



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
CARRERA DE FISIOTERAPIA**

**Efectividad de los programas de entrenamiento preventivo en
lesiones del ligamento cruzado anterior**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Licenciatura en
Fisioterapia**

Autor:

Santillán Oleas Mariela Fernanda

Tutor:

Dr. Yanco Danilo Ocaña Villacrés

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Mariela Fernanda Santillán Oleas**, con cédula de ciudadanía **0650117799**, autora del trabajo de investigación titulado: **Efectividad de los programas de entrenamiento preventivo en lesiones del ligamento cruzado anterior**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, al mes de diciembre de 2025.



Mariela Fernanda Santillán Oleas

C.I: 0650117799



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
CARRERA DE FISIOTERAPIA**

CERTIFICADO DEL TUTOR

Yo, **Dr. Yanco Danilo Ocaña Villacrés** docente de la carrera de Fisioterapia de la Universidad Nacional de Chimborazo, en mi calidad de tutor del proyecto de investigación denominado “**Efectividad de los programas de entrenamiento preventivo en lesiones del ligamento cruzado anterior**”, elaborado por la señorita **Mariela Fernanda Santillán Oleas**, certifico que, una vez realizadas la totalidad de las correcciones el documento se encuentra apto para su presentación y sustentación.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad facultando a los interesados en hacer uso del presente para los trámites correspondientes.

Riobamba, 02 de diciembre de 2025.

Atentamente,



Dr. Yanco Danilo Ocaña Villacrés
DOCENTE TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

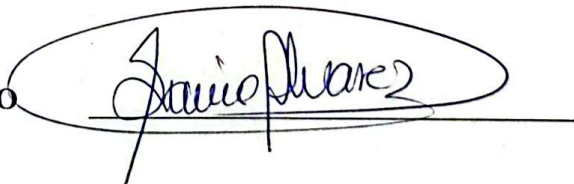
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“Efectividad de los programas de entrenamiento preventivo en lesiones del ligamento cruzado anterior”** presentado por **Mariela Fernanda Santillán Oleas** con cedula de identidad número **0650117799**, bajo la tutoría del **Dr. Yanco Danilo Ocaña Villacrés**, certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor, no teniendo nada más que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba diciembre de 2025.

Mgs. María Belén Pérez García
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Sonia Alexandra Álvarez Carrión
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. María Gabriela Romero Rodríguez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO






CERTIFICACIÓN

Que, **Santillán Oleas Mariela Fernanda**, con CC 0650117799, estudiante de la Carrera **FISIOTERAPIA**, Facultad de Ciencias de la Salud; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“Efectividad de los programas de entrenamiento preventivo en lesiones del ligamento cruzado anterior”**, cumple con el 14 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **Compilatio**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 02 de diciembre de 2025



Dr. Yanco Danilo Ocaña Villacrés
TUTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, Marlon y Fabiola, quienes han sido el pilar fundamental en mi trayectoria académica y personal. Gracias por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, dedicación y amor incondicional. Por enseñarme que los sueños se alcanzan con sacrificio, por no soltar mi mano en los momentos más difíciles y por siempre creer en mí. Todo lo que soy y lo que he conseguido hasta aquí se debe en gran medida a ustedes.

A mis hermanos, por acompañarme en este camino, por su apoyo sincero, sus palabras de ánimo y por recordarme siempre que no estoy sola. Ustedes han sido una parte importante de mis motivaciones y alegrías en este proceso.

A mi abuelito Rafael, por ser mi fortaleza emocional, por sus consejos llenos de Sabiduría, por su cariño inmenso, por motivarme siempre a seguir adelante sin rendirme y por enseñarme a través de su ejemplo a apreciar cada pequeño detalle de la vida.

A la memoria de mi abuelita Carmelita, quien, aunque ya no está físicamente conmigo sigue siendo una fuente de inspiración constante en mi vida. Su ejemplo, su amor y su recuerdo ha sido una fuente inagotable de inspiración, recordándome siempre por que vale la pena luchar por mis metas.

Todo lo que soy y todo lo que anhelo se lo debo a ustedes, son innumerables los sentimientos de amor y gratitud que me embargan en este momento. Este triunfo no me pertenece solo a mí sino a todos ustedes.

Con cariño...

Mariela Fernanda Santillán Oleas

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta etapa de mi vida, quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento mis padres, quienes han sido parte esencial de este logro. Gracias por su amor incondicional y apoyo constante a largo de este camino. A mis hermanos y a mis abuelitos, quienes, con su cariño, palabras de aliento y presencia constante, se convirtieron en una fuerza invaluable que me impulso a seguir adelante cada día.

Agradezco profundamente a todos los docentes de la carrera de Fisioterapia de la Universidad Nacional de Chimborazo, por compartir con tanta generosidad sus conocimientos, por inspirarme a dar siempre lo mejor de mí y por guiarme con compromiso, responsabilidad y vocación en cada etapa de mi formación académica. Mi más sincero agradecimiento al Dr. Yanco Ocaña, tutor de esta tesis, por su paciencia, dedicación y acompañamiento constante. Su compromiso y su orientación oportuna han sido fundamentales para que hoy este proyecto de titulación sea una realidad.

A mis amistades, que tuve la dicha de forjar durante estos años universitarios. Gracias por acompañarme cada día, por hacer más ligeras las jornadas pesadas, por las risas, las palabras de apoyo y por ser una compañía incondicional. Cada una de ustedes hizo que este camino fuera mucho más alegre y significativo, y siempre llevaré conmigo los recuerdos que construimos juntas.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, mencionadas o no aquí, fueron parte de este proceso. Cada palabra de aliento, cada gesto de apoyo y cada muestra de confianza han dejado una huella en mí.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 Anatomía de la rodilla.....	16
2.1.1 Componentes articulares de la rodilla	16
2.1.2 Componentes óseos.....	17
2.1.3 Componentes de tejidos blandos.....	18
2.1.4 Cinemática de la rodilla.....	21
2.1.5 Cinética estática y dinámica de rodilla.....	21
2.2 Ligamento cruzado anterior	24
2.2.1 Embriología del ligamento cruzado anterior.....	24
2.2.2 Anatomía del ligamento	25
2.2.3 Biomecánica del ligamento cruzado anterior.....	25
2.2.4 Lesiones del ligamento cruzado anterior.....	26
2.2.5 Pruebas de valoración del LCA.....	27
2.2.6 Factores de riesgo.....	27
2.2.7 Principios biomecánicos en la prevención de lesiones del LCA.....	28
2.2.8 Programas de entrenamiento	32
CAPÍTULO III. METODOLOGIA	34
3.1 Diseño de la investigación	34
3.2 Tipo de Investigación.....	34
3.3 Nivel de la Investigación	34
3.4. Método de la Investigación	34
3.5. Según la cronología de la investigación.....	35
3.6. Población.....	35
3.7. Muestra.....	35

3.8. Criterios de inclusión	35
3.9. Criterios de exclusión.....	35
3.10 Técnicas de recolección de datos	36
3.11 Métodos de análisis y procesamiento de datos.....	37
3.12 Análisis de artículos científicos según la escala de PEDro.....	38
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
DISCUSIÓN.....	62
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	64
5.1 Conclusiones.....	64
5.2 Recomendación.....	64
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	72

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Relación acción muscular con la función del ligamento cruzado anterior.....	24
Tabla 2. La tabla resume el papel de los diferentes grupos musculares y controles biomecánicos en el apoyo a la estabilidad de la rodilla, la eficiencia del movimiento y la prevención de lesiones.....	29
Tabla 3. Valoración de la calidad metodológica de los estudios controlados aleatorizados mediante la Escala de PEDro.....	38
Tabla 4. Síntesis de los Ensayos Clínicos Aleatorizados	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA del proceso de selección.....	37
Figura 2. Escala de PEDro Español.....	72

RESUMEN

Introducción. Las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) representan un importante problema en la población deportista, con altas tasas de incidencia y consecuencias negativas físicas, psicológicas y económicas, incluyendo un mayor riesgo de osteoartritis precoz y dificultades en el retorno al deporte. La mayoría de estas lesiones son no-contacto y relacionadas con déficits neuromusculares y biomecánicos prevenibles.

Objetivo. Determinar la efectividad de los programas de entrenamiento preventivo en la reducción de la incidencia de lesiones del LCA, identificando los componentes más eficaces y las variables que influyen en su éxito.

Metodología. Estudio de tipo documental, retrospectivo y descriptivo, basado en revisión narrativa de literatura científica en bases de datos especializadas. Se incluyeron 23 artículos (ensayos controlados aleatorizados) seleccionados mediante criterios de calidad metodológica según la escala PEDro.

Resultados. Los programas preventivos que combinan ejercicios neuromusculares, pliométricos, de fuerza, equilibrio, propiocepción y control motor demostraron ser efectivos para reducir las lesiones del LCA. La efectividad estuvo asociada a una adecuada adherencia, frecuencia mínima de 2–3 veces por semana y una duración de al menos 6 semanas. Los programas centrados en la musculatura de la cadera mostraron mejorías en los patrones biomecánicos asociados al riesgo de lesión.

Conclusión. La implementación sistemática de programas de prevención del LCA constituye una estrategia eficaz y costo-efectiva para reducir la incidencia de estas lesiones, mejorar el rendimiento deportivo y disminuir los costos sanitarios, siendo especialmente relevante su introducción en edades tempranas.

Palabras claves: ligamento cruzado anterior, prevención, entrenamiento neuromuscular, lesiones deportivas.

ABSTRACT

Introduction. Anterior cruciate ligament injuries (ACL) represent a major problem in the athlete population, with high incidence rates and negative physical, psychological, and economic consequences, including an increased risk of early osteoarthritis and difficulties in returning to sport. Most of these lesions are non-contact and related to preventable neuromuscular and biomechanical deficits.

Objective. Determine the effectiveness of preventive training programs in reducing the incidence of ACL injuries, identifying the most effective components and variables that influence their success.

Methodology. A documentary, retrospective, and descriptive study based on a narrative review of scientific literature in specialized databases. We included 23 articles (randomized controlled trials) selected by methodological quality criteria according to the PEDro scale.

Results. Preventive programs that combine neuromuscular, plyometric, strength, balance, proprioception, and motor control exercises have been effective in reducing ACL injuries, especially among young women and school athletes. Effectiveness was associated with adequate adherence, a minimum frequency of 2-3 times per week, and a duration of at least 6 weeks. Programs focused on the hip musculature improved biomechanical patterns associated with injury risk.

Conclusion. The systematic implementation of ACL prevention programs is an effective and cost-effective strategy to reduce the incidence of ACL injuries, improve sports performance, and lower health care costs.

Keywords: anterior cruciate ligament, prevention, neuromuscular training, sports injuries.



Jeniffer Vanessa
Palacios Moreno



Reviewed by: Mgs. Vanessa Palacios
ENGLISH PROFESSOR
C.C.. 0603247487

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El ligamento cruzado anterior (LCA) es una estructura crucial en la rodilla, que ayuda a estabilizar la articulación y prevenir el desplazamiento anterior de la tibia con respecto al fémur. Sus lesiones representan el 20,5 % de las lesiones de rodilla en atletas jóvenes y a menudo tienen consecuencias devastadoras (1). Aproximadamente entre 175 000 y 200 000 lesiones del LCA ocurren anualmente en los Estados Unidos, cifra que se ha duplicado en las últimas dos décadas a pesar del creciente esfuerzo de investigación y el desarrollo de programas de prevención. Estas lesiones pueden originarse tanto por acciones de contacto directo como por acciones sin contacto, y son especialmente frecuentes en disciplinas donde el contacto físico forma parte de la práctica deportiva. En relación con el LCA, es habitual que su ruptura venga acompañada de daños en el menisco, presentes en alrededor del 55% al 65% de los casos y de alteraciones en el cartílago articular, que se reportan entre un 16% y un 46%. Esta combinación de lesiones aumenta de forma importante el riesgo de desarrollar osteoartritis de rodilla (2).

Por otro lado, el fútbol es el deporte con mayor alcance a nivel mundial, se estima que más de 260 millones de jugadores que lo practican en el mundo (3). También es un deporte expuesto a un alto riesgo de lesiones, considerando que la incidencia general de lesiones es de 6,6 lesiones por cada 1000 horas de juego (4). Para el jugador de fútbol, una de las lesiones de rodilla más comunes es la rotura del ligamento cruzado anterior (LCA), suele producirse por mecanismos sin contacto, esta lesión produce consecuencias devastadoras en el deportista, como el mayor riesgo de desarrollar osteoartritis de rodilla postraumática temprana, o la alta tasa de reincidencias en el injerto o la rodilla opuesta (5). Además, en el fútbol profesional, solo el 60% de los jugadores que se rompieron el LCA compitieron al más alto nivel 5 años después (6).

Además de la importante carga financiera asociada con la intervención quirúrgica y la rehabilitación extensa, las lesiones del LCA resultan en un costo personal para los atletas, con tiempo perdido en el deporte, efectos psicológicos y consecuencias para la salud y el bienestar a largo plazo (1). Si bien el LCA es el ligamento que se daña con mayor frecuencia, las lesiones generalmente también implican daño a los tejidos circundantes (7).

La mayoría de las lesiones del LCA no implican un golpe directo en la rodilla, sino que son de naturaleza sin contacto o indirecta, lo que implica una biomecánica descontrolada de las extremidades inferiores (8). Los mecanismos principales que conducen a una rotura del LCA

incluyen una traslación tibial anterior excesiva, una rotación tibial interna y un colapso en valgo en la articulación de la rodilla. Estas fuerzas crean un entorno de carga multiplanar que supera la capacidad estructural del LCA para mantener la estabilidad de la rodilla, lo que resulta en su falla (9). Por lo tanto, la prevención de lesiones del LCA puede lograrse mediante la implementación de programas de entrenamiento que mejoren el control neuromuscular y la biomecánica de las extremidades inferiores (10).

La siguiente investigación tiene como objetivo determinar la efectividad de los programas de entrenamiento preventivo en la reducción de la incidencia de lesiones del ligamento cruzado anterior, identificando los componentes más efectivos y las variables que influyen en su éxito. Los entrenamientos preventivos del LCA como FIFA 11 + y programas neuromusculares han demostrado reducir el riesgo de lesiones en un 40—70%, tanto en población general como en futbolistas de ambos sexos. Aunque no se cuenta con cifras exactas globales de cuántos deportistas los adoptan, los estudios abarcan decenas de miles de participantes, confirmando que su aplicación es efectiva y recomendable en entornos deportivos (10).

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Anatomía de la rodilla

La articulación de la rodilla, también conocida como articulación femorotibial, es considerada la estructura articular más extensa y una de las más complejas del cuerpo humano. Se trata de una amplia articulación que conecta el muslo con la pierna y reúne a tres huesos: el fémur, la tibia y la patela (rótula). Su anatomía está determinada por el hecho de que en ella se ejecutan movimientos anteroposteriores de flexión y extensión, aunque sus superficies articulares también permiten movilidad en otras direcciones. La articulación de la rodilla cumple, además, una función estática ya que la transmisión del peso corporal hacia la pierna demanda una integridad y solidez significativas. De allí proviene la gran relevancia anatómica y funcional de su sistema ligamentosos (12).

La articulación de la rodilla es una articulación sinovial. Desde una perspectiva mecánica, se clasifica como troclear y está conformada por dos articulaciones: la femorotibial, de tipo bicondílea, y la femoropatelar, que corresponde a una troclear (12).

2.1.1 Componentes articulares de la rodilla

El complejo articular de la rodilla está constituido por:

- La articulación femorotibial está formada por los cóndilos femorales (medial y lateral) y por las mesetas tibiales. Desde un punto de vista anatómico y funcional, se considera una articulación sinovial porque cuenta con una cápsula y membrana sinovial; además, se clasifica como compuesta ya que dentro de una misma cápsula se alojan el extremo distal del fémur y las porciones proximales de la tibia y el peroné. También se describe como una articulación compleja por la presencia de los meniscos y bicondílea debido a que los cóndilos femorales de forma convexa se articulan con los platillos tibiales que presentan una superficie cóncava.
- La articulación patelofemoral está integrada por la patela o rótula y por la tróclea femoral. Se clasifica como sinovial, compuesta, y de tipo en silla ya que la tróclea femoral es cóncava en sentido medial y lateral, y convexa en sentido superior e inferior. La patela es convexa en sentido medial y lateral, y cóncava en sentido superior e inferior (13).

2.1.2 Componentes óseos

Los componentes óseos que conforman la rodilla son: el fémur, la tibia, la patela o rótula. A continuación, se describe cada uno de ellos.

➤ **Fémur**

El fémur es el hueso más largo y resistente del cuerpo humano. Está compuesto por un cuerpo y dos extremos: uno proximal (superior) y distal (inferior). La mayor parte del cuerpo presenta una forma ligeramente redondeada, excepto en la cara posterior, donde se encuentra la línea áspera, una prominente cresta con dos bodes que divergen hacia la parte inferior. El extremo proximal incluye la cabeza femoral, el cuello y dos trocánteres (mayor y menor). El extremo distal termina en dos cóndilos, medial y lateral que se articulan con los cóndilos de la tibiales para formar la articulación de la rodilla. La porción proximal del fémur presenta una inclinación en forma de “L”, de modo que el eje de la cabeza y el cuello se dirige superomedialmente con un ángulo oblicuo respecto al cuerpo. En adultos, este ángulo de inclinación es obtuso y varía entre 115-140°, con un promedio aproximado de 126°. En las mujeres suele ser menor debido a la mayor amplitud entre los acetábulos y la mayor oblicuidad del cuerpo del fémur. Este ángulo permite una mayor movilidad del fémur en la articulación coxofemoral, ya que orienta la cabeza y el cuello casi perpendiculares al acetábulo. Esta disposición favorece la marcha bípeda y también genera cargas importantes sobre el cuello del fémur (11).

➤ **Tibia**

La tibia se sitúa medialmente en la pierna y se articula directamente con el fémur, soportando y transmitiendo el peso corporal desde el fémur hacia el pie. La tibia es un hueso orientado de forma vertical y es más fuerte que el peroné, que se encuentra a su lado. En el extremo proximal se ubican las mesetas tibiales, que proporcionan la superficie articular para el contacto con los cóndilos femorales, permitiendo tanto la transmisión del peso del cuerpo como las fuerzas de reacción provenientes del suelo (12).

➤ **Patela**

La patela o rótula, es un hueso sesamoideo grande, de forma triangular y ligeramente curvada, cuya función principal es proteger la articulación de la rodilla y participar en el mecanismo extensor. El extremo proximal de la rótula es la base y el extremo

distal es conocido como ápice. En su cara posterior presenta dos facetas, lateral y medial, que se articulan con los cóndilos femorales correspondientes (13).

La patela se desarrolla dentro del tendón del cuádriceps después del nacimiento. Situado por delante de los cóndilos femorales, se articula con la superficie patelar del fémur. La cara anterior es convexa y sus dos bordes, lateral y medial, convergen inferiormente para formar el vértice puntiagudo. La superficie articular posterior es lisa y está cubierta por cartílago articular y se divide en carillas articulares mediante una cresta vertical (13).

2.1.3 Componentes de tejidos blandos

Membrana sinovial

La membrana sinovial de la rodilla es la más amplia del cuerpo humano. En el borde proximal de la patela forma una extensa bursa suprapatelar situada entre el músculo cuádriceps femoral y la porción inferior del fémur. En términos funcionales, esta bursa actúa como una extensión de la cavidad articular, sostenida y atada al músculo genu-articular. A lo largo de la patela, la membrana sinovial se extiende principalmente por debajo de la aponeurosis del vasto medial. Todas sus porciones tienen origen femoral y reviste la cápsula articular hasta su unión con los meniscos, cuyas superficies permanecen libres de membrana sinovial (14).

Cápsula articular

La capsula fibrosa es una estructura compleja que trabaja de manera estrecha con el revestimiento sinovial. Tiene forma de un manguito que rodea tanto la articulación femorotibial como patelofemoral. En muchos casos, algunas bursas se continúan con la propia capsula. La cual reviste refuerzos adicionales provenientes de las expansiones de los tendones de los músculos que rodean la rodilla. En su cara interna, la capsula se fija a los cuernos de los meniscos y se une a la tibia mediante los ligamentos coronarios. (12).

Bursas

Las bursas son estructuras situadas alrededor de los tejidos blandos y las superficies articulares, su función principal es disminuir la fricción y actuar como amortiguadores entre estructuras del cuerpo. En la región de la rodilla se encuentran diversas bursas, entre ellas: la bursa subcutánea prepatelar, situada entre la piel y la superficie anterior de la patela; la bursa superficial infrapatelar, localizada entre el tendón rotuliano y la tibia; la bursa tibiofemoral, ubicada entre la cabeza de los músculos gastrocnemios y la capsula articular.

También existe una bursa entre el tendón del conjunto muscular conocido como pata de ganso y el ligamento colateral medial, además de una bursa superficial adicional relacionada con estos mismos músculos (13).

Retináculos

Los retináculos son estructuras que estabilizan la rótula conectándola con el fémur, los meniscos y la tibia. Se distinguen dos: el retináculo medial y el lateral. El retináculo lateral es más resistente y grueso, y se continua con el bíceps femoral para formar un tendón conjunto. Presenta dos capas, una superficial y otra profunda. Ambas se orientan longitudinalmente acompañando la extensión de la rodilla. La capa superficial incluye fibras provenientes del vasto lateral y de la banda iliotibial, mientras que la capa profunda se origina en el ligamento patelofemoral lateral y en las fibras profundas de la misma banda iliotibial. Por su parte, el retináculo medial es más delgado y no participa de manera directa en la alineación de la rótula respecto al fémur (14).

Meniscos

Los meniscos son dos estructuras fibrocartilaginosas, de forma semilunar y asimétrica, ubicados entre los cóndilos femorales y las mesetas de la tibia. Cada menisco posee un cuerno anterior y uno cuerno posterior, mediante los cuales se fijan firmemente a la tibia. Además, presentan conexiones accesorias con el fémur y a la patela. El menisco medial presenta una forma más cerrada, semejante a un anillo o una figura en “O”, mientras que el menisco lateral es de mayor amplitud y adopta una forma de “C”. Ambos cuentan con uniones compartidas y uniones específicas, las cuales favorecen su estabilidad durante los movimientos de la rodilla. El menisco medial está más restringido por estructuras capsulares y ligamentosas en comparación con el menisco lateral (12).

El menisco medial mantiene relación en su cuerno anterior con el ligamento cruzado anterior (LCA), mientras que su cuerno posterior lo hace con el ligamento cruzado posterior (LCP). El menisco lateral, en cambio solo presenta una unión en la parte posterior con el LCP, contribuyendo ambos meniscos a la estabilidad anteroposterior de la rodilla. Asimismo, el menisco medial se une al ligamento colateral medial (LCM), mientras que el menisco lateral no mantiene conexión con el ligamento colateral lateral (LCL) (12).

Ligamentos

Los ligamentos colaterales constituyen dos bandas fundamentales que proporcionan soporte a la cápsula articular en sus porciones medial y lateral. El ligamento colateral medial (LCM) refuerza específicamente al lado medial de la cápsula y además actúa como punto de anclaje

para el menisco medial. Se trata de una estructura fibrosa fuerte, de forma triangular y aplanada, cuya base se orienta hacia adelante y cuyo vértice se une directamente al menisco medial. Este ligamento se extiende desde el cóndilo medial del fémur hasta la parte superior de la tibia, siguiendo una trayectoria descendente y ligeramente anterior. Su estabilidad se ve reforzada por los tendones de la pata de ganso y por las expansiones del vasto medial del cuádriceps. El LCM está conformado por dos fascículos: uno superficial y otro profundo. El fascículo profundo corresponde a un engrosamiento de la cápsula articular que se inserta en el menisco medial, mientras que el fascículo superficial se continua hacia la capsula posterior y se encuentra separado del menisco y de la cápsula medial por una bursa (13).

El ligamento colateral lateral (LCL) se extiende desde el cóndilo lateral del fémur hasta la cabeza del peroné siguiendo una trayectoria oblicua hacia abajo y posteriormente. A diferencia de su contraparte medial, no mantiene una unión directa con el menisco lateral. Además, su estructura recibe soporte adicional de la fascia lata y de las expansiones tendinosas del vasto lateral del cuádriceps (13).

Los ligamentos cruzados constituyen dos estructuras robustas situadas en el centro de la cápsula articular, aunque permanecen fuera de la cavidad sinovial. Reciben su denominación porque se entrecruzan en “X”. el ligamento cruzado anterior (LCA) se fija en la zona anterior de la espina tibial, atraviesa por debajo del ligamento transversal y asciende con una trayectoria posterior hasta insertarse en la porción posteromedial del cóndilo femoral lateral. Está conformado por dos fascículos, anteromedial y posteromedial, denominados según su punto de inserción en la tibia. Por su parte el ligamento cruzado posterior (LCP) es más robusto, de menor longitud y con una orientación menos oblicua que el LCA. Se origina en el área intercondílea posterior de la tibia y en la porción posterior del menisco lateral. De allí, se dirige hacia arriba, adelante y adentro, ensanchándose para fijarse en la superficie lateral del cóndilo medial del fémur. Al igual que el LCA, presenta dos fascículos: anterolateral y posteromedial, siendo el anterolateral el más relevante funcionalmente (14).

El ligamento rotuliano es una estructura corta, ancha y de forma plana que se extiende desde el ápice de la patela hasta la tuberosidad tibial anterior. Sus fibras superiores se continúan con del tendón del cuádriceps femoral sobre la cara anterior de la rótula. El ligamento poplíteo oblicuo es una prolongación del tendón del semimembranoso cerca de su inserción tibial. Parte de sus fibras se fusionan con la cápsula fibrosa y se dirigen hacia arriba y lateralmente para insertarse en la línea intercondílea y en el cóndilo lateral del fémur (12).

El ligamento poplíteo arqueado forma un conjunto de fibras capsulares con disposición en forma de “Y”, cuyo origen se ubica en la cabeza del peroné. Una de sus ramas, la posterior se curva hacia la parte medial pasando por encima del tendón del músculo poplíteo y se inserta en el borde posterior del área intercondílea de la tibia. La rama anterior, que puede estar ausente en algunos casos, se extiende hacia el epicóndilo lateral del fémur, donde se une con la cabeza lateral del músculo gastrocnemio (12).

2.1.4 Cinemática de la rodilla

En la articulación de la rodilla, los movimientos principales corresponden a la flexión y la extensión, mientras que la rotación interna y la externa se presenta con una amplitud menor y únicamente en la articulación femorotibial. Debido a la incongruencia entre las superficies articulares y a las variaciones en la elasticidad de los ligamentos, la rodilla realiza deslizamientos anteriores o posteriores de la tibia o el fémur, dependiendo del tipo de cadena cinética involucrada, estos desplazamientos se acompañan de una ligera abducción o aducción, que contribuyen a compensar las fuerzas en varo o valgo que actúan sobre la articulación. Sin embargo, dichos movimientos no se consideran parte de la osteocinemática propia de la rodilla (15).

2.1.5 Cinética estática y dinámica de rodilla

La cinética es la rama de la biomecánica que estudia las fuerzas responsables del movimiento o del equilibrio articular, considerando tanto los componentes pasivos (ligamentos y cápsula articular) como los activos (músculos). En la rodilla, que es anatómicamente condílea y mecánicamente troclear, existe baja congruencia articular, lo que exige una gran estabilidad en extensión para soportar el peso corporal, y a la vez una alta movilidad en flexión para ajustarse a posturas dinámicas (15).

La estabilidad de la rodilla depende de la posición articular, la dirección y magnitud de las fuerzas actuantes, y la acción de los restrictores secundarios. En postura bípeda en reposo, la estabilización es mayoritariamente pasiva, gracias al encaje articular, la acción de la gravedad generando un momento en extensión, y la tensión de la cápsula posterior y ligamentos, requiriendo mínima activación muscular. Las estructuras óseas aportan estabilidad principalmente en la extensión completa, mientras que en el resto del movimiento, los tejidos blandos son los principales responsables del control articular (14).

Estabilidad estática

Entre los principales elementos pasivos que contribuyen a la estabilidad de la rodilla se encuentran la capsula articular, los meniscos y los ligamentos.

➤ **Cápsula articular**

La cápsula articular de la rodilla es laxa en su parte anterior, lo que facilita la flexión, mientras que en la extensión se forman pliegues alrededor de la rótula. Durante la flexión, las estructuras pasivas están más relajadas, permitiendo mayor traslación y rotación de la tibia sobre el fémur. En cambio, la extensión completa se considera una posición de bloqueo, con mayor tensión ligamentaria y congruencia articular. Biomecánicamente, la cápsula limita los movimientos extremos y, gracias su rica inervación sensorial, también contribuye la respuesta muscular (12).

➤ **Meniscos**

Los meniscos mejoran la congruencia entre el fémur y la tibia, distribuyen fuerzas y apartan estabilidad de la rodilla. Se desplazan durante los movimientos articulares, siendo el menisco medial menos móvil que el lateral debido sus uniones capsuloligamentosas. En extensión, son empujadas hacia adelante por los ligamentos meniscopatelares, y en flexión, hacia atrás por el músculo semimembranoso (medial) y el tendón del poplíteo (lateral). En rotaciones, se mueven en sentido contrario las mesetas tibiales por acción ligamentaria y la forma de los cóndilos femorales. El menisco medial soporta grandes cargas compresivas, asumiendo entre el 50% y 70% del peso durante actividades como caminar, subir escaleras o correr (12).

➤ **Ligamentos**

Los ligamentos de la rodilla estabilizan la articulación en los planos mediolateral, anteroposterior y rotacional. Los ligamentos colaterales (LCM y LCL) resisten fuerzas en valgo y varo. El LCM permanece tenso en todo el rango de movimiento y también limita la rotación lateral de la tibia, especialmente en ausencia del LCA. El LCL estabiliza la rodilla en extensión y es más activo alrededor de los 25° de flexión. Ambos colaterales actúan como estabilizadores secundarios junto con el LCA el LCP y otras estructuras (13).

El LCA actúa como el principal elemento que limita el desplazamiento anterior de la tibia respecto al fémur y también participa en el control de la rotación y prevención de la hiperextensión. Su fascículo anteromedial permanece tenso tanto en flexión como extensión, mientras que el fascículo posterolateral se tensa únicamente en

extensión. Al alcanzar los 30° de flexión, la tensión del LCA disminuye, permitiendo un mayor desplazamiento anterior de la tibia. Por su parte, el LCP restringe el desplazamiento posterior tibial y funciona como estabilizador de la rotación medial cuando la rodilla se encuentra a 90° de flexión (12).

El fascículo anterolateral del LCP se tensa en flexión, mientras que el posteromedial se tensa en extensión. Su función disminuye más allá de los 90° de flexión, dependiendo de estructuras secundarias como el poplíteo y la cápsula posterolateral. También actúa sinérgicamente con el cuádriceps, que ayuda a disminuir la fuerza posterior sobre la tibia entre 20° y 60° de flexión (12).

En conjunto, los ligamentos mantienen la estabilidad de la rodilla según la orientación de sus fibras, aunque el control rotacional depende principalmente de otras estructuras pasivas, ya que ningún ligamento se orienta en el plano transversal (13).

Estabilidad dinámica

La estabilidad dinámica de la rodilla depende de los grupos musculares que atraviesan esta articulación. En ella actúan cuatro músculos extensores, representados por el cuádriceps femoral y siete flexores, entre ellos los isquiotibiales (bíceps femoral, semitendinoso y semimembranoso), sartorio, grácil, poplíteo gastrocnemios (gemelo y sóleo) y el plantar delgado (14).

Además, el músculo genu articularis interviene en la extensión al retraer la bursa suprapatelar, para evitar el atrapamiento de la capsula en la extensión, y la banda iliotibial, que contribuye a la estabilidad lateral. El músculo plantar delgado también cruza la rodilla y participa mínimamente en su movimiento (13).

Los músculos que actúan sobre la rodilla se clasifican en biarticulares, cuando atraviesan dos articulaciones (como el recto femoral, los isquiotibiales, gemelos, grácil, sartorio y la banda iliotibial), y monoarticulares, cuando solo atraviesan la rodilla (como el poplíteo, genu articularis, vasto medial, vasto lateral, vasto intermedio y el sóleo). Su acción varía según cuál articulación esté fija o en movimiento (12).

Tabla 1. Relación entre la acción muscular y la función del ligamento cruzado anterior *

Músculo	Función	Acción
Cuádriceps	Este músculo produce una fuerza de deslizamiento anterior de la tibia respecto al fémur cuando la rodilla está en extensión completa, generando una tensión significativa sobre el LCA entre los 20°-60° de flexión.	Acción antagónica al LCA
Gastrocnemios	Tanto su contracción activa de los gastrocnemios como su estiramiento pasivo pueden favorecer un desplazamiento anterior de la tibia. Esto se debe a la disposición anatómica de su tendón, que se relaciona con la zona posterior de la tibia.	Acción antagónica al LCA
Isquiotibiales	Durante la flexión de la rodilla, los isquiotibiales generan una fuerza que impulsa la tibia hacia atrás respecto al fémur, efecto que se intensifica conforme aumenta el ángulo de flexión. Este grupo muscular ayuda además a reducir la carga que recae sobre el LCA, especialmente entre los 15° y 60° de flexión.	Acción sinergista al LCA
Sóleo	Durante una cadena cinética cerrada con el pie apoyado, puede inducir una traslación posterior de la tibia.	Acción sinergista al LCA

*Tomado de: McClay Davis I, Ford KR, Myer GD, Hewett TE. The biomechanics of anterior cruciate ligament injury in basketball: A review. J Athl Train. 2007 Apr-Jun;42(2):261–5. DOI 10.1007/s11751-007-0016-6

2.2 Ligamento cruzado anterior

2.2.1 Embriología del ligamento cruzado anterior

La formación de la rodilla comienza en la cuarta semana de gestación a partir de una condensación mesenquimal. Para la sexta semana, la articulación ya presenta una estructura morfológica definida, entre las seis y siete semanas los fibroblastos se organizan dentro del blastema siguiendo el eje que dará origen al ligamento cruzado anterior (LCA). Tanto el ligamento cruzado posterior (LCP) como el LCA aparecen como estructuras bien orientadas

a las 9 semanas de gestación. El LCA comienza inicialmente como un ligamento ventral, pero migra posteriormente en la articulación de la rodilla a medida que se desarrolla en el espacio intercondíleo. El LCP no se mueve de su posición inicial. Ambos ligamentos cruzados son intracapsulares, pero extrasinoviales (18).

2.2.2 Anatomía del ligamento

El ligamento cruzado anterior (LCA) es uno de los dos ligamentos cruzados que contribuyen a la estabilización de la articulación de la rodilla. Es una banda resistente compuesta de tejido conectivo y fibras colágenas que se origina en la cara anteromedial de la región intercondílea de la meseta tibial y se extiende posterolateralmente para insertarse en la cara medial del cóndilo femoral lateral, donde se encuentran dos puntos de referencia importantes: la cresta intercondílea lateral, que define el límite anterior del LCA, y la cresta bifurcada, que separa los dos haces del LCA. El LCA mide 32 mm de largo y entre 7 y 12 mm de ancho. Consta de dos haces: uno anteromedial isométrico y otro posterolateral con cambios de longitud más versátiles (19).

El haz anteromedial es el más tenso en flexión y es el principal responsable de la traslación tibial anterior (85% de la estabilidad), mientras que el haz posterolateral es el más tenso en extensión, con el papel principal de proporcionar estabilidad medial-lateral y rotacional (restricción secundaria). El ligamento cruzado anterior (LCA) tiene una fuerza de 2200 N (20). El LCA y el ligamento cruzado posterior (LCP) forman una cruz (o "x") dentro de la rodilla e impiden el movimiento excesivo de la tibia hacia adelante o hacia atrás con respecto al fémur durante la flexión y la extensión. Histológicamente, el LCA está compuesto de colágeno tipo I (90%) y colágeno tipo III (10%). Recibe irrigación sanguínea predominantemente de la arteria geniculada media (21).

2.2.3 Biomecánica del ligamento cruzado anterior

En cuanto a la biomecánica, un factor a tener muy en cuenta para cómo se comporta y entender el mecanismo lesional. El LCA previene la translación tibial anterior, evitando así la hiperextensión de rodilla y mejorando la estabilidad general de la articulación durante la locomoción. También, aunque en menor medida este ligamento aporta resistencia a las rotaciones interna y externa de rodilla. Con la rodilla en extensión, los fascículos del LCA se extienden, durante la flexión hay una ligera rotación lateral del ligamento en su conjunto alrededor de su eje longitudinal, podemos decir que el ligamento se enrolla sobre sí mismo (22).

La biomecánica de una lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) implica una interacción compleja de traslación tibial anterior excesiva, rotación tibial interna y colapso en valgo, a menudo por déficits de control neuromuscular y predisposiciones anatómicas. Estas fuerzas convergen durante movimientos de alto riesgo, sobrecargando rápidamente las fibras del LCA más allá de su capacidad de tensión. Comprender estos factores biomecánicos es esencial para desarrollar estrategias eficaces de prevención y rehabilitación. Dichas estrategias deben centrarse en mejorar el control neuromuscular, corregir patrones de movimiento defectuosos, fortalecer grupos musculares clave y abordar los factores de riesgo anatómicos individuales para reducir la probabilidad de rotura del ligamento (23).

2.2.4 Lesiones del ligamento cruzado anterior

Las tres modalidades de lesiones del LCA son contacto directo, contacto indirecto y sin contacto. Aproximadamente el 30 % de las lesiones del LCA son por contacto, y el 5 % de ellas, por contacto indirecto. Aproximadamente el 70 % de las lesiones son sin contacto, lo que puede deberse a movimientos incorrectos. Las lesiones sin contacto, que son las más comunes, se producen debido a fuerzas generadas dentro del cuerpo de una persona. El desgarro del ligamento cruzado anterior (LCA) se asocia frecuentemente con un cambio repentino de dirección o velocidad mientras el pie permanece firmemente plantado, una desaceleración rápida, saltos, pivoteos e impacto directo en el aspecto anterior de la tibia (24). Una lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) puede clasificarse además como un esguince de grado I, II o III.

- **Grado I:** Las fibras ligamentosas están estiradas, con un desgarro que afecta a menos de un tercio del ligamento. Se presenta dolor leve a la palpación e inflamación. La articulación de la rodilla se siente estable, con una laxitud de <5 mm.
- **Grado II:** Se presenta un desgarro parcial (entre un tercio y dos tercios de las fibras ligamentosas). Se presenta dolor leve a la palpación e inflamación con cierta pérdida de función. La articulación puede sentirse inestable con un aumento de la traslación anterior (laxitud de la rodilla de 5 a 10 mm). El paciente siente dolor, que puede exacerbarse con las pruebas de esfuerzo de Lachman y del cajón anterior.
- **Grado III:** Las fibras se han desgarrado completamente. Se caracteriza por dolor a la palpación y un dolor limitado (en relación con la gravedad de la lesión). El grado de inflamación puede ser variable. La rodilla se siente inestable, con inestabilidad

rotacional (prueba de pivot shift positiva). La laxitud de la rodilla es mayor de 10 mm. Se observa hemartrosis en un plazo de 1 a 2 horas (24).

2.2.5 Pruebas de valoración del LCA

Pruebas clínicas

➤ Prueba de Lachman

La prueba de Lachman es considerada como el método clínico más sensible para identificar lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA). Se ejecuta con el paciente en decúbito supino y la rodilla flexionada entre 20 y 30 grados, mientras el examinador estabiliza el fémur con una mano y aplica una tracción anterior de la tibia con la otra. La prueba evalúa al grado de desplazamiento anterior de la tibia y la calidad del tope final o end-feel. Un desplazamiento aumentado y tope blando sugieren una ruptura parcial o total del LCA. Es recomendable comparar con la rodilla contralateral para establecer diferencias en la movilidad tibial y asegurar una interpretación más objetiva (25).

➤ Prueba del cajón anterior

La prueba del cajón anterior evalúa la integridad del LCA. Se ejecuta con el paciente en decúbito supino, rodilla flexionada a 90 grados y el pie estabilizado por el examinador. A continuación, el examinador toma la tibia por debajo de la línea articular y aplica una fuerza de tracción anterior para valorar el desplazamiento de la tibia respecto al fémur. Un movimiento anterior excesivo, acompañado de una sensación de tope blando, indica lesión del LCA (25).

Pruebas complementarias

➤ Resonancia Magnética Nuclear (RMN)

La resonancia magnética es considerada la prueba de imagen de referencia para el diagnóstico del LCA. Esta técnica permite visualizar directamente el trayecto y la continuidad de las fibras del LCA. Además, permite detectar lesiones asociadas, especialmente meniscales, condropatías o daños en otros ligamentos. Su carácter no invasivo y su alta resolución multiplanar la convierten en la herramienta más utilizada para confirmar el diagnóstico (26).

2.2.6 Factores de riesgo

Las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) se origina por factores intrínsecos como alteraciones anatómicas, desequilibrios musculares, déficit propioceptivo y, en mujeres,

mayor laxitud ligamentaria por influencia hormonal. Entre los factores extrínsecos destacan el tipo de superficie de juego, equipo de protección, condiciones meteorológicas y calzado inadecuado. La combinación de estos factores aumenta la probabilidad de sufrir lesiones del LCA (27).

El riesgo de sufrir una lesión del LCA suele explicarse principalmente por dos factores, el primero se trata de la biomecánica del movimiento, es decir de la cinemática, la cinética, el nivel de activación muscular y la capacidad para producir fuerza; el segundo corresponde a fallas en el control neuromuscular. El LCA soporta mayores tensiones cuando la tibia es empujada hacia adelante, cuando se generan fuerzas significativas entre el fémur y la tibia o cuando la articulación combina movimientos de rotación. Estas cargas se vuelven especialmente críticas en situaciones deportivas de alta demanda, como frenar de manera abrupta antes de cambiar de dirección o aterrizar de un salto con la rodilla inclinándose hacia un patrón de valgo (28). En cuanto a la insuficiencia neuromuscular, esta se manifiesta en una respuesta motora lenta, un procesamiento insuficiente del movimiento y alteraciones en la percepción visual-espacial. Además, otros factores como la alineación estructural de las extremidades, la laxitud articular, la composición corporal y el sexo también influyen en la probabilidad de sufrir este tipo de lesión (29).

Los factores de riesgo de lesiones neuromusculares y biomecánicas del LCA, como una mala mecánica de aterrizaje, una capacidad de atenuación de la fuerza inadecuada y un reclutamiento muscular ineficiente, pueden modificarse, y los programas de entrenamiento neuromuscular que se centran en mejorar la fuerza, la potencia y la coordinación parecen reducir el riesgo de lesión del LCA (31).

2.2.7 Principios biomecánicos en la prevención de lesiones del LCA

Los principios biomecánicos de la prevención de lesiones del LCA se centran en mejorar la estabilidad dinámica, optimizar la alineación de las articulaciones y fortalecer los grupos musculares clave que controlan los movimientos de las extremidades inferiores (31).

Un elemento clave dentro de los principios biomecánico es el control adecuado del tronco. Dado que esta región concentra aproximadamente la mitad de la masa corporal, su estabilidad resulta decisiva, sobre todo en maniobras que implican cambios rápidos de dirección. Cuando el tronco no se estabiliza correctamente, es común que aparezca una inclinación lateral marcada, lo cual amplifica el brazo de momento en el plano frontal y modifica la orientación del vector de la fuerza de reacción del suelo. Estos cambios terminan

incrementando la carga que soporta la rodilla. En cambio, una inclinación medial del tronco suele relacionarse con un movimiento más eficiente, ya que acerca el centro de masa a la rodilla contribuye a disminuir tensiones articulares excesivas. Sin embargo, inclinar demasiado el tronco hacia adelante puede aumentar la tensión sobre los isquiotibiales, haciéndolos más propensos sufrir lesiones (31).

Por ello, es fundamental que los deportistas aprendan a mantener una postura del troco alineada y estable. Una buena organización postural no solo favorece una distribución más equilibrada de las fuerzas durante la ejecución del movimiento, sino que también actúa como un factor protector de la articulación de la rodilla (32).

La prevención de las lesiones del LCA debe basarse en un enfoque integral que considere tanto la estabilidad y coordinación de los segmentos proximales como el tronco y la pelvis, así como el fortalecimiento y activación específicos de los grupos musculares distales como: los cuádriceps, los isquiotibiales y los estabilizadores del tobillo. Al optimizar estos elementos biomecánicos, los deportistas pueden mejorar el control de la alineación de la rodilla y de sus patrones de movimiento, reduciendo la probabilidad de posiciones de alto riesgo y minimizando las fuerzas que contribuyen a las lesiones del LCA. La integración del entrenamiento propioceptivo, la reeducación neuromuscular y el acondicionamiento de la fuerza en estos grupos musculares clave ayudará a crear una cadena cinética resistente y bien coordinada que proteja eficazmente el LCA de la carga multidireccional excesiva (32).

Tabla 2. La tabla resume el papel de los diferentes grupos musculares y controles biomecánicos en el apoyo a la estabilidad de la rodilla, la eficiencia del movimiento y la prevención de lesiones *

Segmento corporal	Descripción
Fuerza y activación de los isquiotibiales	Los isquiotibiales apoyan la protección del LCA al disminuir las fuerzas de cizallamiento en la articulación de la rodilla, mejorar la flexión de la rodilla y reducir tanto el deslizamiento anterior de la tibia como las fuerzas de reacción del suelo. Cuando los isquiotibiales mediales presentan debilidad, o cuando existe una activación predominante del vasto lateral, el riesgo de sufrir una lesión del LCA tiende a incrementarse. Dentro de este grupo muscular, el semitendinoso destaca por su

	papel esencial en el control del movimiento, especialmente al frenar y generar impulso durante la extensión de cadera.
Fuerza y activación de los cuádriceps	El grupo muscular del cuádriceps cumple un rol esencial en la regulación del movimiento, ya que permite realizar un frenado excéntrico eficiente y una propulsión concéntrica adecuada. Además, participa en la generación de momentos flexores de la rodilla durante la recepción de peso corporal. Los cuádriceps débiles pueden provocar alteraciones en la mecánica del movimiento, como una mayor flexión de la cadera y el tronco, esto incrementa la carga sobre los isquiotibiales y eleva el riesgo de lesión del LCA.
Fuerza y activación del sóleo	El músculo sóleo genera una fuerza de cizallamiento posterior que contribuye a la estabilización de la rodilla y participa en el control del frenado durante las fases de aterrizaje y de propulsión.
Activación del peroneo largo y tibial anterior	Estos músculos contribuyen a la estabilidad del tobillo al regular movimientos como la inversión, la supinación y la rotación interna, este control es cruciales para mantener una alineación adecuada de la extremidad inferior y reducir cargas excesivas sobre la rodilla que pueden poner en riesgo la integridad del LCA.
Fuerza intrínseca de los flexores del pie y la punta	Contribuye al almacenamiento y retorno de energía elástica, apoya el arco medial y mejora la propulsión y la estabilidad del tobillo. Un buen desarrollo de estos músculos permite conservar una mecánica funcional del pie, disminuyendo patrones compensatorios que podrían trasladar cargas inadecuadas hacia la rodilla y con ello aumentar el riesgo de comprometer el LCA.
Fuerza y activación de los aductores	El grupo muscular de los aductores tiene un rol relevante durante la fase de impulso, momento en el que la cadera se extiende y la pelvis rota hacia la dirección del desplazamiento. Dentro de este grupo, el músculo grácil destaca por su alta velocidad de estiramiento, lo que lo hace especialmente

	<p>susceptible a las cargas excéntricas y a lesiones en la región inguinal. Dichas lesiones pueden alterar la mecánica de las extremidades inferiores y de manera indirecta comprometer la estabilidad del LCA.</p>
Control dinámico del tronco	<p>Dado que el tronco representa cerca de la mitad de la masa corporal, su estabilidad sobre una sola extremidad es esencial durante las tareas de cambio de dirección (DQO). La flexión lateral del tronco incrementa la distancia del brazo del momento del plano frontal y afecta la orientación del vector de la fuerza de reacción del suelo (GRF), lo que eleva las cargas aplicadas sobre la articulación de la rodilla durante estas tareas. La falta de control lateral del tronco se ha vinculado con una mayor probabilidad de lesión del LCA, mientras que una leve inclinación hacia el lado medial facilita patrones de movimiento más eficiente durante la DQO. Por su parte una flexión excesiva hacia adelante aumenta la tensión sobre los isquiotibiales, en especial durante las fases de desaceleración.</p>
Control pélvico	<p>La inclinación de la pelvis puede influir en los ángulos de flexión lateral del tronco, favoreciendo una alineación corporal más adecuada y una orientación más eficiente del movimiento. Un buen control pélvico ayuda a mantener la estabilidad durante las tareas funcionales y disminuye la tensión innecesaria sobre la articulación de la rodilla, lo que contribuye a proteger al LCA frente a cargas excesivas.</p>
Fuerza y activación del rotador externo de la cadera (glúteos)	<p>Los rotadores externos de cadera reducen el ángulo de abducción de la rodilla (KAA), el momento de abducción de la rodilla (KAM) y los brazos de momento en el plano frontal. El aumento de los ángulos y momentos del valgo de la rodilla está relacionado con un mayor riesgo de lesiones del LCA. La fuerza de los glúteos contrarresta las fuerzas del valgo de la rodilla y los momentos de rotación, y la activación del glúteo medio inferior se asocia con momentos de abducción de la rodilla más altos. Los músculos glúteos, particularmente los</p>

extensores de la cadera son vitales para generar grandes momentos de flexión de la cadera y garantizar la estabilización durante la desaceleración y la estabilización del tronco. La rotación externa isométrica deficiente de la cadera está relacionada con lesiones del LCA sin contacto.

***Tomado de:** Stańczak M, Swinnen B, Kacprzak B, Pacek A, Surmacz J. Neurophysiology of ACL injury. Orthop Rev (Pavia) [Internet]. 2025;17:129173. DOI 10.52965/001c.129173

2.2.8 Programas de entrenamiento

Los estudios incluidos fueron aquellos que utilizaron un programa de entrenamiento preventivo destinado a reducir la incidencia de lesiones de LCA. Este tipo de entrenamiento es el que mejor aborda los factores de riesgos modificables mencionados anteriormente. Los programas deben incluir una combinación de ejercicios de fortalecimiento (ejercicios que tienen como objetivo promover una mayor generación de fuerza muscular.), pliometría (ejercicios con movimientos balísticos que contienen fases concéntricas y excéntricas, enfocados en la optimización del ciclo de estiramiento y acortamiento, como el salto y el aterrizaje), neuromusculares y propioceptivos (conciencia del movimiento) (31).

- **Programa de entrenamiento neuromuscular (NMT):** el entrenamiento neuromuscular tiene como objetivo optimizar la respuesta coordinada entre el sistema y los músculos estabilizadores de la rodilla a través de ejercicios de equilibrio, propiocepción y control motor. Este enfoque mejora la alineación articular, el control del valgo dinámico y la activación de los músculos isquiotibiales. Ha demostrado ser particularmente efectivo en atletas jóvenes, su combinación con ejercicios de fuerza excéntrica y pliometría incrementa su eficacia en la prevención de lesiones del LCA (33).
- **Programa de entrenamiento pliométrico:** el entrenamiento pliométrico se basa en ejercicios de carácter explosivo como saltos, rebotes, y cambios de dirección destinados a mejorar la potencia muscular y la eficacia del ciclo de estiramiento-acortamiento. Este tipo de entrenamiento favorece el desarrollo de la fuerza rápida, la coordinación y la técnica de aterrizaje, reduciendo así las fuerzas de impacto sobre el LCA. Su efectividad aumenta cuando se combina con programas de fuerza y control muscular, contribuyendo significativamente a la prevención de lesiones en deportistas de alto rendimiento (38).

- **Programa FIFA 11+:** El FIFA 11+ es un protocolo de calentamiento estructurado diseñado por la FIFA Medical and Research Centre, compuesto por tres fases que incluyen carrera, fuerza, equilibrio, control postural y pliometría. Su aplicación antes de la sesión de entrenamiento, con una duración de 20-30 minutos, mejora el control neuromuscular, la estabilidad articular y la resistencia muscular. La evidencia científica muestra que su aplicación reduce de forma significativa las lesiones del LCA y de miembros inferiores, por lo que es uno de los programas más utilizados en equipos de fútbol y otras disciplinas de conjunto (51).

CAPÍTULO III. METODOLOGIA

3.1 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación se basó en un diseño documental de tipo bibliográfico, orientado en la recopilación, revisión, análisis e interpretación de información obtenida a partir fuentes bibliográficas y documentales como libros, artículos de diferentes bases de datos, que se estén relacionados con la efectividad de los programas de entrenamiento preventivo en lesiones del ligamento cruzado anterior.

3.2 Tipo de Investigación

La presente investigación se enmarca en un enfoque de tipo bibliográfico, fundamentado en la recopilación, análisis y síntesis de información proveniente de fuentes científicas confiables y publicadas en revistas de alto impacto, para el análisis de la efectividad de los programas de entrenamiento preventivo en lesiones del ligamento cruzado anterior, basándose en estudios previos como ensayos clínicos y artículos académicos relevantes. Esta metodología permitió construir una investigación sólida ya actualizada sobre el tema propuesto.

3.3 Nivel de la Investigación

Se empleó un nivel de investigación descriptivo, el cual se orienta a organizar y exponer de manera clara y estructurada las variables involucradas en el estudio, se realizó a través del análisis de estudios previos y evidencia documental mediante la búsqueda en diferentes bases de datos científicas y revistas de alto impacto sobre la efectividad de los programas de entrenamiento preventivo en lesiones del ligamento cruzado anterior, consistió en la descripción del comportamiento de cada una de las variables. Este enfoque posibilita la identificación de elementos relevantes como los beneficios de este tipo de entrenamiento.

3.4. Método de la Investigación

Se empleó el método de investigación inductivo, ya que se fundamenta en el análisis de casos particulares o evidencias específicas para formular conclusiones de mayor alcance. Este enfoque permite construir conocimiento a partir de diversos estudios de caso desarrollados por diversos autores que describen la efectividad de los programas de entrenamiento preventivo en lesiones del ligamento cruzado anterior, lo que permite reconocer aspectos clave como los beneficios asociados a este tipo de entrenamiento.

3.5. Según la cronología de la investigación

La investigación realizada fue de carácter retrospectivo, que comenzó del análisis de documentos clínicos e investigaciones anteriores que detallan la efectividad de los programas de entrenamiento preventivo en lesiones del ligamento cruzado anterior. Se revisaron datos en estudios entre el 2015-2025, ya que el estudio se centra en el análisis de hechos pasados mediante la revisión y recopilación de información proveniente de fuentes bibliográficas.

3.6. Población

La población de estudio estuvo conformada por 150 artículos científicos, seleccionados a rigurosamente por su relevancia temática y metodología. Todos los estudios revisados describen temas vinculados a programas de entrenamiento preventivo en lesiones del ligamento cruzado anterior en deportistas. La búsqueda y consulta de estos artículos se realizó en bases de datos académicas reconocidas como Medline a través de PubMed, Web of Science y PEDro.

3.7. Muestra

A partir de la población inicial 150 artículos científicos, se seleccionó 23 artículos que cumplieran con los criterios previamente establecidos para esta investigación, los cuales corresponden a ensayos controlados aleatorizados (ECAs), evaluados a través de la base de datos Physiotherapy Evidence Database (PEDro). Estos estudios constituyeron la muestra final empleada tanto para el análisis como para la fundamentación teórica de la investigación.

3.8. Criterios de inclusión

- Artículos publicados entre los años 2015 y 2025.
- Artículos que incluyan las variables de estudio.
- Publicaciones científicas con acceso completo.
- Ensayos clínicos aleatorizados en el idioma inglés y español.
- Artículos científicos publicados en bases datos reconocidas por su confiabilidad.

3.9. Criterios de exclusión

- Artículos que no cumplan con los criterios metodológicos establecidos por la escala PEDro, que tengan una puntuación menor a 6.
- Artículos duplicados o con información incompleta.

- Artículos con escasa relevancia científica.
- Artículos que no incluyan las variables contempladas en el estudio.
- Artículos cuya metodología resulte poco comprensible y no contribuya al propósito de la investigación.

3.10 Técnicas de recolección de datos

Las estrategias de búsqueda siguieron las directrices de la declaración PRISMA (Preferred reporting items for systematic reviews and Meta-Analyses y se basaron en los siguientes términos descriptivos y palabras clave definidos por los autores, basados en el Medical Subject Headings (MESH): “preventive program or preventive training” and “anterior cruciate ligament injuries or knee injuries”. Para optimizar la búsqueda, se utilizó el operador booleano “AND” con el fin de identificar estudios que incluyeran todos los términos deseados, mientras que el operador booleano “OR” permitió ampliar y especificar los resultados. La búsqueda se llevó a cabo en inglés aplicando la misma metodología. La combinación de estas palabras claves fueron investigadas en las siguientes bases de datos académica como Web of Science, PEDro, Medline a través de PubMed.

La recopilación incluyó un total de 150 artículos preliminares publicados entre los años 2015-2025. Posteriormente se realizó el análisis crítico de los estudios encontrados, aplicando criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos para garantizar la calidad de la información. Como resultado de este proceso riguroso, se seleccionó una muestra final de 23 artículos válidos, los cuales fueron evaluados según la escala Physiotherapy Evidence Database (PEDro) la cual evalúa la calidad metodológica de estudios de fisioterapia, especialmente en ensayos clínicos controlados aleatorizados (ECAs).

3.11 Métodos de análisis y procesamiento de datos

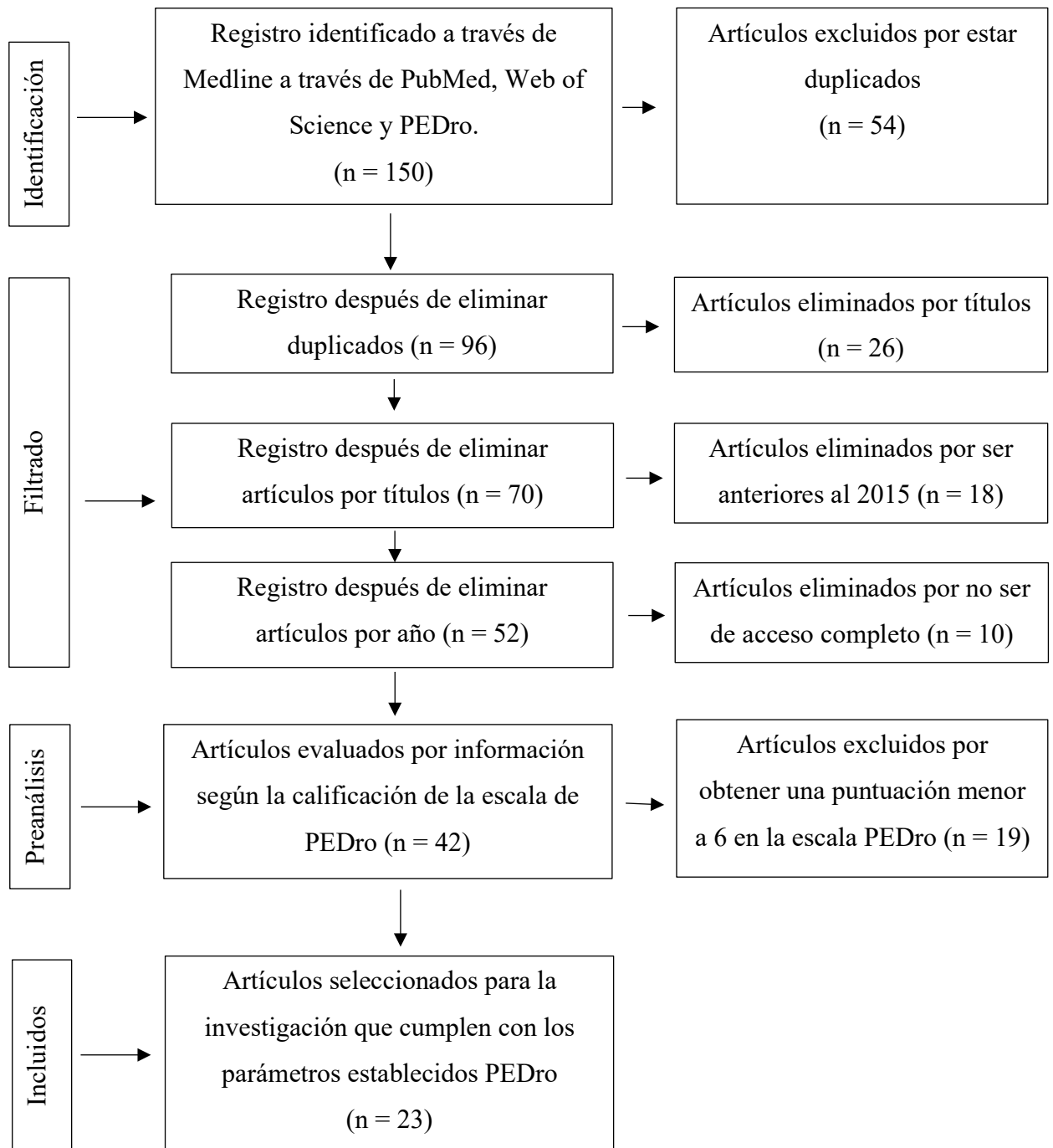


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA del proceso de selección

* Tomado de: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Moher D. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. Systematic reviews. 2021; 10(1): 1-11.

3.12 Análisis de artículos científicos según la escala de PEDro

Tabla 3. Valoración de la calidad metodológica de los estudios controlados aleatorizados mediante la Escala de PEDro

N	AUTORES	TÍTULO EN INGLÉS	TÍTULO EN ESPAÑOL	BASE CIENTÍFICA	CALIFICACIÓN ESCALA PEDro
1	Ghanati 2022 (33)	Examining the influence of attentional focus on the effects of a neuromuscular training program in male athletes	Análisis de la influencia de la atención focalizada en los efectos de un programa de entrenamiento neuromuscular en atletas masculinos	MEDLINE	6/10
2	Ghanati 2022 (34)	Comparing the effects of differential learning, self-controlled feedback, and external focus of attention training on biomechanical risk factors of anterior cruciate ligament (ACL) in athletes: A randomized controlled trial	Comparación de los efectos del aprendizaje diferencial, la retroalimentación autocontrolada y el entrenamiento de atención focalizada externa sobre los factores de riesgo biomecánicos del ligamento cruzado anterior (LCA) en atletas: Un ensayo controlado aleatorizado	MEDLINE	6/10
3	Root 2022 (35)	Preventive training program feedback complexity, movement control, and performance in youth athletes	Complejidad de la retroalimentación, control del movimiento y rendimiento en programas de entrenamiento preventivo en atletas jóvenes	PubMed	6/10

4	Fernández 2021 (36)	Anterior cruciate ligament injury preventive program for soccer female players during confinement periods	Programa preventivo de lesión de ligamento cruzado anterior en fútbol femenino durante períodos de confinamiento	Web of Science	7/10
5	Zarei 2020 (37)	The 11+ Kids warm-up programme to prevent injuries in young Iranian male high-level football (soccer) players: A cluster-randomised controlled trial	Programa de calentamiento para niños de 11 años o más para prevenir lesiones en jóvenes jugadores iraníes de fútbol de alto nivel: Un ensayo controlado aleatorizado por grupos	PubMed	6/10
6	Alikhani 2019 (38)	The effect of a six-week plyometric training on dynamic balance and knee proprioception in female badminton players	Efecto de un entrenamiento pliométrico de seis semanas sobre el equilibrio dinámico y la propiocepción de la rodilla en jugadoras de bádminton	MEDLINE	6/10
7	Achenbach 2018 (39)	Neuromuscular exercises prevent severe knee injury in adolescent team handball players	Los ejercicios neuromusculares previenen lesiones graves de rodilla en jugadores adolescentes de balonmano	MEDLINE	7/10
8	Taylor 2018 (40)	A 6-week warm-up injury prevention programme results in minimal biomechanical changes during jump	Un programa de calentamiento de seis semanas para la prevención de lesiones produce cambios biomecánicos mínimos durante las	Web of Science	7/10

		landings: a randomized controlled trial	caídas de salto: un ensayo controlado aleatorizado		
9	Whyte 2018 (41)	Effects of a dynamic core stability program on the biomechanics of cutting maneuvers: A randomized controlled trial	Efectos de un programa dinámico de estabilidad del core sobre la biomecánica de las maniobras de corte: Un ensayo controlado aleatorizado Ensayo	MEDLINE	6/10
10	Thompson 2018 (42)	Age influences biomechanical changes after participation in an anterior cruciate ligament injury prevention program	La edad influye en los cambios biomecánicos tras la participación en un programa de prevención de lesiones del ligamento cruzado anterior	MEDLINE	7/10
11	Yang 2018 (43)	Effects of an intervention program on lower extremity biomechanics in stop-jump and side-cutting tasks	Efectos de un programa de intervención sobre la biomecánica de las extremidades inferiores en tareas de parada-salto y corte lateral	PubMed	7/10
12	Omi 2018 (44)	Effect of hip-focused injury prevention training for anterior cruciate ligament injury reduction in female basketball players: A 12-year prospective intervention study	Efecto del entrenamiento de prevención de lesiones centrado en la cadera para la reducción de lesiones del ligamento cruzado anterior en jugadoras de baloncesto: Un estudio de intervención prospectivo de 12 años	PubMed	6/10

13	Sugimoto 2017 (45)	Preventive neuromuscular training for young female athletes: Comparison of coach and athlete compliance rates	Entrenamiento neuromuscular preventivo para atletas jóvenes: Comparación de las tasas de cumplimiento de entrenadoras y atletas	PEDro	6/10
14	Oliveira 2017 (46)	Balance training enhances motor coordination during a perturbed sidestep cutting task	El entrenamiento de equilibrio mejora la coordinación motora durante una tarea de corte lateral con perturbación	PEDro	6/10
15	Weltin 2017 (47)	Effects of perturbation or plyometric training on core control and knee joint loading in women during lateral movements Controlled Trial	Efectos del entrenamiento pliométrico o con perturbación sobre el control del core y la carga articular de la rodilla en mujeres durante los movimientos laterales. Ensayo controlado	MEDLINE	6/10
16	Bonato 2017 (48)	Neuromuscular training reduces lower limb injuries in elite female basketball players. A cluster randomized controlled trial	El entrenamiento neuromuscular reduce las lesiones de las extremidades inferiores en jugadoras de baloncesto de élite. Ensayo controlado aleatorizado por grupos	MEDLINE	7/10
17	Thompson 2017 (49)	Biomechanical effects of an injury prevention program in preadolescent female soccer athletes	Efectos biomecánicos de un programa de prevención de lesiones en futbolistas preadolescentes	MEDLINE	6/10

18	Staynor 2017 (50)	Targeting associated mechanisms of anterior cruciate ligament injury in female community-level athletes	Abordaje de los mecanismos asociados a la lesión del ligamento cruzado anterior en deportistas femeninas de nivel comunitario	PEDro	6/10
19	Al Attar 2017 (51)	Adding a post-training FIFA 11+ exercise program to the pre-training FIFA 11+ injury prevention program reduces injury rates among male amateur soccer players: a cluster-randomised trial	Añadir un programa de ejercicios FIFA 11+ post-entrenamiento al programa de prevención de lesiones FIFA 11+ pre-entrenamiento reduce las tasas de lesiones en futbolistas aficionados masculinos: ensayo aleatorizado por grupos	PEDro	7/10
20	Zebis 2016 (53)	Effects of evidence-based prevention training on neuromuscular and biomechanical risk factors for ACL injury in adolescent female athletes: a randomised controlled trial	Efectos del entrenamiento preventivo basado en la evidencia sobre los factores de riesgo neuromusculares y biomecánicos de la lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) en deportistas adolescentes: ensayo controlado aleatorizado	PubMed	7/10
21	Marshall 2016 (54)	Economic impact study: neuromuscular training reduces the burden of injuries and costs	Estudio de impacto económico: el entrenamiento neuromuscular reduce la carga de lesiones y los costes en	PubMed	6/10

		compared to standard warm-up in youth soccer	comparación con el calentamiento estándar en el fútbol juvenil		
22	Hammes 2015 (55)	Injury prevention in male veteran football players - a randomised controlled trial using “FIFA 11+.”	Prevención de lesiones en futbolistas veteranos masculinos: ensayo controlado aleatorizado con FIFA 11+	MEDLINE	7/10
23	Granelli 2015 (56)	Efficacy of the FIFA 11+ injury prevention program in the collegiate male soccer player	Eficacia del programa de prevención de lesiones FIFA 11+ en futbolistas universitarios masculinos	Web of Science	6/10

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Síntesis de los Ensayos Clínicos Aleatorizados

Nº	AUTORES	PARTICIPANTES	INTERVENCIÓN	VARIABLES	RESULTADOS
1	Ghanati 2022 (33)	66 atletas universitarios (18-26 años) de voleibol (n=18), baloncesto (n=23) o balonmano (n=25). Los participantes fueron asignados aleatoriamente a: Grupo Enfoque Interno (IF, n=22), Grupo Enfoque Externo (EF, n=22) o Grupo Control (n=22).	Programa de entrenamiento neuromuscular de 8 semanas: semanas 1-6 con 3 sesiones/semana, semanas 7-8 con 2 sesiones/semana; ejercicios incluidos: sentadillas con ambas piernas, zancadas, sentadillas a una pierna, saltos de caída, apoyo monopodal en superficie inestable, saltos con contra-movimiento a una pierna, desplazamientos	de Se midieron: 1) fuerza isocinética de abducción y rotación externa de cadera (dominante); 2) cinemática y cinética en tarea de aterrizaje unilateral (ángulos de aducción de cadera, rotación interna de cadera, ángulo de abducción de rodilla, fuerza de reacción vertical); 3) desempeño funcional: distancia en salto triple a una pierna.	El grupo con enfoque externo (EF) mostro las mayores mejoras tras el programa neuromuscular. Presento aumentos significativos en la fuerza abductora de cadera respecto al grupo control y al grupo de enfoque interno ($p < 0.05$), mientras que el grupo IF no difirió del control ($p > 0.05$). Durante el aterrizaje unilateral, el grupo EF registró menores ángulos de aducción y rotación interna de cadera en comparación con ambos grupos ($p < 0.05$), indicando un mejor control biomecánico del miembro inferior. No se observaron diferencias entre grupos en el ángulo de abducción de rodilla ($p = 0.38$) ni la fuerza de reacción vertical ($p > 0.05$). En el rendimiento funcional, el grupo EF obtuvo mayor distancia en el salto

		horizontales, salto largo a una pierna.		triple a una pierna en comparación con control e IF ($p < 0.05$), mientras que IF no difirió del control ($p > 0.05$). El enfoque externo produjo las adaptaciones neuromusculares y funcionales más favorables.
2	Ghanati 2022 (34)	48 atletas masculinos competitivos (handball, volleyball, basketball) asignados aleatoriamente en 4 grupos: Differential Learning (DL n=12), Self- Controlled Feedback (SF, n=12), External Focus of Attention (EF, n=12) y Control (CG, n=12). Se excluyeran atletas con lesión de extremidad inferior-	Programa de 8 semanas con 3 sesiones por semana, que incluyó entrenamiento neuromuscular orientado a aterrizajes de pierna única, saltos y cambios de dirección. Los grupos DL y EF usaron variabilidad de ejercicios / instrucción externa respectivamente; el grupo SF recibió feedback contralado por el participante; el grupo	Variables cinemáticas (ángulo de flexión de cadera, rodilla, dorsiflexión de tobillo, ángulo de abducción de rodilla) y variables cinéticas (fuerza de reacción vertical, momento de abducción de rodilla, momento de abducción y rotación de cadera) durante salto-aterrizaje de una pierna única.
				El análisis reveló una interacción significativa “grupo x tiempo” para la mayoría de las variables ($p \leq 0.05$). los grupos DL y EF mostraron reducciones significativas en los factores de riesgo biomecánico del LCA en comparación con SF y CG. Ejemplo de resultados: ángulo máximo de abducción de rodilla disminuyó en DL frente a CG ($p = 0.001$) y frente SF ($p = 0.013$); EF vs SF también mostró $p = 0.001$. La fuerza de reacción vertical máxima disminuyó en DL frente a CG ($p = 0.010$). En momentos de rotación externa de cadera DL vs SF $p = 0.005$: momentos de abducción de cadera DL vs CG $p = 0.001$.

		tronco en los últimos 6 meses.	CG no recibió intervención específica.		
3	Root 2022 (35)	420 atletas juveniles (edad media aproximadamente 11± 3 años) de equipos de fútbol formativo, asignados por clúster a tres grupos: Simplificado (n = 173), Tradicional (n = 118), Control (n = 129).	Programa de calentamiento preventivo implementado durante una temporada, 10-12 minutos, 2-3 veces/semana: tanto el grupo Simplificado como el Tradicional realizaron los mismos ejercicios, pero el grupo simplificado recibió retroalimentación simplificada (solo plano sagital) y el grupo Tradicional retroalimentación en todos los planos motrices. El grupo Control realizó	Principales variables: 1) Técnica de aterrizaje- salto evaluada mediante el sistema Landing Error Scoring System (LESS; es número de errores de movimiento) en salto- aterrizaje de una caja de 30 cm con rebote vertical, 2) Rendimiento en salto de longitud en pie fijo Standing Long Jump, Evaluaciones realizadas en PRE (pretemporada), POST (~8 semanas después), Retención 1 (R1, ~6 semanas pos-temporada) y Retención 2	Los análisis de cambio demostraron: mejoras significativas en LESS de PRE a POST en los tres grupos (Simplificado, Tradicional y Control). Las mejoras se mantuvieron en R1 y R2 en los grupos de intervención (Simplificado y Tradicional). En LJ, el grupo Tradicional obtuvo un rendimiento significativamente superior al Simplificado y al Control en POST ($p < 0.001$) y en R1 ($p = 0.049$).

		su calentamiento habitual.	(R2, ~12 semanas pos-temporada)	
4	Fernández 2021 (36)	42 jugadoras de fútbol femenino profesional, con edad media de $23,5 \pm 3,6$ años; participantes durante el confinamiento por COVID-19. Se dividieron en dos grupos: intervención (n=22) y control (n=20).	Programa preventivo de LCA realizado en casa durante 8 semanas (3 sesiones/semana): con ejercicios de fuerza, estabilidad central y técnica de aterrizaje. El grupo control mantuvo un programa general sin ejercicios específicos de prevención de LCA.	Valoración funcional (test de salto, técnica de aterrizaje, control motor). El grupo intervención mostró mejoras significativas en el control neuromuscular y la técnica de salto-aterrizaje ($p < 0,05$) en comparación con el grupo control. Se concluye que un programa domiciliario estructurado puede ser eficaz para reducir riesgos de lesión de LCA.
5	Zarei 2020 (37)	962 jugadores masculinos de fútbol juvenil de Irán (INT 443 jugadores de 20 equipos, CON = 519 jugadores de 22 equipos) con un total	El grupo intervención reemplazó su calentamiento habitual por el programa FIFA 11+ Kids durante una temporada (~9 meses). El grupo control continuó	Incidenia de lesiones (número de lesiones / 1 000 h de juego) en jugadores jóvenes de alto nivel. Durante el seguimiento ocurrieron 90 lesiones en total (INT 30; CON = 60). La densidad de incidencia global cayó un 50 % en el grupo respecto al control (RR 0.50; IC 95% 0.32-0.78).

		de 64 047 h de con su calentamiento exposición (INT = 31 estándar. 934 h; CON = 32 113 h).	
6	Alikhani 2019 (38)	22 jugadoras de entrenamiento pliométrico (plyometric training, PT) durante 6 semanas para el grupo experimental; el grupo control mantuvo su entrenamiento habitual. (ExG) o grupo control (CG).	Programa de Equilibrio dinámico (Dynamic Balance, DB) medido mediante la prueba Y-Balance. Propiocepción de rodilla (Knee Proprioception, KP) evaluada a 45° y 60° de flexión.
7	Achenbach 2018 (39)	279 jugadores adolescentes de balonmano (media edad ≈15 años); 23 equipos (13 en intervención n = 168; ejercicios de agilidad,	Incidenca de lesiones graves de rodilla (lesiones que causan ≥4 semanas de baja), todas las lesiones de extremidad inferior, horas de exposición; edad de lesionados.
			Se reportaron 82 lesiones totales entre los participantes (incidencia general: 1.85 lesiones por 1 000 de exposición). La incidencia de lesiones graves de rodilla fu significativamente más alta en el grupo control (0.33 por 1 000 h) que en el grupo intervención (0,04 por 1 000 h), con una OR

		10 en control n = 111).	equilibrio, fuerza, pliometría y control de rodilla/tobillo; frecuencia mensual registrada.		=0.11 (IC 95%: 0.01-0,90; p=0.019). No se observaron diferencias significativas entre grupo intervención y control para otras lesiones en las extremidades inferiores.
8	Taylor 2018 (40)	97 atletas adolescentes de deportes multidireccionales (nivel secundaria / high-school), de mediana edad 15,4 ± 1,0 años en el grupo intervención (n = 48) y 15,7 ± 1,6 años en el grupo control (n = 49).	Programa preventivo de LCA basado en calentamiento durante 6 semanas (grupo intervención, 6-week warm-up ACL prevention programme; grupo control: calentamiento habitual). Se integró en calentamientos habituales antes de entrenamientos.	Análisis biomecánico tridimensional de aterrizajes en salto doble y simple (sagital y frontal): ángulo y momento de abducción, rotación interna, flexión de rodilla, fuerzas verticales de frenado. Comparación pre y post intervención.	No se observaron cambios biomecánicos significativos en la mayoría de las tareas entre pre y post intervención. Sin embargo, hubo una interacción grupo x tarea significativa para el momento de abducción de rodilla ($\lambda = 0.80$, $p = 0.02$): el grupo intervención mostró una disminución relativa del momento de abducción de rodilla durante el salto con doble pierna sagital (SAG-DL) comparado con el salto de una pierna sagital (SAG-SL) ($p = 0.005$; $d = 0.45$; IC 0.04-0.85).
9	Whyte 2018 (41)	31 futbolistas de universitarios varones, asignados aleatoriamente en dos grupos: Grupo de	Programa de 6 semanas de entrenamiento de estabilidad central dinámica, realizado 3 veces por semana:	Se evaluó la biomecánica de maniobras de cambio de dirección cutting mediante análisis 3D:	Tras la intervención, el grupo DCS mostró mejoras significativas en comparación con el grupo control. Aumento del momento interno de extensión de cadera en el anticipado ($p = 0.017$).

		Estabilidad Central complementario al Momentos articulares de Reducción del momento de valgo de rodilla Dinámica (DCS) n = entrenamiento habitual. cadera y rodilla. en el side-cut anticipado ($p = 0,026$). 15 y Grupo Control n Incluyó ejercicios Fuerzas de reacción del Reducción del momento de rotación externa =16. Ninguno progresivos de control del suelo (GRF). de rodilla en cortes anticipados ($p = 0,041$) presentaba lesiones tronco estabilidad Cinética en fase de Disminución significativa de las fuerzas musculoesqueléticas lumbopélvica y aceptación de peso posteriores de reacción del suelo en todas recientes. activación neuromuscular durante cortes anticipados las maniobras de cambio de dirección (p durante tareas dinámicas. y no anticipados (side-cut entre 0,015-0,030). y crossover). No se observaron cambios significativos en la cinemática del tronco (sin diferencias tiempo-grupo).
10	Thompson, 2018 (42)	94 jugadoras de El programa consistió en Intervención mediante Las jugadoras preadolescentes presentaron fútbol femenino: 15 sesiones del captura de movimiento y en la evaluación inicial mayores ángulos de -Preadolescentes calentamiento preventivo electromiografía: valgo de rodilla en todas las tareas respecto (edad 10-12 años): n F-MARC 11+, con -Ángulos articulares y a las adolescentes. Tras la intervención: =51 (grupo frecuencia de 2 veces por momentos de rodilla solo el grupo preadolescente mostró intervención =28, semana para los grupos (especialmente valgo) mejoras significativas: evidenciadas por grupo control =23); intervención durante tareas saltos con una reducción del ángulo de valgo al -Adolescentes (edad (preadolescentes y ambas piernas, salto con contacto inicial durante el salto a dos 14-18 años): n =43 adolescentes). una pierna corte planeado piernas (-1.24°; $p = 0,036$) y una (grupo intervención y no planeado. disminución del momento máximo de valgo

		=22, grupo control =21).	-Con-contracción muscular flexor-extensor de la rodilla estimada mediante EMG.	de rodilla (-0.57 % peso-altura; $p = 0,036$). Además, este grupo incrementó de forma significativa la co-contracción precontacto en el corte replanteado en comparación con las adolescentes ($p = 0,002$). No se observaron cambios relevantes en el grupo adolescente.
11	Yang 2018 (43)	40 atletas universitarios de baloncesto y voleibol (22 hombres y 18 mujeres), asignados aleatoriamente a grupo intervención o control; todos presentaban factores biomecánicos de riesgo de LCA y realizaban	Grupo intervención: programa de 4 semanas con entrenamiento de fuerza y pliometría, 3 sesiones/semana, integrado al entrenamiento habitual. Grupo control: entrenamiento habitual sin intervención adicional.	Ángulo de flexión de rodilla al pico de fuerza de reacción al suelo posterior en tareas de stop-jump y side-cutting (captura 3D). Hombres intervención: aumento significativo del ángulo de flexión de rodilla en stop-jump en semanas 8,12 y 20 comparado con la semana 0 y con control ($p \leq 0.002$); efecto retenido al menos 16 semanas post intervención. No hubo cambios significativos en stop-jump en mujeres ni en side-cutting en ningún sexo. No se observaron diferencias en fuerzas de reacción al suelo ni en velocidad de despegue para hombres; en mujeres se

		entrenamiento habitual.			redujo la velocidad de despegue en stop-jump a las 20 semanas ($p = 0,011$).
12	Omi 2018 (44)	757 jugadoras universitarias de baloncesto femenino (durante 12 años): 309 en periodo de observación (edad media $19,6 \pm 1,2$ años; IMC $22,0 \pm 1,4$); 448 en periodo de intervención (mismas características).	Programa preventivo de años centrado en la cadera (HIP) con sesiones 3 veces por semana (~20 min) durante preseason y temporada. Incluía ejercicios de salto-aterrizaje, fuerza de cadera, equilibrio, control neuromuscular, progresando con bandas elásticas para enfatizar la alineación neutral de rodilla.	Incidenia LCA por 1000 exposiciones atléticas (Aes). Mecanismos de lesión (contacto vs no contacto). Riesgo relativo (RR) reducción absoluta del riesgo (ARR), número necesario a tratar (NNT) cumplimiento.	Durante el período de observación registraron 16 lesiones LCA, frente a 9 lesiones durante los 8 años del programa. La incidencia total disminuyó de 0.25 a 0.10 por 1000 exposiciones, con una reducción significativa del riesgo ($RR = 0.38$ $p = 0.017$). En las lesiones no contacto, la incidencia se redujo de 0.21 a 0.08 por 1000 exposiciones también como un descenso significativo del riesgo ($RR = 0.37$, $p = 0.026$). el cumplimiento promedio del programa fue alto (89%), lo que probablemente contribuyó a la eficacia observada.
13	Sugimoto 2017 (45)	547 atletas femeninas escolares (middle y high school), divididas aleatoriamente en:	El grupo experimental realizó un programa de entrenamiento neuromuscular preventivo (NMT)	Tasa de cumplimiento del entrenador (coach compliance) y tasa de cumplimiento de las atletas (athlete	El cumplimiento de los entrenadores fue promedio 1.3 ± 1.1 sesiones/semana en pretemporada y 1.2 ± 0.5 sesiones semana durante la temporada (~50% del objetivo).

		<p>Grupo experimental (n = 301; 12 equipos de baloncesto, 6 de fútbol y 12 de voleibol)</p> <p>Grupo control (n = 246)</p>	<p>centrado en estabilización del tronco y fortalecimiento de la cadera, con una frecuencia de 3 sesiones/semana durante la pretemporada (~3,4 semanas) y 2 sesiones/semana durante la temporada (~11,9 semanas). El grupo control realizó un programa alternativo de carreras con bandas elásticas con la misma frecuencia.</p>	<p>compliance), medidas por sesiones completadas y porcentaje de atletas que realizaron al menos 2/3 de las sesiones.</p>	<p>El 88,4 % de las atletas completó al menos 2/3 del programa.</p> <p>El cumplimiento fue significativamente mayor en entrenadores del grupo experimental en comparación con el control ($p = 0,014$), y en entrenadores de high school respecto a middle school ($p = 0,001$). No se encontraron diferencias significativas en el cumplimiento de las atletas según grupo, deporte o nivel escolar.</p>
14	<p>Oliveira</p> <p>2017</p> <p>(46)</p>	<p>26 adultos sanos varones (edad no especificada), asignados aleatoriamente a</p>	<p>Grupo entrenamiento: programa de 6 semanas de entrenamiento de equilibrio 4 sesiones/semanas de 30</p>	<p>Momento de abducción externa de rodilla en corte lateral perturbado.</p>	<p>El entrenamiento de equilibrio produjo una reducción significativa del momento de abducción de rodilla durante el corte lateral perturbado ($\approx 33\%$; $p < 0.03$). Asimismo, los participantes del grupo experimental</p>

		grupo de min cada una. Grupo entrenamiento (n = control: continuó con 13) o control (n=13). actividad habitual sin intervención.	Activación muscular del tronco y cadera (módulos motores, EMG). Duración de activación (burst) de módulos neuromusculares.	mostraron mayor activación de músculos del tronco y cadera y un incremento en la duración del burst neuromuscular temprano durante la perturbación ($p < 0.01$). El grupo control no mostró cambios relevantes.	
15	Weltin 2017 (47)	24 mujeres activas (edad no informada), asignadas aleatoriamente a grupo de perturbación- pliometría (PPT, n=12) o control (n=12) en ensayo aleatorizado por clúster.	PPT: programa de 4 semanas, 3 sesiones/ semana, de saltos reactivos laterales con perturbaciones en plataforma motorizada + (perturbación pliometría). Control: entrenamiento habitual sin PPT, pero con sesión de evaluación de landing.	Cinética y cinemática del tronco y la pelvis durante salto reactivos laterales (LRJ). Momentos articulares de rodilla (momento de extensión, momento de rotación interna) durante LRJ y maniobras de corte no anticipadas. Rotación de tronco y pelvis.	En LRJ, se observó reducción significativa de la rotación del tronco en dirección opuesta al nuevo movimiento ($p < 0.001$) y mayor rotación de pelvis hacia la nueva dirección ($p = 0.006$) después del programa PTT. El momento de extensión de rodilla disminuyó significativamente detrás del entrenamiento ($p = 0.028$). El momento de rotación interna de la rodilla se redujo significativamente ($p < 0.001$). En maniobras de corte no anticipadas, el entrenamiento PTT redujo la rotación del tronco en $\approx 7.2^\circ$ respecto al pretest, mejorando el control central.

16	Bonato 2017 (48)	160 jugadoras de baloncesto femenino de élite, distribuidas en 15 equipos: 8 equipos (86 jugadoras) en el Grupo Experimental (EG) y 7 equipos (74 jugadoras) en el Grupo Control (CG).	El grupo EG realizó un calentamiento con ejercicios neuromusculares con peso corporal antes de los entrenamientos; el grupo CG llevó a cabo ejercicios táctico-técnicos estándar. Todas las sesiones se realizaron durante la temporada regular 2015-2016.	Incidencia de lesiones del miembro inferior (durante prácticas y partidos). Proporción epidemiológica e incidencia por exposición. Fuerza de miembros inferiores, evaluada por salto con contramovimiento (CMJ). Control postural, medido por test de equilibrio Y-Balance (YBT).	Se registraron 111 lesiones en total, con una diferencia significativa entre grupos: el grupo experimental presentó 32 lesiones, mientras que el grupo control reportó 79 ($p = 0.006$). Durante los entrenamientos, las lesiones fueron significativamente menores en el grupo experimental (21 vs 52; $p < 0.0001$ y también durante los partidos 11 vs 27; $p = 0.006$). La incidencia por exposición fue menor en el grupo experimental (1.66 vs 4.69 por 1000 h; $p = 0.012$). Además, este grupo mostró mejoras significativas en el salto CMJ en el equilibrio Y-Balance ($p \leq 0.012$), mientras que el grupo control no presentó cambios destacables.
17	Thompson 2017 (49)	51 atletas femeninas de fútbol preadolescente (10-12 años); asignadas a grupo intervención n	Grupo intervención: 15 sesiones de programa F-MARC 11+, 2 x semana durante la nueva temporada; incluido	Se evaluaron cambios biomecánicos mediante captura de movimiento en tareas funcionales: Momentos articulares	El grupo intervención presentó una reducción significativa del momento máximo de valgo de rodilla durante el salto con ambas piernas en comparación con el control ($p = 0.034$). No se observaron

		<p>=28; edad media como calentamiento. (pico de movimiento de diferencias significativas entre grupos y en 11.8±0.8 años) y Grupo control: valgo de rodilla). otras tareas evaluadas. El programa también control (n =23; edad calentamiento habitual Ángulo y momentos de generó mejoras en el momento d eversión media 11,2±0,6 sin protocolo específico. eversión de tobillo en del tobillo en corte planeado ($p =0,015$), años). corte y salto. corte no anticipado ($p =0.004$) y salto Momento de abducción bilateral ($p=0.016$). Sin embargo, en el corte de cadera en salto no anticipado, el grupo intervención mostró unipodal. un aumento significativo del momento de valgo ($p = 0.044$).</p>
18	<p>Staynor 2017 (50)</p>	<p>18 atletas femeninas de deportes colectivos a nivel comunitario; asignadas a grupo intervención (n =8) y grupo de comparación (n =10).</p> <p>Intervención: programa biomecánicamente informado de 9 semanas, 15-20 min 2 veces por semana, con ejercicios pliométricos, resistencia y propiocepción, añadido al entrenamiento habitual.</p> <p>Comparación: entrenamiento habitual sin protocolo adicional.</p> <p>Activación muscular: se midieron los patrones de activación de 7 músculos que cruzan la rodilla. Mecánica de rodilla: en momento de valgo de rodilla y momento de rotación interna durante maniobras de sidestepping (corte lateral).</p> <p>El grupo intervención la activación total de los músculos de la rodilla se disminuyó en un 15.02% ($d =0.45$), mientras que en el grupo comparación hubo una disminución del 9.68% ($d =0.47$). En el grupo de comparación se observaron incrementos significativos en el pico de valgo de rodilla (+27.78% $d = -0.36$) y en momentos de rotación interna de la rodilla (+37.50% $d = -0.56$), lo que sugiere un mayor riesgo biomecánico.</p>

				En el grupo intervención no se observaron cambios significativos en valores máximos de valgo ni de rotación interna tras las 9 semanas lo que sugiere que el entrenamiento mitigó los efectos negativos del juego comunitario.
19	Al Attar 2017 (51)	21 equipos de fútbol masculino (edad 14-35 años); 10 equipos (160 jugadores) en grupo experimental, 11 equipos (184 jugadores) en grupo de control	Experimental: FIFA 11+ después más antes del entrenamiento 20 minutos y después 10 minutos durante toda la temporada. Control: FIFA 11+ solo antes del entrenamiento 20 minutos.	<p>Incidencia de lesiones totales por 1000 h de exposición.</p> <p>Incidencia de lesiones iniciales y recurrentes.</p> <p>Severidad de lesiones gravedad/días perdidos).</p> <p>El grupo que realizó el FIFA 11+ antes y después del entrenamiento presentó muchas menos lesiones que el grupo que solo realizó el calentamiento previo. En total, el grupo experimental registró 26 lesiones, mientras que el grupo control tuvo 82 lesiones, lo que representa una reducción significativa de la incidencia total de lesiones ($p=0.001$).</p> <p>La intervención también disminuyó de manera significativa las lesiones iniciales ($p=0.003$). Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los grupos en cuanto a lesiones recurrentes ($p=0.125$) ni en la severidad de las lesiones ($p=0.898$).</p>

				En conjunto, los resultados indican que añadir el programa post-entrenamiento potencia el efecto preventivo del FIFA 11+, reduciendo de forma importante el riesgo de lesión en jugadores.
20	Zebis 2016 (52)	40 atletas femeninas adolescentes (15–16 años) de fútbol y balonmano; asignadas aleatoriamente en dos grupos: Grupo NMT (entrenamiento neuromuscular), n = 20, y Grupo control (CON), n = 20.	El grupo NMT realizó un programa de prevención como calentamiento antes del entrenamiento habitual, 3 veces/semana durante 12 semanas. El grupo CON continuó con su calentamiento habitual.	Actividad electromiográfica (EMG) de músculos: vasto lateral (VL), semitendinoso (ST) y bíceps femoral durante los 10 ms antes del contacto inicial (“pre-actividad”) normalizada a contracción isométrica máxima. Diferencia de VL-ST preactividad (principal). Momento de valgo de rodilla y ángulo de valgo durante corte lateral.

21	Marshall 2016 (53)	744 futbolistas juveniles de fútbol (masculinos y femeninos, 13–18 años) de 60 minutos de componentes equipos escolares: grupo de entrenamiento neuromuscular (NMT) 32 equipos, n=380 y grupo control (calentamiento habitual) 28 equipos, n=364.	Programa de calentamiento neuromuscular (NMT) de 15 minutos: incluye 10 minutos de componentes como fuerza, agilidad y equilibrio más 5 minutos de estiramiento dinámico, más entrenamiento domiciliario de balance. El grupo control hizo calentamiento estándar (aeróbico + estiramiento).	de Incidencia de lesiones (tasa de lesiones por 1000 horas de juego). Costos directos de atención médica por lesiones. Diferencia en costo/ incidencia (análisis de costo-efectividad) Proyección de lesiones y costos evitados en una temporada de gran escala.	el entrenamiento neuromuscular produjo una reducción significativa del 38% en la incidencia de lesiones equivalente a 1.27 lesiones menos por cada 1000 horas jugador (IC 95%: –2.20 a –0.33; $p < 0.05$). Asimismo, los costos sanitarios asociados a lesiones disminuyeron en 43% lo que representa US\$ 689 menos por 1000 horas jugador (IC 95%: –1741 a 234; $p < 0.05$). El análisis económico mostró que el programa fue más efectivo y menos costoso en el 90% de las simulaciones, y las proyecciones indicaron que su implementación a gran escala podría prevenir alrededor de 4965 lesiones y ahorrar más de US\$ 2.7 millones en una temporada.
22	Hammes 2015 (54)	265 jugadores veteranos de fútbol (varones), distribuidos en:	Intervención (INT): programa FIFA 11+ ejecutado 1 vez/semana	de Incidencia de lesiones totales por jugador-exposición	No se encontró una diferencia significativa en la incidencia global de lesiones entre grupos (IRR = 0.91; IC 95% 0.64 –1.48; $p = 0.89$). Las lesiones severas fueron

		<p>Grupo intervención (INT): n = 146, edad promedio 45 ± 8 años</p> <p>Grupo control (CON): n = 119, edad promedio 43 ± 6 años.</p>	<p>al inicio de cada sesión de entrenamiento.</p> <p>Control (CON): calentamiento habitual de entrenamiento sin estructura específica del 11+</p>	<p>Incidencia de lesiones severas (definidas por tiempo de ausencia)</p> <p>Registro de horas de exposición (entrenamiento y competición) según los consensos internacionales de reporte de lesiones.</p>	<p>significativamente menores en el grupo intervención en comparación con el control (IRR= 0.46; IC 95% 0.21 –0.97; <i>p</i> =0.04), lo que sugiere un efecto protector para lesiones de mayor gravedad.</p> <p>La realización del FIFA 11 + una vez por semana no fue suficiente para prevenir lesiones en futbolistas, probablemente debido a una baja frecuencia de sesiones de entrenamiento con el programa.</p>
23	<p>Granelli 2015 (55)</p>	<p>1525 jugadores de fútbol masculino universitario. División I y II; 675 en grupo intervención IG, 850 en grupo control CG) durante la temporada.</p>	<p>IG; programa FIFA 11+ aplicado 2-3 veces/semana antes de entrenamiento, durante una temporada (~5 meses), con manual, DVD y placards. CG: calentamiento habitual sin estructura FIFA 11+.</p>	<p>Incidencia de lesiones por 1000 exposiciones de atleta (AEs). Días perdidos por lesión (time loss). Cumplimiento del programa número de sesiones FIFA 11+).</p>	<p>El grupo que aplicó el programa FIFA 11+ presentó una reducción significativa en el número total de lesiones en comparación con el grupo control. Los equipos de la intervención registraron 285 lesiones, mientras que los equipos control reportaron 665 lesiones, lo que representa una disminución cercana al 46% en la incidencia lesional.</p> <p>La tasa de lesiones fue notablemente menor en el grupo de intervención (8.09 lesiones</p>

por 1000 exposiciones) frente al control (15.04 lesiones por 1000 exposiciones), confirmando el efecto protector del programa. Asimismo, los jugadores del grupo intervención perdieron menos días por lesión (10.08 ± 14.68 días) en comparación con el grupo control (13.20 ± 26.6 días), una diferencia significativa ($p = 0.007$).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a partir del análisis de los 23 ensayos clínicos aleatorizados incluidos en esta investigación permiten afirmar que los programas de entrenamiento preventivo constituyen una estrategia eficaz para disminuir los factores de riesgo biomecánicos y neuromusculares asociados a la lesión del ligamento cruzado anterior (LCA). Estos hallazgos se encuentran plenamente alineados con el objetivo principal del estudio, que fue determinar la efectividad de dichos programas e identificar los componentes que generan mayor impacto. Asimismo, los resultados respaldan que los programas estructurados y aplicados con frecuencia suficiente reducen las alteraciones biomecánicas predisponentes y la incidencia lesional.

Desde una perspectiva analítica, los estudios que incorporaron entrenamientos con enfoque externo, aprendizaje diferencial o retroalimentación compleja (34) (35); demostraron mejoras claras en la fuerza abductora de cadera, reducción de la aducción en rotación interna durante el aterrizaje y disminución de fuerzas de reacción del suelo en comparación con enfoques tradicionales o control. Estas variables son fundamentales porque el valgo dinámico y el control insuficiente de la cadera representan los principales predictores de lesión del LCA. Por lo tanto, estos resultados confirman que el entrenamiento neuromuscular, reforzado con estrategias de aprendizaje motor apropiadas, modifica positivamente los patrones de movimiento.

Asimismo, los programas pliométricos y de equilibrio mostraron mejoras significativas en la cinética de rodilla y en el control del tronco y pelvis (46) (47). En ambos casos se observaron reducciones del momento de abducción de rodilla y mejoras en la activación muscular proximal, lo cual contribuye directamente a disminuir las cargas que predisponen a la ruptura del LCA. Estos efectos biomecánicos refuerzan la importancia de incluir ejercicios que integren control postural avanzado y respuestas neuromusculares reactivas.

En cuanto a la prevención directa de lesiones, los ensayos aplicados a poblaciones deportivas amplias especialmente los que evaluaron programas FIFA 11+ mostraron reducciones significativas en la incidencia de lesiones totales y particularmente de lesiones graves, incluidas las de LCA (54) (55). Granelli (54) reportó una disminución general del 46% en la ocurrencia de lesiones y una reducción considerable de los días de incapacidad, destacando que una adherencia mínima de 2 a 3 sesiones semanales es esencial para obtener resultados

significativos. Estos hallazgos consolidan al FIFA 11+ como una herramienta estructurada, accesible y eficaz para deportistas jóvenes y adultos.

Al comparar estos resultados con la literatura existente, se observa una concordancia notable. Revisiones recientes indican que los programas neuromusculares pueden disminuir un 40% el riesgo de lesión del LCA, especialmente en poblaciones juveniles (39). De forma complementaria trabajos como el de Thompson (42) subraya que prevenir lesiones de la rodilla reduce entre cuatro y seis veces la probabilidad de desarrollar osteoartritis de rodilla en el futuro, lo que evidencia la importancia de implementar estrategias preventivas desde edades tempranas y de forma continua.

Desde una perspectiva valorativa la información recopilada ofrece implicaciones relevantes para la práctica y el diseño en políticas en salud deportiva. En primer lugar, se confirma que el fortalecimiento de la musculatura de la cadera y el control del valgo dinámico deben considerarse elementos esenciales dentro de cualquier programa preventivo, dado que aquellos estudios que priorizan estos componentes obtuvieron los resultados más consistentes. En segundo lugar, los datos respaldan la incorporación sistemática de estos programas dentro de las rutinas de calentamiento en escuelas deportivas, clubes de formación y equipos competitivos. En tercer lugar, la elevada costo-efectividad del FIFA 11+ sugiere que este tipo de intervenciones debería contemplarse dentro de políticas públicas orientadas a la prevención de lesiones, debido a su capacidad para disminuir gastos sanitarios y reducir los días de incapacidad.

Finalmente, desde el punto de vista teórico, esta investigación confirma que la combinación de fuerza, pliometría, control motor y propiocepción no solo mejora la biomecánica del movimiento, sino que modifica patrones motores centrales, lo que explica la reducción sostenida del riesgo.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Los programas de entrenamiento preventivo que integran componentes neuromusculares, pliométricos y de control motor son eficaces para reducir las lesiones del LCA cuando se aplican con regularidad, duración adecuada y buena adherencia.
- La inclusión de ejercicios orientados al fortalecimiento de la musculatura del core, cadera y los ejercicios de equilibrio mejoran la biomecánica de la rodilla, favorecen el rendimiento deportivo y contribuyen a disminuir lesiones.
- El programa FIFA 11+ fue el más efectivo, al lograr la mayor reducción de lesiones del LCA, al evidenciar la disminución en la incidencia lesional y mejoras en la técnica de aterrizaje, la fuerza y el control neuromuscular.

5.2 Recomendación

Se recomienda implementar programas de prevención del LCA desde edades tempranas en escuelas y clubs deportivos, priorizando a deportistas con mayor riesgo. Estos deben aplicarse de forma estructurada al menos 2-3 veces por semana y contar con supervisión capacitada. Además, deben incorporarse como parte de políticas institucionales de salud deportiva, y futuros estudios deberían analizar su impacto a largo plazo y su aplicación en distintos entornos y disciplinas deportivas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mattu AT, Ghali B, Linton V, Zheng A, Pike I. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries among youth female athletes: An umbrella review. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2022;19(8):4648. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph19084648>
2. Poulsen E, Goncalves GH, Bricca A, Roos EM, Thorlund JB, Juhl CB. Knee osteoarthritis risk is increased 4-6 fold after knee injury - a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* [Internet]. 2019;53(23):1454–63. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2018-100022>
3. Fédération Internationale de Football Association (FIFA) Gran recuento de la FIFA 2006: 270 millones de personas activas en el fútbol. Común FIFA. Div. Inf. Serv. 2007;31:1–12. Available from: <https://www.conmebol.com/notas/265-millones-juegan-futbol-en-todo-el-mundo/>
4. Ekstrand J, Spreco A, Bengtsson H, Bahr R. Injury rates decreased in men's professional football: an 18-year prospective cohort study of almost 12 000 injuries sustained during 1.8 million hours of play. *Br J Sports Med* [Internet]. 2021;55(19):1084–91. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2020-103159>
5. Suter LG, Smith SR, Katz JN, Englund M, Hunter DJ, Frobell R, et al. Projecting lifetime risk of symptomatic knee osteoarthritis and total knee replacement in individuals sustaining a complete anterior cruciate ligament tear in early adulthood. *Arthritis Care Res (Hoboken)* [Internet]. 2017;69(2):201–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1002/acr.22940>
6. 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* [Internet]. 2021;55(23):1350–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2020-103555>
7. Evans J, Mabrouk A, Nielson J I. Anterior cruciate ligament knee injury. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499848/>

8. Dargel J, Gotter M, Mader K, Pennig D, Koebke J, Schmidt-Wiethoff R. Biomechanics of the anterior cruciate ligament and implications for surgical reconstruction. *Strategies Trauma Limb Reconstr* [Internet]. 2007;2(1):1–12. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s11751-007-0016-6>
9. Stańczak M, Swinnen B, Kacprzak B, Pacek A, Surmacz J. Neurophysiology of ACL injury. *Orthop Rev (Pavia)* [Internet]. 2025;17:129173. Available from: <http://dx.doi.org/10.52965/001c.129173>
10. Padua DA, DiStefano LJ, Hewett TE, Garrett WE, Marshall SW, Golden GM, et al. National athletic trainers' association position statement: Prevention of anterior cruciate ligament injury. *J Athl Train* [Internet]. 2018;53(1):5–19. Available from: <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-99-16>
11. Wong C-YT, Mok K-M, Yung S-HP. Secondary anterior cruciate ligament injury prevention training in athletes: What is the missing link? *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2023;20(6). Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph20064821>
12. Tortora GJ, Derrickson BH, Burkett B, Peoples G, Dye D, Cooke J, et al. Principles of anatomy and physiology. 2nd ed. Milton, QLD, Australia: John Wiley & Sons; 2018. p. 1146-1193 . ISBN: 9781119444459.
13. Arévalo CB, Ureña CW. Biomecánica de la rodilla y el ciclo de la marcha. *Rev Ciencias Salud*. 2021;19(2):45-53. Disponible en: <https://revistas.univalle.edu/index.php/ciencias/article/download/352/351/1634>
14. Martínez A, Martínez B. Biomecánica clínica de la rodilla. *Rev Med*. 2009;17(3):123-130. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/86435349.pdf>
15. Universidad de las Américas Puebla. Capítulo 2: Biomecánica de la rodilla. En: *Biomecánica y anatomía funcional*. Puebla: UDLAP; 2023. p. 15-30. Disponible en: https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/de_1_lm/capitulo2.pdf
16. McClay Davis I, Ford KR, Myer GD, Hewett TE. The biomechanics of anterior cruciate ligament injury in basketball: a review. *J Athl Train*. 2007 Apr–Jun;42(2):261–5. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2321720/>
17. Petersen W, Zantop T. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res* [Internet]. 2007;454:35–47. Available from: <http://dx.doi.org/10.1097/BLO.0b013e31802b4a59>

18. Ferretti M, Ekdahl M, Shen W, Fu FH. Osseous landmarks of the femoral attachment of the anterior cruciate ligament: an anatomic study. *Arthroscopy* [Internet]. 2007;23(11):1218–25. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.arthro.2007.09.008>
19. Bicer EK, Lustig S, Servien E, Selmi TAS, Neyret P. Conocimientos actuales sobre la anatomía del ligamento cruzado anterior humano. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2010;18(8):1075–84. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-009-0993-8>
20. Petersen W, Tillmann B. Estructura y vascularización de los ligamentos cruzados de la articulación de la rodilla humana. *Anat Embryol (Berl)* [Internet]. 1999;200(3):325–34. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s004290050283>
21. Strocchi R, de Pasquale V, Gubellini P, Facchini A, Marcacci M, Buda R, et al. El ligamento cruzado anterior humano: observaciones histológicas y ultraestructurales. *J Anat*. 1992;180 (parte 3):515–9.
22. Fleming BC, Beynnon BD, Pope MH. Functional anatomy and biomechanics of the anterior cruciate ligament. *Oper Tech Sports Med* [Internet]. 1993;1(1):1–9. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/s1060-1872\(10\)80022-x](http://dx.doi.org/10.1016/s1060-1872(10)80022-x)
23. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Paterno MV, Quatman CE. Mechanisms, prediction, and prevention of ACL injuries: Cut risk with three sharpened and validated tools. *J Orthop Res* [Internet]. 2016;34(11):1843–55. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/jor.23414>
24. Grooms DR, Page SJ, Nichols-Larsen DS, Chaudhari AMW, White SE, Onate JA. Neuroplasticity associated with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. 2017;47(3):180–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2519/jospt.2017.7003>
25. Song K, Burcal CJ, Hertel J, Wikstrom EA. Increased visual use in chronic ankle instability: A meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2016;48(10):2046–56. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0000000000000992>
26. Grooms D, Appelbaum G, Onate J. Neuroplasticity following anterior cruciate ligament injury: a framework for visual-motor training approaches in rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. 2015;45(5):381–93. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2519/jospt.2015.5549>

27. Grooms DR, Page SJ, Onate JA. Brain activation for knee movement measured days before second anterior cruciate ligament injury: Neuroimaging in musculoskeletal medicine. *J Athl Train* [Internet]. 2015;50(10):1005–10. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-50.10.02>
28. Churchill N, Hutchison MG, Leung G, Graham S, Schweizer TA. Changes in functional connectivity of the brain associated with a history of sport concussion: A preliminary investigation. *Brain Inj* [Internet]. 2017;31(1):39–48. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/02699052.2016.1221135>
29. Velázquez-Rueda ML, Martínez-Ávila JP, Pérez-Serna AG, Gómez-García F. Factores de riesgo y frecuencia de rerrupturas del ligamento cruzado anterior en adultos. *Acta Ortop Mex* [Internet]. 2016;30(2):61–6. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-41022016000200061
30. Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, Noyes FR. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *Am J Sports Med* [Internet]. 1999;27(6):699–706. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/03635465990270060301>
31. Lang PJ, Sugimoto D, Micheli LJ. Prevention, treatment, and rehabilitation of anterior cruciate ligament injuries in children. *Open Access J Sports Med* [Internet]. 2017;8:133–41. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2147/OAJSM.S133940>
32. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Moher D. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic reviews*. 2021; 10(1): 1-11.
33. Ghanati HA, Letafatkar A, Almonroeder TG, Rabiei P. Examining the influence of attentional focus on the effects of a neuromuscular training program in male athletes. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2022;36(6):1568–75. Available from: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000003681>
34. Ghanati HA, Letafatkar A, Shojaedin S, Hadadnezhad M, Schöllhorn WI. Comparing the effects of differential learning, self-controlled feedback, and external focus of attention training on biomechanical risk factors of anterior cruciate ligament (ACL) in athletes: A randomized controlled trial. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2022;19(16):10052. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph191610052>

35. Root HJ, Beltz EM, Burland JP, Martinez JC, Bay RC, DiStefano LJ. Preventive training program feedback complexity, movement control, and performance in youth athletes. *J Athl Train* [Internet]. 2022;57(9–10):894–901. Available from: <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-0585.21>
36. Calvo-Fernández Y, Lago-Rodríguez Á. Programa preventivo de lesión de ligamento cruzado anterior en fútbol femenino durante períodos de confinamiento. *MHSALUD* [Internet]. 2022;19(2):1–21. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237070375010>
37. Zarei M, Abbasi H, Namazi P, Asgari M, Rommers N, Rössler R. The 11+ Kids warm-up programme to prevent injuries in young Iranian male high-level football (soccer) players: A cluster-randomised controlled trial. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2020;23(5):469–74. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2019.12.001>
38. Alikhani R, Shahrjerdi S, Golpaigany M, Kazemi M. The effect of a six-week plyometric training on dynamic balance and knee proprioception in female badminton players. *J Can Chiropr Assoc*. 2019;63(3):144–53.
39. Achenbach L, Krutsch V, Weber J, Nerlich M, Luig P, Loose O, et al. Neuromuscular exercises prevent severe knee injury in adolescent team handball players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2018;26(7):1901–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-017-4758-5>
40. Taylor JB, Ford KR, Schmitz RJ, Ross SE, Ackerman TA, Shultz SJ. A 6-week warm-up injury prevention programme results in minimal biomechanical changes during jump landings: a randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2018;26(10):2942–51. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-018-4835-4>
41. Whyte EF, Richter C, O'Connor S, Moran KA. Effects of a dynamic core stability program on the biomechanics of cutting maneuvers: A randomized controlled trial. *Scand J Med Sci Sports* [Internet]. 2018;28(2):452–62. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/sms.12931>
42. Thompson-Kolesar JA, Gatewood CT, Tran AA, Silder A, Shultz R, Delp SL, et al. Age influences biomechanical changes after participation in an anterior cruciate ligament injury prevention program. *Am J Sports Med* [Internet]. 2018;46(3):598–606. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546517744313>

43. Yang C, Yao W, Garrett WE, Givens DL, Hacke J, Liu H, et al. Effects of an intervention program on lower extremity biomechanics in stop-jump and side-cutting tasks. *Am J Sports Med* [Internet]. 2018;46(12):3014–22. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546518793393>
44. Omi Y, Sugimoto D, Kuriyama S, Kurihara T, Miyamoto K, Yun S, et al. Effect of hip-focused injury prevention training for anterior cruciate ligament injury reduction in female basketball players: A 12-year prospective intervention study. *Am J Sports Med* [Internet]. 2018;46(4):852–61. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546517749474>
45. Sugimoto D, Mattacola CG, Bush HM, Thomas SM, Foss KDB, Myer GD, et al. Preventive neuromuscular training for young female athletes: Comparison of coach and athlete compliance rates. *J Athl Train* [Internet]. 2017;52(1):58–64. Available from: <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-51.12.20>
46. Oliveira AS, Silva PB, Lund ME, Farina D, Kersting UG. Balance training enhances motor coordination during a perturbed sidestep cutting task. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. 2017;47(11):853–62. Available from: <http://dx.doi.org/10.2519/jospt.2017.6980>
47. Weltin E, Gollhofer A, Mornieux G. Effects of perturbation or plyometric training on core control and knee joint loading in women during lateral movements. *Scand J Med Sci Sports* [Internet]. 2017;27(3):299–308. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/sms.12657>
48. Bonato M, Benis R, La Torre A. Neuromuscular training reduces lower limb injuries in elite female basketball players. A cluster randomized controlled trial. *Scand J Med Sci Sports* [Internet]. 2018;28(4):1451–60. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/sms.13034>
49. Thompson JA, Tran AA, Gatewood CT, Shultz R, Silder A, Delp SL, et al. Biomechanical effects of an injury prevention program in preadolescent female soccer athletes. *Am J Sports Med* [Internet]. 2017;45(2):294–301. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546516669326>
50. Staynor JMD, Nicholas JC, Weir G, Alderson JA, Donnelly CJ. Targeting associated mechanisms of anterior cruciate ligament injury in female community-level athletes. *Sports Biomech* [Internet]. 2017;16(4):501–13. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/14763141.2016.1246597>

51. Al Attar WSA, Soomro N, Pappas E, Sinclair PJ, Sanders RH. Adding a post-training FIFA 11+ exercise program to the pre-training FIFA 11+ injury prevention program reduces injury rates among male amateur soccer players: a cluster-randomised trial. *J Physiother* [Internet]. 2017;63(4):235–42. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jphys.2017.08.004>
52. Zebis MK, Andersen LL, Brandt M, Myklebust G, Bencke J, Lauridsen HB, et al. Effects of evidence-based prevention training on neuromuscular and biomechanical risk factors for ACL injury in adolescent female athletes: a randomised controlled trial. *Br J Sports Med* [Internet]. 2016;50(9):552–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2015-094776>
53. Marshall DA, Lopatina E, Lacny S, Emery CA. Economic impact study: neuromuscular training reduces the burden of injuries and costs compared to standard warm-up in youth soccer. *Br J Sports Med* [Internet]. 2016;50(22):1388–93. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2015-095666>
54. Hammes D, Aus der Fünten K, Kaiser S, Frisen E, Bizzini M, Meyer T. Injury prevention in male veteran football players - a randomised controlled trial using “FIFA 11+.” *J Sports Sci* [Internet]. 2015;33(9):873–81. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2014.975736>
55. Silvers-Granelli H, Mandelbaum B, Adeniji O, Insler S, Bizzini M, Pohlig R, et al. Efficacy of the FIFA 11+ injury prevention program in the collegiate male soccer player. *Am J Sports Med* [Internet]. 2015;43(11):2628–37. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546515602009>

ANEXOS

Anexos 1. Escala PEDro

Escala PEDro-Español

1. Los criterios de elección fueron especificados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos)	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
3. La asignación fue oculta	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
4. Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
5. Todos los sujetos fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
8. Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
9. Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar"	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:

La escala PEDro está basada en la lista Delphi desarrollada por Verhagen y colaboradores en el Departamento de Epidemiología, Universidad de Maastricht (Verhagen AP et al (1998). *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12):1235-41). En su mayor parte, la lista está basada en el consenso de expertos y no en datos empíricos. Dos ítems que no formaban parte de la lista Delphi han sido incluidos en la escala PEDro (ítems 8 y 10). Conforme se obtengan más datos empíricos, será posible "ponderar" los ítems de la escala, de modo que la puntuación en la escala PEDro refleje la importancia de cada ítem individual en la escala.

El propósito de la escala PEDro es ayudar a los usuarios de la bases de datos PEDro a identificar con rapidez cuales de los ensayos clínicos aleatorios (ej. RCTs o CCTs) pueden tener suficiente validez interna (criterios 2-9) y suficiente información estadística para hacer que sus resultados sean interpretables (criterios 10-11). Un criterio adicional (criterio 1) que se relaciona con la validez externa ("generalizabilidad" o "aplicabilidad" del ensayo) ha sido retenido de forma que la lista Delphi esté completa, pero este criterio no se utilizará para el cálculo de la puntuación de la escala PEDro reportada en el sitio web de PEDro.

La escala PEDro no debería utilizarse como una medida de la "validez" de las conclusiones de un estudio. En especial, avisamos a los usuarios de la escala PEDro que los estudios que muestran efectos de tratamiento significativos y que puntúan alto en la escala PEDro, no necesariamente proporcionan evidencia de que el tratamiento es clínicamente útil. Otras consideraciones adicionales deben hacerse para decidir si el efecto del tratamiento fue lo suficientemente elevado como para ser considerado clínicamente relevante, si sus efectos positivos superan a los negativos y si el tratamiento es costo-efectivo. La escala no debería utilizarse para comparar la "calidad" de ensayos realizados en las diferentes áreas de la terapia, básicamente porque no es posible cumplir con todos los ítems de la escala en algunas áreas de la práctica de la fisioterapia.

Última modificación el 21 de junio de 1999. Traducción al español el 30 de diciembre de 2012

Figura 2. Escala de PEDro Español. *

*Tomado de: Escala *Physiotherapy Evidence Database* (PEDro). 2016. Disponible en: <https://pedro.org.au/spanish/resources/pedro-scale/>