



**VNiVERSIDAD
D SALAMANCA**

**“Rotura del ligamento cruzado anterior:
un enfoque desde la perspectiva de
género”**

“Anterior cruciate ligament rupture: a gender-based perspective”

TRABAJO DE FIN DE GRADO

FACULTAD DE MEDICINA

GRADO EN MEDICINA

2019-2025

Autora

Esther Cerezo Ríos

Tutores

David Borrego Ratero

Sergio Garrido Alles

*A mis abuelos, mis padres y mis hermanos, María y Javier;
por las raíces, las alas y el estar.*

Gracias

Índice

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Abreviaturas.....	4
Introducción.....	5
Justificación.....	7
Objetivos.....	7
Material y métodos.....	8
Resultados.....	10
Discusión.....	26
Conclusiones.....	39
Bibliografía.....	40

Resumen

Introducción. La rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) es una lesión frecuente en el deporte, con una incidencia tres veces mayor en las mujeres que en los hombres. Esta diferencia puede ser explicada por factores anatómicos, biomecánicos y hormonales, aunque aún se desconoce la influencia de cada uno de ellos.

Objetivo. Evaluar la evidencia científica sobre la rotura del LCA en mujeres, analizando los diferentes factores de riesgo, la efectividad de los programas preventivos, la cirugía y el postoperatorio.

Material y Método. Se realizó una búsqueda bibliográfica en PubMed utilizando términos relacionados con el LCA y el género, aplicando filtros metodológicos y criterios de inclusión y exclusión para seleccionar los estudios más relevantes.

Resultados. De los 18608 artículos identificados inicialmente, se incluyeron 78, de los cuales 46 fueron considerados los más importantes para alcanzar los objetivos del estudio.

Conclusiones. La interacción entre una serie de factores anatómicos, biomecánicos, hormonales y sociales causa una mayor predisposición a la rotura del LCA en la mujer. La mayor laxitud articular, la menor amplitud intercondílea y las fluctuaciones hormonales son algunos de esos factores. Este riesgo se acentúa en las atletas de nivel intermedio y después de la pubertad. Los programas de entrenamiento multicomponente han demostrado ser efectivos para la prevención siempre y cuando se acompañen de una alta adherencia y estén adaptados al sexo. En el postoperatorio las mujeres enfrentan más desafíos, como una mayor sensibilidad al dolor, un mayor riesgo de segundas lesiones y factores psicológicos que pueden retrasar y dificultar el regreso al deporte. Si tenemos en cuenta estas diferencias y actuamos acorde, con un enfoque preventivo adecuado, se puede mejorar la salud y el rendimiento deportivo de las mujeres.

Palabras clave: ligamento cruzado anterior, mujeres, factores de riesgo, prevención, rehabilitación, entrenamiento neuromuscular, deporte.

Abstract

Introduction. Anterior cruciate ligament (ACL) rupture is a common sports injury, with an incidence three times higher in women than in men. This difference can be explained by anatomical, biomechanical, and hormonal factors, although the specific contribution of each remains unknown.

Objective. To evaluate the scientific evidence on ACL rupture in women, by analyzing the different risk factors, the effectiveness of preventive programs, surgical interventions and postoperative outcomes.

Material and Method. A literature search was conducted in PubMed using terms related to ACL and gender, applying methodological filters and inclusion and exclusion criteria to select the most relevant studies.

Results. Of the 18,608 articles initially identified, 78 were included, of which 46 were considered the most relevant to achieve the objectives of the study.

Conclusions. The interaction of various anatomical, biomechanical, hormonal and social factors contributes to a higher predisposition to ACL rupture in women. Increased joint laxity, narrower intercondylar notch width and hormonal fluctuations are some of these contributing factors. This risk becomes more pronounced in intermediate-level athletes and after puberty. Multicomponent training programs have proven to be effective in prevention when associated with high adherence and tailored to sex-specific needs. Postoperatively, women face greater challenges, such as increased pain sensitivity, a higher risk of secondary injuries and psychological factors that may delay and hinder return to sport. By acknowledging these differences and adopting an appropriate preventive approach, women's health and athletic performance can be improved.

Keywords: anterior cruciate ligament, women, risk factors, prevention, rehabilitation, neuromuscular training, sport.

Abreviaturas

AEs	Exposiciones de atleta
CoM	<i>Center of Mass</i>
CUT	<i>Cutting</i>
DBH	<i>Double-Bundle Hamstring</i>
DVJ	<i>Drop Vertical Jump</i>
EC	Ensayo Clínico
ECA	Ensayo Clínico Aleatorizado
ECC	Ensayo Clínico Controlado
FB	<i>FeedBack</i>
FPKA	<i>Frontal Plane Knee Angle</i>
FR	Factor de riesgo
H	Hombre
HIRL	<i>High Impact and Rotational Landing</i>
HR	Hazard Ratio
IC	Intervalo de Confianza
IKDC	<i>International Knee Documentation Committe</i>
KOOS	<i>Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score</i>
LCA	Ligamento cruzado anterior
LCP	Ligamento cruzado posterior
LESS	<i>Landing Error Scoring System</i>
LSBP	<i>Lateralized Single-Bundle Patellar Tendon</i>
M	Mujer
MA	Metaanálisis
NMT	<i>Neuromuscular Training</i>
OR	Odds Ratio
PTOA	Artrosis postraumática
QI	<i>Quadiceps Index</i>
RLCA	Reconstrucción de LCA
RMN	Resonancia Magnética Nuclear
RTS	<i>Return to Sport</i>
vGRF	<i>Vertical Ground Reaction Force</i>

Introducción

La rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las lesiones más frecuentes en el deporte, especialmente en disciplinas con cambios bruscos de dirección, desaceleraciones abruptas y movimientos explosivos.

Dentro de las lesiones deportivas, las que afectan estructuras ligamentosas representan entre el 20% y el 40%. Entre ellas, la del LCA tiene una alta incidencia en deportes como el fútbol y el baloncesto, que en conjunto concentran cerca de la mitad de las lesiones deportivas en Europa¹.

Más allá de la pérdida de estabilidad articular, esta lesión asocia un proceso de recuperación prolongado que puede comprometer la continuidad deportiva y la calidad de vida de los atletas. Además, aumenta el riesgo de desarrollar patologías articulares secundarias, subrayando la importancia de su estudio y prevención².

El LCA se origina en la cara interna de la región posterior del cóndilo femoral lateral y se inserta en la región anterior de la superficie tibial. Junto con el ligamento cruzado posterior (LCP) forma una estructura en “X”³. Entre sus principales funciones destacan la restricción del desplazamiento anterior excesivo de la tibia con respecto al fémur y la estabilización de la articulación durante movimientos de giro, frenado y torsión⁴.

Las lesiones del LCA pueden producirse por dos mecanismos principales: contacto directo, resultado de un traumatismo sobre la rodilla, y sin contacto, que representa el 70-80% de los casos⁵. Este último ocurre durante giros bruscos con el pie fijo en el suelo, cambios repentinos de dirección o aterrizajes inadecuados tras un salto⁶. Clínicamente, los pacientes refieren un chasquido audible en el momento de la lesión, dolor, inflamación, inestabilidad y limitación del rango del movimiento⁷.

Respecto al diagnóstico, una historia clínica detallada y un examen físico con una maniobra de cajón positiva— desplazamiento anterior mayor al 30%—, suelen generar una fuerte sospecha. Aunque las radiografías son útiles, la resonancia magnética (RMN) es la prueba clave para confirmar la lesión⁸.

Durante décadas, el estudio de las lesiones deportivas se ha centrado principalmente en los hombres, ya que históricamente han sido los principales participantes en el deporte profesional y competitivo⁹. Como consecuencia, muchas de las estrategias preventivas y de rehabilitación

han sido diseñadas tomando como referencia características masculinas, sin considerar las particularidades de la mujer.

Sin embargo, con el creciente desarrollo y profesionalización del deporte femenino, estudios evidencian que las mujeres tienen un riesgo significativamente mayor de sufrir una rotura del LCA, siendo este riesgo tres veces mayor que en los hombres¹⁰. Esta diferencia se debe a la interacción de variables anatómicas, biomecánicas y hormonales que aumentan la susceptibilidad a la lesión e influyen en la recuperación¹¹. Respecto a las anatómicas, se han descrito diferencias estructurales, como un mayor ángulo Q y una muesca intercondílea más estrecha¹². En términos biomecánicos, las mujeres presentan patrones distintos de activación muscular y una relación de fuerza diferente entre el cuádriceps y los isquiotibiales¹³. Además, los estrógenos pueden influir en la laxitud ligamentosa y la respuesta neuromuscular¹⁴.

Justificación

En la actividad deportiva las mujeres tienen tres veces más riesgo que los hombres de rotura del LCA, una de las lesiones más frecuentes e incapacitantes.

A pesar de la solidez de estos hallazgos, aún existen interrogantes sobre las razones de esta diferencia y sobre las estrategias más efectivas para prevenir y tratar estas lesiones en mujeres. Es crucial abordar este tema desde una perspectiva de género, ya que entender mejor estas diferencias nos ayudará a diseñar estrategias de prevención, tratamiento y rehabilitación que sean más adaptadas y eficaces.

Objetivos

1. Revisar la literatura científica existente sobre la incidencia de la lesión del LCA desde una perspectiva de género.
2. Identificar los principales factores anatómicos, biomecánicos y hormonales que predisponen a esta lesión.
3. Conocer la efectividad de diversas estrategias de prevención y rehabilitación dirigidas a la población femenina.
4. Diseñar una aproximación ideal a un programa de prevención fundamentado en la evidencia para reducir la incidencia de rotura del LCA en las mujeres.

Material y métodos

Para alcanzar los objetivos del estudio, se realizó una búsqueda bibliográfica en la base de datos Medline, a través del buscador PubMed, con fecha de corte el 20/01/2025. Para estructurar la pregunta de investigación de manera clara, se utilizó el método PICO, definiendo los siguientes elementos:

- P (Población): Mujeres deportistas con/sin rotura del LCA.
- I (Intervención): Evaluación de factores anatómicos, biomecánicos, hormonales, quirúrgicos y postoperatorios.
- C (Comparación): Comparación con hombres deportistas o con mujeres sin lesión de LCA.
- O (*Outcome/Desenlace*): Incidencia, prevención y estrategias de tratamiento y rehabilitación adaptadas al sexo.

La búsqueda en PubMed se realizó con la siguiente estrategia:

("Anterior Cruciate Ligament" OR "ACL") AND ("female" OR "gender" OR "sex" OR "hormones" OR "hormonal influence" OR "women").

Tras esta búsqueda inicial, se aplicaron los siguientes criterios de inclusión para seleccionar los artículos:

- Artículos completos disponibles ("Free Full Text").
- Tipo de artículo: "Clinical Trial", "Randomized Clinical Trial" o "Meta-Analysis".
- Período de publicación: últimos 25 años (01/01/2000 – 01/01/2025).
- Estudio realizado en humanos.
- Sexo femenino.
- Idioma: inglés.

Para la selección final de artículos, se llevó a cabo un proceso de cribado en varias fases:

1. Revisión de títulos y resúmenes, descartando aquellos estudios que no estaban directamente relacionados con la pregunta de investigación.
2. Aplicación de criterios de exclusión, eliminando artículos centrados en población masculina o que no aportaran información relevante sobre la lesión del LCA en mujeres.

Para la gestión y organización de las referencias, se utilizó el gestor bibliográfico Zotero (www.zotero.org).

Resultados

La búsqueda utilizando las palabras clave mencionadas, arrojó un total de 18608 artículos. A continuación, se detalla el proceso de selección.

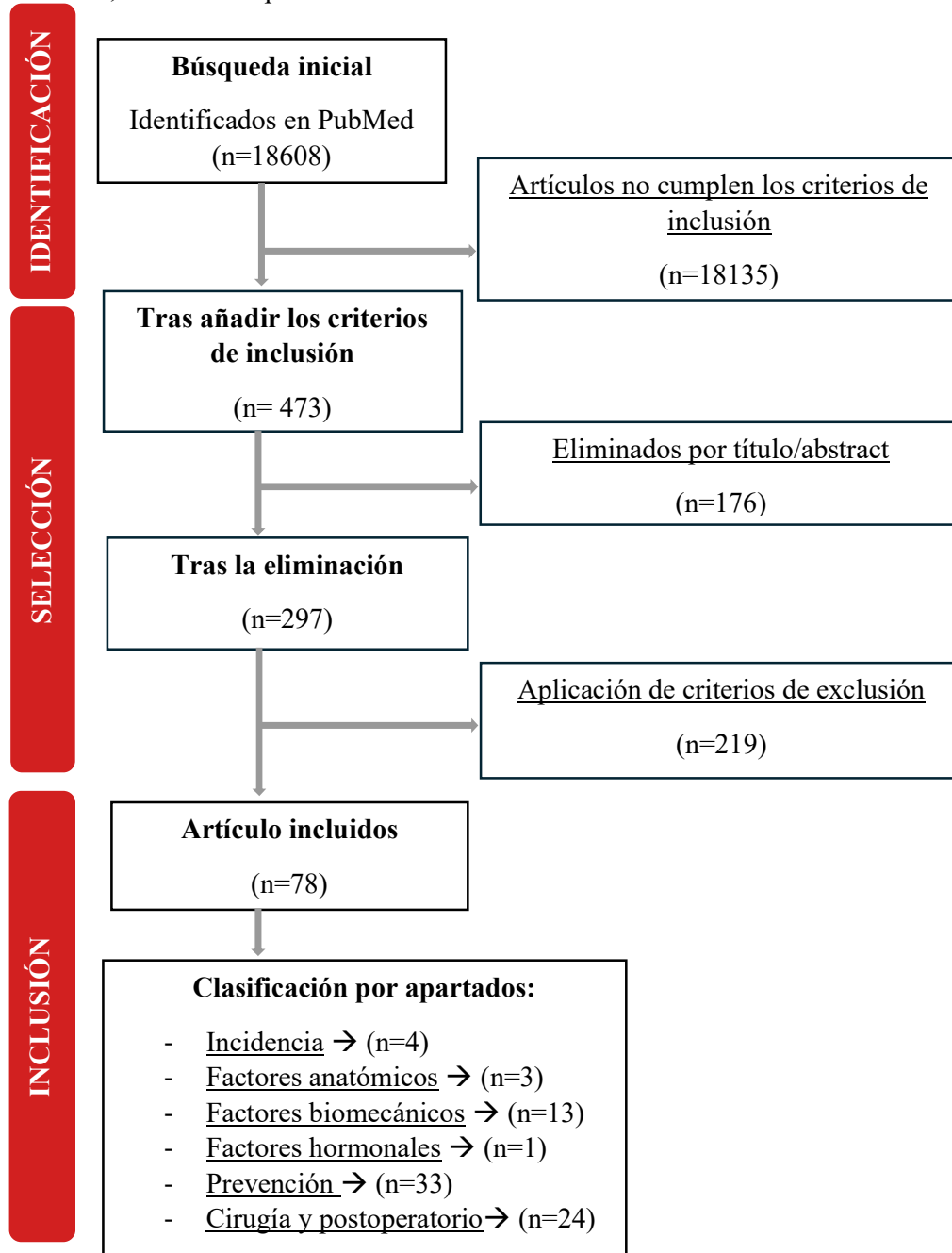


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de búsqueda y selección de publicaciones. Muestra el número de estudios revisados, el procedimiento de evaluación para su inclusión en la revisión y los artículos excluidos, especificando las razones de eliminación en cada etapa.

De esta selección, identificamos 46 artículos como los más relevantes para alcanzar los objetivos del estudio, de los que se presenta a continuación un resumen en formato de tabla. También se incorporan tres revisiones bibliográficas, que ofrecen una perspectiva más amplia y contextualizada del tema ^{5,61,62}.

Tabla 1. Resumen de los artículos incluidos en la revisión. Elaboración propia.

ARTÍCULO	AÑO	OBJETIVOS	ART MUES-TRA	RESULTADOS	CONCLUSIONES
INCIDENCIA					
Chia et al. ¹⁵	2022	Inciden- cia y proporción de lesiones de LCA sin contacto.	MA 45 art.	<u>Proporción lesiones sin contacto:</u> 55% de todas las lesiones de LCA (M: 63%, H: 50%). <u>Inciden- cia:</u> M: 0.14 por 1000 horas jugador (nivel intermedio: 0.18 por 1000 horas jugador, élite: 0.10 por 1000 horas jugador). H: 0.05 por 1000 horas jugador.	Mujeres mayor inciden- cia, especialmente en competi- ciones y en nivel intermedio.
Montalvo et al. ¹⁶	2019	Inciden- cia de lesiones de LCA según el tipo de deporte.	MA 36 art.	<u>Deportes de colisión:</u> inciden- cia similar (M: 2.12/10000 exposiciones de atleta [AEs], H: 1.12/10000 AEs). <u>De contacto:</u> mayor riesgo en mujeres (1.88/10000 AEs) que en hombres (0.87/10000 AEs), con una diferencia significativa. <u>De aterrizaje rotacional de alto impacto (HIRL):</u> mayor inciden- cia en mujeres (4.80/10000 AEs) que en hombres (1.75/10000 AEs).	Mujeres riesgo significati- vamente mayor de lesión de LCA en deportes de contacto y HIRL.

Zech et al. ¹⁷	2022	Tasas de lesión en deportes de equipo .	MA 20 art.	<u>Lesiones totales</u> : los hombres tuvieron más (IRR=0.86, IC 95%: 0.76-0.98). <u>Ubicación de las lesiones</u> : - M: LCA (IRR=2.15, IC 95%: 1.27-3.62). - H: extremidades superiores, cadera/ingle, muslo y pie .	Diferencias específicas según el sexo .
Hägglund y Waldén. ¹⁸	2016	Factores de riesgo de lesiones agudas de rodilla en jóvenes.	ECA M:4556	<u>Factores de riesgo</u> para lesiones agudas de rodilla: - Edad >14 años (HR 1.97). - Molestias previas en la rodilla (HR 1.98). - Antecedentes familiares de lesión de LCA (HR 1.96). No hubo diferencia en lesiones entre césped natural y artificial.	Historia familiar, edad y molestias previas son factores de riesgo.
FACTORES ANATÓMICOS					
Jha et al. ¹⁹	2022	Volumen de la muesca intercondílea entre pacientes con y sin lesión del LCA.	MA 9 art. 1169 p -H:578 -M: 591	Volumen menor en individuos con rotura del LCA (0,75 cm ³ ; IC: 0,53-0,96 cm ³). En H con lesión sin contacto , la reducción fue mayor (1,40 cm ³ ; IC: 1.08-1,73 cm ³). En M , el volumen fue menor en todos los casos (0,38cm ³ , IC: 0,18-0,59 cm ³). H sin lesión presentaron mayor volumen intercondíleo (1,86cm ³ ; IC: 1,54-2,18cm ³) que mujeres sin lesión .	Volumen menor en sujetos con LCA roto . Hombres mayor volumen . En mujeres , el menor volumen es independiente del mecanismo de lesión.

Mahajan et al. ²⁰	2015	Diámetro del LCA es un predictor de lesiones de LCA.	EC 50 p -H:48 -M:2	El diámetro del LCA contralateral en sujetos lesionados fue significativamente menor que en no lesionados (0,62 ± 0,07 cm vs 0,81 ± 0,06 cm) El peso corporal fue un predictor significativo del diámetro del LCA; la altura, edad y género no tuvieron asociación relevante. Diferencias de género no fueron significativas.	El diámetro menor del LCA podría ser un factor predisponente para lesiones sin contacto.
Hashemi et al. ²¹	2008	Geometría del platillo tibial influye en la biomecánica de la articulación tibiofemoral.	ECA 55 p -H:22 -M:33	<u>Pendiente tibial medial</u> →M: 5.9° ±3.7° / H: 3,7° ±2.5° <u>Pendiente tibial lateral</u> →M: 7.0° ± 3.2° / H: 5,4° ±2.4° <u>Pendiente tibial coronal</u> →M: 2,5° ± 1.2° / H: 3.5° ±1.3° <u>Profundidad concavidad hueso subcondral (compartimento medial)</u> : M: 2.7 mm ± 0.76 mm/ H: 3.1mm ±0.99mm.	Mujeres: pendientes tibiales medial y lateral más pronunciadas.
FACTORES BIOMECÁNICOS					
Beaulieu et al. ²²	2015	Restricción de la rotación interna del fémur aumenta el riesgo de fallo del LCA.	ECA 6 p -H:3 -M:3	Mayor riesgo de fallo del LCA en rodillas con rotación interna limitada (17.1 veces más riesgo) . Rodillas femeninas presentaron un riesgo 26.9 veces mayor que las masculinas. La rotación interna del fémur y el sexo fueron factores clave en la fatiga del LCA.	La restricción de la rotación interna femoral aumenta significativamente el riesgo de fallo del LCA.
Wu et al. ²³	2022	Impacto de bandas de compresión en la rodilla y	ECA -M:20	Las bandas mejoraron la flexibilidad de isquiotibiales , no la de cuádriceps . No afectó negativamente el	El uso de bandas de compresión aumenta la

		comparar con vendajes elásticos.		equilibrio en apoyo unipodal, la distancia en saltos triples ni la estabilidad en el aterrizaje en comparación con los vendajes. Mejoró la estabilidad en aterrizajes a los 20 minutos postintervención.	flexibilidad de isquiotibiales y mejora la estabilidad en aterrizajes.
Jacobs et al. ²⁴	2021	Efecto diferentes superficies de aterrizaje (pista, césped y baldosa) en el rendimiento biomecánico medido por Landing Error Scoring System (LESS) .	ECA 40 p -H:20 -M:20	No diferencias significativas en las calificaciones de LESS entre superficies . No se encontraron interacciones significativas entre sexo y superficie . Se observaron correlaciones entre las puntuaciones de LESS en distintas superficies.	La superficie de aterrizaje no afecta las calificaciones de LESS, este sistema es válido y generalizable para evaluar el riesgo de lesión de LCA.
Di Stasi y Snyder. ²⁵	2012	Impacto del entrenamiento neuromuscular (NMT) en la marcha en personas con deficiencia del LCA.	ECA 21p -H:12 -M:9	Las mujeres mostraron asimetrías en la excursión de la cadera y patrones alterados de flexión en cadera y rodilla en la pierna afectada antes del entrenamiento. Tras la intervención, solo mejoró su momento extensor de rodilla .	Las mujeres responden de manera distinta al entrenamiento, por lo que deben considerarse un subgrupo específico en rehabilitación.
Westbrook et al. ²⁶	2020	Impacto de la maduración en la biomecánica de la	EC M:139	Prepuberal (PRE, <85% estatura adulta), puberal (PUB, 85-95%), y postpuberal (POST, >95%).	Mayor riesgo de lesión en POST por aumento de

		rodilla durante aterrizajes y cambios de dirección.		POST > PUB/PRE en ángulo y momento de abducción de rodilla. Salto (DVJ) > corte (CUT) en ángulo de abducción, pero CUT>DVJ en momento de abducción. POST/PUB>PRE en momento de flexión, y POST>PUB en CUT.	momentos y ángulos de abducción.
Bates et al. ²⁷	2013	Comparar la 1ª y 2ª fase del aterrizaje en un DVJ , diferencias en fuerza de reacción vertical del suelo (vGRF) y posición del centro de masa (CoM) .	EC M:239	Mayor asimetría en vGRF en la segunda fase del aterrizaje . CoM más alto en la segunda fase . Mujeres suelen presentar patrones de aterrizaje más riesgosos .	El segundo aterrizaje refleja mejor el riesgo de lesión de LCA, especialmente en mujeres , por mayor asimetría y CoM elevado .
Cortes et al. ²⁸	2012	Analizar aterrizaje con antepié vs retropié .	EC M:20	<u>Retropié</u> : más valgo y disminución flexión de rodilla . Mujeres podrían ser más vulnerables a lesiones de LCA.	La técnica de aterrizaje influye en la carga en la rodilla: retropié tiene más riesgo.
Schmitz et al. ²⁹	2008	Comparar la rigidez de la rodilla entre hombres y mujeres en respuesta a torsiones.	ECC 20 p -H:10 -M:10	Las mujeres mostraron menor rigidez a torques bajos , pero su rigidez aumentó a medida que el torque incrementaba , mientras que en los hombres no hubo cambios .	Las mujeres tienen menor rigidez articular .

FACTORES HORMONALES

Bell et al. ³⁰	2014	Cambios laxitud de la rodilla y biomecánica del aterrizaje a lo largo del ciclo menstrual .	ECC -M:20	<p><u>Ovulación</u>: el estradiol-B-17, la progesterona y la laxitud anterior de la rodilla aumentaron, junto con un mayor momento de valgo de rodilla y rotación interna femoral.</p> <p><u>Menstruación</u>: aterrizaje con mayor fuerza, tendencia para la rotación interna tibial máxima y un mayor momento de rotación interna de cadera.</p>	La ovulación asocia un perfil biomecánico que favorece el aumento de la carga sobre el LCA y los mecanismos de lesión .
---------------------------	------	---	--------------	---	---

PREVENCIÓN

Sugimoto et al. ³¹	2012	Relación adherencia a los programas de NMT y reducción de riesgo de lesiones.	MA 6 art	La tasa de incidencia de lesiones de LCA fueron más bajas en los estudios con alta adherencia al entrenamiento neuromuscular (índice de tasa de incidencia = 0.27, IC 95%: 0.07 a 0.80).	Relación inversa entre la adherencia al NMT y la incidencia de lesiones de LCA .
Sugimoto et al. ³²	2014	Efecto de la dosificación del NMT en la reducción de lesiones de LCA en atletas femeninas.	MA 14 art	NMT de larga duración redujo las lesiones de LCA en un 35% (OR 0.35). NMT de frecuencia múltiple redujo las lesiones en un 65% (OR 0.35). Volumen alto de NMT mostró una reducción del 68% en lesiones (OR 0.32).	Un mayor volumen de NMT reduce las lesiones de LCA en mujeres.

Sugimoto et al. ³³	2016	Identificar los componentes clave del NMT que reducen el riesgo de lesiones de LCA en mujeres.	MA 14 art	Edad, dosificación del entrenamiento, variaciones de ejercicios y retroalimentación verbal son factores para reducir el riesgo de lesiones de LCA. La inclusión de estos componentes puede reducir el riesgo de lesión en un 17.2-17.7% .	Estos factores optimizan los efectos preventivos del NMT en mujeres.
Johnson et al. ³⁴	2020	Evaluar si entrenamiento de perturbación reduce la tasa de segunda lesión de LCA en mujeres.	ECA M:19	Se registraron 9 segundas lesiones de LCA en los 2 años posteriores a la cirugía. No hubo diferencias significativas en la tasa ni en el lado de la lesión entre ambos grupos.	Entrenamiento de perturbación no redujo la tasa de segundas lesiones de LCA.
Petushek et al. ³⁵	2019	Componentes efectivos de los programas de NMT para prevenir lesiones de LCA.	MA 18 art M: 27231	El NMT redujo el riesgo de lesión de LCA (OR 0.51 ; IC: 0.37-0.69). Mayor efectividad en atletas más jóvenes (OR 0.38 ; IC:0.24-0.60). Ejercicios de fuerza y estabilización de aterrizaje mejoraron los resultados.	Se recomienda NMT en jóvenes , con entrenadores capacitados y ejercicios de fuerza y estabilización .
Al Attar et al. ³⁶	2022	Evaluar si los programas de prevención con ejercicios pliométricos reducen las lesiones de LCA en deportes.	MA 9 art	Reducción del 60% en el riesgo de lesiones por 1000 horas de exposición. Efecto más fuerte en hombres (IRR 0.21) que en mujeres (IRR 0.51). El efecto fue más fuerte en las lesiones sin contacto (IRR 0.34) y menos claro en lesiones con contacto (IRR 0.59).	Los programas con pliometría reducen el riesgo de lesiones. Mayor efecto en hombres y en lesiones sin contacto .

Crossley et al. ³⁷	2020	Efectos de los programas de ejercicios multicomponentes en la incidencia de lesiones.	MA 12 art	Reducción de las lesiones en general (IRR 0.73) y las lesiones de LCA (IRR 0.55) . <u>Lesiones de isquiotibiales:</u> reducción en un 60% (IRR 0.40) . <u>Incidencia de lesiones:</u> 3.4 por 1000 horas de exposición, siendo las lesiones del tobillo las más comunes.	Los programas multicomponentes reducen las lesiones en general y las de LCA en un 27% y 45% respectivamente.
Waldén et al. ³⁸	2012	Efectividad del NMT en la reducción de lesiones de rodilla en jugadoras adolescentes de fútbol.	ECA M:4564	<u>Lesiones de LCA:</u> reducción del 64% en el grupo de intervención (7 lesiones vs 14 en el grupo control) con una razón de tasa de 0.36 (IC 95%, 0.15-0.85). <u>Diferencia absoluta:</u> -0.07 lesiones por 1000 horas de juego (IC 95%: -0.13 a 0.001).	Programa de calentamiento neuromuscular redujo las lesiones de LCA , pero la diferencia absoluta no fue estadísticamente significativa debido al bajo número de eventos.
Myer et al. ³⁹	2013	Influencia del NMT para reducir las lesiones de LCA en atletas femeninas.	MA 14 art	El NMT redujo significativamente las lesiones de LCA (OR 0.54) . Las adolescentes tempranas mostraron la mayor reducción (OR 0.28) , seguidas de las adolescentes tardías (OR 0.48) y adultas jóvenes (OR 1.01).	El NMT es más efectivo en adolescentes tempranas.

Magaña-Ramírez et al. ⁴⁰	2024	Efectividad de programas de ejercicio para reducir el riesgo de lesiones de LCA en futbolistas.	MA 11 art	FIFA 11+ fue el más efectivo para reducir el riesgo de lesiones de LCA. Knäkontroll también mostró efectividad. En mujeres , Knäkontroll fue el único programa con un impacto significativo en la reducción de lesiones de LCA.	FIFA 11+ y Knäkontroll son efectivos . Knäkontroll: más preventivo para mujeres.
Myer et al. ⁴¹	2013	La retroalimentación aumentada y el ángulo de abducción de la rodilla .	ECA M: 37	El grupo con retroalimentación aumentada redujo el ángulo de abducción de la rodilla en un 37.9% , mientras que el grupo de control lo hizo en un 26.7%.	La retroalimentación aumentada mejora la biomecánica y reduce el riesgo de lesiones de LCA.
Pfile et al. ⁴²	2013	Efectividad de los programas de estabilidad del core y pliométrico en la biomecánica de las EEII durante el salto en mujeres.	ECC M:23	Ambos mejoraron la biomecánica de las rodillas y caderas. El <u>grupo pliométrico</u> redujo la flexión y rotación interna de la rodilla. El <u>grupo de estabilidad del core</u> redujo la flexión y rotación interna de la rodilla y la cadera . Los cambios fueron estadísticamente significativos.	Ambos programas son efectivos para prevenir lesiones de LCA.
Otsuki et al. ⁴³	2021	Efectos de un programa de prevención de lesiones en la mecánica de la rodilla	ECC M: 178	<u>Grupos de control</u> : aumento en el desplazamiento medial, disminución en la flexión y mayor probabilidad de abducción en la pubertad temprana. <u>Grupos de</u>	El programa limitó los patrones de riesgo en la pubertad temprana y mejoró la mecánica de la

		en diferentes etapas de maduración.		<u>entrenamiento</u> : no hubo cambios negativos en estos factores, con mejoras observadas en el grupo postpuberal.	rodilla en la pubertad postpuberal.
Shams et al. ⁴⁴	2022	Efectos de la retroalimentación y el vendaje/taping durante ejercicios pliométricos en mujeres con valgo dinámico de rodilla.	ECC M:48	<u>Vendaje</u> : mejoró la percepción de la posición articular y retrasó la activación del vasto lateral. <u>Ambos</u> : mejoraron la puntuación LESS , indicando mejor control del aterrizaje.	La retroalimentación y el vendaje mejoraron la biomecánica del aterrizaje. El vendaje mejora la percepción de la posición articular .
Marsshal et al. ⁴⁵	2020	Retroalimentación visual en tiempo real mejora la mecánica de aterrizaje en mujeres.	ECA M:24	El grupo de <u>retroalimentación</u> mostró mayor flexión de rodilla durante la fase de vuelo (13.03° más) y menor abducción de rodilla después del contacto inicial (6.16° menos), reduciendo la excursión de la abducción en 3.02° (p=.008).	La retroalimentación visual mejoró los patrones de movimiento y redujo el riesgo de lesión en la rodilla.
CIRUGÍA Y POSTOPERATORIO					
Hong et al. ⁴⁶	2023	Resultados después de la reconstrucción de LCA (RLCA) en jugadores de fútbol, tasas de reoperación , lesiones en	MA 32 art 3112p	La <u>tasa de falla del injerto/reoperación</u> varió entre 3.0% y 24.8% . La <u>incidencia de lesión secundaria de LCA</u> fue del 27% en mujeres y 10% en hombres . Los jugadores regresaron a fútbol entre 6.1 y 11.1 meses .	Las jugadoras tienen un mayor riesgo de lesión secundaria tras RLCA . Los jugadores de fútbol presentan tasas de

		rodilla contralateral y tiempo de retorno.			reinserción similares a otros deportes de pivoteo.
Costa et al. ⁴⁷	2022	Impacto de la tensión del injerto y el sexo en la artrosis postraumática (PTOA) tras una RLCA a 10-12 años.	ECA 95 p -H:46 -M:49	<u>Ambos grupos</u> con RLCA tuvieron peores resultados que el grupo de control en estabilidad, dolor y calidad de vida (P ≤.049). El grupo de <u>baja tensión</u> mostró más síntomas y mayor deterioro articular (P=.015). Los hombres tuvieron mayor actividad (P=.007) pero más daño articular que las mujeres (P=.034).	RLCA no previene la PTOA , independientemente de la tensión inicial. Los hombres con injertos de baja tensión podrían tener mayor riesgo de PTOA .
Filbay y Kvist. ⁴⁸	2022	Miedo a la relesión entre tratamientos (con/sin cirugía) e identificar factores pronósticos.	EC 375 p -H:132 -M:143	Miedo a la relesión común en todos los grupos, pero disminuyó entre los 3 y 12 meses en quienes no se operaron. Mujeres presentaron más miedo a los 3 meses postcirugía , mientras que mayor autoeficacia y mejor función de rodilla inicial se asociaron con menos miedo a los 12 meses.	La RLCA se asocia con mayor miedo a la relesión antes de la cirugía. Sexo, autoeficacia y función de rodilla pueden influir en el miedo a la relesión.
Zarzycki et al. ⁴⁹	2024	Relación entre factores psicológicos y riesgo de	ECA M:39	9 deportistas (23%) sufrieron una segunda lesión en los siguientes 2 años (4 rupturas de injerto y 5 lesiones en la rodilla contralateral). Estas deportistas presentaron	Las mujeres con mayor predisposición psicológica y menos

		segunda lesión de LCA tras reconstrucción.		mayores puntajes en la escala ACL-RSI (P=0.03) y evaluación de riesgo (P<0.01).	kinesiofobia fueron más propensas a la segunda lesión de LCA.
Barnett et al. ⁵⁰	2020	Recuperación funcional y fuerza muscular entre hombres y mujeres tras la RLCA con la técnica BEAR (Bridge-Enhanced ACL Repair).	ECA 55 p -H:28 -M:27	A los 6 meses, las mujeres mostraron menor déficit de fuerza en los músculos isquiotibiales (1.7% vs. 14.0%) y cuádriceps (2.0% vs. 11.3%) que los hombres. Mejores resultados en pruebas de salto a una pierna en mujeres a los 6 meses y a los 12 meses. No hubo diferencias significativas en tasas de relesión de LCA (ipsilateral o contralateral).	Las mujeres mostraron una recuperación más temprana en fuerza muscular y capacidad funcional, sin diferencias en laxitud o resultados de los cuestionarios.
Arundale et al. ⁵¹	2018	Resultados funcionales y autoinformados de los deportistas que completaron un programa de rehabilitación tras una RLCA.	ECA 79 p -H: 40 -M: 39	2 grupos: SAP (fortalecimiento progresivo, entrenamiento de agilidad, pliometría) y SAP + PERT (con entrenamiento de perturbación). Se evaluaron la simetría de fuerza del cuádriceps (QI), salto y resultados. Mejoras significativas en todos los parámetros (excepto QI), sin diferencias entre los grupos SAP y SAP+PERT. Hombres mejoraron significativamente en QI, mientras que las mujeres no. Las mujeres necesitaron más enfoque en el fortalecimiento del cuádriceps.	El programa común (sin importar el grupo) mostró ser beneficioso, pero las mujeres necesitaron más atención en fortalecer el cuádriceps, dada la relación entre QI y el riesgo de nueva lesión.

Lefevre et al. ⁵²	2015	Incomodidad postoperatoria entre cirugía ambulatoria y hospitalaria en pacientes con RLCA.	EC 133p -H: 91 -M:42	Incomodidad postoperatoria similar entre ambos grupos (ambulatoria 37%, hospitalaria 41%, P=0.62). <u>Grupo ambulatoria:</u> menos dificultades para dormir la primera noche, más caminatas regulares el primer día y menos dolor. <u>Factores de riesgo: femenino (OR=4.8).</u>	Las mujeres tuvieron un mayor riesgo de experimentar síntomas de incomodidad postoperatoria .
Lisee et al. ⁵³	2019	Diferencias en la fuerza isométrica unilateral del cuádriceps y la activación voluntaria entre la pierna afecta y la contralateral de individuos con RLCA.	MA 28 art	<u>Pierna afectada en individuos con RLCA:</u> menor fuerza de extensión de rodilla en comparación con la pierna contralateral. La activación del cuádriceps fue menor en la pierna afectada comparada con los controles sin lesión, pero no comparado con la pierna contralateral. <u>Pierna contralateral en individuos con RLCA:</u> menor activación del cuádriceps en comparación con los controles saludables, pero con fuerza de extensión de rodilla similar. Las mujeres con RLCA presentaron peores resultados funcionales y menores niveles de actividad física comparadas con los hombres.	Los pacientes con RLCA presentan déficits bilaterales en la activación del cuádriceps y en la fuerza de la pierna afectada . La rehabilitación debe mejorar la activación del cuádriceps , sobre todo en mujeres .
Figueroa et al. ⁵⁴	2024	Tasa de retorno al deporte (RTS) en deportistas femeninas tras una RLCA.	MA 15 art 1456 p	69% de las participantes pudieron regresar al deporte después de la cirugía. El fútbol fue el deporte más común. El tiempo promedio de regreso fue 10.8 meses (IC 95%: 8.7-12.8 meses).	69% de las mujeres pueden regresar al deporte después de RLCA en 10.8 meses .

Cronstrom et al. ⁵⁵	2021	Factores de riesgo intrínsecos para la lesión del LCA contralateral después de una RLCA.	MA 44 art 59000 p	<u>7 FR</u> asociados con la lesión contralateral: regreso a alto nivel de actividad, IMC<25, edad ≤ 18 años, historia familiar de lesiones de LCA, reconstrucción de LCA ≤3 meses, sexo femenino (OR 1.35) y lesión meniscal concomitante.	Factores como sexo femenino y edad joven aumentan el riesgo de lesión del LCA contralateral tras RLCA.
Cronstrom et al. ⁵⁶	2023	Factores de riesgo para la ruptura del injerto tras RLCA.	MA 117 art 130000 p	<u>FR para la ruptura del injerto</u> : nivel de actividad elevado, mayor pendiente tibial, menor preparación psicológica para regresar al deporte, cirugía temprana < 12 meses e historia familiar de lesiones de LCA. <u>Factores que disminuyen el riesgo</u> : edad avanzada, sexo femenino (OR 0.88) , menos síntomas de rodilla antes de la cirugía y lesiones concomitantes de cartílago.	Los factores más destacados son deportivos y hereditarios. Las mujeres presentan un menor riesgo de ruptura del injerto .
Vadalà et al. ⁵⁷	2013	Adición de procedimiento extraarticular de Cocker-Arnol en la RLCA con isquiotibiales mejora la estabilidad rotacional de la rodilla.	ECA M: 60	2 grupos: ACLR sola(A) vs. ACLR + Cocker-Arnold (B). En el <u>grupo A</u> , el 57.1% presentó pivot-shift residual vs. 18.6% en el <u>grupo B</u> . Ambos grupos mostraron mejoría en escalas funcionales, sin diferencias significativas en Lachman o estabilidad anteroposterior. Dos re-roturas en el grupo A, ninguna en el B.	La técnica extraarticular mejora significativamente la estabilidad rotacional .
Capin et al. ⁵⁸	2019	Mejoría de la simetría en la marcha en mujeres	ECA M: 39	La asimetría en la flexión de rodilla y otras variables biomecánicas persistió hasta un año post RLCA en	La recuperación de la simetría en la marcha

		después de RLCA y entrenamiento con perturbaciones vs sin perturbaciones.		ambos grupos. No hubo diferencias significativas entre los grupos de tratamiento. A los 2 años , la simetría mejoró independientemente del tipo de entrenamiento.	lleva más tiempo que la recuperación de la fuerza y el rendimiento funcional tras RLCA.
Edgar et al. ⁵⁹	2008	Funcionalidad y estabilidad a largo plazo de los injertos de tendón de isquiotibiales autólogos vs. alogénicos en la RLCA.	ECA 83 p -H: 46 -M:37	No hubo diferencias significativas en los puntajes de funcionalidad y entre ambos grupos tras 3 a 6 años de seguimiento. Tasa de falla similar : 3 fallos en el grupo de autólogos (2 re-roturas agudas del LCA en mujeres un año después de la cirugía y 1 en hombre por laxitud progresiva) y 2 en el grupo de alogénicos (hombres).	Ambos tipos de injerto son eficaces y estables a largo plazo . El alogénico no presenta mayor laxitud en comparación con el autólogo.
Tsuda et al. ⁶⁰	2009	RLCA con injerto de tendón rotuliano lateralizado (LSBP) vs doble haz de tendón de isquiotibiales (DBH) en términos de estabilidad y recuperación postoperatoria.	EC 144 p -H: 67 -M:77	No hubo diferencias significativas entre los dos grupos en la estabilidad de la rodilla ni en la evaluación final de IKDC. El grupo LSBP recuperó mejor la extensión de la rodilla al mes , pero ambos grupos igualaron su recuperación a los 3 meses . Las mujeres mostraron una asimetría en la posición tibial posterior antes de la cirugía , mientras que los hombres no . Seis meses después, los hombres mantuvieron una posición tibial anterior, mientras que las mujeres volvieron a una asimetría posterior en la pierna afectada.	Los resultados a corto plazo entre LSBP y DBH son comparables , con mejoras similares en la estabilidad y función de la rodilla a largo plazo. Las mujeres presentaron una recuperación diferente en la posición tibial .

Discusión

A partir de los artículos revisados, procederemos a abordar los objetivos establecidos en este trabajo de investigación.

- ¿Cómo varía la incidencia de la lesión del LCA entre hombres y mujeres?

La literatura científica muestra una mayor incidencia de rotura del LCA en mujeres, una tendencia sostenida a lo largo del tiempo y confirmada en estudios realizados en múltiples contextos deportivos. Esta diferencia no puede atribuirse a un único factor, sino que refleja un entramado complejo de variables interrelacionadas que afectan en mayor medida al sexo femenino.

En el deporte, más de la mitad de las lesiones de LCA ocurren sin contacto y las mujeres tienen casi tres veces más riesgo que los hombres¹⁵. Esta vulnerabilidad se acentúa en las atletas de nivel intermedio, pero disminuye conforme aumenta el nivel competitivo. Este patrón podría explicarse porque, a medida que las atletas se profesionalizan, suelen tener mejor preparación física, mayor control neuromuscular y acceso a programas de prevención. Sin embargo, en las etapas intermedias de su carrera, muchas no cuentan con los recursos o conocimientos adecuados para optimizar su entrenamiento⁵. Así, el nivel de experiencia deportiva y la calidad del entrenamiento actuarían como factores protectores y explicarían la reducción relativa de la brecha. De modo que, la vulnerabilidad no estaría necesariamente ligada al sexo, sino a la interacción entre este y el entorno.

Además, en deportes con altas exigencias mecánicas, como el fútbol y el baloncesto, donde la carga sobre el LCA es constante, estas diferencias se intensifican¹⁶. Por lo tanto, el tipo de deporte también juega un papel importante en el riesgo de lesión.

Desde una perspectiva más amplia, los hombres sufren más lesiones deportivas en general, pero las mujeres muestran mayor tasa de lesiones de LCA¹⁷.

Adicionalmente, existen más capas de complejidad, ya que se han identificado variables individuales— como edad, molestias previas o antecedentes familiares— como determinantes significativos de riesgo. En cuanto al tipo de superficie de juego, no hay diferencias significativas en el riesgo entre sexos, lo que sugiere que, en ciertos contextos, el terreno de juego no es un factor de riesgo tan relevante, al menos no en comparación con los factores individuales o estructurales¹⁸.

- ¿Qué factores contribuyen a esta diferencia?

Factores anatómicos

Las diferencias morfológicas pueden explicar parte de la mayor susceptibilidad femenina, si bien estas características, por su naturaleza estructural, no son modificables a través del entrenamiento o la intervención preventiva.

La menor amplitud de la escotadura intercondílea es uno de los principales factores anatómicos. Al ser menor el espacio disponible para el LCA, aumenta la probabilidad de que se roce o comprima contra las paredes óseas durante movimientos de rotación o hiperextensión. Tanto las mujeres lesionadas como las no lesionadas presentan una escotadura más estrecha que los hombres¹⁹. Este dato sugiere una vulnerabilidad inherente, una “debilidad estructural de base” que podría explicar en parte la mayor incidencia de lesiones.

Otro aspecto que se ha estudiado es el diámetro del LCA. Algunos autores sostienen que las personas con rotura del ligamento presentan diámetros menores en comparación con aquellos sin lesión, independientemente del sexo²⁰. Esta observación se relaciona con hallazgos que indican que las mujeres tienden a tener un volumen ligamentoso inferior, lo que podría explicar una menor resistencia mecánica⁶¹.

La forma de la pelvis y cómo afecta la alineación del cuerpo también tiene un papel importante. El ángulo Q— definido por la relación entre la espina ilíaca anterosuperior, la rótula y la tuberosidad tibial— más pronunciado en mujeres, debido a una pelvis más ancha y una longitud relativamente corta del fémur, genera una línea de tracción del cuádriceps menos favorable para la estabilidad de la rodilla⁶¹. Esto puede intensificar las fuerzas de valgo en la articulación, predisponiéndola a la rotura del LCA.

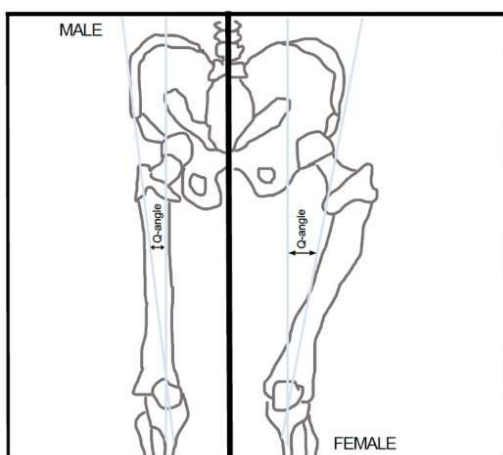


Ilustración 1. Diferencia del ángulo Q en la estructura ósea masculina y femenina: 14° en hombres y 17° en mujeres. Tomada de: Gant H, Ghimire N, Min K, Musa I, Ashraf M, Lawan A. Impact of the quadriceps angle on health and injury risk in female athletes. Int J Environ Res Public Health [Internet]. 2024;21(12). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph21121547>

Por último, las pendientes tibiales medial y lateral— más acentuadas en mujeres—favorecen que la tibia se desplace hacia delante con más facilidad, generando más tensión en el LCA²¹.

Aunque estos factores no sean modificables, conocerlos permite una mejor prevención: no se trata de cambiar la anatomía, sino de compensar sus efectos a través de la mejora funcional. Además, pueden llegar a tener importancia en la cirugía, como es el caso de la osteotomía de disminución de pendiente o la ampliación quirúrgica de la escotadura.

Factores biomecánicos

Cómo nos movemos y cómo nuestros músculos responden durante el ejercicio puede influir en el riesgo de lesión del LCA. A diferencia de las características anatómicas, estos factores sí se pueden mejorar mediante el entrenamiento.

Uno de los momentos más críticos es el aterrizaje tras un salto. En particular, la segunda fase del aterrizaje— cuando los pies vuelven a tocar el suelo tras el impulso—es delicada, ya que es donde más se ven desequilibrios. Por ejemplo, es común que una pierna soporte más carga que la otra y que el cuerpo no baje lo suficiente su centro de gravedad para estabilizarse, lo que genera más tensión sobre el LCA²⁷. Esto ocurre con mayor frecuencia en mujeres, quienes tienden a aterrizar con menos flexión de rodilla y cadera, reduciendo así su capacidad para absorber el impacto de forma segura⁶¹. Como consecuencia, en lugar de que la musculatura actúe como amortiguador, esa carga termina cayendo sobre estructuras pasivas como el LCA. Este patrón puede empeorar cuando hay fatiga, ya que se presenta una combinación peligrosa: valgo de rodilla, rotación interna de cadera y rotación externa de tibia.

A nivel muscular, se observa una mayor activación del cuádriceps frente a una relajación de los isquiotibiales, favoreciendo el deslizamiento anterior de la tibia sobre el fémur y, con ello, un mayor estrés sobre el LCA⁵.

El tipo de apoyo también influye: aterrizar con el talón (retropié) se asocia a mayor riesgo porque coloca la rodilla en una posición más extendida y abducida, limitando la activación de los isquiotibiales y dejando el LCA más expuesto²⁸.

En esta línea, la rigidez articular también es diferente entre sexos. Las mujeres muestran menor rigidez en la rodilla frente a estímulos torsionales. Aunque la rigidez aumenta cuando el torque es elevado, su respuesta inicial más inestable expone más la articulación en los primeros momentos de una maniobra brusca²⁹. Otro detalle a considerar es que las restricciones en la

rotación femoral pueden multiplicar por veintisiete el riesgo de rotura de LCA, siendo incluso mayor en el caso de las mujeres²².

El componente neuromuscular es especialmente importante en deportistas jóvenes. Las adolescentes después de la pubertad presentan mayores ángulos y momentos de abducción en la rodilla durante saltos y cambios de dirección²⁶. Esto podría explicar por qué el riesgo aumenta tras la pubertad, sobre todo en mujeres, cuyo desarrollo neuromuscular no siempre va a la par del rápido crecimiento esquelético. Esta “inmadurez funcional” también explicaría por qué las diferencias entre hombres y mujeres tienden a igualarse en niveles deportivos altos, donde el control neuromuscular se ha desarrollado más⁶¹.

En cuanto al rendimiento biomecánico, el *Landing Error Scoring System* (LESS), una herramienta útil para evaluar los patrones de riesgo en distintos entornos deportivos, no ha establecido interacciones significativas entre sexo y diferentes superficies de aterrizaje, como el césped o la pista²⁴.

LESS	
Método de evaluación	Se graban los saltos y aterrizajes en vídeo para analizarlos.
Número de ítems evaluados	17 (flexión de rodillas y caderas, alineación del tronco, control del pie, estabilidad, etc).
Tipo de puntuación por ítem	Sistema binario. 0= técnica correcta. 1= se detecta un error.
Puntuación total	Se suman los errores. El puntaje total va de 0 a 17. Mayor puntaje=peor técnica= mayor riesgo de lesión.

Tabla 2. Resumen del Protocolo LESS. Elaboración propia.

En este contexto, el entrenamiento neuromuscular es una herramienta fundamental. Las mujeres mejoran sus parámetros funcionales tras intervenciones específicas, aunque de forma distinta a los hombres, lo que refuerza la necesidad de diseñar programas diferenciados por sexo²⁵. También se han explorado intervenciones complementarias como el uso de bandas de compresión, que mejoran la flexibilidad de los isquiotibiales y proporcionan mayor estabilidad en los aterrizajes²³.

En definitiva, comprender cómo se mueve el cuerpo femenino, y entrenarlo en consecuencia, puede ser la vía más efectiva para reducir esta lesión.

Factores hormonales

La influencia de las hormonas sexuales en la estabilidad articular puede ser clave para comprender la elevada incidencia de rotura del LCA en mujeres. El LCA femenino tiene receptores de estrógenos, progesterona, testosterona y relaxina, por lo que las fluctuaciones hormonales a lo largo del ciclo menstrual pueden afectar su estructura y su funcionamiento. En algunos momentos del mes, esto podría generar un entorno fisiológico más vulnerable a la lesión.

Durante la pubertad, cuando los niveles hormonales empiezan a cambiar de forma más intensa, se empieza a notar una mayor laxitud en la rodilla de las mujeres comparada con los hombres. Esta etapa marca un aumento de riesgo de rotura del LCA⁶².

En la fase ovulatoria del ciclo menstrual existe mayor laxitud de la rodilla, coincidiendo con el pico de estrógenos, ya que esta hormona inhibe la enzima lisil oxidasa encargada de la maduración del colágeno. Por lo tanto, a mayor nivel de estrógenos existiría menor rigidez del ligamento³⁰. En este contexto, también se ha observado aumento de la carga en valgo y rotación interna femoral: el LCA se encontraría muy vulnerable.

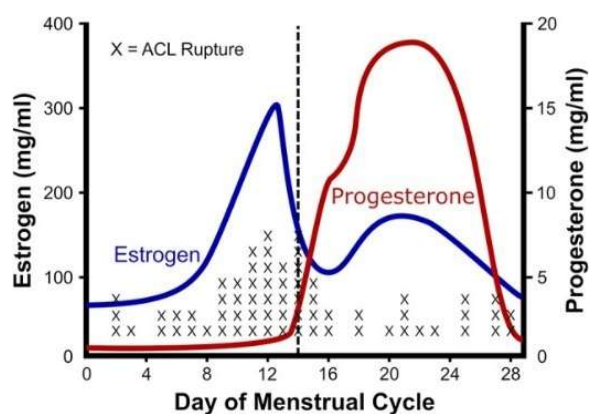


Figura 2. Tasa de rotura del LCA en relación con las hormonas femeninas a lo largo de un ciclo menstrual estándar. Tomada de: Chidi-Ogbolu N, Baar K. *Effect of estrogen on musculoskeletal performance and injury risk*. *Front Physiol* [Internet]. 2018;9:1834. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2018.01834>

Por otro lado, los niveles de testosterona, más elevados en hombres, están relacionados con una mayor rigidez del LCA y una menor destrucción del colágeno, lo cual podría ofrecer protección frente a estas lesiones⁶².

La relaxina, que tiene efectos colagenolíticos y también fluctúa, se encuentra en concentraciones más elevadas en mujeres con rotura del LCA. El pico de esta hormona se produce en la fase lútea y afecta a la estructura del ligamento, disminuyendo su densidad y organización del colágeno. Sus receptores RXFP están presentes en el revestimiento sinovial del LCA de las mujeres, mientras que en de los hombres no⁶².

No todas las mujeres responden igual a estos cambios hormonales. La sensibilidad está influida por factores como la genética, el entorno, el tipo de entrenamiento, el descanso, la alimentación o el nivel de estrés. Por ejemplo, las atletas de potencia suelen tener niveles más altos de testosterona, lo que podría influir positivamente en la estabilidad ligamentosa.

Teniendo en cuenta esta variabilidad interindividual, un enfoque único de prevención sería insuficiente. Pero si se tiene en cuenta que hay fases del ciclo donde el riesgo de lesión parece aumentar (ovulación) y otras donde el cuerpo estaría más protegido (fase folicular temprana), personalizar las cargas de entrenamiento en función del ciclo menstrual podría ser una estrategia muy útil.

En esta línea, los anticonceptivos orales, al estabilizar las concentraciones de estrógenos y progesterona, podrían tener un efecto protector. Algunos estudios mencionan una reducción del riesgo de hasta un 20%, aunque los resultados no son concluyentes y la variabilidad interindividual sigue siendo un factor crítico⁶².

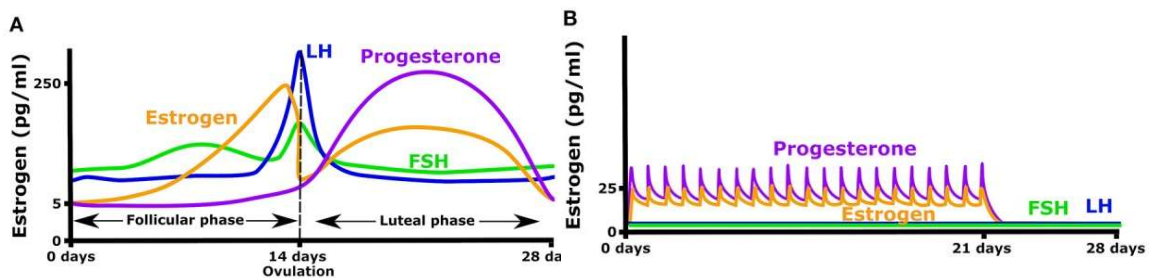


Figura 3. Fluctuación hormonal durante (A) un ciclo menstrual normal, (B) al tomar un anticonceptivo oral. Tomada de: Chidi-Ogbolu N, Baar K. Effect of estrogen on musculoskeletal performance and injury risk. *Front Physiol* [Internet]. 2018;9:1834. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2018.01834>

- **¿Qué estrategias de prevención y rehabilitación dirigidas a la población femenina han demostrado ser más efectivas?**

Prevención

La diferencia en la incidencia entre hombres y mujeres ha hecho que se dirija el foco de la prevención hacia los factores de riesgo modificables.

Los programas de entrenamiento neuromuscular son una de las intervenciones más eficaces, al modificar patrones de movimiento de riesgo y abordar los déficits neuromusculares. Estos déficits tienen raíces fisiológicas –ya comentadas—y sociales, como el acceso desigual a entrenamientos específicos desde edades tempranas. Así, la prevención se convierte en una estrategia fisiológica, educativa y estructural.

Los programas multicomponentes, que combinan ejercicios de fuerza, equilibrio y control postural, reducen un 45% la incidencia de las lesiones de LCA³⁷. Programas como el *Sportmetrics* o el *Programa preventivo y mejora del rendimiento (PEP)* reducen significativamente la incidencia de lesiones del LCA en mujeres deportistas⁶¹. Sin embargo, otros como el *FIFA 11+* o el *Prevención de lesión ligamentosa en la rodilla (KLIP)* han mostrado menos resultados, tal vez asociados a un bajo cumplimiento^{61, 38}. Existe, por tanto, una relación directa entre la adherencia a los programas y la reducción del riesgo de lesión³¹. Teniendo esto en cuenta, junto con un mayor volumen y frecuencia de sesiones, puede conseguirse reducir el riesgo hasta en un 68%³².

En línea con estos hallazgos, los programas basados en pliometría reducen el riesgo de lesiones del LCA en un 60%, con un mayor efecto protector en hombres y en lesiones sin contacto. Para las mujeres, el efecto es menor^{36, 42}.

Además, la edad de implementación es determinante. Cuanto antes, mejor. Lo ideal es introducir estos entrenamientos en la adolescencia temprana, cuando el cuerpo aún está en pleno desarrollo neuromuscular^{35, 41, 43}. Si se incorporan antes de entrar en competiciones formales, se consolidan mejor los patrones de movimiento seguros³⁹. En otras palabras: la prevención del LCA debería formar parte del entrenamiento básico de cualquier niña que practique deporte de forma regular.

Por otro lado, otro pilar de la prevención es la retroalimentación externa en tiempo real, tanto verbal como visual. Dar indicaciones claras o mostrar en vídeo cómo se está moviendo una persona mejora la mecánica del aterrizaje en mujeres con valgo dinámico, al reducir la

abducción de rodilla y aumentar la flexión articular^{44, 45, 33}. Además, la aplicación de vendajes específicos ha demostrado mejoras en la percepción articular, favoreciendo una mejor autoconciencia del movimiento⁴⁴. Estas estrategias al costar poco, permitirían su implementación en contextos con recursos limitados.

El éxito del programa sueco *Knäkontroll*, centrado en ejercicios multicomponentes, refuerza la idea de que una combinación bien estructurada de actividades orientadas al control motor, equilibrio y fuerza es más eficaz que cualquier medida aislada⁴⁰.

Programa	Deporte	¿En qué se enfoca?	¿Cómo se aplica?
<i>Spormetrics</i>	Fútbol Voleibol Baloncesto Fútbol	Pliometría y fuerza.	Sesión: 60-90 min Frecuencia: 3 días/sem Tiempo total: 6 semanas (sólo pretemporada)
<i>PEP</i>	Fútbol	Técnica, fuerza y core.	Sesión: 20 min Frecuencia: 2-3 días/sem Tiempo total: 12 semanas
<i>KLIP</i>	Fútbol	Técnica y fuerza.	Sesión: 20 min Frecuencia: 2 días/sem Tiempo total: 4-5 meses
<i>Knäkontroll</i>	Fútbol	Técnica y propiocepción.	Sesión: 15-20 minutos Frecuencia: 2-3 días/sem Tiempo total: toda la temporada (>12 semanas)
<i>FIFA 11+</i>	Fútbol	Integral.	Sesión: 15 min Frecuencia: 1 día/sem Tiempo total: 7,5 meses

Tabla 3. Programas de prevención de lesión del LCA en la mujer deportista. Tabla adaptada a partir de la que aparece en la referencia 61. Se añade el programa Knäkontroll y se excluyen los programas menos efectivos.

Ahora bien, no todas las estrategias ofrecen beneficios adicionales; añadir un entrenamiento de perturbación a otro programa preventivo no reduce significativamente el número de lesiones de LCA³⁴. Podemos afirmar que no todas las intervenciones aportan beneficios y que su aplicación debe estar bien justificada.

Cirugía y postoperatorio

La cirugía de reconstrucción del LCA (RLCA) es, hoy por hoy, el tratamiento de elección para atletas jóvenes y activos. Aunque los protocolos tienden a ser similares, las mujeres presentan resultados y tasas de relesión diferentes, lo cual sugiere la necesidad de incluir la variable sexo/género en la planificación quirúrgica y en las fases posteriores.

La recuperación de la fuerza muscular, en especial del cuádriceps, es uno de los principales desafíos, pues las mujeres han mostrado mayores dificultades en alcanzar la simetría entre ambas piernas tras la cirugía⁵¹. Pero no solo se ve afectada la pierna operada: también hay déficit de activación del cuádriceps en la pierna sana, lo que sugiere que el impacto neuromuscular de la cirugía es más amplio de lo que parece⁵³. De ahí la importancia de trabajar desde el principio en una activación adecuada de esta musculatura clave.

Por otro lado, la simetría en la marcha—es decir, que ambas piernas se muevan de forma equilibrada y fluida— tarda en normalizarse. En muchas mujeres, esto puede llevar incluso más tiempo que la recuperación de fuerza o del rendimiento funcional. Algunos estudios muestran que no se observan mejoras claras hasta pasados dos años de la cirugía⁵⁸. Esto pone en evidencia que el proceso de rehabilitación debe extenderse más allá del primer año, especialmente en mujeres, y que la evaluación de los progresos no debe limitarse exclusivamente a la fuerza, sino que debe contemplar también la calidad del movimiento a largo plazo.

No podemos olvidar el factor psicológico. El miedo a una relesión— descrito como más acentuado en mujeres— no solo retrasa la vuelta al deporte, sino que también altera la forma de moverse, generando compensaciones que aumentan el riesgo de una nueva lesión⁴⁸. La kinesiofobia (miedo al movimiento por temor al dolor o la lesión) es un factor predictivo de relesión. No obstante, algunos estudios señalan que las mujeres que se sienten más preparadas psicológicamente para regresar al deporte (es decir, tienen más confianza y menos miedo) pueden estar en mayor riesgo de sufrir una segunda lesión de LCA⁴⁹. Por ello, la atención psicológica debe ser parte del tratamiento, no una opción añadida. Identificar ambos perfiles y ofrecerles apoyo psicológico personalizado puede marcar la diferencia en su rehabilitación.

Cuando se habla de recuperación funcional, los resultados son heterogéneos. En algunos casos, las mujeres recuperan antes la fuerza y funcionalidad que los hombres, pero esto no siempre se traduce en una rodilla más estable ni en un menor riesgo de lesión⁵⁰. Es decir, los avances iniciales no siempre garantizan una recuperación completa ni sostenida.

En cuanto a lesiones, un 27% de mujeres sufre una nueva rotura en la rodilla contralateral, frente al 10% en hombres⁴⁶. Las razones pueden ser muchas: desde biomecánicas persistentes, hasta regresos al deporte demasiado apresurados, sin olvidar factores hormonales. De hecho, tanto ser mujer como una reconstrucción temprana son factores que se han asociado a un mayor riesgo de lesión contralateral, lo que refuerza la necesidad de un abordaje bilateral durante la rehabilitación, no centrado únicamente en la extremidad intervenida⁵⁵.

Respecto a la cirugía, no se han encontrado grandes diferencias entre usar injertos autólogos (propios) o alogénicos (de donante), por lo que estos últimos serían una buena alternativa⁵⁹. Por otra parte, podría considerarse la combinación del procedimiento extraarticular de MacIntosh modificado por Cocker-Arnold con la RLCA, ya que parece mejorar la estabilidad rotacional de la rodilla, lo que sería importante en mujeres con tendencia a la inestabilidad tras la RLCA⁵⁷.

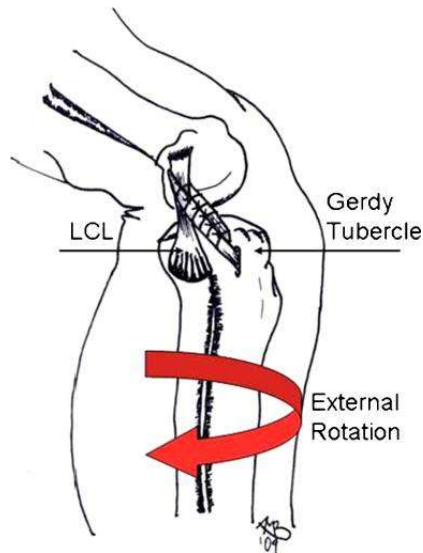


Ilustración 2. Procedimiento extraarticular de MacIntosh modificado por Cocker-Arnold. Se utiliza una pequeña tira del propio tracto iliotibial del paciente, que se pasa por debajo del ligamento colateral peroneo de la rodilla y se vuelve a fijar cerca del hueso, en el tubérculo de Gerdy. Tomada de: Vadalà AP, Iorio R, De Carli A, Bonifazi A, Iorio C, Gatti A, et al. An extra-articular procedure improves the clinical outcome in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings in female athletes. Int Orthop [Internet]. 2013;37(2):187–92. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00264-012-1571-0>

Del mismo modo, tampoco se han encontrado diferencias importantes en estabilidad al comparar injertos de tendón rotuliano con túnel femoral lateralizado con doble haz de

isquiotibiales. No obstante, sí se han observado disparidades en la recuperación de la posición tibial: las mujeres tienden a mantener una posición posterior, mientras que los hombres presentan una posición tibial anterior sostenida⁶⁰. Estas variaciones indican nuevamente que el sexo podría influir en los patrones de recuperación estructural. Cabe señalar además que se han identificado una serie de factores que pueden influir en el riesgo de rotura del injerto una vez realizada la intervención. Un alto nivel de actividad física, una menor preparación psicológica o antecedentes familiares de lesiones del LCA aumentarían este riesgo. Mientras que el sexo femenino y una mayor edad actuarían como factores protectores⁵⁶.

Las mujeres parecen tener mayor malestar postoperatorio. El sexo femenino se ha identificado como un factor de riesgo para tener mayor incomodidad tras la cirugía, independientemente del tipo de hospitalización⁵². Esto podría deberse a una mayor sensibilidad al dolor o diferencias en la respuesta al estrés quirúrgico.

En cuanto al retorno al deporte (RTS), el 69% de las mujeres deportistas pueden regresar a la práctica deportiva tras una RLCA, en un tiempo promedio de 10.8 meses⁵⁴. Aunque la cifra es muy buena, también indica que aproximadamente un tercio de las mujeres no logran volver a competir, probablemente por una combinación de barreras físicas, emocionales o sociales.

Por último, el desarrollo de artrosis postraumática (PTOA) sigue siendo un riesgo importante, independientemente del tipo de injerto o la tensión aplicada⁴⁷. Aunque la cirugía mejora la estabilidad a corto plazo, el deterioro articular a largo plazo sigue siendo una posibilidad. La mayor incidencia de PTOA en hombres con injertos de baja tensión sugiere que este riesgo, aunque compartido, puede manifestarse de forma diferente según el sexo. En cualquier caso, la rehabilitación continua es esencial, no solo para restaurar la función, sino también para mantener la salud articular a largo plazo.

- **Aproximación ideal programa de prevención de lesión del LCA en la mujer:**

Entrenamiento neuromuscular individualizado y vendaje/taping según el ciclo menstrual.

Tabla 4. Programa prevención rotura LCA para las mujeres.

Fundamento de la propuesta
<ul style="list-style-type: none"> - Incidencia elevada en mujeres jóvenes: prevención precoz y específica. - Factores de riesgo biomecánicos y hormonales: valgo dinámico, pobre activación de isquiotibiales y laxitud aumentada durante la ovulación.

- Rol del ciclo menstrual: mayor riesgo en ovulación y fase lútea tardía.
- Control neuromuscular y prevención: programas basados en pliometría, fuerza, control del core y propiocepción.
- Programas multicomponentes con evidencia: *Sportsmetrics, PEP, Knäkontroll*.
- Taping: complementario, mejora propiocepción, reduce patrones de valgo dinámico y proporciona seguridad psicológica a la deportista.

Objetivos

1. Reducir el riesgo de rotura del LCA en mujeres mediante una planificación del entrenamiento adaptada al ciclo menstrual.
2. Mejorar el control neuromuscular y la estabilidad de rodilla en fases de mayor vulnerabilidad.
3. Fomentar la autoconciencia corporal y la autogestión del entrenamiento.

Implementación con recursos limitados

- Herramienta sencilla: diario menstrual o apps gratuitas de seguimiento del ciclo.
- Datos: cada jugadora registra su ciclo durante 2-3 meses para determinar la duración media y sus fases.
- Orientación educativa: sesión informativa sobre la relación entre el ciclo menstrual, la biomecánica y el rendimiento deportivo.
- Vendaje neuromuscular: formación básica con sesiones de instrucción, guía visual (impresa o digital), autoaplicación progresiva (individual o en grupo). Ejemplos de zonas donde aplicarlo: rodilla (reducción de valgo dinámico) e isquiotibiales.

Estructura del programa preventivo adaptado al ciclo menstrual

<u>Implementación</u>	Tras la menarquia (10-16 años). Frecuencia: 2-3 veces por semana. Duración: 15-20 minutos antes del entrenamiento principal.		
Fase menstrual	Riesgo	Adaptaciones	Taping
Menstrual (día 1-7)	Bajo	Activación suave, ejercicios de baja intensidad y propiocepción.	No
Folicular (día 8-13)	Medio	Ejercicios de fuerza, técnica y salto.	Opcional
Ovulación (día 14)	Alto	Trabajar control postural, aterrizajes suaves, técnica y estabilidad articular. Se puede incluir feedback visual o verbal para conseguir patrones seguros de movimiento.	Sí

Lútea (día 14-28)	Medio/alto	Introducir mayor carga y pliometría progresiva.	Sí
Posibles recursos complementarios (opcionales)			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cartel informativo en el vestuario sobre las fases del ciclo y precauciones, manual con rutinas de ejercicios para cada fase, sesiones educativas grupales, coordinación con fisioterapeutas y personal médico del equipo. ▪ Uso de equipamiento adaptado a la biomecánica femenina: botas como las <i>Nike Phantom Luna</i> que tienen tracción especial gracias a un patrón de tacos circulares cerca de los dedos (Cyclone 360) que facilita cambios de dirección más seguros y ajuste anatómico alrededor del tobillo (AsymFit) para aportar mayor confianza y soporte en cada movimiento⁶³. 			
Innovación y valor añadido			
<ul style="list-style-type: none"> - Enfoque personalizado de la salud femenina. - Empoderamiento de la mujer deportista, al comprender mejor su fisiología. - Mejora de la adherencia y el compromiso mediante la autoobservación. 			
Conclusión			
<ul style="list-style-type: none"> - Viable en cualquier entorno deportivo con recursos limitados. - Se basa en una planificación adecuada, educación y adaptaciones sencillas en la carga y tipo de ejercicio. - Modelo de medicina deportiva con perspectiva de género. 			

Conclusiones

Tras una revisión detallada de la literatura y los hallazgos discutidos, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. La rotura del LCA afecta tres veces más a las mujeres que a los hombres.
2. Los programas de entrenamiento neuromuscular aplicados de manera estructurada, precoz y con alta adherencia, han demostrado ser efectivos en la reducción de riesgo de lesión.
3. Aunque las mujeres pueden mostrar recuperaciones funcionales tempranas tras la cirugía, enfrentan una recuperación más compleja, caracterizada por asimetrías de fuerza y una tasa mayor de lesión contralateral.
4. El miedo a una nueva lesión influye en la recuperación y el retorno al deporte. Incluir el apoyo psicológico en la rehabilitación puede favorecer el retorno seguro a la práctica deportiva.
5. Es fundamental reconocer que las mujeres no solo sufren más lesiones, sino que también reciben atención menos adaptada a sus necesidades específicas.
6. Abordar la rotura del LCA desde una perspectiva de género es una necesidad ética, científica y social. Solo a través de un cambio en el paradigma— que integre conocimiento, formación, prevención y acompañamiento individualizado— podremos reducir realmente la incidencia de estas lesiones y mejorar el pronóstico a largo plazo. La salud de las mujeres deportistas, y su derecho a desarrollar su potencial sin que su género sea un factor de riesgo, así lo exige.

Bibliografía

1. Moreno Pascual C, Rodríguez Pérez V, Seco Calvo J. Epidemiología de las lesiones deportivas. *Fisioter (Madr, Ed, Impresa)* [Internet]. 2008;30(1):40–8. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/s0211-5638\(08\)72954-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0211-5638(08)72954-7)
2. Lohmander LS, Englund PM, Dahl LL, Roos EM. The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: osteoarthritis. *Am J Sports Med* [Internet]. 2007;35(10):1756–69. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546507307396>
3. Petersen W, Tillmann B. Anatomy and function of the anterior cruciate ligament. *Orthopade*[Internet]. 2002;31(8):710–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00132-002-0330-0>
4. Amis AA. Anterolateral knee biomechanics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2017;25(4):1015–23. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-017-4494-x>
5. Alanís-Blancas LM, Zamora P, Cruz A. Ruptura del ligamento cruzado anterior en mujeres deportistas. *Centro Médico ABC*. 2012;54(2):93–7.
6. Renstrom P, Ljungqvist A, Arendt E, Beynonn B, Fukubayashi T, Garrett W, et al. Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *Br J Sports Med* [Internet]. 2008;42(6):394–412. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2008.048934>
7. Noyes FR, Mooar PA, Matthews DS, Butler DL. The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part I: the long-term functional disability in athletically active individuals. *J Bone Joint Surg Am* [Internet]. 1983;65(2):154–62. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2106/00004623-198365020-00003>
8. Kaeding CC, Léger-St-Jean B, Magnussen RA. Epidemiology and diagnosis of anterior cruciate ligament injuries. *Clin Sports Med* [Internet]. 2017;36(1):1–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.csm.2016.08.001>
9. *Women and Sport* [Internet]. Issuu. 2015 [citado el 21 de abril de 2025]. Disponible en: <https://issuu.com/repucom.net/docs/women-and-sport-repucom>

10. Prodromos CC, Han Y, Rogowski J, Joyce B, Shi K. A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthro*. 2007;23(12):1320–5.
11. Yu B, Kirkendall DT, Garrett WE Jr. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Anatomy, physiology, and motor control. *Sports Med Arthrosc* [Internet]. 2002;10(1):58–68. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/00132585-200210010-00009>
12. Shultz SJ, Schmitz RJ, Benjaminse A, Chaudhari AM, Collins M, Padua DA. ACL research retreat VI: An update on ACL injury risk and prevention. *J Athl Train* [Internet]. 2012;47(5):591–603. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-47.5.13>
13. Bencke J, Aagaard P, Zebis MK. Muscle activation during ACL injury risk movements in young female athletes: A narrative review. *Front Physiol* [Internet]. 2018;9:445. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2018.00445>
14. Smith HC, Vacek P, Johnson RJ, Slauterbeck JR, Hashemi J, Shultz S, et al. Risk factors for anterior cruciate ligament injury: A review of the literature-part 2: Hormonal, genetic, cognitive function, previous injury, and extrinsic risk factors. *Sports Health* [Internet]. 2012;4(2):155–61. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/1941738111428282>
15. Chia L, De Oliveira Silva D, Whalan M, McKay MJ, Sullivan J, Fuller CW, et al. Non-contact anterior cruciate ligament injury epidemiology in team-ball sports: A systematic review with meta-analysis by sex, age, sport, participation level, and exposure type. *Sports Med* [Internet]. 2022;52(10):2447–67. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-022-01697-w>
16. Montalvo AM, Schneider DK, Webster KE, Yut L, Galloway MT, Heidt RS Jr, et al. Anterior cruciate ligament injury risk in sport: A systematic review and meta-analysis of injury incidence by sex and sport classification. *J Athl Train* [Internet]. 2019;54(5):472–82. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-407-16>
17. Zech A, Hollander K, Junge A, Steib S, Groll A, Heiner J, et al. Sex differences in injury rates in team-sport athletes: A systematic review and meta-regression analysis. *J Sport Health Sci* [Internet]. 2022;11(1):104–14. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jshs.2021.04.003>

18. Hägglund M, Waldén M. Risk factors for acute knee injury in female youth football. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2016;24(3):737–46. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-015-3922-z>
19. Jha V, Azam MQ, Jain P, Bali SA. Does femoral intercondylar notch volume differ in anterior cruciate ligament-injured adult patients compared to the uninjured?: A meta-analysis. *Clin Orthop Surg* [Internet]. 2022;14(1):76–89. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4055/cios20163>
20. Mahajan PS, Chandra P, Negi VC, Jayaram AP, Hussein SA. Smaller anterior cruciate ligament diameter is a predictor of subjects prone to ligament injuries: an ultrasound study. *Biomed Res Int* [Internet]. 2015;2015:845689. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/845689>
21. Hashemi J, Chandrashekar N, Gill B, Beynon BD, Slaughterbeck JR, Schutt RC Jr, et al. The geometry of the tibial plateau and its influence on the biomechanics of the tibiofemoral joint. *J Bone Joint Surg Am* [Internet]. 2008;90(12):2724–34. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2106/JBJS.G.01358>
22. Beaulieu ML, Wojtys EM, Ashton-Miller JA. Risk of anterior cruciate ligament fatigue failure is increased by limited internal femoral rotation during in vitro repeated pivot landings. *Am J Sports Med* [Internet]. 2015;43(9):2233–41. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546515589164>
23. Wu S-Y, Tsai Y-H, Wang Y-T, Chang W-D, Lee C-L, Kuo C-EA, et al. Acute effects of tissue flossing coupled with functional movements on knee range of motion, static balance, in single-leg hop distance, and landing stabilization performance in female college students. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2022;19(3):1427. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph19031427>
24. Jacobs K, Riveros D, Vincent HK, Herman DC. The effect of landing surface on landing error scoring system grades. *Sports Biomech* [Internet]. 2021;20(2):190–7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/14763141.2018.1535617>
25. Di Stasi SL, Snyder-Mackler L. The effects of neuromuscular training on the gait patterns of ACL-deficient men and women. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* [Internet]. 2012;27(4):360–5. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2011.10.008>
26. Westbrook AE, Taylor JB, Nguyen A-D, Paterno MV, Ford KR. Effects of maturation on knee biomechanics during cutting and landing in young female soccer players. *PLoS*

- One [Internet]. 2020;15(5):e0233701. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0233701>
27. Bates NA, Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Impact differences in ground reaction force and center of mass between the first and second landing phases of a drop vertical jump and their implications for injury risk assessment. *J Biomech* [Internet]. 2013;46(7):1237–41. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.02.024>
 28. Cortes N, Morrison S, Van Lunen BL, Onate JA. Landing technique affects knee loading and position during athletic tasks. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2012;15(2):175–81. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2011.09.005>
 29. Schmitz RJ, Ficklin TK, Shimokochi Y, Nguyen A-D, Beynon BD, Perrin DH, et al. Varus/valgus and internal/external torsional knee joint stiffness differs between sexes. *Am J Sports Med* [Internet]. 2008;36(7):1380–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546508317411>
 30. Bell DR, Blackburn JT, Hackney AC, Marshall SW, Beutler AI, Padua DA. Jump-landing biomechanics and knee-laxity change across the menstrual cycle in women with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train* [Internet]. 2014;49(2):154–62. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-49.2.01>
 31. Sugimoto D, Myer GD, Bush HM, Klugman MF, Medina McKeon JM, Hewett TE. Compliance with neuromuscular training and anterior cruciate ligament injury risk reduction in female athletes: a meta-analysis. *J Athl Train* [Internet]. 2012;47(6):714–23. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-47.6.10>
 32. Sugimoto D, Myer GD, Foss KDB, Hewett TE. Dosage effects of neuromuscular training intervention to reduce anterior cruciate ligament injuries in female athletes: meta- and sub-group analyses. *Sports Med* [Internet]. 2014;44(4):551–62. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-013-0135-9>
 33. Sugimoto D, Myer GD, Barber Foss KD, Pepin MJ, Micheli LJ, Hewett TE. Critical components of neuromuscular training to reduce ACL injury risk in female athletes: meta-regression analysis. *Br J Sports Med* [Internet]. 2016;50(20):1259–66. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2015-095596>
 34. Johnson JL, Capin JJ, Arundale AJH, Zarzycki R, Smith AH, Snyder-Mackler L. A secondary injury prevention program may decrease contralateral anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year injury rates in the ACL-SPORTS randomized controlled trial. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. 2020;50(9):523–30. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2519/jospt.2020.9407>

35. Petushek EJ, Sugimoto D, Stoolmiller M, Smith G, Myer GD. Evidence-based best-practice guidelines for preventing anterior cruciate ligament injuries in young female athletes: A systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med* [Internet]. 2019;47(7):1744–53. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546518782460>
36. Al Attar WSA, Bakhsh JM, Khaledi EH, Ghulam H, Sanders RH. Injury prevention programs that include plyometric exercises reduce the incidence of anterior cruciate ligament injury: a systematic review of cluster randomised trials. *J Physiother* [Internet]. 2022;68(4):255–61. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jphys.2022.09.001>
37. Crossley KM, Patterson BE, Culvenor AG, Bruder AM, Mosler AB, Mentiplay BF. Making football safer for women: a systematic review and meta-analysis of injury prevention programmes in 11 773 female football (soccer) players. *Br J Sports Med* [Internet]. 2020;54(18):1089–98. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2019-101587>
38. Waldén M, Atroshi I, Magnusson H, Wagner P, Hägglund M. Prevention of acute knee injuries in adolescent female football players: cluster randomised controlled trial. *BMJ* [Internet]. 2012;344(may03 1):e3042. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.e3042>
39. Myer GD, Sugimoto D, Thomas S, Hewett TE. The influence of age on the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: a meta-analysis: A meta-analysis. *Am J Sports Med* [Internet]. 2013;41(1):203–15. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546512460637>
40. Magaña-Ramírez M, Gallardo-Gómez D, Álvarez-Barbosa F, Corral-Pernía JA. What exercise programme is the most appropriate to mitigate anterior cruciate ligament injury risk in football (soccer) players? A systematic review and network meta-analysis. *J Sci Med Spory.* 2024;27(4):234–42. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2024.02.001>
41. Myer GD, Stroube BW, DiCesare CA, Brent JL, Ford KR, Heidt RS Jr, et al. Augmented feedback supports skill transfer and reduces high-risk injury landing mechanics: a double-blind, randomized controlled laboratory study: A double-blind, randomized controlled laboratory study. *Am J Sports Med* [Internet]. 2013;41(3):669–77. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546512472977>
42. Pfile KR, Hart JM, Herman DC, Hertel J, Kerrigan DC, Ingersoll CD. Different exercise training interventions and drop-landing biomechanics in high school female

- athletes. *J Athl Train* [Internet]. 2013;48(4):450–62. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-48.4.06>
43. Otsuki R, Benoit D, Hirose N, Fukubayashi T. Effects of an injury prevention program on anterior cruciate ligament injury risk factors in adolescent females at different stages of maturation. *J Sports Sci Med* [Internet]. 2021;20(2):365–72. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.52082/jssm.2021.365>
44. Shams F, Hadadnezhad M, Letafatkar A, Hogg J. Valgus control feedback and taping improves the effects of plyometric exercises in women with dynamic knee Valgus. *Sports Health* [Internet]. 2022;14(5):747–57. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/19417381211049805>
45. Marshall AN, Hertel J, Hart JM, Russell S, Saliba SA. Visual biofeedback and changes in lower extremity kinematics in individuals with medial knee displacement. *J Athl Train* [Internet]. 2020;55(3):255–64. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-383-18>
46. Hong IS, Pierpoint LA, Hellwinkel JE, Berk AN, Salandra JM, Meade JD, et al. Clinical outcomes after ACL reconstruction in soccer (football, futbol) players: A systematic review and meta-analysis. *Sports Health* [Internet]. 2023;15(6):788–804. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/19417381231160167>
47. Costa MQ, Badger GJ, Chrostek CA, Carvalho OD, Faiola SL, Fadale PD, et al. Effects of initial graft tension and patient sex on knee osteoarthritis outcomes after ACL reconstruction: A randomized controlled clinical trial with 10- to 12-year follow-up. *Am J Sports Med* [Internet]. 2022;50(13):3510–21. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/03635465221124917>
48. Filbay S, Kvist J. Fear of reinjury following surgical and nonsurgical management of anterior cruciate ligament injury: An exploratory analysis of the NACOX multicenter longitudinal cohort study. *Phys Ther* [Internet]. 2022;102(2). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1093/ptj/pzab273>
49. Zarzycki R, Cummer K, Arhos E, Failla M, Capin JJ, Smith AH, et al. Female athletes with better psychological readiness are at higher risk for second ACL injury after primary ACL reconstruction. *Sports Health* [Internet]. 2024;16(1):149–54. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/19417381231155120>
50. Barnett S, Badger GJ, Kiapour A, Yen Y-M, Henderson R, Freiberger C, et al. Females have earlier muscle strength and functional recovery after bridge-enhanced anterior

- cruciate ligament repair. *Tissue Eng Part A* [Internet]. 2020;26(13–14):702–11. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1089/ten.tea.2020.0057>
51. Arundale AJH, Capin JJ, Zarzycki R, Smith A, Snyder-Mackler L. Functional and patient-reported outcomes improve over the course of rehabilitation: A secondary analysis of the ACL-SPORTS trial. *Sports Health* [Internet]. 2018;10(5):441–52. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/1941738118779023>
52. Lefevre N, Klouche S, de Pamphilis O, Devaux C, Herman S, Bohu Y. Postoperative discomfort after outpatient anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective comparative study. *Orthop Traumatol Surg Res* [Internet]. 2015;101(2):163–6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.otsr.2014.07.036>
53. Lisee C, Lepley AS, Birchmeier T, O’Hagan K, Kuenze C. Quadriceps strength and volitional activation after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *Sports Health* [Internet]. 2019;11(2):163–79. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/1941738118822739>
54. Figueroa D, Figueroa ML, Figueroa F. Return to sports in female athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and metanalysis. *J ISAKOS* [Internet]. 2024;9(3):378–85. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jisako.2024.01.008>
55. Cronström A, Tengman E, Häger CK. Risk factors for Contra-lateral secondary anterior cruciate ligament injury: A systematic review with meta-analysis. *Sports Med* [Internet]. 2021;51(7):1419–38. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-020-01424-3>
56. Cronström A, Tengman E, Häger CK. Return to sports: A risky business? A systematic review with meta-analysis of risk factors for graft rupture following ACL reconstruction. *Sports Med* [Internet]. 2023;53(1):91–110. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-022-01747-3>
57. Vadalà AP, Iorio R, De Carli A, Bonifazi A, Iorio C, Gatti A, et al. An extra-articular procedure improves the clinical outcome in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings in female athletes. *Int Orthop* [Internet]. 2013;37(2):187–92. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00264-012-1571-0>
58. Capin JJ, Zarzycki R, Ito N, Khandha A, Dix C, Manal K, et al. Gait mechanics in women of the ACL-SPORTS randomized control trial: Interlimb symmetry improves over time regardless of treatment group. *J Orthop Res* [Internet]. 2019;37(8):1743–53. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/jor.24314>

59. Edgar CM, Zimmer S, Kakar S, Jones H, Schepsis AA. Prospective comparison of auto and allograft hamstring tendon constructs for ACL reconstruction. Clin Orthop Relat Res [Internet]. 2008;466(9):2238–46. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11999-008-0305-5>
60. Tsuda E, Ishibashi Y, Fukuda A, Tsukada H, Toh S. Comparable results between lateralized single- and double-bundle ACL reconstructions. Clin Orthop Relat Res [Internet]. 2009;467(4):1042–55. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11999-008-0604-x>
61. Lluna Llorens ÁD, Sabater BS, Morte IM, García E, López S, Guillén J. Rotura del ligamento cruzado anterior en la mujer deportista: factores de riesgo y programas de prevención. 2017 [citado el 21 de abril de 2025];34:288–92. Disponible en: https://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/rev1_lluna.pdf
62. García Alonso P. Epidemiología de las lesiones en deportes colectivos femeninos y su relación con el ciclo menstrual [Internet]. Universidad de Salamanca; 2024 [citado 21 de abril de 2025]. Disponible en: <https://produccioncientifica.usal.es/documentos/66eb130f1b335538e5a04670?lang=en>
63. Nike introduces Phantom Luna, the company’s most thoughtful women’s led football boot [Internet]. Nike.com. [citado el 30 de abril de 2025]. Disponible en: <https://about.nike.com/en/newsroom/releases/nike-phantom-luna-boot-official-images>