



**ESCUELA  
DE ENFERMERÍA  
Y FISIOTERAPIA**



**SAN JUAN DE DIOS**

**Grado en Fisioterapia**

## **Trabajo Fin de Grado**

**Título: Valorar la eficacia del trabajo con gomas elásticas a alta velocidad junto con el tratamiento habitual de fisioterapia frente al ejercicio de curl nórdico y el tratamiento habitual de fisioterapia para la potenciación de la musculatura isquiotibial en jugadoras de baloncesto**

**Alumno: SERGIO MORENO SALVADOR**

**Tutor: CARLOS LOPEZ MORENO**

**Madrid, mayo de 2025**

## Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	2
Tabla de abreviaturas.....	3
Índice de tablas .....	4
Índice de figuras .....	5
Resumen .....	6
Abstract .....	7
1. Antecedentes y estado actual del tema .....	8
2. Evaluación de la evidencia .....	26
3. Objetivos del estudio .....	28
4. Hipótesis .....	29
5. Metodología .....	30
5.1 Diseño .....	30
5.2 Sujetos de estudio .....	31
5.3 Variables .....	32
5.4 Hipótesis operativa .....	33
5.5 Recogida, análisis de datos, contraste de la hipótesis .....	34
5.6 Limitaciones del estudio .....	35
5.7 Equipo investigador .....	35
6. Plan de trabajo .....	36
6.1 Diseño de la intervención .....	36
6.2 Etapas de desarrollo .....	37
6.3 Distribución de tareas de todo el equipo investigador .....	38
6.4 Lugar de realización del proyecto .....	38
7. Listado de referencias .....	40
8. Anexos .....	46

## Tabla de abreviaturas

Abreviatura	Palabra
AE	Athlete exposures
NCAA	National Collegiate Athletic Association
LCA	Ligamento cruzado anterior
WNBA	Women´s National Basketball Association
EMG	Electromiografía
N/m	Newton/metro
°/s	Grados/segundo
TSK-11	Escala Tampa de kinesiophobia
PWBPA	Psychological well-being in physical activity

Tabla 1: tabla de abreviaturas (elaboración propia)

**Índice de tablas**

Tabla 1 .....3  
Tabla 2 .....8  
Tabla 3 .....9  
Tabla 4 .....10  
Tabla 5 .....22  
Tabla 6 .....26  
Tabla 7 .....26  
Tabla 8 .....27  
Tabla 9 .....31  
Tabla 10 .....32  
Tabla 11 .....37  
Tabla 12 .....49  
Tabla 13 .....50  
Tabla 14 .....51

**Índice de figuras**

Figura 1 .....12  
Figura 2 .....13  
Figura 3 .....14  
Figura 4 .....16  
Figura 5 .....19  
Figura 6 .....21  
Figura 7 .....38  
Figura 8 .....39  
Figura 9 .....53

# **Resumen**

## **Antecedentes**

El baloncesto es un deporte de equipo en el que se enfrentan 5 jugadores de cada equipo en una pista rectangular cuyas dimensiones son de 28 m y 15 m. 10 jugadores compartiendo pista en esta superficie hacen del baloncesto un deporte en el que abundan los cambios de dirección, aceleraciones, deceleraciones y saltos entre otras acciones, las cuales, junto con el nivel de contacto, hacen que se trate de una disciplina deportiva exigente, que requiere de sus participantes de un buen estado y preparación física.

La lesión de LCA es de las que más tiempo apartan a los jugadores de la actividad deportiva, y tiene más prevalencia en mujeres, lo cual es un grave problema en baloncesto profesional debido al tiempo de baja, contrato y confección de plantilla. Hay ciertos factores ya conocidos que podrían aumentar el riesgo de la lesión en esta parte de la población, aunque hoy en día se siguen investigando las causas exactas por las que la rotura de ligamento cruzado anterior es más común en jugadoras.

La musculatura isquiotibial tiene un gran papel sobre la articulación de la rodilla y sobre el LCA, debemos darle mucha importancia durante la recuperación de dicha lesión, así como en la preparación física para su potenciación y disminución del riesgo de lesión. Hoy en día conocemos ciertos programas y protocolos a seguir para conseguir potenciar la musculatura isquiotibial, pero no existe un programa específico para el baloncesto.

## **Objetivos**

El objetivo del estudio es valorar la eficacia del trabajo con gomas elásticas a alta velocidad junto al tratamiento habitual de fisioterapia frente al ejercicio de curl nórdico junto al tratamiento habitual de fisioterapia para la potenciación de la musculatura isquiotibial.

## **Metodología**

Se confecciona un estudio analítico prospectivo con relación a dos grupos de estudio con los que se llevará a cabo una comparación de muestras no relacionadas. Un grupo ejecutará el ejercicio nórdico de isquiotibiales incluido en su rutina normal de entrenamiento y el otro realizará el ejercicio a alta velocidad con gomas elásticas dentro de su entrenamiento. Los dos grupos pasarán por un proceso de medición de fuerza de la musculatura isquiotibial, kinesiofobia y bienestar psicológico durante la actividad física antes y después del proceso.

En último término se conseguirán los resultados tras la comparación de las mediciones.

## **Palabras clave**

Ligamento cruzado anterior, isquiotibiales, potenciación.

# **Abstract**

## **Background**

Basketball is a team sport in which 5 players from each team face off on a rectangular court measuring 28 meters by 15 meters. With 10 players sharing the court, basketball is a sport characterized by frequent changes of direction, accelerations, decelerations, and jumps, among other actions. These, combined with the level of physical contact, make it a demanding discipline that requires participants to be in good physical condition and well-prepared.

ACL injuries are among those that keep players away from sports activity for the longest time and are more prevalent in women. This poses a serious problem in professional basketball due to the recovery time, contracts, and team roster planning. There are already known factors that could increase the risk of this injury in this part of the population, although the exact reasons why anterior cruciate ligament tears are more common in female athletes are still being researched today.

The hamstring muscles play a crucial role in knee joint stability and in protecting the ACL. They must be given great importance during recovery from this injury, as well as during physical preparation to strengthen them and reduce the risk of injury. Nowadays, there are known programs and protocols aimed at strengthening hamstrings, but there is no specific program designed for basketball.

## **Objectives**

The aim of the study is to evaluate the effectiveness of high-velocity resistance band training combined with standard physiotherapy treatment, compared to the Nordic hamstring exercise combined with standard physiotherapy treatment, for strengthening the hamstring muscles.

## **Methodology**

A prospective analytical study is conducted involving two study groups that will undergo a comparison of unrelated samples. One group will perform the Nordic hamstring exercise as part of their regular training routine, while the other will perform high-speed resistance band exercises as part of their training. Both groups will undergo a measurement process assessing hamstring muscle strength, kinesiophobia, and psychological well-being during physical activity, both before and after the intervention.

Ultimately, the results will be obtained following the comparison of the measurements.

## **Key words**

Anterior cruciate ligament, hamstrings, strengthening.

## 1. Antecedentes y estado actual del tema

El baloncesto es uno de los deportes más practicados tanto a nivel mundial como en nuestro país. El desarrollo del modo de juego de éste a lo largo del tiempo ha hecho que se trate de una de las actividades deportivas más demandantes para el organismo, conllevando aceleraciones, deceleraciones, contacto, saltos, cambios de dirección y ritmo que existen (1), y es por esto por lo que a su vez es una de las prácticas deportivas con mayores índices de lesión.

Aunque la forma de anotar en este deporte sea con las manos, los miembros inferiores son vitales durante la actividad del baloncesto tanto por las acciones de juego como por las cargas y esfuerzos que han de soportar, siendo esta parte del cuerpo la que más frecuencia lesional tiene con un 80% (2).

Las mujeres y los hombres presentan distintas características fisiológicas y anatómicas, lo que provoca diferencias en la relación con las lesiones, siendo éstas más susceptibles a ellas, como es el caso de la lesión de ligamento cruzado anterior (LCA). (Tabla 1)

	ACL Injuries			AEs			Rate per 100 000 AEs			Rate Ratio (95% CI) <sup>p</sup>
	Competition	Practice	Total	Competition	Practice	Total	Competition	Practice	Total	
<b>Sport</b>										
Football	198	88	286	423 874	2 156 763	2 580 637	46.7	4.1	11.1	<b>11.5 (8.91, 14.72)</b>
Boys' soccer	35	9	44	271 345	643 206	914 551	12.9	1.4	4.8	<b>9.2 (4.43, 19.18)</b>
Girls' soccer	83	13	96	235 938	550 355	786 293	35.2	2.4	12.2	<b>14.9 (8.30, 26.72)</b>
Volleyball	15	5	20	284 625	556 983	841 608	5.3	0.9	2.4	<b>5.9 (2.13, 16.15)</b>
Boys' basketball	18	7	25	328 264	777 796	1 106 060	5.5	0.9	2.3	<b>6.1 (2.55, 14.59)</b>
Girls' basketball	71	21	92	267 297	627 094	894 391	26.6	3.3	10.3	<b>7.9 (4.88, 12.91)</b>
Wrestling	14	13	27	215 378	594 052	809 430	6.5	2.2	3.3	<b>3.0 (1.40, 6.32)</b>
Baseball <sup>c</sup>	3	3	6	304 200	557 764	861 964	1.0	0.5	0.7	1.8 (0.37, 9.08)
Softball	13	8	21	226 111	431 135	657 246	5.7	1.9	3.2	<b>3.1 (1.28, 7.48)</b>
<b>Sex Comparable<sup>d</sup></b>										
<b>Boys</b>	<b>56</b>	<b>19</b>	<b>75</b>	<b>903 809</b>	<b>1 978 766</b>	<b>2 882 575</b>	<b>6.2</b>	<b>1.0</b>	<b>2.6</b>	<b>6.5 (3.84, 10.86)</b>
<b>Girls</b>	<b>167</b>	<b>42</b>	<b>209</b>	<b>729 346</b>	<b>1 608 584</b>	<b>2 337 930</b>	<b>22.9</b>	<b>2.6</b>	<b>8.9</b>	<b>8.8 (6.25, 12.30)</b>
<b>Total</b>	<b>450</b>	<b>167</b>	<b>617</b>	<b>2 557 032</b>	<b>6 895 148</b>	<b>9 452 180</b>	<b>17.6</b>	<b>2.4</b>	<b>6.5</b>	<b>7.3 (6.08, 8.68)</b>
<b>Boys</b>	<b>268</b>	<b>120</b>	<b>388</b>	<b>1 543 061</b>	<b>4 729 581</b>	<b>6 272 642</b>	<b>17.4</b>	<b>2.5</b>	<b>6.2</b>	<b>6.9 (5.52, 8.50)</b>
<b>Girls</b>	<b>182</b>	<b>47</b>	<b>229</b>	<b>1 013 971</b>	<b>2 165 567</b>	<b>3 179 538</b>	<b>17.9</b>	<b>2.2</b>	<b>7.2</b>	<b>8.3 (6.00, 11.40)</b>

Abbreviations: AE, athlete-exposure; CI, confidence interval. Bold represents significant rate ratios.

<sup>a</sup> Table 1 represents unweighted data in order to calculate rates. All other tables and figures represent nationally representative weighted data.

<sup>b</sup> Calculated with practice as referent group.

<sup>c</sup> Caution should be used when interpreting results for sports with fewer than 10 total injuries such as baseball.

<sup>d</sup> Sex comparable sports included soccer, basketball, and baseball or softball.

Tabla 2: Comparación epidemiológica de lesiones de LCA en población deportista.  
Fuente: 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 (3)



Es numerosa la evidencia que existe hoy en día sobre esta problemática, la cual mantiene que el fútbol y el baloncesto son los deportes en los que más roturas de LCA ocurren, en los que las mujeres sufren durante su práctica casi 3 veces más esta lesión que los hombres (3,4).

Centrándonos en el baloncesto, se han realizado estudios epidemiológicos desde la temporada 2014-15 hasta la 2018-19 de lesiones en las ligas universitarias de baloncesto estadounidenses, “National College Athletic Association” (NCAA y NCAA femenina) indican que los hombres tuvieron un índice de 7.28 lesiones/1000 “athlete exposures” (AE) (5), mientras que el de las mujeres fue de 8.14 lesiones/1000 AE (6).

El miembro inferior es la parte en la que más lesiones se producen, un estudio de lesiones de la “Women National Basketball Association” (WNBA) señala que las estructuras del tobillo y la rodilla son las más afectadas y las que más tiempo de baja causan (Tabla 2).

	Total		Games Missed		Rate (per 1000 Athletic Exposures)
	N	%	N	%	
Ankle	43	0.22	176	0.13	1.32
Spine/back	12	0.06	60	0.04	0.37
Patella	1	0.01	0	0.00	0.03
Knee	56	0.29	683	0.51	1.72
Foot	18	0.09	202	0.15	0.55
Tibia/leg	8	0.04	42	0.03	0.25
Femur/thigh	15	0.08	46	0.03	0.46
Hip	3	0.02	17	0.01	0.09
Hand/wrist	2	0.01	12	0.01	0.06
Face	5	0.03	7	0.01	0.15
Shoulder	4	0.02	21	0.02	0.12
Eye	1	0.01	1	0.00	0.03
Fingers	2	0.01	3	0.00	0.06
Thumb	2	0.01	8	0.01	0.06
Elbow	1	0.01	7	0.01	0.03
Concussion	20	0.10	58	0.04	0.61
Rib/chest	2	0.01	9	0.01	0.06
Total	195	100	1352	100.00	

Tabla 3: Índice lesional por estructura.

Fuente: Baker H, Rizzi A, Athiviraham A. Injury in the Women’s National Basketball Association (WNBA) From 2015 to 2019. ASMAR 2020 June 1 (7).

Específicamente, los esguinces laterales de tobillo (1.195/1000 AE), la rotura de LCA (0.55/1000 AE) y las concusiones (0.58/1000 AE) son las 3 afecciones más frecuentes sufridas por las jugadoras, provocando que se pierdan el 0.09%, 0.28% y 0.041% de los partidos. Aunque no sea la lesión más frecuente, la rotura de LCA es la más grave

tratándose de la que más tiempo aleja a las jugadoras del terreno de juego, debemos prestarle atención a esta articulación. La musculatura isquiotibial tiene una gran importancia sobre la rodilla, la cual también es de las que más incidencia de lesión tiene. (Tabla 3)

Por esto debemos tener en cuenta el valor de una buena planificación de entrenamiento, gestión de cargas y preparación física específicos para reducir el riesgo de lesión de LCA.

	Total		Games Missed		Rate (per 1000 Athletic Exposures)
	N	%	N	%	
Lateral ankle sprain	39	0.2	117	0.09	1.195
Achilles tendinopathy	4	0.02	20	0.01	0.123
ACL tear	18	0.09	376	0.28	0.55
Lumbar sprain/strain	9	0.05	32	0.02	0.28
Hand/wrist fracture	3	0.02	27	0.02	0.092
Nose fracture	5	0.03	8	0.01	0.15
Calf sprain/strain	5	0.03	32	0.024	0.15
Cervical sprain/strain	2	0.01	2	0.0015	0.06
Osteochondral injury (knee)	4	0.02	81	0.06	0.12
Plantar fasciitis	2	0.01	9	0.007	0.061
Concussion	19	0.10	55	0.041	0.58
Foot inflammation	2	0.01	6	0.004	0.061
Foot sprain	2	0.01	8	0.006	0.061
Hamstring strain	10	0.05	37	0.027	0.31
Hip contusion	3	0.02	17	0.013	0.092
Lumbar disc degeneration	1	0.01	26	0.019	0.031
Periorbital contusion	2	0.01	3	0.002	0.061
Foot fracture	2	0.01	27	0.02	0.061
Knee/patella contusion	8	0.04	72	0.053	0.25
Patellofemoral inflammation	16	0.08	41	0.03	0.49
Ankle fracture	1	0.005	17	0.013	0.03
Peroneal strain	2	0.01	40	0.030	0.06
High ankle sprain	1	0.005	4	0.0030	0.03
Knee sprain	1	0.005	9	0.0067	0.03
AC sprain	3	0.02	21	0.016	0.092
Meniscal tear	9	0.05	113	0.084	0.28
MCL sprain	1	0.005	4	0.0030	0.031
Finger sprain	2	0.01	3	0.002	0.061
Patella tendonitis	1	0.005	0	0	0.031
Shoulder labrum tear	1	0.005	0	0	0.031
Quadriceps contusion	2	0.01	2	0.0015	0.06
Elbow contusion	1	0.005	7	0.0052	0.031
Adductor strain	1	0.005	2	0.0015	0.031
Leg contusion	3	0.015	10	0.0074	0.092
Thumb sprain	1	0.005	2	0.0015	0.031
Rib contusion	2	0.01	9	0.0067	0.061
Achilles tendon tear	3	0.015	101	0.075	0.092
Hip flexor strain	2	0.01	5	0.0037	0.061
Thumb UCL tear	1	0.005	6	0.004	0.031
Wrist sprain	1	0.005	1	0.001	0.031
Total	195	100	1352	100	

AC, acromioclavicular; ACL, anterior cruciate ligament; MCL, medial collateral ligament; UCL, ulnar collateral ligament.

Tabla 4: Índice lesional por patología específica.

Fuente: Baker H, Rizzi A, Athiviraham A. Injury in the Women's National Basketball Association (WNBA) From 2015 to 2019. ASMAR 2020 June 1(7).

El LCA es una de las partes más importantes de la articulación de la rodilla, se trata de una estructura intraarticular y extrasinovial que se encuentra en la escotadura intercondílea y comprende desde la superficie preespinal de la tibia hasta la cara axial del cóndilo externo del fémur, siendo su dirección oblicua hacia craneal, posterior y externa. Su función principal es limitar el desplazamiento anterior de la tibia sobre el fémur, además, ayuda a la estabilización de la articulación mediante la limitación de la rotación interna de ésta y su posicionamiento hacia un valgo.

El LCA es un tejido conectivo formado por una matriz colágena que se compone al 90% del tipo I y 10% del tipo II. Cuando la articulación de la rodilla se encuentra en posición de extensión, el LCA tiene una longitud de unos 32 mm de media y un grosor de 10 a 12 mm. (8-10).

La ruptura de LCA tiene lugar cuando la carga mecánica aplicada sobre el ligamento sobrepasa la capacidad de este para soportar dicha carga. Existen multitud de estudios que analizan esta tensión inducida en el ligamento la cual puede llevar a su rotura (11-17). Según estos estudios, en el plano frontal, el movimiento de valgo de rodilla aumenta la carga sobre el LCA y en el plano sagital lo hace el movimiento de rotación interna de la tibia respecto al fémur. El estudio de Shin et al. se demostró que cuando se daban ambos movimientos simultáneamente la carga que recibía el ligamento era mucho más elevada que por separado, llegando a unos valores que pueden dar lugar a su rotura. Además, los resultados de otros estudios sugieren una estrecha conexión entre el valgo y la rotación interna tibial (18), provocando más riesgo de lesión del ligamento. Siendo la principal función del LCA la de limitar el desplazamiento anterior tibial (19), las fuerzas que provocan este movimiento son las que más aumentan su carga. La rotación interna tibial, el valgo de rodilla y el desplazamiento anterior de la tibia son los principales factores para entender la tensión inducida en el LCA y para ello toma un papel primordial la musculatura que rodea a la articulación de la rodilla, ya que los músculos pueden provocar alguno de los movimientos anteriormente mencionados y de esta forma influir sobre la carga que recibe el ligamento, ya sea aumentándola o disminuyéndola.

Los músculos isquiotibiales son cruciales en la biomecánica de la articulación y toman un papel protagonista sobre el LCA, ya que limitan el empuje anterior de la tibia realizándolo en un sentido posterior, mitigando de esta forma la carga mecánica que sufre el ligamento (20-22).

La musculatura isquiotibial se encuentra en la parte posterior del miembro inferior y se compone del bíceps crural, semimembranoso y semitendinoso:

Todos los músculos isquiotibiales son biarticulares, es decir, cruzan dos articulaciones, por lo

que desempeñan una función tanto a nivel de la rodilla como de la cadera, excepto la cabeza corta del bíceps femoral, que lo hará solamente a nivel de la articulación de la rodilla al tratarse de un musculo monoarticular.

El bíceps crural posee dos cabezas, la corta se origina en el tercio medio del fémur en el labio lateral de la línea áspera, mientras que la larga lo hace en la tuberosidad isquiática, ambas se insertan en la apófisis estiloides de la cabeza del peroné.

La cabeza larga realiza extensión y estabilización de la pelvis a nivel de la cadera, mientras que la totalidad del músculo (ambas cabezas) desempeñan flexión y rotación externa sobre la rodilla.



Figura 1: cabeza larga y cabeza corta del músculo bíceps crural

Fuente: <https://www.ugr.es/~dlcruz/musculos/indexcont.htm>

El semimembranoso se origina en la tuberosidad isquiática y se inserta en la meseta tibial por su parte interna formando la pata de ganso profunda.

A nivel de la cadera realiza extensión, aducción y estabilización de pelvis, y sobre la rodilla efectúa flexión y rotación interna.



Figura 2: músculo semimembranoso

Fuente: <https://www.ugr.es/~dlcruz/musculos/indexcont.htm>

El semitendinoso se origina en la tuberosidad isquiática, compartiendo cabeza con la porción larga del bíceps femoral y se inserta junto al recto interno y sartorio en la pata de ganso superficial.

Sobre la cadera realiza extensión, aducción y estabilización de pelvis, a diferencia de sobre la articulación de la rodilla que ejecuta flexión y rotación interna.

(Schulte E, Schumacher U, Schünke M. PROMETHEUS LernPaket Anatomie: LernAtlas Anatomie. 6a ed. Stuttgart, Alemania: Thieme; 2015)



Figura 3: músculo semitendinoso

Fuente: <https://www.ugr.es/~dlcruz/musculos/indexcont.htm>

La laxitud ligamentaria está relacionada con un mayor riesgo de lesión de LCA (23) y el ejercicio está asociado a un incremento de laxitud, disminución de propiocepción y control muscular debido a la fatiga (24,25), además, en el estudio de Behrens et al. tras un protocolo de fatiga aplicado a sujetos de ambos sexos, apreciaron diferencias significativas entre grupos, observando que las mujeres incrementaban la traslación tibial anterior y disminuían la respuesta refleja de la musculatura isquiotibial respecto a antes de la fatiga (23). Como se ha mencionado antes, la musculatura es muy importante para los movimientos de traslación de la tibia por su puesta en tensión al LCA, dentro de esta musculatura, los dos grupos más importantes son los isquiotibiales y los cuádriceps, los primeros actúan como antagonistas a la carga sobre el ligamento y los últimos como agonistas, actuando aisladamente, la actividad isométrica de los isquiotibiales disminuye significativamente la tensión sobre el ligamento, mientras que los cuádriceps la aumentaban en un rango de flexión de entre  $0^{\circ}$  y  $45^{\circ}$  (26).

En el estudio de Li et al. se investigan los efectos de una contracción simultánea de cuádriceps e isquiotibiales (co-contracción) sobre la biomecánica de la rodilla y las fuerzas

que influyen sobre el LCA en una simulación isométrica en el movimiento de extensión de rodilla. Cuando los cuádriceps aplicaban una fuerza aislada de 200N sobre la rodilla, se producía un desplazamiento anterior y lateral de la tibia al igual que de rotación interna, estos movimientos de traslación como el de rotación aumentaron cuando la articulación pasaba de una posición de extensión completa a una flexión de 30°, en cambio, cuando la flexión superaba este valor, los movimientos disminuían. A esta carga sobre la rodilla aplicada por el cuádriceps se le añadió una de 80N ejecutada por los isquiotibiales y se observó una reducción en la rotación interna y la traslación lateral y anterior de la tibia en distintos ángulos de flexión de la articulación excepto en extensión completa de rodilla. Con esta adición de fuerza de la musculatura isquiotibial, la traslación anterior, traslación lateral y rotación interna de la tibia se vieron reducidos en un 30% (27).

Los resultados de estos estudios recalcan la importancia que tiene la musculatura sobre la biomecánica de la articulación de la rodilla y la relación directa que tienen los isquiotibiales con el estado del LCA, siendo este grupo muscular clave para reducir el riesgo de lesión del ligamento (28).

Al baloncesto se suele jugar con un cierto grado de flexión en las rodillas para bajar el centro de gravedad, mantener mejor el equilibrio y poder tener reacciones más rápidas, esta flexión no es muy pronunciada. Cuando la flexión de rodilla es de menos de 50°, la fuerza del cuádriceps produce carga sobre el ACL y fuerzas que contribuyen a una traslación tibial anterior, rotación interna de la tibia y valgo de rodilla, actuando este músculo como antagonistas al ligamento. Este efecto de la musculatura anterior de la pierna es dependiente del ángulo de flexión de rodilla, ya que en flexiones mayores a 80° los cuádriceps influyen poco sobre la carga del ACL debido al ángulo formado entre el tendón rotuliano y el eje longitudinal de la tibia (29,30).

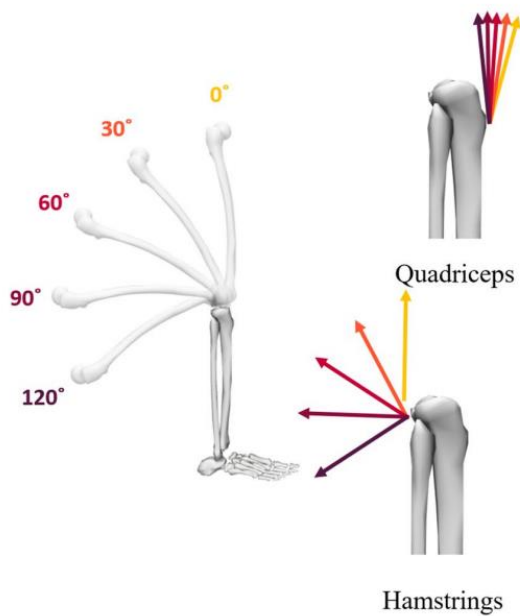


Figura 4: vectores de fuerza del cuádriceps e isquiotibiales según el ángulo de flexión de rodilla.

Fuente: Maniar N, Cole MH, Bryant AL, Opar DA. Muscle Force Contributions to Anterior Cruciate Ligament Loading. Sports Med 2022

Sabemos que el baloncesto es un deporte que exige mucho al tren inferior por los movimientos requeridos, algunos de estos son el paso lateral o el apoyo monopodal tras salto, los cuales son posiblemente peligrosos para el ACL ya que la posición de flexión de rodilla cuando se realizan es menor a  $70^\circ$  y el cuádriceps produce un vector de fuerza en sentido anterior respecto a la tibia (22). Nirav Maniar et al. realizaron dos estudios distintos en los que analizaron la musculatura que rodea a la rodilla durante estos dos movimientos, en los que el cuádriceps aplicaba una fuerza anterior de 233 N durante el paso lateral y de 342 N en el aterrizaje del salto a una pierna (31,32). La posición de la rodilla durante estas acciones es de flexión y los isquiotibiales tienen mucha influencia a la hora de mitigar la carga que recibe el ACL en posiciones de flexión superiores a  $20^\circ$ - $30^\circ$  (33), ya que, en una rodilla con poca flexión, los isquiotibiales no tienen el poder suficiente de compensar la fuerza mecánica del cuádriceps de crear una traslación tibial anterior.

Además, los estudios previamente citados de Nirav Maniar et al. indican que la musculatura isquiotibial produce una fuerza posterior en la fase de aterrizaje en salto a una sola pierna, en el asentamiento de peso durante el paso lateral y durante el momento estimado de máxima tensión provocada al ligamento en el aterrizaje de un salto lateral (34).



Los apoyos monopodales y los pasos laterales son acciones que se repiten en multitud de ocasiones durante entrenamientos o partidos de baloncesto, y son los gestos técnicos más peligrosos, la rodilla mantiene una flexión de 30° al igual que en carrera convencional, pero las fuerzas de varo, valgo y rotación externa e interna se multiplican, siendo los cuádriceps e isquiotibiales los músculos más importantes para estabilizar la articulación y compensar la carga que sufre el LCA, se midió su activación con EMG, resultando la co-contracción esencial para defenderse de las fuerzas externas de varo y valgo que afectan a la rodilla durante estas acciones (35). Unos valores bajos de fuerza en los isquiotibiales están asociados con un incremento de hasta el 36% en la tensión que sufre el LCA (36), además, en el contacto del pie con el suelo durante el movimiento del paso lateral el ligamento pasa de soportar 605N a 821N tras un protocolo de fatiga de isquiotibiales. Dentro de esta musculatura, el bíceps femoral, debido a su poder de oponerse a la rotación interna de la tibia y crear una fuerza muscular en sentido posterior es el que más importancia posee para reducir la carga inducida al ligamento por la contracción del cuádriceps (37,38). El bíceps femoral también es más efectivo que la musculatura isquiotibial medial (semitendinoso y semimembranoso) a la hora de reducir la traslación anterior de la tibia, en flexión de rodilla de 30°, la cual es una posición habitual en el baloncesto, la contracción de semitendinoso y semimembranoso aumenta la rotación interna de la tibia, aumentando de esta forma la tensión del LCA, mientras que la contracción del bíceps femoral reduce esta rotación (29).

Como podemos comprobar, hay mucha evidencia científica sobre la gran importancia que tiene la musculatura isquiotibial sobre el LCA, principalmente en mujeres deportistas ya que estas sufren en este ligamento lesiones en mayor medida que los hombres. Es primordial a la hora de realizar deportes tener una buena preparación física, más aún si practicamos baloncesto debido a sus características y exigencias físicas. Hoy en día disponemos también de evidencia científica acerca de programas y ejercicios beneficiosos para esta musculatura, pero no tenemos un protocolo específico para el baloncesto, teniendo en cuenta las horas de entrenamiento, partidos y la carga que producen. En los últimos años ha habido multitud de casos de roturas de LCA en baloncesto femenino tanto a nivel nacional como internacional, amateur o profesional, alejando a muchas jugadoras de las pistas durante largos periodos de tiempo y causando inconvenientes a nivel deportivo, psicológico y económico. Es necesario disponer de pautas o programas específicos para la potenciación de la musculatura isquiotibial que tengan en cuenta las demandas de este deporte para poder mejorar en este aspecto mientras se sigue practicando.

La musculatura se puede contraer de forma concéntrica o excéntrica, es decir, mientras se acorta o se elonga su longitud respectivamente.

Las contracciones excéntricas son muy importantes en la biomecánica del cuerpo humano debido a que actúan como freno y disipan la energía mecánica en el momento de la deceleración (39,40), no hay muchos gestos en las actividades de la vida cotidiana que requieran la acción excéntrica de los isquiotibiales, al contrario del tríceps sural sobre la articulación del tobillo, en cambio sí se requiere de los isquiotibiales en movimientos del baloncesto como el de frenar, cambios de dirección o saltos. Es beneficioso este tipo de entrenamiento en la musculatura isquiotibial para hacer frente a la fuerza que aplican los cuádriceps y que dicha musculatura esté entrenada en rangos de longitud más amplios, guiándola hacia una funcionabilidad mayor.

En el estudio de Roig et al. investigaron los efectos del entrenamiento concéntrico frente al excéntrico, los resultados indicaron que la fuerza total y la fuerza excéntrica aumentaron en la musculatura realizando el segundo tipo de entrenamiento, debido a las mayores cargas que tiene que soportar la musculatura, además, el entrenamiento excéntrico incrementó la masa y el volumen muscular, a su vez, la ejecución a alta intensidad del ejercicio excéntrico mejoraba en términos de velocidad de contracción (41). Esta es una buena vía para estimular las adaptaciones estructurales, como el cambio de longitud óptima del músculo, y el perfeccionamiento de la función mecánica muscular, ya que aumenta la hipertrofia y estimula el aumento en tamaño de las fibras musculares tipo II, además de aumentar el área transversal fisiológica del músculo, la cual es una medida que se obtiene del resultado de la división del volumen del músculo entre la longitud de las fibras, distintos estudios sugieren una estrecha relación entre esta medida y la fuerza, incluso es proporcional a la fuerza máxima muscular (42-44).

Dentro del grupo de ejercicios basados en la evidencia de isquiotibiales resalta el curl nórdico, el cual es un ejercicio muy potente que hace trabajar de manera excéntrica a los isquiotibiales, múltiples estudios destacan la eficacia tanto para el aumento de fuerza de la musculatura isquiotibial como para la reducción de número de lesiones de esta (45-47) . El ejercicio se lleva a cabo desde una posición inicial de rodillas con el cuerpo recto y los tobillos anclados por una persona u objeto, consiste en dejarse caer lentamente manteniendo la cadera en la misma posición hasta que el cuerpo esté en el suelo en posición de decúbito prono, de esta manera, los isquiotibiales van frenando la caída realizando una contracción excéntrica, es decir, aplica una fuerza para caer lo más lento posible mientras el músculo se va alargando.

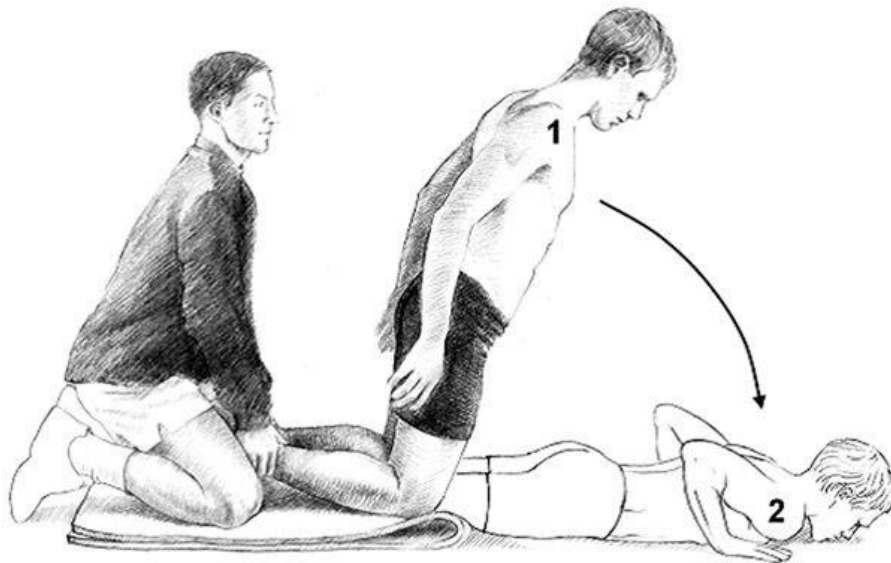


Figura 5: ejercicio de curl nórdico

Fuente: <https://es.pinterest.com/pin/419890365243114392/>

El ejercicio excéntrico provoca cambios estructurales como el aumento de longitud de los fascículos musculares, lo que prepara a la musculatura para sufrir tensión durante estados de alargamiento y los isquiotibiales llegan a aumentar esta longitud de 10.6 cm a 12.8 cm tras un programa de ejercicio de curl nórdico (48).

Esta musculatura no se activa de igual forma en distintos ejercicios, por lo general, la musculatura medial isquiotibial (semimembranoso y semitendinoso) lo hacen más en actividades concéntricas y el bíceps femoral en actividades excéntricas (49), además, dependiendo del movimiento también encontramos diferencias: existe mayor grado de activación muscular para el semimembranoso y la cabeza larga del bíceps femoral durante movimientos de extensión de cadera mientras que la cabeza corta del bíceps femoral y el semitendinoso se activan más en movimientos que requieran flexión de rodilla (50).

En el estudio de Guruhan et al. reunieron a 31 participantes para comprobar la actividad muscular de sus isquiotibiales al realizar cuatro ejercicios distintos: el peso muerto, peso muerto unilateral, curl nórdico y curl con pelota, se usó electromiografía superficial para la obtención de estos datos. Se registro una mayor actividad del semimembranoso, semitendinoso y bíceps femoral en el curl nórdico que en los otros tres ejercicios y dentro de estos resultados obtuvieron que el semimembranoso tenía un nivel de activación significativamente menor que el semitendinoso y bíceps femoral durante el curl nórdico (51).

Otros estudios, como el de Remy Gérard et al. indican que este tipo de ejercicio también produce cambios específicos beneficiosos en la arquitectura de la porción larga del bíceps

femoral, estructura muscular que ya ha sido resaltada anteriormente, además de un aumento de fuerza excéntrica en el conjunto de la musculatura isquiotibial. Una de las ventajas de este tipo de entrenamiento es el aumento que produce en la longitud del fascículo muscular, dicho fenómeno se da gracias al mayor número de sarcómeros en serie y su actuación simultánea, permitiendo al músculo y sus estructuras alcanzar niveles de tensión a la vez que se aumenta la distancia entre origen e inserción. A su vez, el curl nórdico aumenta el tamaño y la fuerza muscular de la cabeza larga del bíceps femoral y reduce su ángulo de penación, este es el ángulo que configuran las fibras musculares respecto al eje de fuerza que produce el músculo. La capacidad del músculo para crear fuerza y la velocidad a la que se contraen se encuentran influenciadas por el ángulo de penación (52-58).

Hay extensa evidencia científica sobre los grandes beneficios del ejercicio de curl nórdico para la potenciación de la musculatura isquiotibial, pero no es una actividad específica para el baloncesto teniendo en cuenta las distintas facetas de este deporte y el trabajo regular que desempeñan sus jugadoras, las cuales, teniendo en cuenta la carga física de los entrenamientos y partidos, deben de tener directrices de preparación física que tengan en cuenta la fatiga.

La fatiga tiene efectos sobre las jugadoras de baloncesto en el momento de desarrollar tareas básicas de su actividad, afectando al control postural y el posicionamiento del tren inferior, como el aumento de la rotación interna y del ángulo de valgo de la rodilla al aterrizar con un apoyo monopodal tras un salto, dos de los principales factores para aumentar la tensión al LCA (59,60). A su vez, la fatiga también produce alteraciones a nivel neural e influye en las respuestas reflejas, en el estudio de Behrens et al. realizaron mediciones de traslación tibial y respuesta refleja muscular de los isquiotibiales antes y después de un protocolo de fatiga, dando lugar a un aumento de traslación tibial tanto en hombres como en mujeres y una demora en la respuesta muscular de éstas. La traslación tibial aumentó significativamente tras el protocolo de fatiga en mujeres comparando con hombres y la respuesta de activación de la musculatura se vio retardada en el bíceps femoral y la musculatura isquiotibial medial excepto en el intervalo de 40-60 ms en el semitendinoso y semimembranoso, siendo mas significativo este cambio en el primer intervalo de activación de 20-40 ms en ambas partes musculares. El aumento de la latencia de activación de la musculatura isquiotibial junto con la reducción de magnitud de dicha respuesta y el aumento de la traslación tibial en mujeres, hacen que una fatiga excesiva en esta musculatura sea peligrosa para la integridad de la articulación de la rodilla y del LCA (25).

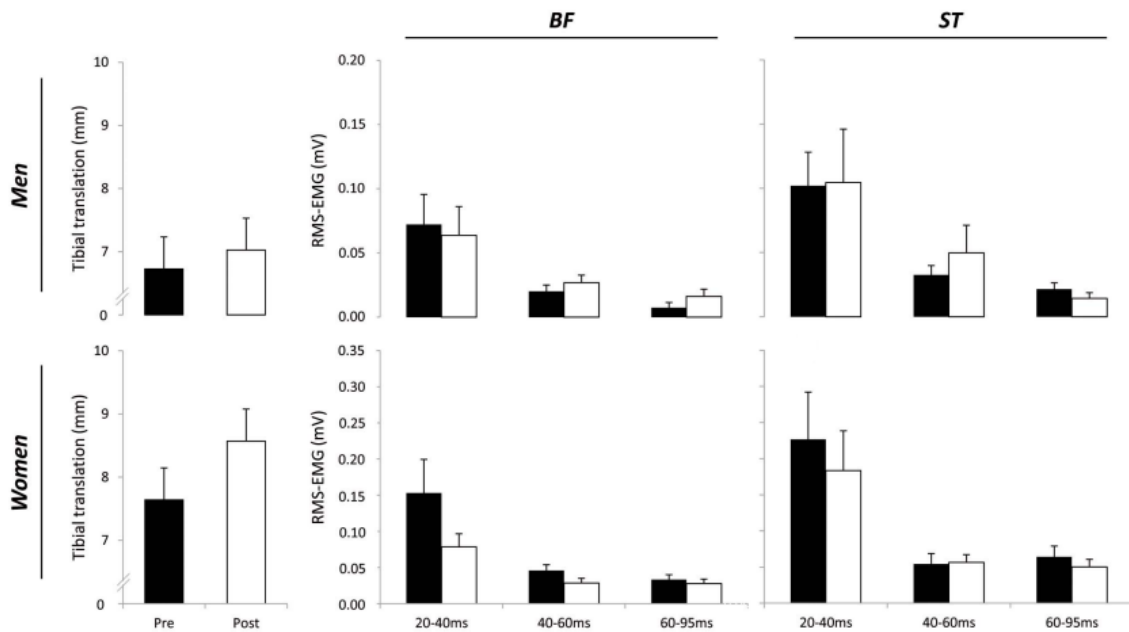


Figura 6: comparación entre hombres y mujeres de la traslación tibial y la respuesta muscular en intervalos de tiempo antes y después de un protocolo de fatiga (BF: bíceps femoral, ST: semitendinoso y semimembranoso).

Fuente: Behrens M, Mau-Moeller A, Wassermann F, Bruhn S. Effect of Fatigue on Hamstring Reflex Responses and Posterior-Anterior Tibial Translation in Men and Women. PLoS One 2013 February 27;8(2):e56988.

Otros estudios también corroboran el factor de que la fatiga afecta al tiempo de respuesta de la contracción muscular de los isquiotibiales, principalmente de la musculatura isquiotibial medial, el bíceps femoral, en la actividad de aterrizar de un salto para poder hacer frente a las fuerzas que implementan otros músculos que rodean a la articulación de la rodilla, a su vez, se redujo la propiocepción y principalmente la habilidad de reconocer el movimiento de la rodilla yendo a extensión (24).

Sampled Muscle	Group	Pretreatment (ms)*	Posttreatment (ms)
Vastus medialis	Female	39.20 ± 56.66	51.97 ± 113.53
	Male	30.60 ± 51.98	24.18 ± 36.46
Vastus lateralis	Female	40.51 ± 28.21	36.27 ± 19.85
	Male	52.94 ± 70.59	29.77 ± 32.17
Medial hamstring	Female	175.57 ± 108.56	308.60 ± 179.47
	Male	182.44 ± 91.88	277.65 ± 146.14
Lateral hamstring	Female	187.01 ± 133.19	243.36 ± 184.09
	Male	217.63 ± 108.95	298.94 ± 227.28
Medial gastrocnemius	Female	241.10 ± 141.57	120.85 ± 111.48
	Male	289.09 ± 177.96	300.28 ± 163.79
Lateral gastrocnemius	Female	193.90 ± 155.33	265.82 ± 128.22
	Male	144.19 ± 98.58	242.79 ± 189.57

Tabla 5: tiempo de primera contracción muscular al aterrizar de un salto

Fuente: Rozzi SL, Lephart SM, Fu FH. Effects of muscular fatigue on knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female athletes. *J Athl Train* 1999 -04;34(2):106–114.

La fatiga afecta a los músculos, respuesta nerviosa y puede incluso crear daño muscular en los isquiotibiales como investigaron Carsten Schwiete et al. quienes dividieron a los sujetos de su estudio en tres grupos: individuos con fatiga muscular aguda realizando ejercicio excéntrico, fatiga muscular residual junto con ejercicio excéntrico e individuos sin fatiga realizando ese tipo de ejercicio. Los tres grupos fueron sometidos a un protocolo de trabajo que provocaba daño muscular, resultando que el trabajo excéntrico del grupo de fatiga aguda fue significativamente menor que el de la residual y el de no fatiga, al final de la investigación se dieron cuenta que los tres grupos obtuvieron resultados de daño muscular similares, pero el grupo de fatiga muscular aguda realizó menos trabajo excéntrico que los participantes de los otros dos grupos para llegar al mismo nivel de daño muscular. Carsten Schwiete et al. ratificaron conclusiones de estudios anteriores como el de Wilmes et al. Cohen et al. o Coratella et al., los cuales concluyeron que la fatiga aguda de los isquiotibiales hace que esta musculatura sea más susceptible al daño muscular creado por el ejercicio (61-64).

Al ser un ejercicio tan potente, la repetición del curl nórdico provoca fatiga aguda en la musculatura isquiotibial y produce cambios estructurales y morfológicos como rigidez inmediatamente después de realizar el ejercicio hasta el transcurso de una hora de éste, siendo la rigidez significativamente mayor en la cabeza larga del bíceps femoral que en el semitendinoso y siendo éste el que más se fatiga comparado con el semitendinoso (65). Al recibir estos músculos dicha fatiga, pierden fuerza y capacidad de contracción, lo que sería desventajoso a la hora de necesitar esta musculatura preparada para la actividad principal que es el baloncesto (66).

Existen otros tipos de entrenamiento interesantes como el uso de gomas elásticas, este tipo de entrenamiento ha demostrado sus beneficios principalmente en un incremento de la potencia muscular, esta es resultante del producto entre fuerza y velocidad, es decir, la potencia es la fuerza requerida para desplazar un objeto a cierta velocidad.

Distintos estudios afirman que el entrenamiento con gomas elásticas ha dado resultados en crecimiento del volumen muscular, mejoras en el cambio de dirección, saltos, sprints continuados y aumento tanto en fuerza como en potencia muscular, a su vez aseguran efectos crónicos beneficiosos en relación con la fuerza (67). Este trabajo produce una mejor fuerza a lo largo de un rango de movimiento más amplio, una fuerza a lo largo de un periodo de tiempo más extenso y velocidades de contracción mayores debido a las posibilidades que otorgan las gomas elásticas de entrenar en una variabilidad de velocidades mayor que el entrenamiento convencional, además, tiene un mayor efecto en la fuerza muscular máxima debido a los mecanismos neuronales que sufren adaptaciones en cuanto a la activación de unidades motoras y su sincronización, debido a los incrementos en cuanto a potencia muscular (68-70).

El trabajo con gomas elásticas a alta velocidad aumenta la fuerza en la musculatura isquiotibial, además de aumentar la fuerza en la flexión de rodilla a alta velocidad y frecuencia de movimiento significativamente, incorporando este tipo de entrenamiento se puede incrementar la frecuencia de extensión de rodilla en un 12% y la del movimiento de flexión en un 31%, adicionalmente, este tipo de entrenamiento demuestra mejoras significativas en los momentos de fuerza máximos de los isquiotibiales en movimiento de flexión de rodilla concéntrico a 450°/s y excéntrico a 240°/s que siguiendo un entrenamiento tradicional (71).

por otra parte, el entrenamiento convencional tiene distintos beneficios como la mejora de fuerza a velocidades bajas o moderadas, como el caso del ejercicio del curl nórdico. El cuerpo responde con adaptaciones al tipo de entrenamiento que se realice, el entrenamiento a baja velocidad con alta resistencia (curl nórdico) beneficiará el desarrollo de fuerza y masa muscular mientras que el entrenamiento de baja resistencia a altas velocidades incrementa la potencia muscular (72-74). Las adaptaciones neuromusculares surgen según los estímulos del entrenamiento, es por esto por lo que el trabajo con gomas a alta velocidad mejora de forma general la fuerza, pero específicamente la velocidad y fuerza de contracción de las fibras musculares (75).

Las gomas elásticas ofrecen una resistencia creciente a lo largo del rango de movimiento, esta es una de las razones por las que la velocidad de movimiento y potencia aumentan, a su vez, otro beneficio muy importante de este tipo de trabajo es una menor sensación de esfuerzo percibida comparado con el trabajo de pesas o curl nórdico, lo que ofrece la posibilidad de

realizar un número de repeticiones más elevado sin llegar al punto de fatiga muscular explicado anteriormente.

Alessandro Del Vecchio et al. analizaron la relación que existe entre las motoneuronas y el desarrollo de fuerza relacionado con la velocidad. Cuando ocurre una contracción rápida, las motoneuronas son reclutadas en una pequeña ráfaga y comienzan a descargar a frecuencias altas, mayor número de descargas por motoneurona por segundo se encuentra asociado a un reclutamiento más rápido de unidades motoras, lo que desencadena una mayor tasa de desarrollo de fuerza máximo. Cuando el sistema nervioso central requiere velocidad máxima, instiga un estímulo sináptico a las motoneuronas estipulando un reclutamiento rápido y una alta tasa de descarga y una mayor tasa de descarga de unidad motora se halla asociada con variables de fuerza explosiva. La velocidad de conducción de las fibras musculares y la velocidad de reclutamiento de la unidad motora están asociadas con la tasa de desarrollo de fuerza, por lo que la habilidad de una persona de efectuar contracciones de fuerza rápidas radica en la velocidad de reclutamiento de las motoneuronas y la tasa máxima de descarga de unidad motora, además, los inputs sinápticos que reciben las motoneuronas previo a que la fuerza sea producida decreta la habilidad para generar fuerza rápidamente (76).

Sigitas Kamandulis et al. quisieron comprobar los efectos de la inclusión del entrenamiento con gomas elásticas a alta velocidad en jugadores de baloncesto. Durante 5 semanas dividieron a los sujetos en dos grupos, uno realizaba la preparación física habitual y el otro grupo además trabajaba con gomas elásticas a alta velocidad, el ejercicio consistía en realizar una flexión de rodilla desde la posición de decúbito prono a máxima velocidad durante cuatro segundos. Se realizaron mediciones de EMG en el semitendinoso y la cabeza larga del bíceps al igual que se midió la frecuencia de movimiento y la fuerza con un dinamómetro a 60°/s y 240°/s. El movimiento de flexión de rodilla aumentó un 25.7%, de  $9.0 \pm 1.9$  a  $11.2 \pm 2.4$  durante 4 segundos, la fuerza aumentó un 21.5% a velocidades bajas y un 25.8 a velocidades altas. Estas mejoras en frecuencia de movimiento y fuerza resultaron a su vez en una mejora en el sprint y mejoras en el reclutamiento muscular de los isquiotibiales en los ciclos de flexión – extensión, este tipo de entrenamiento afectó al control neural reclutando precozmente unidades motoras y aumentando los envíos de impulsos a altas frecuencias como también confirmó en su estudio Alessandro Del Vecchio et al., a su vez se vio un aumento en la actividad muscular antagonista lo que mejoró la cooperación entre músculos, todos estos factores son muy importantes y beneficiosos a la hora de desempeñar tareas a alta velocidad (77).

Por estas razones creo muy beneficioso combinar la preparación física habitual en baloncesto con el trabajo con gomas elásticas realizándolo a alta velocidad y de forma excéntrica, ya que durante el desarrollo del baloncesto las contracciones musculares a la



hora de aterrizar de un salto, cambiar de dirección, llevar a cabo aceleraciones o deceleraciones abruptas se dan a velocidades altas, las cuales debemos practicar para que las habilidades adquiridas en la preparación física sean trasladables a la actividad del baloncesto y de esta forma hacer del ejercicio uno funcional para las especificidades de nuestro deporte.

## 2. Evaluación de la evidencia

Para poder realizar el trabajo, se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica en bases de datos científicas como Pubmed y Google Académico. Se usaron palabras clave y también booleanos como “AND”, “OR” y “NOT” para mejorar la búsqueda. En la gran mayoría de casos se usaron filtros para recabar artículos de los últimos 10 y 5 años.

Las palabras clave utilizadas son: basketball, hamstrings, injury, ACL injury, eccentric training, nordic hamstring exercise, strength, elastic band, high velocity.

<b>Término libre (español)</b>	<b>Términos DeCS</b>	<b>Término libre (inglés)</b>
	Baloncesto	Basketball
Isquiotibiales		Hamstrings
Lesión		Injury
Lesión LCA		ACL injury
Isquiotibiales		Hamstrings
Excéntrico		Eccentric
	Fuerza	Strength
Goma elástica		Elastic band
Alta velocidad		High velocity

Table 6: términos utilizados en la búsqueda (elaboración propia)

Posteriormente, se hace uso de combinaciones de estos términos para desarrollar una estrategia de búsqueda en la base de datos Pubmed, en la cual se encontraron 143 artículos de los cuales se emplearon 80, siendo el número total de artículos del estudio N=80.

<b>Estrategia de búsqueda</b>	<b>Nº artículos encontrados</b>	<b>Nº artículos descartados</b>	<b>Nº artículos empleados</b>
Basketball AND injury	41	21	20
Hamstrings AND basketball AND ACL injury	22	9	13
Nordic Hamstring exercise AND injury	16	5	11
Eccentric AND strength	29	13	16
High velocity AND strength	18	6	12
Elastic band AND strength	11	6	5
Elastic band AND high velocity AND strength	5	2	3
	Total = 142	Total = 62	Total = 80

Tabla 7: estrategias de búsqueda en Pubmed (elaboración propia)

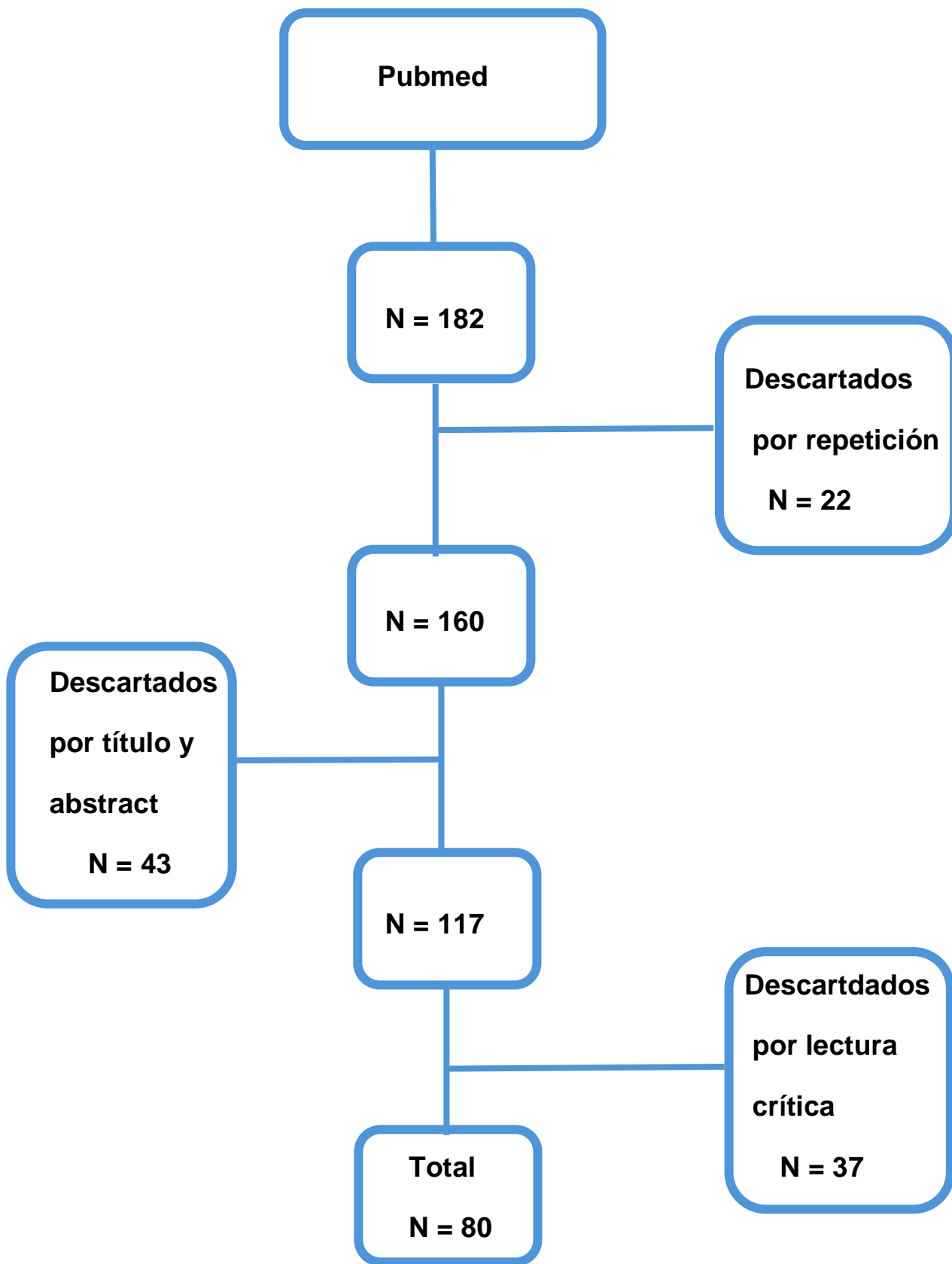


Tabla 8: diagrama de flujo (elaboración propia)

### **3. Objetivos del estudio**

#### **Objetivo general:**

Valorar la eficacia del trabajo a alta velocidad con gomas elásticas junto al tratamiento habitual de fisioterapia en jugadoras profesionales de baloncesto frente al curl nórdico junto al tratamiento habitual de fisioterapia en jugadoras de baloncesto sobre la variación de fuerza de la musculatura isquiotibial.

#### **Objetivos específicos:**

- Valorar la eficacia del trabajo a alta velocidad con gomas elásticas junto al tratamiento habitual de fisioterapia en jugadoras profesionales de baloncesto frente al curl nórdico junto al tratamiento habitual de fisioterapia en jugadoras de baloncesto en relación con la kinesiofobia.
- Valorar la eficacia del trabajo a alta velocidad con gomas elásticas junto al tratamiento habitual de fisioterapia en jugadoras profesionales de baloncesto frente al curl nórdico junto al tratamiento habitual de fisioterapia en jugadoras de baloncesto en relación con el bienestar psicológico en la actividad física.

#### **4. Hipótesis**

El trabajo a alta velocidad con gomas elásticas junto al tratamiento habitual de fisioterapia es más eficaz frente al tratamiento habitual de fisioterapia junto al curl nórdico para el aumento de fuerza de la musculatura isquiotibial en jugadoras de baloncesto.

## 5. Metodología

### 5.1 Diseño

Se determina un estudio analítico experimental prospectivo con relación a dos grupos de estudio. Se realizará una comparación de medias no relacionadas entre dichos grupos.

El grupo A llevará a cabo el ejercicio nórdico de isquiotibiales dentro de su rutina habitual de preparación física, mientras que el grupo B realizará trabajo a alta velocidad con gomas elásticas incluido a su vez en su preparación física habitual. A los participantes de ambos grupos se les harán medidas de fuerza en la musculatura isquiotibial con el uso de un dinamómetro.

Los participantes serán organizados en los dos grupos dividiéndolos de manera aleatoria usando una opción de generación espontánea de números aleatorios en el programa Microsoft Excel, de manera que los participantes que obtengan un número impar pertenecerán al grupo A y aquellos que obtengan un número par lo harán en el B.

No existe la posibilidad de cegar a los participantes ni a los fisioterapeutas en este estudio debido a que van a ser conocedores del ejercicio que van a desempeñar para poder llevar a cabo la investigación, en cambio, sí se podrá cegar al experto estadístico que analizará los datos obtenidos del estudio, éste no será consciente de si los participantes pertenecen al grupo A o al grupo B.

A todos los participantes se les hará entrega de una hoja con el consentimiento informado (Anexo 2) indicándoles en qué consiste el estudio y las actividades que han de llevar a cabo. Con el objetivo de mantener el anonimato de los participantes y de acotar el acceso a los datos del equipo del estudio, siguiendo la Ley Orgánica 3/2018 del 5 de diciembre de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales, habrá dos bases de datos manteniendo el anonimato, una conteniendo los datos personales (Anexo 3) de los participantes y la otra únicamente con el número de identificación de los participantes y sus datos obtenidos del estudio (Anexo 4).

Asimismo, se rogará la aprobación del Comité Ético de Investigación Clínica (CEIC) cuya función es la de supervisar los puntos éticos importantes para ser capaz de desarrollar un trabajo de investigación con personas siempre y cuando se realice llevando a cabo un riguroso respeto y cumplimiento de los derechos de los participantes.

## 5.2 Sujetos de estudio

- **Población diana:** jugadoras de baloncesto amateur federadas entre los 15 y 30 años
- **Población de estudio:** jugadoras de baloncesto amateur federadas entre los 15 y 30 años que cumplan los criterios de inclusión.
- **Criterios de inclusión:** los participantes del estudio deben cumplir los siguientes requisitos para poder formar parte:
  - Jugadoras de baloncesto amateur federadas con edades dentro del intervalo entre los 15 y 30 años.
  - Entrenar al menos tres veces a la semana.
- **Criterios de exclusión:** las características que no permiten formar parte del estudio:
  - Jugadoras que hayan sufrido una lesión de LCA en el último año.
  - Jugadoras que hayan sufrido una lesión de la musculatura isquiotibial en el último año.
  - Cualquier condición tanto cognitiva como física que impida al participante desarrollar las tareas del estudio.
- **Muestra y determinación del tamaño muestral:**

Haremos uso de la siguiente fórmula para calcular el tamaño muestral:

$$2K(SD)^2/d^2$$

En la que:

  - K: contante obtenida de la tabla que se muestra a continuación.
  - SD: desviación típica.
  - d: precisión.

	Nivel de significación ( $\alpha$ )		
Poder estadístico (1- $\beta$ )	5%	1%	0.10%
80%	7.8	11.7	17.1
90%	10.5	14.9	20.9
95%	13	17.8	24.3
99%	18.4	24.1	31.6

Tabla 9: relación entre el poder estadístico y nivel de significación (elaboración propia)

Para poder tener a disposición el resultado del cálculo muestral se van a obtener los datos que faltan de la fórmula mediante la información del estudio de Mateo et al. (78)

Tras haber realizado el cálculo de la ecuación con un poder estadístico del 95% y un nivel de significación del 5% el valor de “n” ha sido de 205.66, redondeando da lugar a un total de n=206. A esta muestra se le añadirá un 15% que corresponde a las posibles pérdidas de participantes para que, si la situación se diese, no afecte al estudio. Con lo cual, el total será de 237 participantes en cada grupo, haciendo de esta forma que el estudio en su globalidad conste de 474 participantes.

### 5.3 Variables

Variable	Tipo de variable	Unidad de medida	Herramienta de medición
Momento de fuerza	Cuantitativa Continua	Newton/metro (N/m)	Dinamómetro
Kinesiofobia	Cualitativa Ordinal	11-44	Escala Tampa de kinesiofobia (TSK-11)
Bienestar psicológico en la actividad física	Cualitativa Ordinal	40-240	Escala PWBPA

Tabla 10: variables (elaboración propia)

- Bienestar psicológico en la actividad física: variable cualitativa ordinal, se mide con la escala PWBPAS. Es una escala basada en la teoría de Ryff y en la definición de Piñero et al de bienestar psicológico. La escala contaba con 51 ítems tipo Likert de 4 puntos y finalmente se redujo a 40 ítems con 6 dimensiones, dando puntuaciones de 40 a 240 (79).
- Kinesiofobia: variable cualitativa ordinal, se mide con la Escala Tampa de kinesiofobia. Originalmente se trata de una escala de 17 ítems tipo Likert de 4 puntos, pero haremos uso de la versión reducida de 11 ítems, dando puntuaciones de 11 a 44 (80).
- Fuerza: variable cuantitativa continua, se mide con un dinamómetro.



## 5.4 Hipótesis operativa

### Fuerza:

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): el trabajo a alta velocidad con gomas elásticas junto al tratamiento habitual de fisioterapia no produce diferencias significativas frente al curl nórdico junto al tratamiento habitual de fisioterapia para la variación de fuerza de la musculatura isquiotibial en jugadoras de baloncesto.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): el trabajo a alta velocidad con gomas elásticas junto al tratamiento habitual de fisioterapia produce diferencias significativas frente al curl nórdico junto al tratamiento habitual de fisioterapia para la variación de fuerza de la musculatura isquiotibial en jugadoras de baloncesto.

### Kinesiofobia:

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): el trabajo a alta velocidad con gomas elásticas junto al tratamiento habitual de fisioterapia no produce diferencias significativas frente al curl nórdico junto al tratamiento habitual de fisioterapia con relación a la kinesiofobia en jugadoras de baloncesto.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): el trabajo a alta velocidad con gomas elásticas junto al tratamiento habitual de fisioterapia produce diferencias significativas frente al curl nórdico junto al tratamiento habitual de fisioterapia con relación a la kinesiofobia en jugadoras de baloncesto.

### Bienestar psicológico en la actividad deportiva:

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): el trabajo a alta velocidad con gomas elásticas junto al tratamiento habitual de fisioterapia no produce diferencias significativas frente al curl nórdico junto al tratamiento habitual de fisioterapia con relación al bienestar psicológico en la actividad deportiva en jugadoras de baloncesto.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): el trabajo a alta velocidad con gomas elásticas junto al tratamiento habitual de fisioterapia produce diferencias significativas frente al curl nórdico junto al tratamiento habitual de fisioterapia con relación al bienestar psicológico en la actividad deportiva en jugadoras de baloncesto.

## 5.5 Recogida, análisis de datos, contraste de la hipótesis

Los datos de los participantes van a ser acopiados durante las entrevistas por parte del investigador principal del estudio durante la cual se les pedirá que completen y firmen las hojas con los datos personales y el consentimiento informado (Anexo 2 y 3). En estos documentos estará indicado cada participante con un número para que sea posible tanto su identificación como su anonimato. Los datos de la prueba de dinamometría van a ser recogidos por el investigador principal y su equipo durante la medición inicial. Cuando los datos hayan sido obtenidos, el experto analista del equipo de investigación se hará cargo de su correspondiente análisis.

Este análisis se compone de dos partes distintas:

**Análisis descriptivo:** describirá las características de la población mediante el análisis de los datos de las variables. Se analizarán las medidas de tendencia central (la media, la mediana y la moda) y las medidas de tendencia de dispersión (desviación típica, rango, varianza y coeficiente de variación), por otro lado, se analizará la frecuencia absoluta, relativa y porcentaje de las variables cualitativas.

**Análisis inferencial:** se realiza un contraste de hipótesis bilateral de las posibles diferencias de las variables dependientes entre la medición inicial y final. Tanto en el grupo A como en el B, se obtendrá la diferencia entre las medias resultantes de las mediciones pretratamiento y postratamiento de cada variable dependiente para que de esta forma sea posible obtener la variable diferencia y llevar a cabo la comparación de medias de muestras no relacionadas mediante la comparación de los grupos A y B de la variable diferencia de cada variable.

Se realiza la prueba de Kolmogorov-Smirnov para poder determinar el comportamiento de la muestra y determinar si ésta se haya dentro de los rangos de normalidad de las variables.

A su vez, se realiza el test de Levene de homogeneidad de varianzas para determinar la homogeneidad de nuestra muestra.

- Si realizando estas dos pruebas obtenemos un valor de  $p$  mayor a 0.05, indicara que sí se cumple el principio de normalidad, con lo que haremos uso del test paramédico T-Student para muestras independientes.
- Si por el contrario obtenemos que  $p$  se corresponde a un valor menor a 0.05 significará que no se cumple el principio de homogeneidad ni de normalidad en la varianza de los grupos, por lo que usaremos el test no paramédico U de Maan Whitney para muestras independientes.

Según el valor de  $p$  en las pruebas previas:

- Si  $p$  es mayor que 0.05 podremos asegurar que no se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre el ejercicio nórdico de isquiotibiales y el trabajo a alta velocidad con goma elásticas, ya que las mediciones pretratamiento y postratamiento podrían ser causa del azar y no podremos rechazar la hipótesis nula.
- Si  $p$  es menor que 0.05 indicará que sí se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones pre y post, rechazando la hipótesis nula y afirmando sí existen diferencias significativas entre el ejercicio nórdico de isquiotibiales y el trabajo a alta velocidad con gomas elásticas

## **5.6 Limitaciones del estudio**

El estudio se ha visto restringido por ciertas limitaciones:

- Financiación:  
El estudio no tiene ningún tipo de apoyo económico y dificulta el acceso a las distintas fuentes de información disponibles y acceso a sistemas de medición, como el caso del dinamómetro o de la escala PWBPA.
- Tiempo:  
El diseño del estudio estaba acotado a los tiempos impuestos por la universidad para su entrega por lo que no ha sido posible una búsqueda de información más extensa e íntegra.
- Tamaño muestral:  
El tamaño muestral obtenido es relativamente alto y requeriría del equipo investigador una gran dedicación pese a no estar financiado.

## **5.7 Equipo investigador**

El equipo investigador constará de:

- Investigador principal: Sergio Moreno Salvador, fisioterapeuta colegiado graduado en la Universidad Pontificia de Comillas
- Equipo de cuatro fisioterapeutas con formación en biomecánica instrumental y fisioterapia deportiva para las mediciones del estudio.
- Experto analista para el desarrollo del análisis de los datos obtenidos en el estudio.

## **6. Plan de trabajo**

### **6.1 Diseño de la intervención**

Se lleva a cabo el diseño y la redacción del proyecto que se quiere desarrollar. Para poder dar inicio al proyecto, previamente el Comité de Investigación Clínica tiene que prestar su aprobación.

Una vez pasado este filtro, el investigador principal reclutará al equipo investigador que realizará el estudio, compuesto por cinco fisioterapeutas formados en biomecánica instrumental y fisioterapia deportiva y el experto analista, una vez formado el equipo, se reunirán para que cada uno de los miembros tenga interiorizada la investigación y la función que tendrá que llevar a cabo en el estudio.

A continuación, se contactará con el presidente y el director deportivo del Club Baloncesto Estudiantes para poder hacer uso de sus instalaciones y promover el estudio dentro del club y sus múltiples equipos femeninos para llegar al número de participantes necesario.

A las jugadoras que hayan querido formar parte del proyecto, se les reunirá en el Polideportivo Antonio Magariños para el desarrollo de las entrevistas a las participantes y la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión del estudio. Una vez se hayan reunido todas las jugadoras necesarias para el proyecto, se les entregará la hoja de consentimiento informado para firmarla junto a la de datos personales. En este punto ya se habrán recabado todos los documentos pertinentes y el próximo paso será el de numerar a todas las participantes del estudio con el objetivo de conseguir su anonimato. Estos números serán incluidos por el experto analista en su programa de Microsoft Excel para su aleatorización y asignación en grupos A (impares) y B (pares).

Una vez recabada toda esta información necesaria, ha de haber una planificación de tiempo para realizar la medición inicial de las participantes y la explicación del proyecto.

La fuerza va a ser medida usando la herramienta del dinamómetro, el bienestar psicológico en la actividad física con la escala PWBPA y la kinesiofobia con la escala TSK-11.

La fuerza, el bienestar psicológico en la actividad física y la kinesiofobia serán medidos con sus respectivas herramientas en el mes de enero (pretratamiento) y en el mes de mayo (postratamiento).

Las variables de bienestar psicológico en la actividad física y kinesiofobia se medirán con las escalas previamente mencionadas que consisten en una lista de ítems (Anexo 5 y 6), la fuerza se medirá con un dinamómetro durante el movimiento de flexión de rodilla a 180°/s. Lo que se busca con el estudio es comprobar la fuerza conseguida mediante cada uno de los ejercicios

que realizan ambos grupos transferible al baloncesto, por eso se escogen los parámetros de 180°/s al tratarse de alta velocidad, no escogeremos la opción de realizar las pruebas a 240°/s ya que podría ser lesivo para las participantes. Se realizarán 3 repeticiones distintas y el resultado obtenido de la prueba será la media de estas.

El ejercicio de isquiotibiales a alta velocidad con gomas elásticas se incluirá dos veces por semana en su rutina normal de entrenamiento previo al trabajo de baloncesto en pista, siguiendo los protocolos de trabajo con gomas elásticas y trabajo de curl excéntrico de isquiotibiales de Santos et al. y Grazioli et al. (81,82) (Anexo 7).

Una vez pasados los 3 meses de la intervención, las participantes volverán a acudir al Polideportivo Antonio Magariños para pasar las mismas mediciones que realizaron en el mes de enero. Una vez obtenidos los datos de las mediciones, el experto analista del equipo de investigación llevará a cabo el análisis estadístico de los resultados obtenidos y posteriormente se elaborarán las conclusiones del estudio y su consecuente discusión.

## 6.2 Etapas de desarrollo

TAREAS	CALENDARIO
Diseño y redacción del proyecto de investigación	Septiembre de 2025
Consentimiento del CEIC	Febrero de 2025
Decisión y asignación de funciones del equipo investigador	Mayo de 2025
Contacto con el Club Baloncesto Estudiantes	Septiembre de 2025
Medición inicial	Enero de 2026
Medición final	Mayo de 2026
Recogida de datos y análisis	Junio de 2026
Redacción y conclusión	Agosto de 2026

Tabla 11: etapas de desarrollo del proyecto de investigación (elaboración propia)

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

La función del investigador principal será la del diseño del proyecto, formación del equipo de investigación, enrolamiento de las participantes, puesta en contacto con el club, explicación y aclaración de dudas tanto al equipo investigador como a las participantes, responsable de los temas legales y supervisor de todas las situaciones y circunstancias del proyecto.

En el equipo de fisioterapeutas, dos de ellos serán asignados al grupo A y los otros dos al grupo B y estarán a cargo de que se lleve a cabo una correcta ejecución de los dos tipos de ejercicios y su consecuente supervisión.

El experto analista reunirá la información extraída por los fisioterapeutas y desarrollará el análisis para las posteriores conclusiones del estudio.

### **6.4 Lugar de realización del proyecto**

El proyecto de investigación en su completo tendrá lugar en el Polideportivo Antonio Magariños, localizado junto al instituto público Ramiro de Maeztu en calle Serrano número 127, 28006, Madrid, para la realización tanto de las mediciones como de los ejercicios.



Figura 7: Polideportivo Antonio Magariños (Imágenes Google)



Figura 8: Ubicación Polideportivo Antonio Magariños (Google Maps)

## 7. Listado de referencias

1. Stojanović E, Stojiljković N, Scanlan AT, Dalbo VJ, Berkelmans DM, Milanović Z. The Activity Demands and Physiological Responses Encountered During Basketball Match-Play: A Systematic Review. *Sports Med* 2018 -01;48(1):111–135.
2. Šola M, Gregov C. Injury Epidemiology in the First Croatian Basketball League. *Kinesiology* 2021;53(1):162–171.
3. 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;48(6):810–817.
4. Prodromos CC, Han Y, Rogowski J, Joyce B, Shi K. A Meta-analysis of the Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears as a Function of Gender, Sport, and a Knee Injury–Reduction Regimen. *Arthroscopy* 2007 -12-01;23(12):1320–1325.e6.
5. Morris SN, Chandran A, Lempke LB, Boltz AJ, Robison HJ, Collins CL. Epidemiology of Injuries in National Collegiate Athletic Association Men's Basketball: 2014-2015 Through 2018-2019. *J Athl Train* 2021 -07-01;56(7):681–687.
6. Lempke LB, Chandran A, Boltz AJ, Robison HJ, Collins CL, Morris SN. Epidemiology of Injuries in National Collegiate Athletic Association Women's Basketball: 2014-2015 Through 2018-2019. *J Athl Train* 2021 July 01;56(7):674–680.
7. Baker H, Rizzi A, Athiviraham A. Injury in the Women's National Basketball Association (WNBA) From 2015 to 2019. *ASMAR* 2020 June 1;2(3):e213–e217.
8. Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Ménétrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006 -03;14(3):204–213.
9. Morales-Avalos R, Torres-González EM, Padilla-Medina JR, Monllau JC. [Artículo traducido] Anatomía del LAC: ¿queda algo por aprender? *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología* 2024 -07-01;68(4):T422–T427.
10. Amis AA, Dawkins GP. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg Br* 1991 -03;73(2):260–267.
11. Shin CS, Chaudhari AM, Andriacchi TP. Valgus plus internal rotation moments increase anterior cruciate ligament strain more than either alone. *Med Sci Sports Exerc* 2011 -08;43(8):1484–1491.
12. Kiapour AM, Demetropoulos CK, Kiapour A, Quatman CE, Wordeman SC, Goel VK, et al. Strain Response of the Anterior Cruciate Ligament to Uniplanar and Multiplanar Loads During Simulated Landings: Implications for Injury Mechanism. *Am J Sports Med* 2016 -08;44(8):2087–2096.
13. Oh YK, Lipps DB, Ashton-Miller JA, Wojtys EM. What strains the anterior cruciate ligament during a pivot landing? *Am J Sports Med* 2012 -03;40(3):574–583.



14. Markolf KL, Burchfield DM, Shapiro MM, Shepard MF, Finerman GA, Slauterbeck JL. Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *J Orthop Res* 1995 -11;13(6):930–935.
15. Koga H, Nakamae A, Shima Y, Iwasa J, Myklebust G, Engebretsen L, et al. Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sports Med* 2010 -11;38(11):2218–2225.
16. Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, Engebretsen L, Smith G, Slauterbeck JR, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *Am J Sports Med* 2007 -03;35(3):359–367.
17. Waldén M, Krosshaug T, Bjørneboe J, Andersen TE, Faul O, Häggglund M. Three distinct mechanisms predominate in non-contact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: a systematic video analysis of 39 cases. *Br J Sports Med* 2015 -11;49(22):1452–1460.
18. Koga H, Nakamae A, Shima Y, Iwasa J, Myklebust G, Engebretsen L, et al. Mechanisms for Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries: Knee Joint Kinematics in 10 Injury Situations From Female Team Handball and Basketball. *Am J Sports Med* 2010;38(11):2218–2225.
19. Butler DL, Noyes FR, Grood ES. Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am* 1980 -03;62(2):259–270.
20. Ueno R, Navacchia A, Schilaty ND, Myer GD, Hewett TE, Bates NA. Hamstrings Contraction Regulates the Magnitude and Timing of the Peak ACL Loading During the Drop Vertical Jump in Female Athletes. *Orthop J Sports Med* 2021 September 29;9(9):23259671211034487.
21. Mouriño-Cabaleiro A, Vila H, Saavedra-García MA, Fernández-Romero JJ, Mouriño-Cabaleiro A, Vila H, et al. Los Músculos Isquiosurales y su Capacidad Profiláctica sobre la Translación Tibial Anterior en Lesión de Ligamento Cruzado Anterior: Una Revisión Sistemática. *International Journal of Morphology* 2023 08;41(4):1009–1014.
22. Maniar N, Cole MH, Bryant AL, Opar DA. Muscle Force Contributions to Anterior Cruciate Ligament Loading. *Sports Med* 2022 -08;52(8):1737–1750.
23. Ramesh R, Von Arx O, Azzopardi T, Schranz PJ. The risk of anterior cruciate ligament rupture with generalised joint laxity. *J Bone Joint Surg Br* 2005 -06;87(6):800–803.
24. Rozzi SL, Lephart SM, Fu FH. Effects of muscular fatigue on knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female athletes. *J Athl Train* 1999 -04;34(2):106–114.
25. Behrens M, Mau-Moeller A, Wassermann F, Bruhn S. Effect of Fatigue on Hamstring Reflex Responses and Posterior-Anterior Tibial Translation in Men and Women. *PLoS One* 2013 February 27;8(2):e56988.
26. Renström P, Arms SW, Stanwyck TS, Johnson RJ, Pope MH. Strain within the anterior cruciate ligament during hamstring and quadriceps activity. *Am J Sports Med* 1986;14(1):83–87.

27. Li G, Rudy TW, Sakane M, Kanamori A, Ma CB, Woo SL-. The importance of quadriceps and hamstring muscle loading on knee kinematics and in-situ forces in the ACL. *Journal of Biomechanics* 1999 -04-01;32(4):395–400.
28. Blackburn JT, Norcross MF, Cannon LN, Zinder SM. Hamstrings Stiffness and Landing Biomechanics Linked to Anterior Cruciate Ligament Loading. *J Athl Train* 2013 June 14.
29. Victor J, Labey L, Wong P, Innocenti B, Bellemans J. The influence of muscle load on tibiofemoral knee kinematics. *J Orthop Res* 2010 -04;28(4):419–428.
30. Markolf KL, O'Neill G, Jackson SR, McAllister DR. Effects of applied quadriceps and hamstrings muscle loads on forces in the anterior and posterior cruciate ligaments. *Am J Sports Med* 2004;32(5):1144–1149.
31. Maniar N, Schache AG, Pizzolato C, Opar DA. Muscle contributions to tibiofemoral shear forces and valgus and rotational joint moments during single leg drop landing. *Scand J Med Sci Sports* 2020 -09;30(9):1664–1674.
32. Maniar N, Schache AG, Sritharan P, Opar DA. Non-knee-spanning muscles contribute to tibiofemoral shear as well as valgus and rotational joint reaction moments during unanticipated sidestep cutting. *Sci Rep* 2018 February 6;8:2501.
33. Markolf KL, O'Neill G, Jackson SR, McAllister DR. Effects of applied quadriceps and hamstrings muscle loads on forces in the anterior and posterior cruciate ligaments. *Am J Sports Med* 2004;32(5):1144–1149.
34. Nasser A, Lloyd DG, Bryant AL, Headrick J, Sayer TA, Saxby DJ. Mechanism of Anterior Cruciate Ligament Loading during Dynamic Motor Tasks. *Med Sci Sports Exerc* 2021 -06-01;53(6):1235–1244.
35. Lloyd DG, Buchanan TS, Besier TF. Neuromuscular Biomechanical Modeling to Understand Knee Ligament Loading. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2005 November;37(11):1939.
36. Weinhandl JT, Earl-Boehm JE, Ebersole KT, Huddleston WE, Armstrong BSR, O'Connor KM. Reduced hamstring strength increases anterior cruciate ligament loading during anticipated sidestep cutting. *Clin Biomech (Bristol)* 2014 -08;29(7):752–759.
37. Biscarini A, Botti FM, Pettorossi VE. Selective contribution of each hamstring muscle to anterior cruciate ligament protection and tibiofemoral joint stability in leg-extension exercise: a simulation study. *Eur J Appl Physiol* 2013 -09;113(9):2263–2273.
38. Guelich DR, Xu D, Koh JL, Nuber GW, Zhang L. Different roles of the medial and lateral hamstrings in unloading the anterior cruciate ligament. *Knee* 2016 -01;23(1):97–101.
39. Franchi MV, Reeves ND, Narici MV. Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. *Front Physiol* 2017 July 4;8:447.
40. Konow N, Roberts TJ. The series elastic shock absorber: tendon elasticity modulates energy dissipation by muscle during burst deceleration. *Proc Biol Sci* 2015 April 7;282(1804):20142800.

41. Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, McKinnon P, Shadgan B, et al. The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med* 2009 -08;43(8):556–568.
42. Jones EJ, Bishop PA, Woods AK, Green JM. Cross-sectional area and muscular strength: a brief review. *Sports Med* 2008;38(12):987–994.
43. Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Chronic Adaptations to Eccentric Training: A Systematic Review. *Sports Med* 2017 -05;47(5):917–941.
44. Brockett CL, Morgan DL, Proske U. Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med Sci Sports Exerc* 2001 -05;33(5):783–790.
45. Mjølunes R, Arnason A, Østhagen T, Raastad T, Bahr R. A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scand J Med Sci Sports* 2004 -10;14(5):311–317.
46. Petersen J, Thorborg K, Nielsen MB, Budtz-Jørgensen E, Hölmich P. Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men's soccer: a cluster-randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 2011 -11;39(11):2296–2303.
47. van der Horst N, Smits D, Petersen J, Goedhart EA, Backx FJG. The preventive effect of the nordic hamstring exercise on hamstring injuries in amateur soccer players: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 2015 -06;43(6):1316–1323.
48. Bourne MN, Duhig SJ, Timmins RG, Williams MD, Opar DA, Najjar AA, et al. Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring architecture and morphology: implications for injury prevention. *Br J Sports Med* 2017 /03/01;51(5):469–477.
49. Evangelidis PE, Shan X, Otsuka S, Yang C, Yamagishi T, Kawakami Y. Fatigue-induced changes in hamstrings' active muscle stiffness: effect of contraction type and implications for strain injuries. *Eur J Appl Physiol* 2023 -04;123(4):833–846.
50. Bourne MN, Timmins RG, Opar DA, Pizzari T, Ruddy JD, Sims C, et al. An Evidence-Based Framework for Strengthening Exercises to Prevent Hamstring Injury. *Sports Med* 2018 -02;48(2):251–267.
51. Guruhan S, Kafa N, Ecemis ZB, Guzel NA. Muscle Activation Differences During Eccentric Hamstring Exercises. *Sports Health* 2020 August 28;13(2):181–186.
52. Timmins RG, Ruddy JD, Presland J, Maniar N, Shield AJ, Williams MD, et al. Architectural Changes of the Biceps Femoris Long Head after Concentric or Eccentric Training. *Med Sci Sports Exerc* 2016 -03;48(3):499–508.
53. Seymore KD, Domire ZJ, DeVita P, Rider PM, Kulas AS. The effect of Nordic hamstring strength training on muscle architecture, stiffness, and strength. *Eur J Appl Physiol* 2017 -05;117(5):943–953.
54. Ribeiro-Alvares JB, Marques VB, Vaz MA, Baroni BM. Four Weeks of Nordic Hamstring Exercise Reduce Muscle Injury Risk Factors in Young Adults. *J Strength Cond Res* 2018 -05;32(5):1254–1262.

55. Potier TG, Alexander CM, Seynnes OR. Effects of eccentric strength training on biceps femoris muscle architecture and knee joint range of movement. *Eur J Appl Physiol* 2009 -04;105(6):939–944.
56. Bourne MN, Duhig SJ, Timmins RG, Williams MD, Opar DA, Al Najjar A, et al. Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring architecture and morphology: implications for injury prevention. *Br J Sports Med* 2017 -03;51(5):469–477.
57. Gérard R, Gojon Lé, Declève P, Van Cant J. The Effects of Eccentric Training on Biceps Femoris Architecture and Strength: A Systematic Review With Meta-Analysis. *J Athl Train* 2020;55(5):501–514.
58. Alonso-Fernandez D, Docampo-Blanco P, Martinez-Fernandez J. Changes in muscle architecture of biceps femoris induced by eccentric strength training with nordic hamstring exercise. *Scand J Med Sci Sports* 2018;28(1):88–94.
59. Borotikar BS, Newcomer R, Koppes R, McLean SG. Combined effects of fatigue and decision making on female lower limb landing postures: central and peripheral contributions to ACL injury risk. *Clin Biomech (Bristol)* 2008 -01;23(1):81–92.
60. Zhu A, Gao S, Huang L, Chen H, Zhang Q, Sun D, et al. Effects of Fatigue and Unanticipated Factors on Knee Joint Biomechanics in Female Basketball Players during Cutting. *Sensors (Basel)* 2024 July 22;24(14):4759. doi: 10.3390/s24144759.
61. Coratella G, Bellin G, Beato M, Schena F. Fatigue affects peak joint torque angle in hamstrings but not in quadriceps. *J Sports Sci* 2015;33(12):1276–1282.
62. Wilmes E, DE Ruiter CJ, Bastiaansen BJC, Goedhart EA, Brink MS, VAN DER Helm FCT, et al. Associations between Hamstring Fatigue and Sprint Kinematics during a Simulated Football (Soccer) Match. *Med Sci Sports Exerc* 2021 -12-01;53(12):2586–2595.
63. Cohen DD, Zhao B, Okwera B, Matthews MJ, Delextrat A. Angle-specific eccentric hamstring fatigue after simulated soccer. *Int J Sports Physiol Perform* 2015 -04;10(3):325–331.
64. Schwiete C, Roth C, Skutschik C, Möck S, Rettenmaier L, Happ K, et al. Effects of muscle fatigue on exercise-induced hamstring muscle damage: a three-armed randomized controlled trial. *Eur J Appl Physiol* 2023 -11;123(11):2545–2561.
65. Evangelidis PE, Shan X, Otsuka S, Yang C, Yamagishi T, Kawakami Y. Fatigue-induced changes in hamstrings' active muscle stiffness: effect of contraction type and implications for strain injuries. *Eur J Appl Physiol* 2023 -04;123(4):833–846.
66. Magdalena P, Bartłomiej B, Robert T, Malgorzata S, Hsing-Kuo W, Sebastian K. Acute fatigue-induced alterations in hamstring muscle properties after repeated Nordic hamstring exercises. *Sci Prog* 2024 June 01;107(2):368504241242934.
67. Sousa H, Abade E, Maia F, Costa JA, Marcelino R. Acute and chronic effects of elastic band resistance training on athletes' physical performance: a systematic review. *Sport Sci Health* 2025 -03-01;21(1):69–82.

68. Katushabe ET, Kramer M. Effects of Combined Power Band Resistance Training on Sprint Speed, Agility, Vertical Jump Height, and Strength in Collegiate Soccer Players. *Int J Exerc Sci* 2020;13(4):950–963.
69. Aloui G, Hermassi S, Hammami M, Cherni Y, Gaamouri N, Shephard RJ, et al. Effects of Elastic Band Based Plyometric Exercise on Explosive Muscular Performance and Change of Direction Abilities of Male Team Handball Players. *Front Physiol* 2020 December 16;11.
70. Gaamouri N, Hammami M, Cherni Y, Oranchuk DJ, Bragazzi N, Knechtle B, et al. The effects of upper and lower limb elastic band training on the change of direction, jump, power, strength and repeated sprint ability performance in adolescent female handball players. *Front Sports Act Living* 2023 February 22;5.
71. Janusevicius D, Snieckus A, Skurvydas A, Silinskas V, Trinkunas E, Cadefau JA, et al. Effects of High Velocity Elastic Band versus Heavy Resistance Training on Hamstring Strength, Activation, and Sprint Running Performance. *J Sports Sci Med* 2017 - 06;16(2):239–246.
72. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc* 2010 -08;42(8):1582–1598.
73. Lamas L, Ugrinowitsch C, Rodacki A, Pereira G, Mattos ECT, Kohn AF, et al. Effects of strength and power training on neuromuscular adaptations and jumping movement pattern and performance. *J Strength Cond Res* 2012 -12;26(12):3335–3344.
74. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc* 2010 -08;42(8):1582–1598.
75. Janusevicius D, Snieckus A, Skurvydas A, Silinskas V, Trinkunas E, Cadefau JA, et al. Effects of High Velocity Elastic Band versus Heavy Resistance Training on Hamstring Strength, Activation, and Sprint Running Performance. *J Sports Sci Med* 2017 - 06;16(2):239–246.
76. Del Vecchio A, Negro F, Holobar A, Casolo A, Folland JP, Felici F, et al. You are as fast as your motor neurons: speed of recruitment and maximal discharge of motor neurons determine the maximal rate of force development in humans. *J Physiol* 2019 May 1;597(9):2445–2456.
77. KAMANDULIS S, JANUSEVICIUS D, SNIECKUS A, SATKUNSKIENĖ D, SKURVYDAS A, DEGENS H. High-velocity elastic-band training improves hamstring muscle activation and strength in basketball players. *J Sports Med Phys Fitness* 2020;60(3):380–387.

## 8. Anexos

### **Anexo 1: Solicitud de Investigación Clínica al CEIC**

Don Sergio Moreno Salvador, en posición de investigador principal, fisioterapeuta graduado en la Universidad Pontificia de Comillas, manifiesta su deseo de efectuar el estudio “ que será realizado en las instalaciones del Polideportivo Antonio Magariños (calle Serrano 127, 28006, Madrid, Madrid).

Ese estudio se llevará a cabo con el desempeño de todos los requerimientos legales vigentes, la información personal de los participantes será protegida según la Ley Orgánica 3/8018 del 5 de diciembre de protección de datos personales y garantía de derechos digitales, al igual que el cumplimiento de los aspectos éticos para el desarrollo de ensayos clínicos. A su vez, se asegura que la información recabada del estudio será exclusivamente de uso para la práctica clínica y la mejora de calidad de vida de pacientes.

Por las razones previas se solicita la aprobación para poder desarrollar el estudio y para el que se adjuntará la próxima documentación:

- Consentimiento informado de los participantes del estudio.
- Currículum Vitae de los componentes del equipo investigador.
- Documento en el que los componentes del equipo rechazan cualquier tipo de interés en contra de lo mencionado en el estudio.

Firmado:

En Madrid, a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del \_\_\_\_

## Anexo 2: consentimiento informado

### Participante

D/Dña \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_

Se me ha facilitado la información acerca del estudio que se va a desarrollar y las tareas requeridas que voy a realizar para ello. Declaro haber entendido la información que he recibido y obtenido respuestas a las preguntas oportunas.

Entiendo que me encuentro en el derecho de rescindir mi consentimiento en cualquier momento y que como participante del estudio seré tratado/a por fisioterapeutas colegiados.

A su vez, manifiesto no encontrarme en los casos de las contraindicaciones que han sido explicadas.

De esta forma doy mi conformidad, consciente, libre y voluntaria a la realización de los procedimientos que se me han informado.

Firma: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

### AUTORIZACION DEL FAMILIAR O TUTOR

Frente a la minoría de edad de D/Dña \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_ y como consecuencia no poder autorizar de forma consciente, libre y voluntaria.

D/Dña \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_ en naturaleza de (padre, madre, tutor legal, familiar) decido dar mi aprobación consciente, libre y voluntaria para llevar a cabo los procedimientos de los que me han informado.

Firma: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Investigador (fisioterapeuta):

El/La fisioterapeuta \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_  
manifiesta haber facilitado al participante y/o persona autorizada toda la información  
requerida para llevar a cabo los procedimientos del estudio y al mismo tiempo, que el  
participante no incide en ninguna contraindicación.

Firma: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

## RESCISIÓN

Participante:

D/Dña \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_

A día \_\_\_ del \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_\_ Rescindo mi consentimiento informado  
firmado el \_\_\_\_\_ en virtud de mi propio derecho. Para que quede  
constancia y haga efecto, firmo este documento:

Firma: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_



### Anexo 3: Hoja de datos personales

<b>NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN</b>

<b>NOMBRE</b>	
<b>APELLIDOS</b>	
<b>CORREO ELECTRÓNICO</b>	
<b>TELÉFONO</b>	
<b>EDAD</b>	
<b>EQUIPO Y CATEGORÍA</b>	

Tabla 12: hoja de datos personales (elaboración propia)

#### Anexo 4: Hoja de datos de la intervención

<b>NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN</b>

<b>Variable</b>	<b>Medición pre grupo A</b>	<b>Medición pre grupo B</b>	<b>Medición post grupo A</b>	<b>Medición post grupo B</b>	<b>Media variable diferencia</b>
<b>Momento de fuerza</b>					
<b>Kinesiofobia</b>					
<b>Bienestar psicológico durante la actividad física</b>					

Tabla 13: recogida de datos del estudio

## Anexo 5: Escala Tampa de kinesiophobia (TSK-11)

**INSTRUCCIONES:** a continuación se enumeran una serie de afirmaciones. Lo que Ud. ha de hacer es indicar hasta qué punto eso ocurre en su caso según la siguiente escala:

	1 Totalmente en desacuerdo	2	3	4 Totalmente de acuerdo
1. Tengo miedo de lesionarme si hago ejercicio físico.	1	2	3	4
2. Si me dejara vencer por el dolor, el dolor aumentaría.	1	2	3	4
3. Mi cuerpo me está diciendo que tengo algo serio.	1	2	3	4
4. Tener dolor siempre quiere decir que en el cuerpo hay una lesión.	1	2	3	4
5. Tengo miedo a lesionarme sin querer.	1	2	3	4
6. Lo más seguro para evitar que aumente el dolor es tener cuidado y no hacer movimientos innecesarios.	1	2	3	4
7. No me dolería tanto si no tuviese algo serio en mi cuerpo.	1	2	3	4
8. El dolor me dice cuándo debo parar la actividad para no lesionarme.	1	2	3	4
9. No es seguro para una persona con mi enfermedad hacer actividades físicas.	1	2	3	4
10. No puedo hacer todo lo que la gente normal hace porque me podría lesionar con facilidad.	1	2	3	4
11. Nadie debería hacer actividades físicas cuando tiene dolor.	1	2	3	4

Tabla 14: adaptación al español de la TSK-11 por Gómez-Pérez, López-Martínez y Ruiz-Párraga, 2011

## **Anexo 6: Escala de bienestar psicológico durante el ejercicio físico (PWBPA)**

No se pudo acceder a la escala al no tener los permisos pertinentes.

Vista de Desarrollo y validación de una escala para evaluar Bienestar Psicológico en Actividad física y deporte: La Escala PWBPA (Development and validation of a scale to assess Psychological Well-being in physical activity and sports: The PWBPA Scale) (79)

## Anexo 7: Ejercicio curl excéntrico de isquiotibiales con goma elástica a alta velocidad

Partiremos de la posición decúbito prono, colocaremos una goma elástica en el talón de la participante, con la rodilla lo más flexionada posible. El otro extremo de la goma lo sujetará uno de los fisioterapeutas del equipo, éste imprimirá una fuerza a alta velocidad para que la rodilla se extienda mientras que la participante tendrá que resistir el movimiento acabando con la rodilla en una posición de extensión completa. El ejercicio se llevará a cabo con cada pierna, un total de 3 series con 8 repeticiones con 3 minutos de descanso entre series, es decir, realizaremos 8 repeticiones con la pierna izquierda, posteriormente repetiremos el proceso con la pierna derecha, descansaremos 3 minutos y repetiremos el proceso otras dos veces.

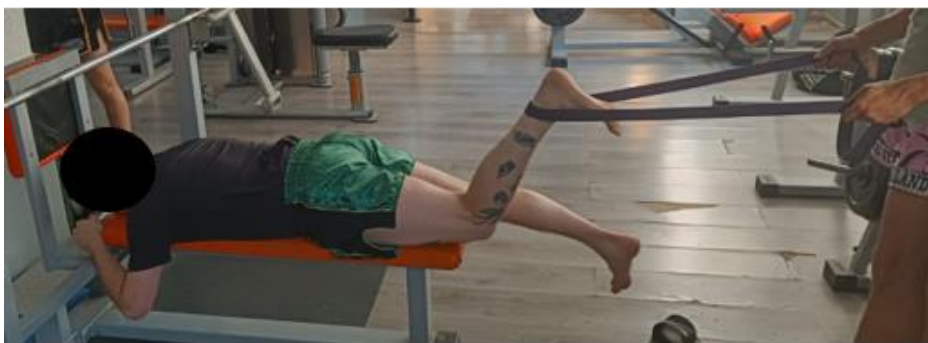


Figura 9: ejercicio de curl excéntrico de isquiotibiales a alta velocidad (elaboración propia).