc Sci.* 2015 May 1;23(2):101–108.
56. Harris-Love MO, Seamon BA, Gonzales TI, Hernandez HJ, Pennington D, Hoover BM. Eccentric exercise program design: a periodization model for rehabilitation applications. *Front Physiol.* 2017 Feb 23; 8:112.
57. Lesnak J, Anderson D, Farmer B, Katsavelis D, Grindstaff TL. Validity of hand-held dynamometry in measuring quadriceps strength and rate of torque development. *Int J Sports Phys Ther.* 2019 Apr;14(2):180–187.
58. Medina FS, Ramírez WAP, Leal DM, López VF, Canteras JM. Metodología y fiabilidad de la medición del perímetro de muslo. *Activ Fís Des Hum.* 2012;4(1).
59. Guzmán-Muñoz E, Méndez-Rebolledo G. Electromiografía en las ciencias de la rehabilitación. *Rev Salud Uninorte.* 2018;34(3):753–765.
60. Gonzalo Torres Márquez. Análisis electromiográfico de la coactivación de cuádriceps e isquiotibiales en jugadores de fútbol [Internet] [tesis de grado]. Granada: Universidad de Granada; 2020 [cited 2024 Nov 1]. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=301072>.
61. Valencia O, De la Fuente CI, Guzmán-Venegas RA, Salas R, Weinstein A. Propuesta de flujo de procesamiento utilizando Python para ajustar la señal electromiográfica funcional a la contracción voluntaria máxima. *Kinesiología.* 2021;40(3):171–175.
62. Kümmel D, Preiss S, Harder LP, Leunig M, Impellizzeri FM. Measurement properties of the German version of the IKDC subjective knee form (IKDC-SKF). *J Patient Rep Outcomes.* 2018 Jul 13;2(1):31.
63. Soceidad Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología (SECOT). Cuestionario de evaluación de la rodilla IKDC [Internet]. Madrid: SECOT; 2020 [cited 2024 Nov 1]. Available from: <https://www.secot.es/media/docs/escalas/Cuestionario%20de%20IKDC.pdf>

64. González REC, Izquierdo MAR. La fisioterapia en el proceso de readaptación físico - deportiva mediante el entrenamiento en un gimnasio con un paciente postoperados de reconstrucción de ligamento cruzado anterior: caso clínico. Entreciencias. 2017;5(12).

## 8. Anexos

### Anexo I: Solicitud al comité ético de investigación clínica:

#### **SOLICITUD AL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA:**

Don/Dña. Ricardo García Olivares en calidad de investigador principal con domicilio social en XXX.

EXPONE:

Que desea llevar a cabo el estudio: *“Comparación entre contracción isométrica de empuje (PIMA) y de retención (HIMA) en la recuperación funcional del cuádriceps tras reconstrucción del ligamento cruzado anterior en futbolistas”*.

Este estudio es un ensayo clínico controlado y aleatorizado, diseñado para comparar y evaluar el efecto de las modalidades de contracción isométrica (PIMA e HIMA) sobre los indicadores funcionales de fuerza, volumen y reclutamiento muscular en futbolistas intervenidos quirúrgicamente del LCA.

La investigación se realizará en el servicio de \_\_\_\_\_ que trabaja en el área (Servicio) \_\_\_\_\_ como investigador principal \_\_\_\_\_

Que el estudio se realizará tal y como se ha planteado, respetando la normativa legal aplicable para los ensayos clínicos que se realicen en España y siguiendo las principios éticos internacionalmente aceptados:

- Declaración de Helsinki (última revisión 2013).
- Ley 14/2007 de Investigación Biomédica.
- Reglamento (UE) 2016/679 General de Protección de Datos (RGPD).
- Normas de Buena Práctica Clínica (ICH-GCP E6 R2).

Por lo expuesto, SOLICITA la evaluación y autorización de este ensayo clínico, cuyas características son las que se indican en la hoja de resumen del ensayo y en el protocolo que se adjunta a esta solicitud.

Por lo cual se adjunta la siguiente documentación:

- Protocolo de ensayo clínico, en el que se describen detalladamente el diseño metodológico, los objetivos, la muestra, las intervenciones y el análisis estadístico a realizar.
- Manual de Buenas Prácticas Clínicas que guiarán el desarrollo del estudio, asegurando el cumplimiento ético y legal en cada una de las fases.
- Documentos referentes al consentimiento informado, incluyendo la hoja de información para el participante de ensayo, el documento de consentimiento y el procedimiento de obtención del mismo.
- Póliza de Responsabilidad Civil.
- Documentación sobre la idoneidad de las instalaciones del centro donde se desarrollará el estudio.
- Currículum Vitae del investigador principal y del equipo investigador, acreditando su formación y experiencia en el ámbito de la fisioterapia deportiva y la investigación clínica.
- Carta de autorización del centro donde tendrá lugar el estudio, avalando su compromiso con el estudio y verificando la disponibilidad de recursos.
- Declaración de propuesta de compensación económica para los sujetos, el centro y los investigadores.

Este estudio se presenta como un ensayo clínico controlado, aleatorizado y prospectivo, con el fin de evaluar la eficacia entre los dos tipos de contracciones isométricas (PIMA e HIMA) en la mejora de la fuerza, el volumen muscular y el reclutamiento muscular del cuádriceps, y en la evaluación subjetiva de la rodilla en futbolistas intervenidos quirúrgicamente de reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

Los resultados de este estudio podrían contribuir a la mejora de diseños de protocolos de rehabilitación más eficientes en una recuperación funcional tras las reconstrucciones de ligamento cruzado anterior, facilitando un retorno precoz y seguro a la práctica deportiva de alto nivel.

En Madrid a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de 20\_\_.

Firmado:

El promotor.

D/D<sup>a</sup> Ricardo García Olivares.

Investigador Principal.

## Anexo II: Informe datos participante:

Los datos personales recopilados durante el desarrollo del estudio se guardarán de forma estrictamente confidencial, en ningún caso se hará pública la información que pudiera identificar a los participantes. A cada participante se le asignará un código identificativo con el objetivo de organizar la investigación. Además, pondremos en manifiesto las conclusiones del estudio a cada integrante de este.

Por favor, complete de manera clara y precisa las siguientes cuestiones, con letras mayúsculas.

Nombre: \_\_\_\_\_ Apellidos: \_\_\_\_\_

Fecha de nacimiento: \_\_\_\_\_

Nacionalidad: \_\_\_\_\_

Sexo: Mujer ☐ / Hombre ☐

DNI/Pasaporte/NIE: \_\_\_\_\_

Correo electrónico: \_\_\_\_\_

Dirección domiciliaria: \_\_\_\_\_

Localidad: \_\_\_\_\_ Provincia: \_\_\_\_\_ Código postal: \_\_\_\_\_

Teléfonos de contactos: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Código asignado en la investigación: \_\_\_\_\_

Grupo al que pertenece: GRUPO A / GRUPO B.

Firmado por:

En Madrid a \_\_ de \_\_\_\_\_ del 20\_\_

### Anexo III: Hoja informativa para los participantes del diseño del estudio:

En este documento están reflejadas todas las características del estudio en el que está interesado a participar. Para formar parte del mismo es necesario que comprenda perfectamente cada una de las partes de la que consta el mismo.

El proyecto: *“Comparación entre contracción isométrica de empuje (PIMA) y de retención (HIMA) en la recuperación funcional del cuádriceps tras reconstrucción del ligamento cruzado anterior en futbolistas”* será realizado una vez concedida la aprobación del Comité Ético de Investigación Clínica.

Para participar en el mismo, deberá rellenar una hoja con datos personales que, bajo ninguna circunstancia podrán ser utilizados o publicados, serán guardados de forma confidencial según dictamina la Ley Orgánica de Protección de Datos 3/2018. Al formar parte del estudio se le concederá un código numérico con el que será identificado durante la duración del mismo.

El estudio de investigación se desarrollará en las instalaciones de la Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios, situada en la Avenida San Juan de Dios en Ciempozuelos, Madrid.

El fin de este estudio es determinar la eficiencia de los dos tipos de contracciones isométricas en futbolistas con reconstrucción de ligamento cruzado anterior. Para ello se medirán las siguientes variables:

- Fuerza isométrica máxima del cuádriceps. Se medirá con un dinamómetro. Se realizarán 6 contracción máximas de 3 segundos de duración (cada una) con la rodilla posicionada a 90º de flexión. Entre cada repetición se realizará un minuto de descanso. Previo a la prueba será necesario un calentamiento previo de la musculatura. Este consistirá en 3 contracciones isométricas al 50%, 75% y 100% del esfuerzo percibido por el paciente con un minuto de descanso entre cada una.
- Volumen muscular del cuádriceps. Se medirá con una cinta métrica para evaluar el desarrollo muscular del muslo. La prueba la realizamos con el paciente descalzo en bipedestación, obteniendo el perímetro del muslo a 10 centímetros por encima de la rótula. Realizamos la medición 3 veces y obtenemos la media de estas.
- Reclutamiento muscular del cuádriceps. Se medirá con la EMGs con el objetivo de

analizar la actividad bioeléctrica del comportamiento promedio del cuádriceps. Seguimos las recomendaciones propuestas por SENIAM del protocolo de colocación de los electrodos para evitar posibles errores intra e interevaluador. Entre muchos parámetros que podemos evaluar a través de la EMGs nos centramos en la amplitud y frecuencia media, calculados a partir de la RMS.

- Función subjetiva de la rodilla. Se medirá a través del cuestionario IKDC-SKF. El formulario se califica sumando los resultados de los diferentes ítems y extrapolando los resultados a una escala de 0 a 100. La obtención de puntuaciones más cercanas a 0 conlleva una mayor restricción hacia las actividades de la vida diario y deportivas, frente a puntuaciones más elevadas que presentan una menor restricción.

Se realizarán dos mediciones de las variables anterior. La primera una semana antes de empezar el tratamiento, y la segunda una semana después de haberlo finalizado (con el objetivo de evitar fatiga muscular que nos altere los resultados de las pruebas).

Habrán 2 grupos de trabajo diferentes (cada uno con un tratamiento). Los participantes serán asignados de manera aleatoria a dichos grupos. Es necesario que los días que acudan al proyecto, bien a mediciones o a tratamiento, acudan con pantalón corto de deporte, zapatillas de deporte y toalla.

El grupo A realizará el siguiente protocolo. Se lleva a cabo un programa de trabajo isométrico HIMA realizando el ejercicio de sentadilla isométrica. Se comienza el gesto técnico cogiendo la barra a 95° de flexión de rodilla sobre los soportes y posteriormente se mantiene la posición de 90° de flexión de rodilla. Ejecutando 10 series de 1 repetición de 6 segundos al 100% de fuerza isométrica con un descanso entre series de 3 minutos.

El grupo B realizará el siguiente protocolo. Se lleva a cabo un programa de trabajo isométrico HIMA realizando el ejercicio de sentadilla isométrica. Se comienza el gesto técnico cogiendo la barra a 85° de flexión de rodilla sobre los soportes y posteriormente se empuja sobre otros soportes inmóviles a la posición de 90° de flexión de rodilla. Ejecutando 10 series de 1 repetición de 6 segundos al 100% de fuerza isométrica con un descanso entre series de 3 minutos.

Tiene una duración de once semanas. Se llevarán a cabo 2 sesiones a la semana. La carga se reajustará en los microciclos 15 y 18 con los datos obtenidos en las reevaluaciones 1 y 2 de la fuerza isométrica máxima en sentadillas PIMA e HIMA.

Posibles riesgos:

Es posible que el paciente durante la realización del tratamiento pueda sentir complicaciones asociadas al ejercicio: dolor muscular, dolor articular, cansancio o mareos. Si el paciente presenta alguno de estos síntomas la sesión se detendrá automáticamente.

En cuanto al uso del dinamómetro no hay ningún riesgo en su empleo, salvo los comentados previamente por el hecho de estar realizando un esfuerzo físico. Del mismo modo, la utilización de la electromiografía de superficie (EMGs) no presenta ningún riesgo para los participantes. Se trata de una técnica no invasiva en la que se colocan electrodos adhesivos sobre la piel. La valoración es indolora y no produce efectos secundarios.

El participante podrá abandonar el estudio cuando quiera (rellenando la documentación necesaria)

Con la firma del presente documento afirma que ha recibido la información necesaria sobre el diseño del estudio, sus objetivos y sus posibles riesgos.

Firmado por:

En Ciempozuelos a \_\_ de \_\_\_\_\_ del 20\_\_



#### Anexo IV: Consentimiento informado CI:

ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN: *“Comparación entre contracción isométrica de empuje (PIMA) y de retención (HIMA) en la recuperación funcional del cuádriceps tras reconstrucción del ligamento cruzado anterior en futbolistas”.*

D/Dña: \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_, confirmo que he obtenido al información acerca de la terapia que me va a realizar, y me han destacado la relevancia de precisar este documento firmado. Contando con la disponibilidad de realizar cuestiones a cerca de las intervenciones y/o procedimientos utilizados en la investigación. La próxima firma declara mi consentimiento para ser tratado con los procesos y/o intervenciones entendiendo y teniendo conocimientos suficientes de ello.

Comprendo mi derecho a poder retirarme de manera previa al estudio o a lo largo de él. Al igual que conozco mi tratamiento y consentimiento su ejecución por un fisioterapeuta colegiado.

Declarándome no estar dentro de los casos contraindicados, explícitos en el estudio. Afirmando haber proporcionado de manera legal, consciente, voluntaria y veraz los datos acerca del estado de salud y físicos personales que pudieran influir en el tratamiento, dando mi conformidad para participar dentro del estudio de investigación.

Firmado por:

En Ciempozuelos a \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del 20\_\_

## Anexo V: Hoja de revocación a la participación

### REVOCACIÓN:

D/Dña. \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_ a fecha de \_\_\_\_ del mes \_\_\_\_ en 20\_\_\_\_, decido revocar el consentimiento informado firmado en el día \_\_\_\_ del mes \_\_\_\_ del año 20\_\_\_\_ para la participación en el estudio de *“Comparación entre contracción isométrica de empuje (PIMA) y de retención (HIMA) en la recuperación funcional del cuádriceps tras reconstrucción del ligamento cruzado anterior en futbolistas”*. Gracias a mi derecho otorgado, verificando mi revocación con la firma explícita de este documento

Firmado por:

En Ciempozuelos a \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del 20\_\_\_\_

## Anexo VI: Cuestionario de evaluación subjetiva de la rodilla (IKDC) (63)



### CUESTIONARIO IKDC 2000

#### Síntomas

Base sus respuestas en el nivel más alto de actividad que cree que es capaz de desarrollar sin tener síntomas significativos, incluso aunque en la actualidad no desarrolle esas actividades.

1. ¿Cuál es el nivel más alto de actividad que puede realizar sin sentir dolor en la rodilla?

- A** Actividades muy agotadoras, como saltar o girar, como en el juego de baloncesto o fútbol.
- B** Actividades agotadoras, como trabajo físico pesado, esquiar o jugar al tenis.
- C** Actividades moderadas, como trabajo físico moderado correr o hacer jogging.
- D** Actividades ligeras, como caminar, hacer trabajos en la casa o en el patio (jardín).
- E** No puedo hacer ninguna de las actividades indicadas arriba debido al dolor.

2. Durante las últimas 4 semanas o desde que se produjo su lesión, ¿con cuánta frecuencia ha tenido usted dolor?

Nunca=0    1   2   3   4   5   6   7   8   9    Constantemente=10

3. Marque la intensidad del dolor en la casilla correspondiente.

Ningún dolor=0    1   2   3   4   5   6   7   8   9    El peor dolor imaginable=10

4. Durante las últimas 4 semanas, o desde que se produjo su lesión, ¿cómo de rígida o hinchada estaba su rodilla?

- A** Nada
- B** Poco
- C** Moderadamente
- D** Mucho
- E** Muchísimo

5. ¿Cuál es el nivel más alto de actividad que puede realizar sin que la rodilla se hinche de forma considerable?

- A Actividades muy agotadoras, como saltar o girar, como en el juego de baloncesto o fútbol.
- B Actividades agotadoras, como trabajo físico pesado, esquiar o jugar al tenis.
- C Actividades moderadas, como trabajo físico moderado correr o hacer jogging.
- D Actividades ligeras, como caminar, hacer trabajos en la casa o en el patio (jardín).
- E No puedo hacer ninguna de las actividades indicadas arriba debido a la hinchazón de la rodilla.

6. Durante las últimas 4 semanas, o desde que tuvo la lesión, ¿se le ha bloqueado o se le ha trabado temporalmente la rodilla?

- A Sí
- B No

7. ¿Cuál es el nivel más alto de actividad que puede hacer sin que la rodilla le falle?

- A Actividades muy agotadoras, como saltar o girar, como en el juego de baloncesto o fútbol.
- B Actividades agotadoras, como trabajo físico pesado, esquiar o jugar al tenis.
- C Actividades moderadas, como trabajo físico moderado correr o hacer jogging.
- D Actividades ligeras, como caminar, hacer trabajos en la casa o en el patio (jardín).
- E No puedo hacer ninguna de las actividades indicadas arriba debido a que la rodilla me falla.

#### ACTIVIDADES DEPORTIVAS

8. ¿Cuál es el nivel más alto de actividad que puede efectuar de forma habitual?

- A Actividades muy agotadoras, como saltar o girar, como en el juego de baloncesto o fútbol.
- B Actividades agotadoras, como trabajo físico pesado, esquiar o jugar al tenis.
- C Actividades moderadas, como trabajo físico moderado correr o hacer jogging.
- D Actividades ligeras, como caminar, hacer trabajos en la casa o en el patio (jardín).
- E No puedo hacer ninguna de las actividades indicadas arriba, a causa de la rodilla.

9. Debido a su rodilla, ¿qué nivel de dificultad tiene usted para?:

a. Subir escaleras.

- A Ninguna dificultad
- B Dificultad mínima
- C Dificultad moderada
- D Sumamente difícil
- E No puedo hacerlo

b. Bajar escaleras.

- A Ninguna dificultad
- B Dificultad mínima
- C Dificultad moderada
- D Sumamente difícil
- E No puedo hacerlo

c. Arrodillarse sobre la parte delantera de la rodilla.

- A Ninguna dificultad
- B Dificultad mínima
- C Dificultad moderada
- D Sumamente difícil
- E No puedo hacerlo

d. Ponerse en cuclillas.

- A Ninguna dificultad
- B Dificultad mínima
- C Dificultad moderada
- D Sumamente difícil
- E No puedo hacerlo

e. Sentarse con la rodilla doblada.

- A Ninguna dificultad
- B Dificultad mínima
- C Dificultad moderada
- D Sumamente difícil
- E No puedo hacerlo

f. Levantarse de una silla.

- A Ninguna dificultad
- B Dificultad mínima
- C Dificultad moderada
- D Sumamente difícil
- E No puedo hacerlo

g. Correr hacia delante en dirección recta.

- A Ninguna dificultad
- B Dificultad mínima
- C Dificultad moderada
- D Sumamente difícil
- E No puedo hacerlo

h. Saltar y caer sobre la pierna afectada.

- A Ninguna dificultad
- B Dificultad mínima
- C Dificultad moderada
- D Sumamente difícil
- E No puedo hacerlo

i. Parar y comenzar rápidamente a caminar o correr.

- A Ninguna dificultad
- B Dificultad mínima
- C Dificultad moderada
- D Sumamente difícil
- E No puedo hacerlo

## FUNCIONAMIENTO

10. ¿Cómo calificaría usted el funcionamiento de su rodilla, usando una escala de 0 a 10, dónde 10 es funcionamiento normal y excelente, y 0 la incapacidad de realizar cualquiera de sus actividades diarias usuales, que podrían incluir deportes?

### FUNCIONAMIENTO ANTES DE QUE TUVIERA LA LESIÓN EN LA RODILLA

Rendimiento nulo=0    1    2    3    4    5    6    7    8    9    Rendimiento óptimo=10

### FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA RODILLA

Rendimiento nulo=0    1    2    3    4    5    6    7    8    9    Rendimiento óptimo=10

**CÁLCULO DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN SUBJETIVA DE LA RODILLA**

- Asociar una cifra a cada respuesta (la cifra más baja para el rendimiento más bajo o los síntomas más intensos).
- Calcular el total neto sumando todos los puntos, excepto la pregunta nº 10 acerca del funcionamiento de la rodilla antes de la lesión.
- Aplicar la fórmula siguiente:

**RESULTADO DE IKDC**= (Total neto-cifra más baja)/(número de resultados posibles) x 100

## Anexo VII: Macro ciclo de rehabilitación de RLCA en futbolistas (64)

Mesociclo	1				2				3				4				5				6			
Microciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Sesión	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23					24	26	28	30	32	33	34	35
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22						25	27	29	31				
Fases	Adaptación anatómica					Hipertrofia (mixta)					Hipertrofia (vacaciones)					Hipertrofia (fibras rápidas)					Potencia			
													Readaptación funcional deportiva											
									(60 % FCM)				Resistencia				(80 % FCM)							
Cargas	Tolerancia de la paciente					70 – 80% 1 RM					70 – 80% 1 RM					85% 1 RM					60% 1 RM			
Series y repeticiones	3-4 series 8- 10 -12 repeticiones Tempo 1:3					4 series 10-12 repeticiones (prefatiga) Tempo 1:3					4 series 10-12 repeticiones (prefatiga) Tempo 1:3					3-4 series 4-6 repeticiones (prefatiga) Tempo 1:1					3-4 series 5-6 repeticiones Tempo 1:3			
Densidad	1- 3 min. al inicio 30-40 seg. en fase final					30-90 segundos					30-90 segundos					2-3 minutos					2-3 minutos			