

Ligamento Cruzado Anterior: Criterios Quirúrgicos y Criterios de Retorno.

**Juan Carlos Serrano Alvarez
Cristian Josué Contreras González
Sergio Steven Saenz Álvarez
Lizbeth Stefany Mafla Valle
María Gabriela Táquez Carbo**

Ligamento Cruzado Anterior: Criterios Quirúrgicos y Criterios de Retorno

Consejo Editorial

María Claudia Parejo Ortiz, Universidad Cooperativa de Colombia

Paula Andrea Mesa Casalins, Universidad Libre Barranquilla

César Augusto Guzmán, Universidad del Sinú Cartagena

Revisores

Anthony Iván Mendoza Agosto, Universidad de Guayaquil

Karla Elizabeth Vega Gordon, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

Declaración de conflicto de intereses de los autores

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses financieros, personales, académicos o profesionales que puedan haber influido de manera inapropiada en la elaboración, análisis o publicación de este trabajo. Asimismo, confirman que el contenido presentado ha sido desarrollado con criterios de objetividad, transparencia e integridad científica.

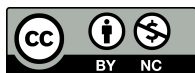
Las políticas editoriales de VELSERIS— autoría, conflictos de interés, manejo de correcciones y retractaciones, revisión por pares y conducta editorial — se rigen por las Core Practices publicadas por el Committee on Publication Ethics (COPE), disponibles en publicationethics.org/core-practices.

Publicado por VELSERIS, Manta, Ecuador

ISBN:978-9907-801-68-2 Cámara Ecuatoriana del Libro

<http://doi.org/10.56470/978-9907-801-68-2>

Esta obra se distribuye bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).



Índice de Autores

Juan Carlos Serrano Álvarez

Médico Universidad de Guayaquil

Médico General Consultorio Privado

Christian Josué Contreras González

Médico Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

Sergio Steven Saenz Álvarez

Médico General Universidad de Guayaquil

Médico General en Funciones Hospitalarias en Hospital

Matilde Hidalgo de Procel

Lizbeth Stefany Mafla Valle

Medica Cirujana Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Medico General en Funciones

María Gabriela Táquez Carbo

Médico Universidad de Guayaquil

Médico Consulta Privada

Índice

Anatomía, Biomecánica y Mecanismo de Lesión del Ligamento Cruzado Anterior

6

Juan Carlos Serrano Álvarez

6

Diagnóstico Clínico y por Imagen de la Lesión del Ligamento Cruzado Anterior

20

Christian Josué Contreras González

20

Criterios de Selección de Pacientes y Toma de Decisiones Terapéuticas

41

Sergio Steven Saenz Álvarez

41

Técnicas de Reconstrucción Quirúrgica y Selección de Injertos

60

Lizbeth Stefany Mafla Valle

60

Rehabilitación Postoperatoria, Criterios de Retorno Deportivo (Return to Play) y Prevención

79

María Gabriela Táquez Carbo

79

Anatomía, Biomecánica y Mecanismo de Lesión del Ligamento Cruzado Anterior

Juan Carlos Serrano Álvarez

INTRODUCCIÓN

La ruptura del ligamento cruzado anterior (LCA) representa una de las patologías traumáticas más prevalentes y devastadoras en la traumatología deportiva moderna. A nivel global, la incidencia de esta lesión continúa en ascenso, impulsada por el aumento en la participación deportiva competitiva desde edades tempranas y la alta exigencia física de los deportes de pivote. El LCA no es simplemente una cuerda inerte que conecta el fémur con la tibia; es un complejo órgano estabilizador y neurosensorial indispensable para la cinemática articular y la propiocepción de la rodilla.

La relevancia clínico-quirúrgica de comprender a fondo el LCA radica en que su disfunción altera drásticamente la biomecánica de la marcha y del gesto deportivo, desencadenando microtraumatismos repetitivos en estructuras secundarias (meniscos y cartílago hialino). Sin una intervención oportuna o una rehabilitación estructurada, el paciente se enfrenta a un declive funcional inexorable y a la instauración de osteoartrosis prematura. En el contexto de la medicina deportiva, el abordaje de la lesión del LCA ha dejado de ser un procedimiento estándar para convertirse en una cirugía "a la carta", donde la biología, la anatomía y las expectativas del paciente dictan el plan de tratamiento.

Este primer capítulo establece los cimientos teóricos de la obra. Su justificación es categórica: es imposible restituir la anatomía mediante técnicas quirúrgicas de reconstrucción o guiar un retorno seguro al deporte sin un dominio absoluto de la morfo-fisiología nativa, la cinemática articular y las fuerzas deletéreas que propician la falla tisular primaria.

EPIDEMIOLOGÍA Y BIOMECÁNICA APLICADA

Datos Epidemiológicos

A nivel mundial, se estima una incidencia de lesiones del LCA que oscila entre 68 y 85 casos por cada 100,000 habitantes al año. En América Latina, las series hospitalarias en países como Brasil, México, Colombia y Argentina reportan que el fútbol soccer es el responsable de más del 70% de las reconstrucciones ligamentarias. Existe un pico bimodal de incidencia, siendo los atletas jóvenes (15 a 25 años) la cohorte más vulnerable. Notablemente, las mujeres presentan un riesgo relativo de 3 a 6 veces mayor en deportes de salto y pivote equiparables, un fenómeno atribuido a diferencias en el control neuromuscular, factores hormonales (fluctuaciones de relaxina y estrógenos) y una geometría ósea predisponente.

Biomecánica y Mecanismo Lesional

El mecanismo de lesión del LCA es predominantemente de tipo "no contacto" (70-80% de los casos). El patrón clásico involucra una desaceleración brusca con la rodilla en extensión cercana (0° a 20° de flexión), un pie fijo en el suelo y un momento de valgo dinámico combinado con rotación interna de la tibia o rotación externa del fémur. Esta configuración desencadena un estrés en cizallamiento anterior que excede la fuerza tensil máxima del ligamento (aproximadamente 2160 ± 157 N).

Desde el punto de vista biomecánico, el LCA es el restrictor primario (aporta el 85-90% de la resistencia) a la traslación tibial anterior. Secundariamente, actúa como un restrictor importante frente a las cargas en varo/valgo y a las rotaciones axiales.

Factores de Riesgo

TABLA 1: Factores de riesgo / Variables biomecánicas y nivel de evidencia

Factor de Riesgo / Variable Biomecánica	Descripción Anatómo-Funcional	Nivel de Evidencia
Valgo dinámico de rodilla	Déficit de control neuromuscular (debilidad de glúteo medio/mayor), causando medialización de la rodilla en el aterrizaje.	Nivel I (Fuerte)
Aumento del Posterior Tibial Slope (PTS)	Pendiente tibial posterior $>12^\circ$ incrementa el componente de fuerza de cizallamiento anterior durante la carga axial.	Nivel II
Estrechez del Notch Intercondíleo	Índice de anchura del notch (NWI) reducido, predisponiendo a pinzamiento del LCA tipo "guillotina".	Nivel II
Dominancia de cuádriceps (Quad-dominant)	Activación excéntrica desproporcionada del cuádriceps respecto a los isquiotibiales (co-contracción deficiente).	Nivel I
Factores hormonales	Pico estrogénico pre-ovulatorio altera la síntesis de colágeno y reduce la rigidez tensil del ligamento (mayor laxitud).	Nivel III

BASES ANATÓMICAS Y FISIOPATOLÓGICAS

Anatomía Quirúrgica y Microarquitectura

El LCA es una estructura intraarticular pero extrasinovial. Se origina en la porción posteromedial del cóndilo femoral externo y se inserta en una fosa situada anterior e inter-espinosa en la meseta tibial. Macroscópicamente, la longitud promedio es de 32 a 38 mm con un diámetro transversal de 7 a 12 mm. Clínicamente, el LCA se divide en dos haces funcionales:

- **Haz Anteromedial (AM):** Se tensa predominantemente durante la flexión. Es el principal restrictor de la traslación tibial anterior en grados profundos de flexión (60°-90°).
- **Haz Posterolateral (PL):** Se tensa en extensión y primeros grados de flexión (0°-30°). Es fundamental para proveer estabilidad rotacional, siendo su incompetencia la causante del fenómeno de *pivot shift*.

La vascularización proviene de la arteria geniculada media. La innervación, clave en la propiocepción, deriva del nervio articular posterior, rama del nervio tibial. El ligamento está densamente poblado por mecanorreceptores (corpúsculos de Ruffini y Pacini).

Fisiopatología de la Lesión y Ligamentización

A diferencia del ligamento colateral medial, el LCA carece de capacidad de cicatrización intrínseca por la exposición a las enzimas líticas del líquido sinovial (plasmina). En el contexto postquirúrgico, el injerto utilizado atraviesa un proceso biológico conocido como *ligamentización* (12 a 24 meses), que comprende cuatro fases secuenciales: 1) Necrosis Isquémica, 2) Revascularización, 3) Proliferación Celular, y 4) Remodelación hacia colágeno tipo I.

Lesiones Asociadas

La lesión del LCA raramente ocurre de forma aislada. El menisco externo se lesiona frecuentemente en el episodio agudo. Recientemente, se ha otorgado vital importancia a la *Ramp lesion* (desinserción meniscocapsular posterior del menisco interno) y a la

ruptura de la raíz meniscal, que deben repararse inexorablemente para evitar la falla del injerto por exceso de carga.

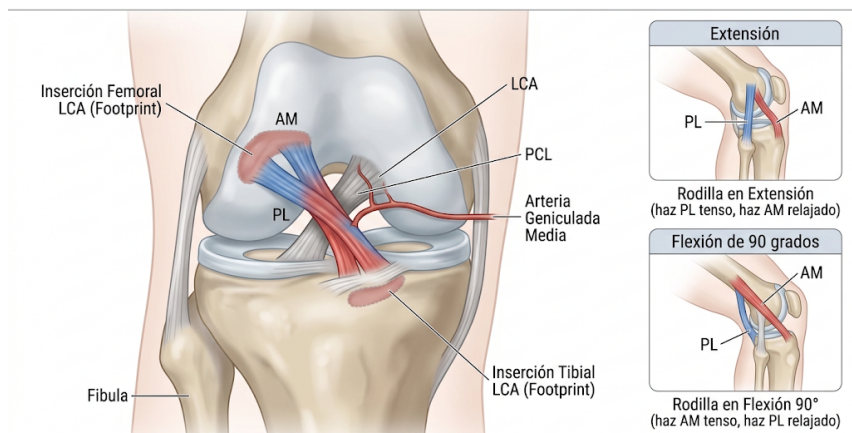


IMAGEN 1: Esquema Anatómico y Biomecánico del LCA

Descripción para el ilustrador: Diagrama de la rodilla en vista anteromedial (3D y con transparencia) mostrando los dos haces del LCA (AM y PL) en distintos colores (AM rojo, PL azul). A la derecha, dos pequeños recuadros comparativos: uno mostrando la rodilla en extensión (haz PL tenso, haz AM relajado) y otro en flexión de 90 grados (haz AM tenso, haz PL relajado). Se debe destacar la inserción de ambos haces en los footprints femorales y tibiales, incluyendo la arteria geniculada media.

EVALUACIÓN CLÍNICA Y POR IMÁGENES

Anamnesis y Examen Físico

El diagnóstico de la ruptura del LCA es clínico (sensibilidad >90%). El paciente relata un chasquido audible ("pop") seguido de dolor agudo, hemartrosis (2 a 12 horas) y sensación de "giving way". El derrame articular y el déficit de extensión son hallazgos tempranos.

- **Prueba de Lachman:** Evalúa la traslación anterior a 20°-30° de flexión. Se gradúa en milímetros de diferencia (Grado I: <5 mm, Grado II: 5-10 mm, Grado III: >10 mm). Es la prueba más sensible en agudo.

- **Prueba de Pivot Shift:** Evalúa la inestabilidad rotacional dinámica. Con la rodilla en extensión, se aplica una fuerza en valgo mientras se flexiona lentamente. La subluxación anterior inicial se reduce de forma súbita alrededor de los 20°-30°.
- **Artrómetros (KT-1000/2000):** Permiten documentar asimetrías milimétricas de lado a lado (>3 mm patológico).

TABLA 2: Sensibilidad y especificidad de pruebas clínicas para lesión de LCA

Prueba Clínica Semiológica	Estructura Principal Evaluada	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)
Prueba de Lachman	LCA Global (Especialmente haz PL)	85 - 95%	90 - 95%
Pivot Shift	Haz Posterolateral / Complejo Anterolateral	24 - 45% (Alta en crónico)	98 - 100%
Cajón Anterior a 90°	Haz Anteromedial	40 - 55% (En agudo)	90 - 95%
Lelli Test (Lever Sign)	LCA Global	80 - 95%	90 - 95%

Imágenes Diagnósticas

Las radiografías simples son obligatorias para descartar fracturas avulsivas (ej. Fractura de Segond, patognomónica de lesión de la cápsula anterolateral). La Resonancia Magnética (RM) es el estándar de oro. Los signos directos incluyen discontinuidad de las fibras, trayecto horizontalizado ("empty notch sign") y edema. El signo

indirecto más frecuente es el "bone bruise" en el cóndilo femoral externo y meseta tibial posterolateral.

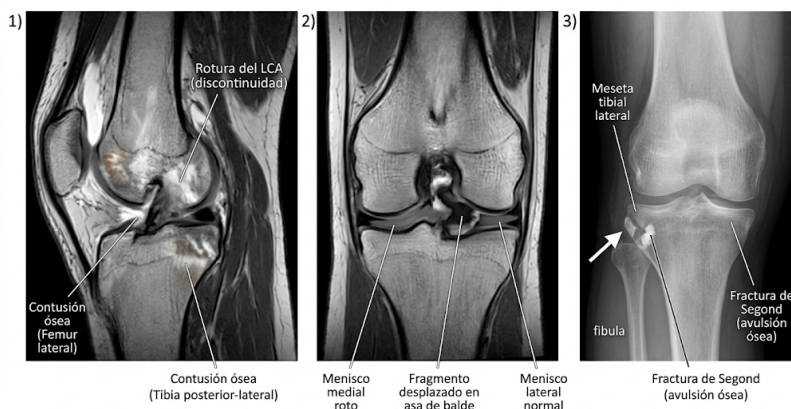


IMAGEN 2: Hallazgos Clásicos en Resonancia Magnética

Descripción para el ilustrador: Composición de tres imágenes. 1) Corte sagital ponderado en T2 de RM mostrando el signo de discontinuidad del LCA con masas de edema y el "bone bruise" clásico. 2) Corte coronal de RM revelando un menisco interno con lesión tipo "asa de balde" asociada. 3) Radiografía simple AP detallando una fractura de Segond con una flecha apuntando a la avulsión ósea marginal.

CRITERIOS QUIRÚRGICOS / INDICACIONES

Indicaciones Absolutas y Relativas

La reconstrucción quirúrgica anatómica está **indicada de forma absoluta** en: deportistas competitivos o recreacionales de alta demanda (Nivel I); pacientes con episodios recurrentes de inestabilidad funcional ("giving way") en vida diaria; presencia de lesiones meniscales reparables; y lesiones multiligamentarias.

Las **indicaciones relativas** contemplan a pacientes de mediana edad con baja demanda física y sin inestabilidad en su vida diaria (*Copers*), para quienes un programa conservador con rehabilitación agresiva (cross-over) es válido.

Timing Quirúrgico

Operar en fase hiperaguda (primeros 3-5 días) se reserva para atletas de élite o con luxación/bloqueos por asa de balde. Para la mayoría, el consenso recomienda diferir la intervención hasta que la rodilla recupere movilidad funcional completa (extensión simétrica) y el paciente logre control muscular del cuádriceps (semana 3-6).

TABLA 3: Criterios de indicación quirúrgica vs. manejo conservador

Criterio de Decisión	Perfil para Reconstrucción Quirúrgica	Perfil para Tratamiento Conservador
Nivel de Actividad Deportiva	Alto (Deportes Pivot: Nivel I y II)	Bajo (Deportes lineales: natación, ciclismo, Nivel III)
Episodios de Inestabilidad	Múltiples "giving way" en vida diaria o test de pivot-shift positivo	Ausencia de fallos funcionales, pivot shift ausente (Copers)
Lesiones Asociadas	Menisco reparable, daño condral severo, lesión de ALL/LCP	Lesión aislada del LCA sin bloqueo articular
Disposición Psicológica	Alto grado de motivación, compromiso absoluto (9-12 meses)	Rechazo al proceso quirúrgico o a la rehabilitación prolongada

TÉCNICA QUIRÚRGICA / PROCEDIMIENTO

Selección del Injerto

Los autoinjertos son el estándar de oro en pacientes jóvenes y activos. Los aloinjertos se reservan para cirugía de revisión, cirugías multiligamentarias o pacientes >40 años.

- **HTH (Hueso-Tendón-Hueso):** Fijación rápida. Ideal para profesionales. Desventajas: dolor anterior crónico, debilidad del extensor.
- **Isquiotibiales (STRI):** Baja morbilidad inicial. Desventajas: cicatrización más lenta, leve debilidad en flexión profunda.
- **Tendón Cuadricipital (QT):** En auge. Excelente volumen tendinoso y comparable al HTH pero con significativamente menor dolor anterior y pérdida de sensibilidad en sitio donante.

TABLA 4: Comparación de tipos de injerto: ventajas, desventajas y tasas de re-ruptura

Tipo de Injerto	Ventajas Principales	Desventajas / Complicaciones Potenciales	Tasa de Re-ruptura Relativa*
Autoinjerto HTH	Fijación hueso-hueso robusta, alta rigidez inicial	Dolor anterior de rodilla (10-20%), morbilidad extensor	Baja (~4-6%)
Autoinjerto Isquiotibiales	Baja morbilidad del sitio donante, incisión estética	Laxitud residual leve, debilidad de flexores profundos	Baja a Moderada (~5-8%)

Autoinjerto Cuadricipital	Gran área transversal, menor dolor anterior que HTH	Curva de aprendizaje técnica, debilidad cuádriceps inicial	Baja (~4-6%)
Aloinjertos (Cadáver)	Ausencia de morbilidad del sitio donante, tiempo rápido	Incorporación prolongada, riesgo inmune, alto costo	Alta en jóvenes activos (>15%)
(Datos estadísticos variables según la serie y edad del paciente).			

Variantes Técnicas y ALL

La técnica actual enfatiza la reconstrucción anatómica con perforación independiente (vía portal anteromedial accesorio). Un avance revolucionario en los últimos años (SANTI Study Group) es la adición de una plastia del **Ligamento Anterolateral (ALL)** o tenodesis lateral (LET). Asociar un ALL reduce drásticamente el pivot-shift residual y disminuye el estrés sobre el injerto, protegiéndolo de re-rupturas en pacientes hiperlaxos o menores de 20 años.

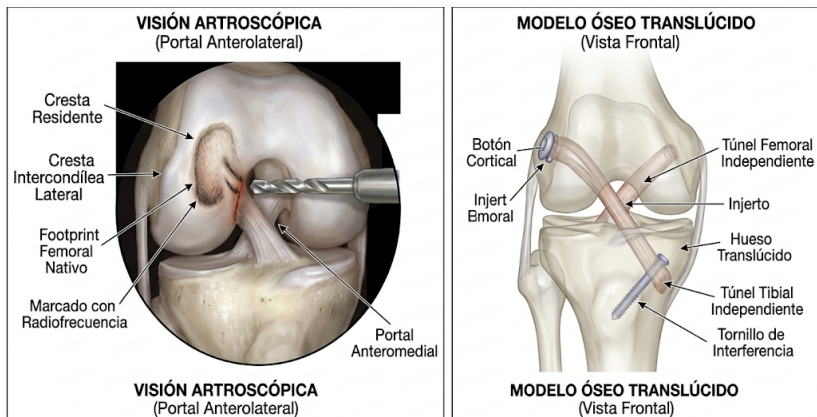


IMAGEN 3: Visión Artroscópica y Perforación de Túneles Anatómicos

Descripción para el ilustrador: Imagen combinada. Arriba: vista artroscópica (portal anterolateral) mostrando el footprint femoral nativo marcado mediante radiofrecuencia (bifurcación de la cresta residente y la cresta intercondilea lateral) mientras una broca entra por el portal anteromedial. Abajo: modelo óseo translúcido en vista frontal donde se visualizan los túneles óseos independientes tibial y femoral, con el injerto suspendido por un botón cortical en el fémur y fijado por un tornillo de interferencia en la tibia.

REHABILITACIÓN Y CRITERIOS DE RETORNO DEPORTIVO

El éxito de la cirugía depende altamente del cumplimiento de la rehabilitación, basada en 5 fases:

1. **Fase de Protección (0-4 semanas):** Extensión pasiva completa inmediata para evitar *cyclops lesion*.
2. Fase ROM Completo y Marcha (4-8 semanas): Retiro de muletas.
3. Fase de Fortalecimiento Base (8-16 semanas): Cadena cinética cerrada, carga progresiva.
4. Fase Funcional y Pliométrica (16-24 semanas): Saltos y carrera recta.

5. Fase Específica (Mes 6 al 12): Cortes, pivotes y neurocognición.

Retornar antes de los 9 meses postoperatorios conlleva un aumento exponencial del riesgo de re-lesión (hasta 7 veces mayor por mes adelantado). Se exige superar una batería estricta.

TABLA 5: Criterios de retorno deportivo basados en evidencia — Batería de pruebas

Categoría Evaluada	Prueba / Criterio Objetivo a Superar	Parámetro de Aprobación (Umbral)
Fuerza Isocinética	Dinamometría (a 60°/s y 300°/s)	LSI (Limb Symmetry Index) $\geq 90\%$ vs lado sano
Capacidad Funcional Pliométrica	Single hop, triple hop, crossover hop	LSI $\geq 90\%$ en distancias y tiempos
Agilidad y Control Neuromuscular	T-test, Illinois agility test, Drop jump test	Ausencia de valgo dinámico evidente, simetría temporal
Preparación Psicológica	Cuestionario ACL-RSI (Return to Sport)	Puntaje $> 65\%$ (menor miedo a re-lesión)
Requerimiento Biológico/Temporal	Tiempo postquirúrgico y maduración	Mínimo absoluto de 9 meses postquirúrgicos

PRONÓSTICO Y SEGUIMIENTO A LARGO PLAZO

Las tasas de re-ruptura ipsilateral rondan el 5-10% en jóvenes, pero la rodilla contralateral sana tiene un riesgo igual o ligeramente superior (12-15%). Respecto a la salud articular, un 30-50% de los pacientes desarrollarán signos radiográficos de osteoartritis en 10-15

años, riesgo que está mediado por el daño condral o meniscal asociado al momento del trauma.

PUNTOS CLAVE / PERLAS CLÍNICAS

1. **Multifactorial:** La ruptura del LCA es combinada, destacando la desaceleración con valgo dinámico. Identificar el déficit neuromuscular es imperativo para la prevención.
2. **Anatomía al Poder:** El éxito quirúrgico moderno reposa en la ubicación anatómica estricta de ambos túneles óseos independientes.
3. **Selección del Injerto:** El injerto cuadrícipital ha surgido como un contendor formidable frente al HTH con menor morbilidad del sitio donante.
4. **Asociación Extraarticular:** En pacientes hiperlaxos, revisiones o jóvenes de alto riesgo, agregar un ALL/LET es mandatorio para reducir la re-ruptura.
5. **Retorno Riguroso:** El alta deportiva basada exclusivamente en el tiempo debe desterrarse. Exija simetría >90% en test isocinéticos y Hop Tests tras un mínimo de 9 meses postquirúrgicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Diermeier T, Rothrauff BB, Engebretsen L, et al. Treatment after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(8):2390-2402. DOI: 10.1007/s00167-020-06012-6.
2. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med.* 2016;50(13):804-808. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096031.
3. Khalafallah MA, Hall OK. Quadriceps tendon autograft provides comparable stability and functional outcomes with lower donor-site morbidity than bone-patellar tendon-bone: A systematic review and meta-analysis of 15 randomized

- controlled trials. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2026. DOI: 10.1002/ksa.70499.
4. Sonnery-Cottet B, Haidar IM, Thaunat M, et al. Long-term Graft Rupture Rates After Combined ACL and Anterolateral Ligament Reconstruction Versus Isolated ACL Reconstruction: A Matched-Pair Analysis From the SANTI Study Group. *Am J Sports Med.* 2021;49(11):2889-2897. DOI: 10.1177/03635465211029311.
 5. Hurley ET, et al. Return to Play After an Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2024;54(10):1-15. DOI: 10.2519/jospt.2024.12483.
 6. Kotsifaki R, Korakakis V, Whiteley R, et al. Measuring return to play after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Br J Sports Med.* 2023;57(13):848-854. DOI: 10.1136/bjsports-2022-105658.
 7. Pioger C, Gali R, Saithna A, Sonnery-Cottet B, et al. Combined ACL and Anterolateral Reconstruction Is Not Associated With a Higher Risk of Adverse Outcomes: Preliminary Results From the SANTI Randomized Controlled Trial. *Orthop J Sports Med.* 2020;8(7). DOI: 10.1177/2325967120935515.
 8. Mouarbes D, Menetrey J, Marot V, et al. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Outcomes for Quadriceps Tendon Autograft Versus Bone-Patellar Tendon-Bone and Hamstring-Tendon Autografts. *Am J Sports Med.* 2019;47(14):3531-3540. DOI: 10.1177/0363546518825340.
 9. Webster KE, Feller JA. Exploring the High Reinjury Rate in Younger Patients Undergoing Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2016;44(11):2827-2832. DOI: 10.1177/0363546516651845.
 10. Slauterbeck JR, Kutaish H, Golladay GJ, et al. The Panther Symposium ACL Injury Return to Sport Consensus Group: Clear Definitions and Progression. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(8):2403-2414.

Diagnóstico Clínico y por Imagen de la Lesión del Ligamento Cruzado Anterior

Christian Josué Contreras González

INTRODUCCIÓN

La ruptura del ligamento cruzado anterior (LCA) representa uno de los desafíos más significativos en la traumatología deportiva contemporánea y la cirugía ortopédica. Históricamente considerada como una lesión que dictaba el fin de la carrera de un atleta, los avances en la comprensión biomecánica, las técnicas de reconstrucción anatómica y los protocolos de rehabilitación han transformado el pronóstico de esta patología. Sin embargo, el éxito terapéutico depende indiscutiblemente de un pilar fundamental: un diagnóstico clínico e imagenológico preciso, oportuno y exhaustivo.

El abordaje diagnóstico de la lesión del LCA ha evolucionado de ser una simple dicotomía (roto o intacto) a una evaluación tridimensional compleja que incluye la identificación de patrones de inestabilidad rotacional, la evaluación del estado del cartílago articular y el reconocimiento de lesiones periféricas concomitantes, como las rupturas meniscales y la insuficiencia de las estructuras anterolaterales. En el contexto latinoamericano, donde el fútbol y otros deportes de pivote gozan de una popularidad masiva y constante, el cirujano de rodilla se enfrenta a un volumen creciente de estas lesiones, abarcando desde el atleta de élite hasta el deportista recreacional de fin de semana.

Este capítulo tiene como objetivo proporcionar una revisión profunda, basada en la evidencia clínica actual, sobre el diagnóstico integral de la lesión del LCA. Se desglosarán los componentes de la biomecánica aplicada, la evaluación semiológica minuciosa y los

hallazgos críticos en la resonancia magnética (RM). Asimismo, se establecerá un puente lógico hacia los criterios de indicación quirúrgica, la selección de la técnica operatoria y los hitos indispensables para un retorno deportivo seguro. La correcta integración de estos elementos es la única vía para mitigar las tasas de re-ruptura y retrasar la aparición de osteoartrosis postraumática.

EPIDEMIOLOGÍA Y BIOMECÁNICA APLICADA

Datos Epidemiológicos

A nivel global, la incidencia de lesiones del LCA se estima en aproximadamente 1 de cada 3,000 habitantes al año, traducándose en más de 250,000 reconstrucciones anuales tan solo en Norteamérica. En Latinoamérica, aunque los registros nacionales centralizados son limitados, los estudios de cohortes en centros de referencia indican que más del 70% de estas lesiones ocurren en el contexto del fútbol, seguido por el básquetbol y el vóley. Resulta alarmante el incremento de la incidencia en la población pediátrica y adolescente (aumento del 2.3% anual en menores de 15 años) y la marcada disparidad de género; las atletas femeninas presentan un riesgo entre 3 y 6 veces mayor de sufrir una ruptura del LCA en deportes comparables, debido a una combinación compleja de factores hormonales, anatómicos y neuromusculares.

Mecanismo Lesional y Biomecánica

El LCA es el principal restrictor de la traslación anterior de la tibia respecto al fémur (aportando el 85-90% de la resistencia) y un restrictor secundario vital contra la rotación interna y el estrés en valgo. Aproximadamente el 70-80% de las lesiones ocurren por un mecanismo de "no contacto". El patrón biomecánico clásico involucra una rápida desaceleración acompañada de un cambio de dirección (pivote), con el pie fijo en el suelo, la rodilla en ligera flexión (10° a 30°) y sometida a un estrés en valgo combinado con rotación interna de la tibia. Otro mecanismo frecuente es la hiperextensión brusca aislada, característica de las caídas al aterrizar tras un salto.

El entendimiento del mecanismo de lesión es crucial, ya que dicta el patrón de las lesiones óseas y condrales asociadas (contusiones óseas o

bone bruises) y alerta al cirujano sobre posibles daños en estructuras cápsulo-ligamentosas periféricas.

Factores de Riesgo

Los factores de riesgo se dividen en intrínsecos (anatómicos, hormonales, genéticos) y extrínsecos (ambientales, tipo de calzado, superficie). La prevención, a través de programas de entrenamiento neuromuscular, sigue siendo la herramienta más eficaz a nivel poblacional para modificar los factores de riesgo dinámicos.

TABLA 1: Factores de riesgo / Variables biomecánicas y nivel de evidencia

Factor de Riesgo / Variable	Tipo	Descripción y Relevancia Biomecánica	Nivel de Evidencia
Ángulo Q incrementado	Intrínsec o	Mayor vector de fuerza lateral sobre la patela y estrés en valgo dinámico.	Fuerte (Nivel I)
Estrechez de la escotadura intercondílea (<i>Notch width index</i>)	Intrínsec o	<i>Notch</i> en forma de A o estenótico (<15 mm) causa pinzamiento del LCA en extensión.	Fuerte (Nivel I)
Pendiente tibial posterior (<i>Posterior Tibial Slope</i>)	Intrínsec o	Ángulo >12° incrementa exponencialmente la traslación tibial anterior bajo carga axial.	Fuerte (Nivel I)
Déficit de control neuromuscular (Valgo dinámico)	Intrínsec o (Modificable)	Activación deficiente del glúteo medio e isquiotibiales durante el aterrizaje (<i>landing</i>).	Fuerte (Nivel I)

Superficie de juego (Césped artificial vs. natural)	Extrínseco	Mayor coeficiente de fricción pie-superficie en pasto sintético de generaciones antiguas.	Moderado (Nivel II)
---	------------	---	---------------------

BASES ANATÓMICAS Y FISIOPATOLÓGICAS

Anatomía Quirúrgica Aplicada

El LCA es una estructura intraarticular pero extrasinovial, envuelta por un pliegue de la membrana sinovial. Posee una longitud promedio de 32 a 38 mm y un diámetro de 7 a 12 mm. Desde el punto de vista funcional y anatómico, se divide en dos haces principales, nombrados según su inserción tibial:

1. **Haz Anteromedial (AM):** Se tensa predominantemente en flexión. Es el principal restrictor de la traslación anterior de la tibia a 90° de flexión. Su huella femoral se sitúa alta y posterior en la pared medial del cóndilo femoral lateral (evaluada con la rodilla a 90°).
2. **Haz Posterolateral (PL):** Se tensa en extensión completa. Es crucial para el control de la estabilidad rotacional. Su inserción femoral es más baja y superficial respecto al haz AM.

La vascularización proviene principalmente de la arteria genicular media, que penetra la cápsula posterior y forma un plexo sinovial. La innervación, responsable de su vital función propioceptiva, deriva del nervio tibial posterior.

Fisiopatología y Ligamentización

Al ocurrir la ruptura, los fibroblastos del LCA no logran montar una respuesta de cicatrización adecuada debido a la retracción de los cabos, la interrupción del aporte sanguíneo y el ambiente hostil que genera el líquido sinovial (rico en plasmina y metaloproteinasas) que degrada el coágulo de fibrina.

Cuando se realiza una reconstrucción, el injerto atraviesa un proceso biológico conocido como **ligamentización**, que consta de tres fases:

1. **Necrosis inicial (0-4 semanas):** Pérdida de celularidad del injerto.
2. **Proliferación y revascularización (4-12 semanas):** Invasión de fibroblastos y neoangiogénesis. Es el periodo de mayor debilidad mecánica del injerto.
3. **Remodelación y maduración (a partir de los 3 meses hasta >1 año):** Adaptación biomecánica donde el colágeno tipo III es reemplazado gradualmente por tipo I.

Lesiones Asociadas

Una rodilla con insuficiencia del LCA sufre una cinemática alterada que sobrecarga los estabilizadores secundarios. Las lesiones asociadas superan el 50% en agudo y aumentan con la cronicidad:

- **Meniscos:** En rupturas agudas, predomina la lesión del menisco lateral (por compresión durante el pivote). En la inestabilidad crónica, el menisco medial falla por fatiga repetitiva al actuar como cuña restrictora anterior. Especial atención merecen las lesiones de la rampa meniscal (*ramp lesions*) y las rupturas de la raíz meniscal.
- **Complejo Anterolateral:** La lesión del ligamento anterolateral (ALL) o de la cápsula anterolateral agrava significativamente el *pivot shift*.

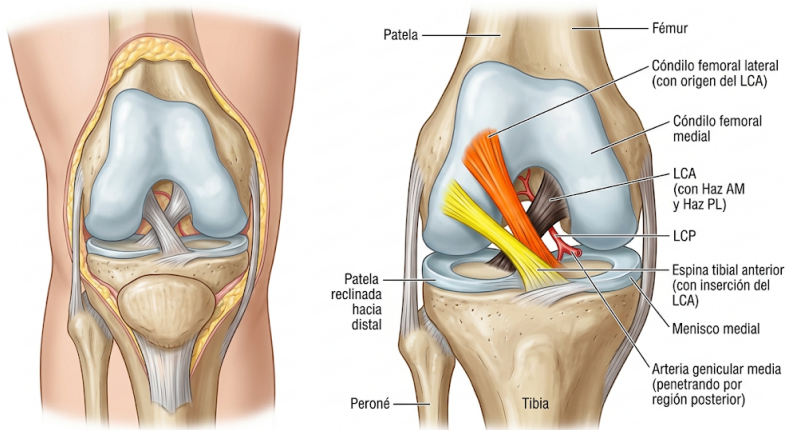


IMAGEN 1: Esquema anatómico intraarticular de la rodilla en vista anterior con la patela reclinada hacia distal. Debe mostrar claramente la disposición cruzada del LCA (identificando con colores distintos los haces Anteromedial y Posterolateral) y del LCP, su origen en la cara medial del cóndilo femoral lateral y su inserción en la espina tibial anterior, ilustrando además la arteria genicular media penetrando por la región posterior.

EVALUACIÓN CLÍNICA Y POR IMÁGENES

Anamnesis y Evaluación Funcional

El diagnóstico clínico del LCA suele ser evidente a través de una anamnesis dirigida. El paciente relata un evento traumático por torsión (con o sin contacto), habitualmente acompañado de una percepción acústica o táctil (*pop* o crujido). Este evento es seguido de manera casi invariable por la imposibilidad de continuar la actividad deportiva, el desarrollo de un derrame articular agudo (hemartrosis) en las primeras 2 a 12 horas, y una sensación franca de inestabilidad o "fallo" articular.

Para objetivar la sintomatología y el grado de incapacidad, se utilizan *scores* funcionales validados. El **IKDC** (International Knee Documentation Committee) y el **KOOS** (Knee injury and

Osteoarthritis Outcome Score) son los estándares actuales para reportar resultados funcionales pre y postoperatorios.

Examen Físico Semiológico

El examen debe realizarse siempre comparando con la rodilla contralateral sana. En la fase aguda, el dolor y el espasmo de los isquiotibiales pueden generar falsos negativos; si la exploración es equívoca, debe repetirse a las 2 semanas o bajo anestesia.

- **Test de Lachman:** Se realiza a 20°-30° de flexión. Evalúa predominantemente el haz posterolateral y es la prueba más sensible. Se busca traslación anterior (en milímetros) y la calidad del tope final (*end-point*: duro, suave o ausente).
- **Prueba de Cajón Anterior:** Realizada a 90° de flexión, con el pie fijo. Evalúa el haz anteromedial. Puede ser falsamente negativa si hay compromiso meniscal en asa de balde que bloquee la traslación, o gran hemartrosis.
- **Test de Pivot Shift:** Prueba patognomónica de la inestabilidad rotacional, evaluando la subluxación anterior de la tibia en extensión y su reducción súbita al flexionar la rodilla entre 20° y 30° debido a la tracción del tracto iliotibial. Es altamente específica, pero difícil de realizar en el paciente despierto.
- **Artrómetros (KT-1000/2000):** Permiten la cuantificación objetiva de la traslación tibial. Una diferencia >3 mm respecto al lado sano bajo una fuerza de 134 N es diagnóstica de insuficiencia del LCA.

TABLA 2: Sensibilidad y especificidad de pruebas clínicas para lesión de LCA

Prueba Clínica	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)	Hallazgo Positivo	Observaciones Clínicas

Lachman	85 - 95%	90 - 95%	Traslación anterior con tope blando / ausente.	Gold standard clínico. Mejor tolerado en agudo.
Pivot Shift	24 - 32% (paciente despierto); >85% (bajo anestesia)	97 - 99%	Resalte palpable / visible durante la flexión.	Correlaciona mejor con el pronóstico funcional e inestabilidad subjetiva.
Cajón Anterior	49 - 74%	95%	Traslación >5 mm comparativa a 90° de flexión.	Limitado en la fase aguda por espasmo y derrame.

Resonancia Magnética (RM)

La RM es el *gold standard* imagenológico para confirmar el diagnóstico y, primordialmente, para evaluar lesiones intraarticulares concomitantes que definen el plan quirúrgico.

- **Signos primarios:** Discontinuidad total de las fibras del ligamento, masa amorfa edematosa en la escotadura intercondílea, o ausencia de visualización del LCA (signo del "notch vacío"). Orientación horizontal de las fibras residuales.

- **Signos secundarios:** Son la huella del trauma. El más clásico es el *bone bruise* (edema óseo trabecular) situado en la porción media del cóndilo femoral lateral y el margen posterior del platillo tibial lateral (lesión por "beso" o *kissing contusion*). También destaca la traslación tibial anterior >5 mm en cortes sagitales, el pandeo (*buckling*) del ligamento cruzado posterior (LCP) y la presencia de la fractura de Segond (avulsión cortical de la tibia anterolateral), la cual es patognomónica de lesión del LCA y daño del complejo anterolateral.

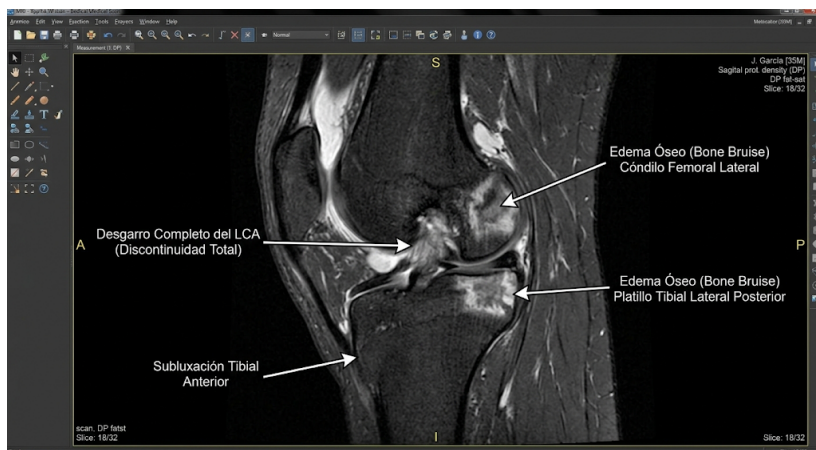


IMAGEN 2: Imagen de Resonancia Magnética en corte sagital ponderada en T2 o densidad protónica (DP) con supresión de grasa. Debe mostrar la discontinuidad total del Ligamento Cruzado Anterior, acompañada del clásico patrón de "bone bruise" (hiperseñal) en la porción posterior del platillo tibial lateral y en el cóndilo femoral lateral, con la tibia subluxada anteriormente.

CRITERIOS QUIRÚRGICOS / INDICACIONES

La decisión entre el manejo quirúrgico y conservador no debe basarse exclusivamente en la presencia de la ruptura, sino en una evaluación multifactorial que integre la edad del paciente, nivel de actividad, expectativas funcionales y la presencia de lesiones asociadas. La literatura moderna y consensos como el Panther Symposium establecen algoritmos claros al respecto.

Indicaciones Absolutas y Relativas

La reconstrucción quirúrgica es la **indicación absoluta** en:

1. Pacientes jóvenes y activos que participan o desean retornar a deportes de pivote, contacto o corte y cambio de dirección (Ej. fútbol, rugby, básquetbol).
2. Pacientes con lesiones reparables asociadas (rupturas meniscales desplazadas como asas de balde, desinserciones de la raíz meniscal o lesiones condrales de espesor total).
3. Inestabilidad multiligamentaria (Ej. LCA + LCP, o LCA + Esquina Posterolateral).
4. Fallo del tratamiento conservador (episodios recurrentes de inestabilidad durante actividades de la vida diaria).

Las **indicaciones relativas** incluyen pacientes de mediana edad con estilo de vida moderadamente activo (trabajadores manuales con exigencia física), inestabilidad residual pese a fisioterapia, e infantes con fisis abiertas, en los cuales hoy se prefiere una cirugía precoz con técnicas de preservación fisaria (Ej. técnicas *all-epiphyseal* o *physseal-sparing*) antes que diferir la cirugía y arriesgar una destrucción articular irrecuperable.

Tratamiento Conservador

Indicado primariamente en pacientes con baja demanda funcional, aquellos que abandonan los deportes de pivote de manera voluntaria, o pacientes con artrosis preexistente avanzada. Consiste en rehabilitación intensiva centrada en la fuerza de los isquiotibiales y modificaciones en el estilo de vida (*copers*). No obstante, los *copers* exitosos a largo plazo representan menos del 30% de la población general con ruptura del LCA.

Timing Quirúrgico (Cuándo operar)

Históricamente se recomendaba retrasar la cirugía varias semanas, pero la evidencia actual (guías ESSKA/ISAKOS) demuestra que el factor crítico no es el tiempo cronológico per se, sino el estado homeostático de la rodilla.

- **Criterios preoperatorios (Prehab):** La cirugía debe posponerse hasta que la rodilla haya recuperado un rango de movilidad completo (especialmente la extensión simétrica), resuelto el derrame agudo, disminuido el dolor, y se tenga una activación voluntaria competente del cuádriceps. Operar una rodilla "caliente", edematizada e inflamada, incrementa drásticamente el riesgo de artrofibrosis postoperatoria. En la mayoría de los casos, este estado se alcanza entre la 3^a y 6^a semana post-lesión.

TABLA 3: Criterios de indicación quirúrgica vs. manejo conservador

Variable	Reconstrucción Quirúrgica Recomendada	Manejo Conservador Recomendado
Nivel deportivo / Actividad	Alta demanda (Niveles I-II: fútbol, rugby, tenis)	Baja demanda (Nivel III: natación, ciclismo, sedentarismo)
Episodios de inestabilidad	Clínicamente evidente; episodios de fallo en AVD o test Pivot Shift franco (+2/+3)	Rodilla mecánicamente estable; sin <i>giving way</i> en AVD
Lesiones asociadas intraarticulares	Meniscales reparables, LCP, ligamentos colaterales (Grado III), lesión condral profunda	Aislada, o con meniscectomía parcial previa estable
Predisposición del paciente	Deseo de retorno deportivo, compromiso con 9+ meses de rehabilitación	Rechaza cirugía, incapacidad para cumplir protocolo de rehab

TÉCNICA QUIRÚRGICA / PROCEDIMIENTO

El principio fundamental de la reconstrucción contemporánea del LCA es la **restitución anatómica**, que implica ubicar los túneles óseos en el centro exacto de las huellas nativas del ligamento, abandonando las históricas técnicas transtibiales isométricas que resultaban en injertos demasiado verticales incapaces de controlar la inestabilidad rotacional.

Selección del Injerto

La elección del injerto debe ser individualizada. En la actualidad, el autoinjerto es el estándar de oro en pacientes jóvenes y activos.

1. **Hueso-Tendón Rotuliano-Hueso (HTH o BPTB):** Históricamente considerado el *gold standard*. Proporciona fijación hueso-hueso (consolidación en 6-8 semanas). Ideal para atletas de contacto de élite. Su principal desventaja es la morbilidad de la zona donante (dolor anterior de rodilla y riesgo de tendinopatía o fractura patelar).
2. **Isquiotibiales (ST-G):** Tendones del semitendinoso y recto interno. Muy populares por su baja morbilidad donante y alta carga de rotura en configuraciones cuádruples. Requieren injertos de al menos 8 mm de diámetro para evitar altas tasas de fracaso. Fijación tejido blando-hueso (10-12 semanas de incorporación).
3. **Tendón Cuadricipital (TC):** En auge exponencial. Excelente grosor, menor morbilidad que el HTH, biomecánicamente robusto. Puede tomarse con o sin taco óseo rotuliano.
4. **Aloinjertos (Cadáver):** Menor dolor quirúrgico y no hay morbilidad del sitio donante. Sin embargo, en pacientes menores de 25 años presentan una tasa de re-ruptura inaceptablemente alta (hasta 3-4 veces mayor que el autoinjerto). Su uso se reserva preferentemente para cirugía de revisión, inestabilidad multiligamentaria o pacientes mayores de 40 años con baja demanda.

Descripción del Procedimiento Quirúrgico Estándar

Bajo anestesia general o raquídea, se realiza el examen físico bajo anestesia. Se colocan portales artroscópicos estándar (anterolateral para visión y anteromedial para instrumentación).

- **Tratamiento de lesiones concomitantes:** Meniscomorfia de lesiones reparables, o desbridamiento.
- **Preparación de la escotadura (*Notchplasty*):** Solo si es necesaria por estenosis severa o presencia de osteofitos.
- **Túnel Femoral:** La perforación independiente (a través del portal anteromedial accesorio, o técnica *outside-in*) permite posicionar el túnel anatómicamente en la huella, independiente del ángulo del túnel tibial.
- **Túnel Tibial:** Se perfora con una guía angulada (habitualmente 45-55°), situando la entrada intraarticular posterior al cuerno anterior del menisco lateral y medial a la espina tibial.
- **Fijación:** Se pasa el injerto. Las opciones de fijación incluyen dispositivos de suspensión cortical (botones) para el fémur, e injertos de interferencia (tornillos bioabsorbibles, biocompuestos o de titanio) para la tibia, o fijación híbrida.

Procedimientos Adicionales: Reconstrucción Anterolateral y Ramp Lesions

En pacientes de alto riesgo (hiperlaxitud generalizada, edad joven <20 años, atletas de élite de pivote, *pivot shift* grado III o reconstrucciones de revisión), la literatura actual apoya abrumadoramente (ej. *Stability Trial*) agregar una **Tenodesis Extraarticular Lateral (LET)** o una reconstrucción del Ligamento Anterolateral (ALL) para proteger el injerto intraarticular y controlar los vectores rotacionales.

Además, la exploración del compartimiento posteromedial a través del espacio intercondíleo es mandatoria para descartar **lesiones de la rampa**, las cuales si pasan desapercibidas, aumentan la tensión sobre el nuevo LCA y predicen el fracaso quirúrgico.

TABLA 4: Comparación de tipos de injerto: ventajas, desventajas y tasas de re-ruptura

Tipo de Injerto	Ventajas Principales	Desventajas / Complicaciones	Tasa Relativa de Re-ruptura en Jóvenes
Hueso-Tendón-Hueso (HTH)	Cicatrización ósea rápida. Alta rigidez biomecánica.	Dolor anterior de rodilla crónico. Riesgo de fractura patelar.	Baja (~5-8%)
Isquiotibiales (4 o 5 hebras)	Menor dolor anterior. Incisión cosmética. Mantenimiento del aparato extensor.	Incorporación lenta. Pérdida de fuerza de flexión profunda.	Baja (~6-9%, si diámetro $\geq 8\text{mm}$)
Tendón Cuadricipital	Tejido denso y abundante. Menor dolor anterior que HTH.	Alteración estética suprapatelar. Posible debilidad temprana del cuádriceps.	Baja (~5-7%)
Aloinjerto (Irradiado/ No irradiado)	Cero morbilidad de sitio donante. Tiempo quirúrgico corto.	Incorporación biológica muy tardía (hasta 18 meses). Riesgo de transmisión de enfermedades.	Alta en <25 años (>15-20%)



IMAGEN 3: Fotografía artroscópica (visión desde el portal anterolateral) mostrando el injerto de LCA ya fijado y tensionado en su posición anatómica final. Se debe observar la orientación oblicua del injerto, cruzando la escotadura intercondilea sin pinzamiento contra el techo anatómico o la pared lateral durante la extensión completa.

REHABILITACIÓN Y CRITERIOS DE RETORNO DEPORTIVO

El fracaso de la reconstrucción del LCA no solo se debe a errores técnicos en quirófano; una rehabilitación acelerada, incompleta o sin supervisión es el origen de un gran porcentaje de re-rupturas. El paradigma moderno ha pasado de protocolos "basados en el tiempo" a protocolos "**basados en criterios**" estrictos.

Fases de la Rehabilitación

1. **Fase I - Protección y Movilidad Temprana (0-4 semanas):** Prioriza el control del derrame articular, la cicatrización de heridas, la reactivación neuromuscular del cuádriceps, y la recuperación de la **extensión completa y simétrica** de manera inmediata para prevenir el cíclope (tejido fibroso anterior).

2. **Fase II - Fortalecimiento Progresivo (4-12 semanas):** Trabajo de cadena cinética cerrada inicialmente, progresando a cadena abierta cuidando los rangos articulares para no elongar el injerto en su fase de mayor debilidad de ligamentización. Se inicia entrenamiento propioceptivo avanzado.
3. **Fase III - Pliometría y Carrera (3-6 meses):** Inicio de trote cuando la fuerza del cuádriceps alcanza el 70% del lado contralateral. Introducción de saltos bipodales y luego unipodales, enfocado en corregir defectos cinemáticos (valgo de rodilla al caer).
4. **Fase IV - Retorno al Deporte Específico (6-9+ meses):** Simulaciones en campo, cortes, pivotes reactivos y fatiga controlada.

Criterios para el Retorno Deportivo (Return to Play - RTP)

El consenso actual establece que el retorno al deporte competitivo de pivote **no debe ocurrir antes de los 9 meses** postoperatorios. Diversos estudios demuestran que por cada mes que se retrasa el retorno deportivo hasta los 9 meses, el riesgo de re-ruptura disminuye en un 51%.

El alta deportiva es un proceso de toma de decisión compartida que requiere la superación de una rigurosa batería de pruebas tanto objetivas (físico-biomecánicas) como subjetivas (psicológicas).

TABLA 5: Criterios de retorno deportivo basados en evidencia — Batería de pruebas

Dominio de Evaluación	Prueba Específica	Criterio de Aprobación Exigido
-----------------------	-------------------	--------------------------------

Evaluación Clínica Base	Examen Físico y Rango de Movimiento	ROM 100% simétrico. Sin derrame. Rodilla mecánicamente estable (KT-1000 <3mm).
Fuerza Muscular (Isocinética)	Test isocinético de Cuádriceps e Isquiotibiales (60°/s y 180°/s)	Índice de Simetría de Extremidad (LSI) $\geq$ 90% respecto a la pierna sana. Ratio H/Q > 60%.
Pruebas Funcionales / Salto	Single Hop, Triple Hop, Crossover Hop, 6-meter timed hop	LSI $\geq$ 90% en distancia y tiempo. Excelente biomecánica de aterrizaje (sin valgo).
Agilidad y Condición Física	Test en campo (ej. T-test, Illinois agility)	Tiempos comparables a valores pre-lesionales y asintomático bajo fatiga.
Evaluación Psicológica	Escala ACL-RSI (Return to Sport after Injury)	Puntuación > 65 puntos. Ausencia de kinesiophobia (miedo paralizante a la re-lesión).

PRONÓSTICO Y SEGUIMIENTO A LARGO PLAZO

A pesar del perfeccionamiento en las técnicas quirúrgicas, la cirugía del LCA no proporciona una rodilla invulnerable. El pronóstico a largo plazo debe ser discutido honestamente con el paciente.

Tasas de Ruptura y Re-lesión

Las tasas globales de re-ruptura del injerto fluctúan entre el 5% y el 10% según las series; sin embargo, en pacientes menores de 20 años que regresan a deportes de alto riesgo, la tasa puede dispararse al 15-20%. Un dato epidemiológico de inmensa relevancia es que la tasa de ruptura de la **rodilla contralateral sana** es paradójicamente mayor, alcanzando hasta el 12-15%. Esto subraya que los déficits neuromusculares centrales y los factores anatómicos persisten independientemente del éxito quirúrgico.

Riesgo de Osteoartrosis

La reconstrucción del LCA estabiliza la rodilla y protege teóricamente a los meniscos de lesiones subsecuentes. No obstante, **no previene por completo el desarrollo de osteoartrosis a largo plazo**. Aproximadamente el 30-50% de los pacientes desarrollarán signos radiográficos de artrosis a los 10-15 años. El factor predictivo más poderoso para el desarrollo de daño degenerativo no es el estado final del injerto, sino las lesiones asociadas presentes en el momento del trauma original (especialmente las lesiones condrales severas y las meniscectomías subtotales). Las reparaciones meniscales exitosas son el principal agente condroprotector. Se recomienda seguimiento clínico e imagenológico anual los primeros 2 años, y posteriormente a los 5 y 10 años para evaluar la interlínea articular.

PUNTOS CLAVE / PERLAS CLÍNICAS

- **1. Mecanismo de alta sospecha:** Un paciente con antecedente de un pivote de no contacto, percepción de "chasquido" articular y derrame agudo (hemartrosis) tiene una lesión del LCA hasta demostrar lo contrario.
- **2. Examen de elección:** El test de Lachman es la maniobra clínica más sensible; el Pivot Shift es el más específico pero requiere relajación profunda del paciente.
- **3. Señales de alarma imagenológica:** En la resonancia magnética, la presencia de contusiones óseas (bone bruise) en el fémur lateral y la tibia posterior es una huella indeleble del

evento traumático del LCA. Buscar siempre lesiones meniscales ocultas (rampas).

- **4. La rodilla manda:** El momento óptimo para operar no se basa en el calendario, sino en lograr un estado articular sin inflamación, con extensión completa y control de cuádriceps (Prehab estricto).
- **5. Perfección anatómica:** La reconstrucción intraarticular debe colocar los túneles en el centro de las huellas anatómicas femorales y tibiales. En atletas jóvenes y laxos, asociar siempre un procedimiento anterolateral (LET/ALL) reduce las fallas.
- **6. Retorno deportivo riguroso:** El alta no debe otorgarse antes de los 9 meses. Es obligatorio superar el 90% de simetría en fuerza isocinética (LSI) y pruebas funcionales de salto (hop tests), evaluando también la madurez psicológica con el score ACL-RSI.

BIBLIOGRAFÍA

1. Diermeier T, Rothrauff BB, Engebretsen L, et al. Treatment after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(8):2390-2402. DOI: 10.1007/s00167-020-06012-6.
2. Getgood AMJ, Brown C, Litchfield R, et al. The Stability study: a randomized clinical trial comparing anterior cruciate ligament reconstruction with and without lateral extra-articular tenodesis in individuals at high risk of graft failure. *Br J Sports Med.* 2020;54(22):1379-1387. DOI: 10.1136/bjsports-2020-102086.
3. Filbay SR, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2019;33(1):33-47. DOI: 10.1016/j.berh.2019.01.018.
4. Webster KE, Feller JA. A systematic review and meta-analysis of return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction in young patients. *Am J Sports Med.* 2019;47(10):2509-2515. DOI: 10.1177/0363546518808200.

5. Snoeker B, Turkiewicz A, Magnusson K, et al. Risk of knee osteoarthritis after different types of knee injuries in young adults: a population-based cohort study. *Br J Sports Med.* 2020;54(12):725-730. DOI: 10.1136/bjsports-2019-100959.
6. Brinlee AW, Dickenson SB, Hunter-Giordano A, Snyder-Mackler L. ACL Reconstruction Rehabilitation: Clinical Data, Biologic Healing, and Criterion-Based Milestones to Inform a Return-to-Sport Guideline. *Sports Health.* 2022;14(5):770-779. DOI: 10.1177/19417381211056873.
7. Meredith SJ, Rauer T, Chmielewski TL, et al. Return to sport after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL Injury Return to Sport Consensus Group. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(8):2403-2414. DOI: 10.1007/s00167-020-06009-1.
8. Sonnery-Cottet T, Saithna A, Cavalier M, et al. Anterolateral Ligament Reconstruction Is Associated With Significantly Reduced ACL Graft Rupture Rates at a Minimum Follow-up of 2 Years: A Prospective Comparative Study of 502 Patients From the SANTI Study Group. *Am J Sports Med.* 2017;45(7):1547-1557. DOI: 10.1177/0363546516686057.
9. Ardern CL, Eksti T, Grindem H, et al. 2018 International Olympic Committee consensus statement on prevention, diagnosis and management of paediatric anterior cruciate ligament (ACL) injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(4):989-1010. DOI: 10.1007/s00167-018-4865-y.
10. Pioger C, Gali JC, Lording T, et al. Incidence and Risk Factors for Ramp Lesions in Anterior Cruciate Ligament Ruptures: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2022;50(10):2824-2834. DOI: 10.1177/03635465211037340.
11. Seil R, Themessl A, Mouton C, et al. ESSKA ACL consensus part 2: return to sport criteria and follow-up strategies after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022;30(10):3139-3151. DOI: 10.1007/s00167-022-07018-4.
12. Wiggins AJ, Grandhi RK, Schneider DK, Stanfield D, Webster KE, Myer GD. Risk of Secondary Injury in Younger

Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2016;44(7):1861-1876. DOI: 10.1177/0363546515621554.

Criterios de Selección de Pacientes y Toma de Decisiones Terapéuticas

Sergio Steven Saenz Álvarez

INTRODUCCIÓN

La ruptura del ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las patologías traumáticas más prevalentes y de mayor impacto funcional en el ámbito de la ortopedia y la medicina deportiva. Históricamente, el diagnóstico de una deficiencia del LCA conducía de manera casi automática a la indicación de una reconstrucción quirúrgica, bajo la premisa de que la intervención era el único camino para restaurar la cinemática articular y prevenir la degeneración condral a largo plazo. Sin embargo, la evolución de la evidencia científica durante las últimas dos décadas ha transformado radicalmente este paradigma, demostrando que la patología del LCA no es una entidad clínica homogénea, sino un espectro lesional que requiere un enfoque individualizado.

El presente capítulo tiene como objetivo fundamental proporcionar una guía estructural y basada en evidencia para la toma de decisiones terapéuticas frente a un paciente con lesión del LCA. En este contexto, el cirujano ortopedista asume el rol de estratega: debe equilibrar la evaluación anatómica y biomecánica con las expectativas funcionales del paciente, su edad biológica, el nivel de demanda deportiva y la presencia de lesiones concomitantes.

La relevancia clínico-quirúrgica de este proceso de selección es absoluta. Una decisión terapéutica errónea —ya sea operar a un paciente con baja demanda que podría haberse beneficiado de un manejo conservador (los denominados "*copers*"), o postergar la cirugía en un atleta de élite con inestabilidad rotacional evidente— conlleva altas tasas de morbilidad, fracaso del injerto, desarrollo precoz de osteoartrosis y un grave impacto psicológico en el deportista. Por lo

tanto, este capítulo se justifica como el pilar central de la obra, estableciendo los criterios quirúrgicos y los fundamentos de retorno al deporte que permitirán al especialista optimizar los resultados clínicos, minimizando las complicaciones y las tasas de re-ruptura.

EPIDEMIOLOGÍA Y BIOMECÁNICA APLICADA

Datos Epidemiológicos

La incidencia global de la lesión del LCA se estima en aproximadamente 68 casos por cada 100.000 habitantes al año, traduciéndose en más de 250.000 reconstrucciones anuales tan solo en Estados Unidos. En Latinoamérica, el incremento exponencial en la participación de deportes de pivote (predominantemente el fútbol, en modalidades de campo y salón) y el uso recurrente de superficies sintéticas con calzado inadecuado han disparado la incidencia de estas lesiones. La tasa de lesión presenta un claro dimorfismo sexual en deportes comparables: las atletas femeninas tienen entre 3 y 5 veces mayor riesgo de sufrir una ruptura del LCA en comparación con sus contrapartes masculinos, una discrepancia atribuida a múltiples factores anatómicos, hormonales y neuromusculares.

Mecanismo Lesional y Biomecánica

El 70% al 80% de las rupturas del LCA ocurren por mecanismos de no contacto (non-contact injuries). El patrón biomecánico clásico involucra una rápida desaceleración acompañada de un cambio de dirección (pivote o *cutting*) o el aterrizaje tras un salto con la rodilla en extensión cercana (0° a 20°). En este punto de mínima congruencia articular, se produce un momento de valgo dinámico acoplado con una rotación interna de la tibia con respecto al fémur, que excede el límite de carga de falla del ligamento (aproximadamente 2.160 Newtons en un adulto joven sano).

Biomecánicamente, el LCA es el restrictor primario a la traslación tibial anterior, aportando el 85% de la fuerza estabilizadora en esta dirección, además de funcionar como restrictor secundario a la rotación interna y al estrés en varo/valgo. Su función no es puramente mecánica, sino altamente propioceptiva, gracias a los

mecanorreceptores (corpúsculos de Ruffini y Pacini) ubicados predominantemente en sus inserciones subsinoviales.

Factores de Riesgo

Los factores de riesgo se dividen en intrínsecos (anatómicos y biológicos) y extrínsecos (ambientales). La comprensión de estas variables es crucial no solo para la prevención, sino para la planificación de procedimientos quirúrgicos complementarios, como osteotomías deflexoras o tenodesis extraarticulares.

TABLA 1: Factores de riesgo / Variables biomecánicas y nivel de evidencia.

Factor de Riesgo / Variable Biomecánica	Clasificación	Impacto Clínico y Nivel de Evidencia
Ancho de la escotadura intercondílea (Notch Width)	Intrínseco anatómico	Escotadura estenótica (Índice de Notch <0.20) aumenta exponencialmente el riesgo (Evidencia Nivel I).
Pendiente tibial posterior (Posterior Tibial Slope)	Intrínseco anatómico	Slope >12° incrementa la traslación tibial anterior y el riesgo de re-ruptura del injerto (Evidencia Nivel I).
Laxitud ligamentaria generalizada	Intrínseco biológico	Beighton score ≥4 es un predictor fuerte de lesión primaria y falla del injerto (Evidencia Nivel II).
Control neuromuscular (Valgo dinámico)	Intrínseco neuromuscular	Déficit en la activación glútea y dominancia del cuádriceps sobre isquiotibiales (Evidencia Nivel I).

Superficie de juego y calzado	Extrínseco	Fricción excesiva (tacos altos en césped artificial de 1ra y 2da generación) (Evidencia Nivel II).
-------------------------------	------------	--

BASES ANATÓMICAS Y FISIOPATOLÓGICAS

Anatomía Quirúrgica

El LCA es una estructura intracapsular pero extrasinovial, con una longitud promedio de 32 a 38 mm y un diámetro transversal de 7 a 12 mm. Desde el punto de vista funcional e histológico, está compuesto por dos haces o fascículos principales que actúan de manera sinérgica pero con tensiones recíprocas según el grado de flexión articular:

1. **Haz Anteromedial (AM):** Se tensa principalmente durante la flexión de la rodilla y actúa como el mayor restrictor a la traslación anteroposterior.
2. **Haz Posterolateral (PL):** Se tensa en extensión y proporciona restricción primaria contra las fuerzas rotacionales.

La huella de inserción femoral (footprint) se localiza en la cara medial del cóndilo femoral lateral y tiene una forma semicircular o de "D". La inserción tibial ocurre en el área intercondílea anterior de la tibia, pasando entre los cuernos anteriores de ambos meniscos. Su irrigación proviene predominantemente de la arteria genicular media, que perfora la cápsula posterior, y su inervación depende de las ramas articulares posteriores del nervio tibial (raíces S1, S2).

Fisiopatología y Ligamentización

Tras la ruptura, el ambiente líquido y proteolítico del líquido sinovial impide la formación de un hematoma estable, lo que anula la capacidad intrínseca del ligamento para cicatrizar. Cuando se realiza la reconstrucción quirúrgica, el injerto biológico (tendinoso) sufre un complejo proceso de "ligamentización". Este proceso consta de tres fases: (1) **Necrosis precoz** (0-4 semanas), donde las células del

injerto mueren; (2) **Proliferación y revascularización** (4-12 semanas), caracterizada por máxima debilidad biomecánica del injerto (punto crítico en la rehabilitación); y (3) **Remodelación** (a partir de los 3 meses hasta 1-2 años), donde las fibras de colágeno tipo III son reemplazadas por tipo I y se alinean en respuesta a las cargas mecánicas.

Lesiones Asociadas

Las rupturas del LCA raramente ocurren de manera aislada. Hasta en el 60-70% de los casos agudos existe patología meniscal concomitante. En eventos agudos, la ruptura del menisco lateral (particularmente de su raíz posterior) es más frecuente. En lesiones crónicas, la inestabilidad recurrente genera un cizallamiento progresivo que daña invariablemente el cuerno posterior del menisco medial, dando lugar a las conocidas lesiones de rampa (Ramp lesions). De igual manera, es fundamental evaluar la integridad de las estructuras anterolaterales, como el ligamento anterolateral (ALL) y las fibras de Kaplan del tracto iliotibial.

EVALUACIÓN CLÍNICA Y POR IMÁGENES

Anamnesis y Examen Físico

El diagnóstico de una ruptura de LCA es predominantemente clínico. El paciente suele referir la percepción de un "chasquido" o "pop" audible o sentido en el momento del trauma, seguido de la incapacidad para continuar la actividad deportiva. Un hallazgo cardinal es el desarrollo de hemartrosis severa (derrame intraarticular a tensión) en las primeras 2-12 horas posteriores a la lesión. La anamnesis debe cuantificar la sensación subjetiva de fallo articular (giving way) en las actividades de la vida diaria.

El examen físico debe realizarse preferiblemente comparando con la rodilla contralateral sana. Entre las pruebas diagnósticas, se destacan:

- **Prueba de Lachman:** Se realiza a 20-30° de flexión. Posee la mayor sensibilidad diagnóstica clínica para ruptura aguda del LCA. Se evalúa tanto la excursión (en milímetros) como

la calidad del tope final (end-point). Un tope blando (mushy) es patognomónico de lesión completa.

- **Pivot Shift (Desplazamiento del Pivote):** Reproduce el mecanismo de subluxación anterior de la tibia en extensión y su reducción súbita por tracción del tracto iliotibial al alcanzar los 30-40° de flexión. Es la prueba más específica para inestabilidad rotacional, aunque su ejecución en agudo se ve limitada por la defensa muscular del paciente.
- **Cajón Anterior:** Se realiza a 90° de flexión; es menos sensible en fase aguda debido a la hemartrosis que limita la flexión y al espasmo de los isquiotibiales.
- **Artrómetros (KT-1000/2000):** Permiten la medición objetiva de la traslación anteroposterior. Una diferencia >3 mm de desplazamiento comparado con la rodilla contralateral es diagnóstica.

Clasificación y Scores Funcionales

Es mandatorio aplicar escalas validadas para evaluar el estatus basal y postquirúrgico del paciente. Se recomienda el uso del **IKDC** (International Knee Documentation Committee) para evaluación objetiva, y cuestionarios subjetivos (PROMs) como el score de **Lysholm** y **KOOS** (Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score). Para evaluar el componente psicológico del retorno deportivo, la escala **ACL-RSI** es la herramienta de elección en la actualidad.

Imágenes Diagnósticas

Si bien la radiografía simple es obligatoria para descartar fracturas avulsivas (como la fractura de Segond, patognomónica de lesión de la cápsula anterolateral y altamente predictiva de ruptura de LCA, o avulsiones de la espina tibial), el *Gold Standard* imagenológico es la Resonancia Magnética (RM).

Los hallazgos en RM incluyen signos primarios: discontinuidad de fibras, ligamento horizontalizado o masa amorfa en el surco, y el "signo de la escotadura vacía". Los signos secundarios, producto de la biomecánica de la lesión, incluyen el patrón de contusión ósea

("kissing contusion") típicamente localizado en el aspecto medio del cóndilo femoral lateral y el margen posterior del platillo tibial lateral.

TABLA 2: Sensibilidad y especificidad de pruebas clínicas para lesión de LCA.

Prueba Clínica / Imageno lógica	Sensibilid ad (%)	Especificidad (%)	Observación Clínica
Lachma n	85 - 90%	94 - 96%	Prueba clínica más confiable en agudo. Valora haz anteromedial.
Pivot Shift	24 - 32% (en agudo)*	97 - 99%	*La sensibilidad sube al 85% bajo anestesia. Evalúa inestabilidad rotacional.
Cajón Anterior (90°)	62 - 70%	90 - 95%	Frecuentes falsos negativos en agudo por tope mecánico del cuerno posterior meniscal o espasmo muscular.
Resonan cia Magnéti ca	90 - 98%	95 - 99%	Detecta patología meniscal/condral asociada (Gold Standard).

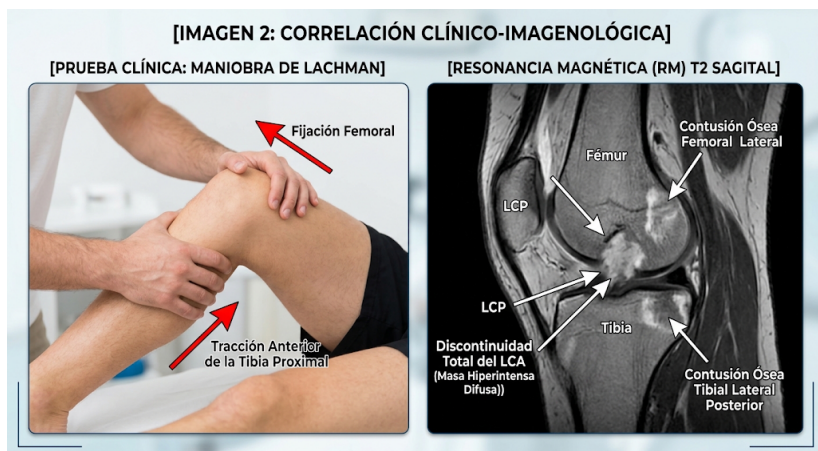


IMAGEN 1: CORRELACIÓN CLÍNICO-IMAGENOLÓGICA

Descripción para el diseñador: Composición gráfica dividida en dos mitades (Split-screen). Lado izquierdo: Fotografía clínica de las manos de un examinador realizando la maniobra de Lachman, mostrando la correcta posición de fijación del fémur y la tracción anterior de la tibia proximal con vectores en flechas de color rojo. Lado derecho: Un corte sagital de Resonancia Magnética ponderada en T2. Debe mostrar una flecha señalando la discontinuidad total del ligamento cruzado anterior (masa hiperintensa difusa) y zonas hiperintensas en el hueso subcondral del fémur y tibia (representando las típicas contusiones óseas o bone bruises de mecanismo de pivote).

CRITERIOS QUIRÚRGICOS / INDICACIONES

La decisión de tratar una lesión de LCA mediante cirugía reconstructiva o terapia física intensiva conservadora representa uno de los debates más estudiados de la medicina deportiva. La evidencia actual, guiada por el estudio KANON (seguimiento a más de 10 años) y los consensos internacionales (como el Panther Symposium), dictamina que no todas las lesiones del LCA requieren reconstrucción inmediata.

Criterios de Selección (Copers vs. Non-Copers)

Aproximadamente el 15-20% de los pacientes pueden estabilizar su rodilla dinámicamente mediante adaptación neuromuscular. Estos pacientes, denominados "*copers*", pueden retornar a actividades

moderadas sin inestabilidad. Los criterios de Delaware-Oslo son utilizados para identificar a los *copers* potenciales (episodios de fallo ausentes, salto unilateral >80% de la extremidad contralateral, score KOS-ADLS >80% y buena percepción global de rodilla). Por otro lado, los "*non-copers*" presentan inestabilidad manifiesta y son candidatos directos a cirugía.

Indicaciones y Modificadores de la Decisión

Indicaciones Absolutas:

- Deportistas jóvenes de alta demanda que participan en deportes de pivote continuo, salto y contacto (Nivel I y II de deportes: fútbol, baloncesto, rugby, artes marciales).
- Lesiones multiligamentarias de rodilla (ej. lesión combinada LCA + LCP o esquina posterolateral).
- Presencia de lesiones meniscales reparables (ej. ruptura en asa de balde que produce bloqueo articular).

Contraindicaciones:

Infección activa (intra o extraarticular), osteoartritis avanzada sintomática (Kellgren-Lawrence Grado III/IV) en donde la reconstrucción podría empeorar la rigidez sin aliviar el dolor, y pacientes con incapacidad para adherirse al riguroso protocolo postoperatorio.

Timing Quirúrgico

El momento óptimo para la cirugía es crítico para evitar complicaciones como la artrofibrosis. Se desaconseja la cirugía en fase hiperaguda (primeras semanas) si la rodilla presenta edema severo, temperatura elevada y déficit de extensión. El timing quirúrgico idóneo se alcanza cuando la rodilla ha recuperado el rango de movilidad completo (especialmente la extensión completa, simétrica a la contralateral), no existe inflamación activa y el paciente tiene buen control motor del cuádriceps. Esto suele lograrse tras 3 a 6 semanas de prehabilitación (rehabilitación preoperatoria).

TABLA 3: Criterios de indicación quirúrgica vs. manejo conservador.

Criterio de Selección	Inclinación Hacia Manejo Conservador (Rehabilitación)	Inclinación Hacia Reconstrucción Quirúrgica (RCA)
Edad del paciente	Edad biológica avanzada, baja demanda física	Jóvenes (<25 años), cartílagos inmaduros, alta demanda vital
Nivel Deportivo	Vida sedentaria, deportes lineales (natación, ciclismo, carrera continua)	Deportes de pivote, corte, salto y desaceleración brusca (fútbol, baloncesto, esquí)
Lesiones Asociadas	Lesión aislada del LCA, meniscos estables	Rupturas meniscales reparables, defecto condral tratable, inestabilidad multiligamentaria
Clínica de Inestabilidad	"Copers": Sin episodios de fallo articular en AVD	"Non-copers": Fallos articulares recurrentes (giving way), Pivot Shift explosivo (Grado III)
Disposición Psicológica	Falta de tiempo o voluntad para 9-12 meses de rehabilitación	Compromiso estricto con el protocolo de fisioterapia a largo plazo

TÉCNICA QUIRÚRGICA / PROCEDIMIENTO

La reconstrucción del LCA (RCA) artroscópica ha evolucionado buscando la restauración anatómica precisa de los haces naturales del ligamento.

Selección del Injerto

La elección del injerto debe ser individualizada. Las opciones incluyen:

1. **Autoinjerto de Hueso-Tendón Patelar-Hueso (HTH o BPTB):** Considerado por décadas el *Gold Standard*, permite fijación hueso-hueso y rápida integración (6-8 semanas). Se asocia, sin embargo, a morbilidad en el sitio donante (dolor anterior de rodilla, dificultad para arrodillarse).
2. **Autoinjerto de Isquiotibiales (Semimembranoso/Grácil):** Menos dolor en sitio donante y excelente fuerza tensil en configuraciones cuadruplicadas. Su desventaja principal es la debilidad residual a la flexión profunda y rotación interna, crítico en ciertos atletas.
3. **Autoinjerto del Tendón Cuadricipital:** Una tendencia creciente con excelentes resultados clínicos. Proporciona gran volumen de injerto (fibras densas) y menor tasa de complicaciones del sitio donante en comparación con el HTH.
4. **Aloinjertos (Cadáver):** Menor tiempo quirúrgico y morbilidad cero en sitio donante. Sin embargo, su uso en menores de 25 años y deportistas está contraindicado debido a tasas de re-ruptura tres a cuatro veces mayores producto de los procesos de irradiación y respuesta inmunológica lenta.

TABLA 4: Comparación de tipos de injerto: ventajas, desventajas y tasas de re-ruptura.

Tipo de Injerto	Ventajas Principales	Desventajas / Morbilidad	Tasas Estimadas de Re-ruptura (en jóvenes)
Autoinjerto HTH	Fijación ósea rápida, cicatrización sólida en túneles, Gold Standard en élite.	Dolor anterior persistente (15%), riesgo de fractura rotuliana, limitación al arrodillarse.	3% - 6%
Autoinjerto Isquiotibiales (ST4/STG)	Incisión pequeña, menor dolor patelofemoral, injerto sumamente elástico y grueso.	Debilidad residual de flexores, fijación inicial tendón-hueso más lenta (12 semanas).	5% - 8%
Autoinjerto Cuadricipital	Gran volumen de colágeno, baja morbilidad donante, puede extraerse con o sin taco óseo.	Cicatriz estética algo mayor, potencial debilidad transitoria en mecanismo extensor.	4% - 6%
Aloinjerto	Cero morbilidad donante, dolor postoperatorio mínimo, procedimiento rápido.	Riesgo de transmisión de enfermedades, integración biomecánica extremadamente lenta.	12% - 20%

Descripción Paso a Paso de la Técnica Quirúrgica Anatómica

La intervención inicia bajo anestesia raquídea o general. Tras el examen físico bajo anestesia (verificando el Pivot Shift sin defensa muscular), se prepara la extremidad con isquemia neumática opcional.

1. **Toma de Injerto:** Dependiendo del seleccionado, se realiza la incisión correspondiente. El injerto es preparado en mesa de mayo, calibrando su grosor (idealmente >8 mm para minimizar fallo biomecánico) y pretensándolo.
2. **Portales Artroscópicos:** Portal anterolateral estándar (visión) y portal anteromedial (trabajo e instrumentación). El uso de un portal anteromedial accesorio bajo permite lograr una trayectoria óptima para la perforación anatómica del fémur.
3. **Preparación del Túnel Femoral:** El paradigma actual dicta el abandono de la técnica transtibial, la cual generaba túneles verticales no anatómicos que no controlaban el Pivot Shift. Se prefiere la perforación por el portal anteromedial o la técnica *Outside-In* (de afuera hacia adentro). El centro anatómico se localiza a las 10 o 10:30 del reloj en rodilla derecha (detrás de la cresta del residente).
4. **Preparación del Túnel Tibial:** Se coloca la guía tibial entrando medial a la tuberosidad anterior, con una angulación de 45° - 55° respecto a la diáfisis, apuntando al centro de la huella anatómica (por detrás del cuerno anterior del menisco externo).
5. **Paso y Fijación:** El injerto se asciende. La fijación femoral generalmente emplea sistemas suspensorios corticales (botones), mientras que la fijación tibial se realiza comúnmente con tornillos interferenciales (bioabsorbibles, biocompuestos o de titanio). La fijación tibial debe realizarse aplicando tracción al injerto (~ 80 N) con la rodilla en flexión de 20° - 30° (cerca de la extensión) para mantener la cinética de aprehensión posterior.

Procedimientos Complementarios (Tenodesis Extraarticular Lateral - LET)

La evidencia reciente ha consolidado fuertemente las indicaciones para asociar una reconstrucción anterolateral (ALL) o una tenodesis de Lemaire modificada (LET) a la RCA. Estas técnicas, al proveer una restricción en la periferia externa del fémur, actúan como un cinturón de seguridad que reduce las cargas del injerto en un 40%. Está altamente indicada en: (1) pacientes con hiperlaxitud generalizada, (2) Pivot Shift explosivo grado III, (3) menores de 20 años en deportes de alto riesgo y (4) cirugías de revisión de LCA.



IMAGEN 3: TÉCNICA QUIRÚRGICA ARTROSCÓPICA

Descripción para el diseñador: Imagen de visión intraarticular de artroscopia (forma circular simulando la lente óptica) desde el portal anterolateral. Muestra un neo-ligamento (injerto tendinoso de aspecto nacarado) cruzando la articulación de la rodilla y entrando de manera anatómica en el túnel femoral situado en la pared medial del cóndilo externo (ubicación horaria de las 10 en punto). Se visualiza un botón de fijación cortical suspensorio asomando en la cortical externa del fémur a modo esquemático translúcido. A nivel inferior, se debe observar el injerto ingresando al túnel tibial, rodeado por el remanente nativo preservado del ligamento original, y un menisco lateral intacto en el fondo.

REHABILITACIÓN Y CRITERIOS DE RETORNO DEPORTIVO

La cirugía de LCA constituye únicamente el 50% del éxito terapéutico; el 50% restante recae en un programa de rehabilitación supervisado, progresivo y estrictamente basado en criterios biológicos y funcionales, abandonando el arcaico enfoque basado estrictamente

en el tiempo (el antiguo paradigma de "a los 6 meses vuelves a jugar").

Fases de la Rehabilitación

- 1. Fase 1: Protección y Movilidad Temprana (0-4 semanas).** Objetivos: Control de dolor/edema, extensión completa inmediata (vital para prevenir cyclops lesion) y flexión progresiva. Reactivación del cuádriceps. Se permite carga de peso total guiada por dolor.
- 2. Fase 2: Fortalecimiento Muscular (4-12 semanas).** Se prioriza la cadena cinética cerrada (ej. sentadillas, prensa) y la cadena cinética abierta en rangos seguros. *Perla clínica:* La extensión isotónica en cadena abierta debe restringirse de 90° a 45° de flexión en etapas iniciales para evitar excesiva traslación tibial que elongue el injerto inmaduro, permitiendo rango completo después de la semana 12.
- 3. Fase 3: Agilidad y Propiocepción (3-6 meses).** Introducción al trote en línea recta, aterrizajes bipodales, ejercicios de perturbación del equilibrio.
- 4. Fase 4: Pliometría y Retorno a Entrenamiento (6-9 meses).** Trabajo de pivote, corte reactivo y *drills* deportivos específicos.

Criterios Objetivos de Retorno Deportivo (RTP)

El alta médica para la competición debe ser vista como una evaluación continua mediante una batería de pruebas. El retraso deliberado del retorno deportivo previene lesiones secundarias de manera sustancial; por cada mes que se retrasa el retorno deportivo hasta los 9 meses postoperatorios, la tasa de nueva lesión se reduce un 51%.

Ningún paciente debería retornar al deporte competitivo antes de los 9 meses, existiendo consenso emergente que aboga por retrasarlo a los 12 meses en atletas adolescentes de élite.

TABLA 5: Criterios de retorno deportivo basados en evidencia — Batería de pruebas.

Prueba de Retorno Deportivo	Criterio de Aprobación (Umbral)	Justificación Clínica / Biomecánica
Evaluación Isocinética (Cuádriceps / Isquios)	LSI (Limb Symmetry Index) $\geq$ 90% a 60°/s y 180°/s	Fuerza simétrica es el predictor más fuerte contra la re-ruptura. En atletas profesionales, se persigue un LSI del 95%.
Single Hop Test (Salto Unipodal Simple)	LSI distancia $\geq$ 90% y aterrizaje estabilizado sin valgo	Valora potencia de extensión explosiva y confianza en la extremidad.
Triple Hop Test / Crossover Hop Test	LSI distancia $\geq$ 90% en ambos lados	Evalúa la resistencia anaeróbica local y el control neuromuscular en planos multiplanares.
Y-Balance Test	Diferencia anterior <4 cm, LSI compuesto $\geq$ 90%	Estándar de oro para control postural dinámico y déficit de propiocepción en core y cadera.
Escala Subjetiva ACL-RSI	Puntuación > 65 puntos	Mide resiliencia emocional, confianza y miedo a la re-lesión (kinesiophobia), factor limitante en el 30% de atletas sanos físicamente.

PRONÓSTICO Y SEGUIMIENTO A LARGO PLAZO

El seguimiento a largo plazo de pacientes con RCA revela contrastes clínicos. Mientras que la funcionalidad a corto y mediano plazo es excelente en más del 85% de los pacientes, el riesgo de lesiones subsecuentes sigue siendo una preocupación mayor, particularmente en la población pediátrica y adolescentes menores de 20 años. En

esta cohorte, las tasas de segunda lesión de LCA (ya sea ruptura del injerto o ruptura de la rodilla contralateral sana) pueden oscilar dramáticamente entre el 15% y el 25%. De hecho, existe evidencia sustancial que sugiere que, tras una primera cirugía exitosa, el paciente tiene igual o mayor probabilidad de romperse el LCA de la pierna opuesta que de dañar el injerto.

Respecto a la evolución articular, la reconstrucción del LCA no previene el desarrollo de osteoartritis (OA). Estudios con seguimiento de 10 a 15 años demuestran que aproximadamente el 50% de los pacientes desarrollarán signos radiográficos de OA. Este fenómeno degenerativo es impulsado primariamente por el trauma condral asociado al momento inicial del accidente (bone bruise inflamatorio) y por el estado de los meniscos. La meniscectomía concomitante es, indiscutiblemente, el factor predictivo independiente más potente para el desarrollo de OA precoz post-RCA, enfatizando el mandato quirúrgico moderno: *"Salve el menisco"*.

PUNTOS CLAVE / PERLAS CLÍNICAS

- **Identificación de *Copers*:** No todo paciente con rotura del LCA requiere reconstrucción inminente. Pacientes añosos o de baja demanda deportiva deben someterse inicialmente a un programa de prehabilitación para evaluar la inestabilidad dinámica y la funcionalidad diaria conservadora.
- **Edad Biológica sobre Cronológica:** El nivel de actividad deportiva y las expectativas de estilo de vida del paciente deben priorizarse por encima de un corte de edad numérico al decidir la cirugía.
- **Técnica Quirúrgica Anatómica:** Posicionar los túneles basado en los reparos anatómicos (huella femoral de los haces) y no de forma isométrica (técnica transtibial obsoleta) es fundamental para controlar la rotación tibial (Pivot Shift).
- **Cinturón de Seguridad Articular:** El empleo de tenodesis extraarticulares (LET) o reconstrucción del ALL es un complemento de inmensurable valor en pacientes menores de 20 años, pacientes con hiperlaxitud o en casos de

cirugías de revisión para abatir el estrés tensional sobre el injerto.

- **Rehabilitación Basada en Criterios:** El retorno al deporte competitivo no debe permitirse antes de los 9 meses bajo ninguna circunstancia, y el alta médica debe fundamentarse en la aprobación rigurosa de test isocinéticos, pruebas funcionales de salto (LSI >90%) y escalas de valoración psicológica (ACL-RSI).
- **Prevención de Osteoartrosis:** Proteger el cartílago implica proteger los meniscos. La sutura y preservación meniscal siempre deben ser la primera opción por sobre la meniscectomía parcial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Diermeier T, Rothrauff BB, Engebretsen L, et al. Treatment after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(8):2390-2402. doi:10.1007/s00167-020-06012-6.
2. Getgood AMJ, Bryant DM, Litchfield R, et al. Lateral Extra-articular Tenodesis Reduces Failure of Hamstring Tendon Autograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: 2-Year Outcomes from the STABILITY Study Randomized Clinical Trial. *Am J Sports Med.* 2020;48(2):285-297. doi:10.1177/0363546519896333.
3. Brinlee AW, Dickenson SB, Hunter-Giordano A, Snyder-Mackler L. ACL Reconstruction Rehabilitation: Clinical Data, Biologic Healing, and Criterion-Based Milestones to Inform a Return-to-Sport Guideline. *Sports Health.* 2022;14(5):770-779. doi:10.1177/19417381211056873.
4. Filbay SR, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2019;33(1):33-47. doi:10.1016/j.berh.2019.01.018.
5. Andrade R, Pereira R, van Cingel R, et al. How should clinicians rehabilitate patients after ACL reconstruction? A systematic review of clinical practice guidelines (CPGs) with a

- focus on quality appraisal (AGREE II). *Br J Sports Med.* 2020;54(9):512-519. doi:10.1136/bjsports-2019-100778.
6. Meredith SJ, Rauer T, Chmielewski TL, et al. Return to sport after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL Injury Return to Sport Consensus Group. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(8):2403-2414. doi:10.1007/s00167-020-06009-1.
 7. Sonnery-Cottet B, Saithna A, Cavalier M, et al. Anterolateral Ligament Reconstruction Is Associated With Significantly Reduced ACL Graft Rupture Rates at a Minimum Follow-up of 10 Years. *Am J Sports Med.* 2020;48(13):3250-3257. doi:10.1177/0363546520950781.
 8. Mouton C, Hirschko G, Magosch P, et al. ESSKA consensus on anterior cruciate ligament revision: diagnostic and planning parameters. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2023;31(1):15-25. doi:10.1007/s00167-022-07172-5.
 9. Hurley ET, Fried JW, Kingery MT, et al. Quadriceps Tendon Autograft in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Arthroscopy.* 2021;37(4):1321-1329. doi:10.1016/j.arthro.2020.12.213.
 10. Svantesson E, Hamrin Senorski E, Webster KE, et al. Clinical Outcomes After Anterior Cruciate Ligament Injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *Orthop J Sports Med.* 2020;8(7):2325967120931097. doi:10.1177/2325967120931097.
 11. Piussi R, Simonson R, Asker M, et al. Rehabilitation after anterior cruciate ligament injury (opti-ACL): a study protocol for a randomised controlled trial. *Trials.* 2022;23(1):257. doi:10.1186/s13063-022-06161-0.
 12. Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE. Incidence of Second ACL Injuries 2 Years After Primary ACL Reconstruction and Return to Sport. *Am J Sports Med.* 2014;42(7):1567-1573. doi:10.1177/0363546514530088. (Referencia clásica fundamental para entender las tasas de lesión contralateral en jóvenes).

Técnicas de Reconstrucción Quirúrgica y Selección de Injertos

Lizbeth Stefany Mafla Valle

INTRODUCCIÓN

La ruptura del ligamento cruzado anterior (LCA) representa una de las lesiones devastadoras más frecuentes en la traumatología deportiva, con una incidencia que continúa en aumento debido a la mayor exigencia física y profesionalización del deporte desde edades tempranas. Históricamente, el tratamiento quirúrgico del LCA ha transitado desde reparaciones primarias con altas tasas de fracaso, pasando por reconstrucciones extraarticulares aisladas, hasta llegar al paradigma actual: la reconstrucción intraarticular anatómicamente precisa y biomecánicamente funcional, suplementada en casos seleccionados con estabilización extraarticular.

El enfoque contemporáneo en la cirugía de rodilla dicta que no existe un "procedimiento único para todos los pacientes" (*no one-size-fits-all*). La elección del injerto, el método de fijación y el abordaje de lesiones concomitantes (como el compromiso del ligamento anterolateral o lesiones de la rampa meniscal) deben ser rigurosamente individualizados. Esta personalización requiere un dominio absoluto de la anatomía, la cinemática articular y la biología de la cicatrización tendinosa. La relevancia clínico-quirúrgica de este capítulo radica en proporcionar al cirujano ortopedista los fundamentos críticos para tomar decisiones intraoperatorias basadas en evidencia, minimizando así las tasas de re-ruptura y optimizando la función propioceptiva y mecánica de la rodilla.

El presente capítulo se justifica dentro de esta obra como el eje central de la intervención terapéutica. Tras haber comprendido los mecanismos patológicos en capítulos previos, aquí se desglosan las

técnicas quirúrgicas vigentes, el racional anatómico detrás de la perforación de túneles y el debate bio-estructural de la selección del injerto, todo ello orientado a establecer una base sólida que garantice el éxito en los estrictos criterios de retorno deportivo que se abordarán hacia el final del proceso.

EPIDEMIOLOGÍA Y BIOMECÁNICA APLICADA

La epidemiología global estima una incidencia de lesiones de LCA de aproximadamente 68 a 75 casos por cada 100,000 habitantes al año, con una prevalencia marcada en atletas jóvenes entre 15 y 25 años. En Latinoamérica, estudios multicéntricos recientes indican un aumento del 22% en la incidencia durante la última década, correlacionado directamente con el auge del fútbol formativo femenino y deportes de contacto en superficies sintéticas. Es imperativo destacar que las mujeres deportistas presentan una tasa de incidencia de 2 a 8 veces mayor que sus contrapartes masculinos, una disparidad multifactorial atribuida a diferencias anatómicas, neuromusculares y hormonales.

Desde el punto de vista biomecánico, el LCA es el restrictor primario de la traslación anterior de la tibia sobre el fémur, aportando aproximadamente el 85% de la fuerza de restricción a 30° de flexión. Secundariamente, actúa como un estabilizador fundamental contra las fuerzas de rotación interna tibial y el estrés en valgo, funciones críticamente dependientes de su arquitectura bifascicular. El haz anteromedial (AM) presenta mayor tensión en flexión, controlando principalmente la traslación anteroposterior, mientras que el haz posterolateral (PL) se tensa en extensión, siendo el principal responsable del control rotacional en los primeros grados de flexión.

El mecanismo lesional característico (~70% de los casos) es de naturaleza indirecta o sin contacto. Involucra típicamente una rápida desaceleración combinada con un cambio de dirección, donde el pie se encuentra fijo en el suelo con la rodilla en ligera flexión (10°-30°), estrés en valgo y rotación interna tibial forzada. Esta cinemática genera un colapso dinámico que excede la carga de falla del ligamento (aproximadamente 2160 N en adultos sanos).

Tabla 1: Factores de riesgo / Variables biomecánicas y nivel de evidencia

Factor de Riesgo / Variable Biomecánica	Descripción y Mecanismo	Nivel de Evidencia
Ángulo Q incrementado o y valgo dinámico	Genera vectores de fuerza lateralizados, aumentando el estrés de tensión sobre el LCA en la recepción de saltos.	Fuerte (Nivel I)
Espacio intercondíleo (Notch) estrecho	Un índice de muesca (Notch Width Index) <0.20 predispone a pinzamiento del injerto y ruptura del ligamento nativo.	Fuerte (Nivel II)
Pendiente tibial posterior (Slope)	Un <i>slope</i> >12° incrementa la traslación tibial anterior basal, sometiendo al LCA a cargas de cizallamiento sostenidas.	Moderado (Nivel II)
Dominancia de cuádriceps	Ratio isquiotibiales/cuádriceps disminuido, lo que impide la estabilización sinérgica posterior durante la desaceleración.	Fuerte (Nivel I)
Superficie de juego (Césped sintético)	Mayor coeficiente de fricción pie-superficie bloquea el movimiento rotacional, transmitiendo la torsión directamente a la rodilla.	Moderado (Nivel III)
Fluctuaciones hormonales	Los picos de relaxina y estrógenos en la fase preovulatoria alteran la síntesis de colágeno y aumentan la laxitud ligamentaria.	Débil/Controvertido (Nivel III)

BASES ANATÓMICAS Y FISIOPATOLÓGICAS

La anatomía quirúrgica del LCA requiere una comprensión milimétrica de sus huellas de inserción (footprints). A nivel femoral, la inserción adopta una forma ovalada en la pared medial del cóndilo femoral lateral. Las referencias artroscópicas críticas incluyen la cresta intercondílea lateral (línea de residente o *Resident's Ridge*), que marca el límite anterior de la huella, y la cresta bifurcada, que separa el haz anteromedial (AM) del posterolateral (PL). A nivel tibial, la huella es más amplia y se ubica entre las espinas tibiales, posterior al cuerno anterior del menisco lateral y anterior a la raíz del menisco medial. La vascularización nativa depende predominantemente de la arteria genicular media, mientras que la propiocepción (corpúsculos de Ruffini y Pacini) está mediada por el nervio articular posterior, rama del nervio tibial.

La fisiopatología tras la ruptura del LCA impide una cicatrización espontánea debido a la disolución del coágulo de fibrina por la plasmina presente en el líquido sinovial. Tras una reconstrucción quirúrgica, el injerto (ya sea auto o aloinjerto) es avascular y carece de inervación, sometándose a un complejo proceso biológico conocido como **ligamentización**, que consta de cuatro fases superpuestas:

- 1. Fase de Necrosis Temprana (0-4 semanas):** Hipocelularidad masiva por isquemia del tejido implantado.
- 2. Fase de Revascularización (4-12 semanas):** Angiogénesis proveniente de la almohadilla grasa infrapatelar y el tejido sinovial periférico.
- 3. Fase de Proliferación Celular (3-6 meses):** Infiltración de fibroblastos y repoblación celular máxima; el injerto es biomecánicamente más vulnerable (el *nadir* de resistencia estructural).
- 4. Fase de Remodelación (6-24 meses):** Reorganización de las fibras de colágeno (transición de colágeno tipo III a tipo I), asumiendo propiedades viscoelásticas similares al ligamento

original, aunque nunca idénticas.

Las lesiones asociadas ocurren en hasta el 60-75% de las rupturas agudas. Destacan las lesiones meniscales (predominantemente del menisco lateral en el evento agudo, y del medial en la cronicidad). Un concepto emergente crítico es la lesión de la *rampa meniscal* (lesión de la unión meniscocapsular posterior medial), presente en hasta el 24% de los casos y a menudo no visible en los portales artroscópicos estándar, requiriendo visualización transcondílea o posteromedial. Asimismo, las lesiones de la cápsula anterolateral (Ligamento Anterolateral - ALL) son responsables de la inestabilidad rotacional residual de alto grado (Pivot shift explosivo).

EVALUACIÓN CLÍNICA Y POR IMÁGENES

La anamnesis de una rodilla con sospecha de lesión del LCA debe ser minuciosa. El paciente relata clásicamente la percepción de un chasquido audible (*pop*) en el momento del trauma, seguido de incapacidad para continuar la actividad deportiva, sensación de fallo articular ("la rodilla se va") y la aparición de un hemartros de instauración rápida (dentro de las primeras 2-12 horas). La persistencia de inflamación y episodios repetitivos de pseudo-bloqueos en el tiempo sugieren cronicidad y patología meniscal sobreañadida.

El examen físico sigue siendo la piedra angular diagnóstica, debiendo realizarse comparativamente con la extremidad contralateral sana.

- **Test de Lachman:** Se realiza a 20-30° de flexión. Evalúa la restricción primaria del haz AM. Su alta sensibilidad se debe a que evita la restricción secundaria de los meniscos que ocurre en flexión profunda. Se debe evaluar el grado de excursión y la calidad del tope final (firme vs. blando).
- **Test de Cajón Anterior:** Realizado a 90° de flexión. Posee menor sensibilidad en el evento agudo debido al espasmo de los isquiotibiales y al efecto de cuña del cuerno posterior del menisco medial.

- **Pivot Shift (Prueba de desplazamiento del pivote):** Es la prueba patognomónica de inestabilidad rotacional (haz PL y estructuras anterolaterales). Reproduce la subluxación anterior de la tibia en extensión y su reducción abrupta alrededor de los 20-30° de flexión por tracción del tracto iliotibial. Difícil de elicitar en el paciente despierto por defensa muscular.
- **Artrómetros (KT-1000/2000):** Permiten una cuantificación objetiva en milímetros de la traslación anteroposterior. Una diferencia >3 mm respecto al lado sano es diagnóstica de incompetencia ligamentaria.

La evaluación funcional estandarizada mediante escalas validadas es obligatoria. Se recomiendan el *International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Form*, la escala de Lysholm y el *KOOS (Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score)* para la línea base y el seguimiento seriado.

La Resonancia Magnética (RM) es el patrón de oro imagenológico. Los hallazgos primarios incluyen la discontinuidad de las fibras, edema intersticial y el "signo de la muesca vacía" en cortes sagitales. Los signos secundarios son altamente sugestivos e incluyen el patrón clásico de contusión ósea (*bone bruise*) en el cóndilo femoral lateral y el platillo tibial posterolateral, producto del impacto óseo por la subluxación durante el trauma, además de la angulación anormal del ligamento cruzado posterior (signo del ángulo del LCP).

Tabla 2: Sensibilidad y especificidad de pruebas clínicas para lesión de LCA

Prueba Clínica / Imagenológica	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)	Utilidad Clínica Principal
Prueba de Lachman	85 - 95%	94 - 98%	Diagnóstico inicial / traslación anteroposterior.

Cajón Anterior	49 - 74%	95%	Evaluación de laxitud en cronicidad / rotura masiva.
Pivot Shift	24 - 32% (Despierto) 80-90% (Anestesiado)	98 - 100%	Determinar grado de inestabilidad rotacional. Guía necesidad de plastia extraarticular.
Resonancia Magnética (3.0 T)	94 - 98%	94 - 98%	Confirmación diagnóstica, evaluación de muñón y planificación preoperatoria por lesiones asociadas.

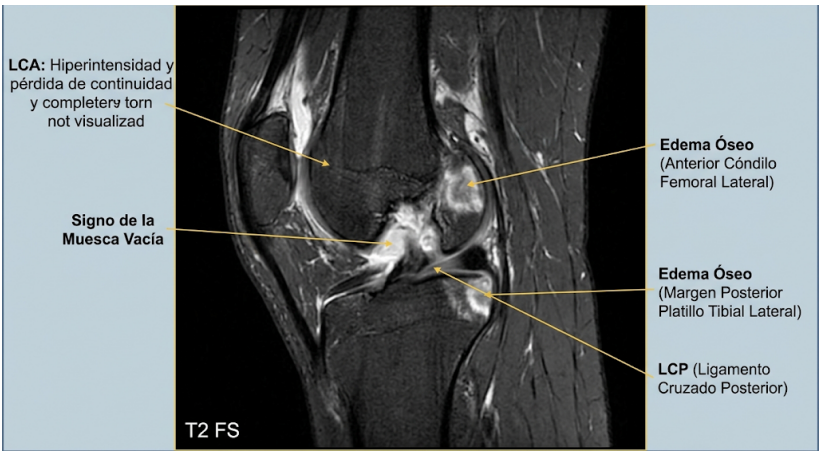


IMAGEN: Corte sagital de Resonancia Magnética de rodilla potenciado en T2 con saturación grasa (FS). La descripción visual debe mostrar hiperintensidad (edema) y pérdida de continuidad del LCA ("signo de la muesca vacía"), acompañado de edema óseo agudo (zonas blancas brillantes) en

la porción anterior del cóndilo femoral lateral y en el margen posterior del platillo tibial lateral (patrón de contusión del Pivot Shift).

CRITERIOS QUIRÚRGICOS / INDICACIONES

La decisión de realizar una reconstrucción del LCA no debe basarse exclusivamente en la presencia de la ruptura imagenológica, sino en una matriz clínica que integre la edad del paciente, nivel de actividad física, presencia de lesiones estructurales asociadas, laxitud articular intrínseca y las expectativas del individuo. El objetivo terapéutico fundamental es restaurar la estabilidad para permitir el retorno a las actividades deseadas y proteger las estructuras secundarias (meniscos y cartílagos) de un deterioro prematuro.

Indicaciones absolutas: Atletas jóvenes de alta demanda que participan en deportes de contacto, pivoteo y corte (Nivel I y II de salto/giro, e.g., fútbol, baloncesto, esquí). Pacientes con rodillas clínicamente inestables que experimentan episodios repetitivos de fallo articular en actividades de la vida diaria (inestabilidad funcional). La presencia de lesiones reparables asociadas, como desgarros meniscales en "asa de balde", avulsiones osteocondrales o lesiones multiligamentarias, exige un abordaje quirúrgico precoz integral.

Indicaciones relativas / Manejo conservador: Pacientes de mayor edad con baja demanda física, estilo de vida sedentario o deportes lineales (Nivel III, e.g., ciclismo, natación lineal), que no presentan sensación de inestabilidad en su cotidianidad (los denominados *copers*). En estos pacientes, un programa estructurado de rehabilitación neuromuscular puede ser suficiente, evidenciado en la literatura por el ensayo KANON (aunque un alto porcentaje termina cruzando al grupo quirúrgico a los 2-5 años por inestabilidad tardía).

Timing Quirúrgico: La evidencia actual contraindica la reconstrucción inmediata en la rodilla aguda inflamada. Operar una rodilla con hemartros a tensión, dolor agudo y déficit de extensión

incrementa dramáticamente el riesgo de artrofibrosis (Síndrome de cóclope). El "timing" óptimo (habitualmente de 3 a 6 semanas post-lesión) requiere que la rodilla recupere el rango de movimiento completo (especialmente la hiperextensión), un control cuadricipital activo y una disminución significativa del derrame. La única excepción a esta regla es el bloqueo articular mecánico verdadero (ej. asa de balde luxada intercondílea).

Tabla 3: Criterios de indicación quirúrgica vs. manejo conservador

Variable / Criterio	Favorece Manejo Quirúrgico (Reconstrucción)	Favorece Manejo Conservador (Rehabilitación)
Nivel de Actividad	Deportes Nivel I/II (fútbol, baloncesto, esquí).	Deportes Nivel III/IV (ciclismo, natación, sedentarismo).
Edad Biológica	Jóvenes y adultos activos (< 40-45 años).	Adultos mayores con artrosis preexistente incipiente.
Inestabilidad Clínica	Episodios de fallo articular recurrente; Pivot Shift +2/+3.	Sin episodios de fallo; Pivot Shift ausente o leve (Coper).
Lesiones Asociadas	Lesión meniscal reparable, lesión de LLI grado III.	Lesión aislada del LCA sin bloqueo mecánico.
Motivación y Adherencia	Dispuesto a >9 meses de rehabilitación estricta.	Incapacidad para cumplir fisioterapia postoperatoria.

TÉCNICA QUIRÚRGICA / PROCEDIMIENTO

La reconstrucción intraarticular del LCA exige precisión geométrica. La premisa fundamental moderna es la **reconstrucción**

anatómica, definiendo "anatómico" como el posicionamiento de los túneles óseos en el centro exacto de las huellas de inserción nativas, restaurando así la cinemática articular en los seis grados de libertad.

Selección del Injerto:

La decisión del injerto es multifactorial. Los autoinjertos son el estándar de oro primario.

- **Hueso-Tendón-Hueso (HTH o BPTB):** Consiste en el tercio central del tendón patelar con tacos óseos. Favorecido en atletas de élite por su cicatrización hueso-hueso ultrarrápida (6-8 semanas) y fijación rígida inicial. Su desventaja crítica es la morbilidad de la zona donante: dolor anterior crónico, riesgo de tendinopatía o fractura patelar.
- **Isquiotibiales (Semitendinoso y Gracilis - HT):** Técnica de cuádruple banda. Menor morbilidad extensora y excelente tamaño. No obstante, se asocia con pérdida de fuerza de flexión profunda, ensanchamiento del túnel y altas tasas de elongación en pacientes mujeres jóvenes y con hiperlaxitud generalizada (Score de Beighton alto).
- **Tendón Cuadricipital (TC):** El injerto de mayor crecimiento en la última década. Ofrece un área de sección transversal robusta (superior al HTH), 20% más de colágeno por gramo, y menor dolor de rodilla anterior. Puede tomarse con o sin bloque óseo patelar. Actualmente, múltiples consensos lo posicionan como el autoinjerto ideal en primarias y revisiones.
- **Aloinjertos (Cadáver):** Alta tasa de fallo en <25 años por esterilización por irradiación y retardo en ligamentización. Su uso se restringe a pacientes mayores de 40 años, cirugía multiligamentaria o revisiones complejas.

Procedimiento Quirúrgico (Paso a Paso):

1. **Examen bajo Anestesia y Portales:** Confirmación del Pivot shift. Establecimiento de portales anterolateral (visión) y

anteromedial accesorio bajo (instrumentación), crucial para la técnica de perforación femoral independiente.

2. **Preparación de los Túneles:**

- *Túnel Femoral:* El paradigma ha cambiado de la técnica transtibial (que resulta en un túnel femoral no anatómico y vertical) hacia técnicas independientes (*Transportal* o *Outside-In*). El túnel se posiciona a las 10 o 10:30 (rodilla derecha) en la pared lateral, inferior a la línea de residente.
- *Túnel Tibial:* Guía a 55°, entrada medial a la tuberosidad tibial, salida en el centro geométrico de la huella, preservando el cuerno anterior del menisco lateral.

3. **Paso y Fijación del Injerto:** La fijación femoral suele realizarse mediante dispositivos suspensorios de asa ajustable (botones corticales), mientras que la fijación tibial emplea tornillos interferenciales (biocompuestos o de PEEK) o fijación con grapas/suturas en poste. La tensión óptima (~20 lbs para isquiotibiales) se aplica a 20-30° de flexión.

4. **Procedimientos Extraarticulares (Tenodesis Anterolateral - LET / Reconstrucción ALL):** En pacientes con Pivot shift explosivo (grado 3), mujeres jóvenes hiperlaxas o cirugías de revisión, la adición de un refuerzo extraarticular (técnica de Lemaire modificada) reduce significativamente la tensión rotacional sobre el injerto intraarticular intraoperatoriamente y la tasa de re-ruptura a largo plazo.

Las complicaciones intraoperatorias incluyen el estallido del taco óseo, el paso falso de pines (blow-out de cortical posterior) y lesiones iatrogénicas del cartílago, que requieren manejo expedito con fijación alternativa (ej. tornillos de rescate de mayor diámetro) o cambio a injerto suplementario.

Tabla 4: Comparación de tipos de injerto: ventajas, desventajas y tasas de re-ruptura

Tipo de Injerto	Ventajas Clínico-Quirúrgicas	Desventajas / Riesgos	Tasa de Re-ruptura (Primaria)
Autoinjerto HTH (Patelar)	Consolidación hueso-hueso rápida; fijación inicial rígida; excelente para alta demanda.	Dolor anterior de rodilla (20%); riesgo de fractura patelar; déficit de extensión.	4 - 8%
Autoinjerto Isquiotibiales	Incisión estética; menor dolor rotuliano anterior; injerto moldeable de gran diámetro.	Mayor laxitud residual; debilidad de isquiotibiales (flexores profundos); ensanchamiento de túneles.	6 - 12%
Autoinjerto Cuadricipital	Tejido denso y resistente; morbilidad del donante muy baja; preserva propiocepción de isquiotibiales.	Técnica de extracción más curva de aprendizaje; riesgo de debilidad cuadricipital temprana.	4 - 7%

Aloinjer o (Variado)	Sin morbilidad de zona donante; incisiones menores; tiempo quirúrgico reducido.	Integración biológica muy lenta; alta falla en jóvenes; riesgo mínimo de transmisión de patógenos.	15 - 25% (en < 25 años)
----------------------------	---	--	-------------------------

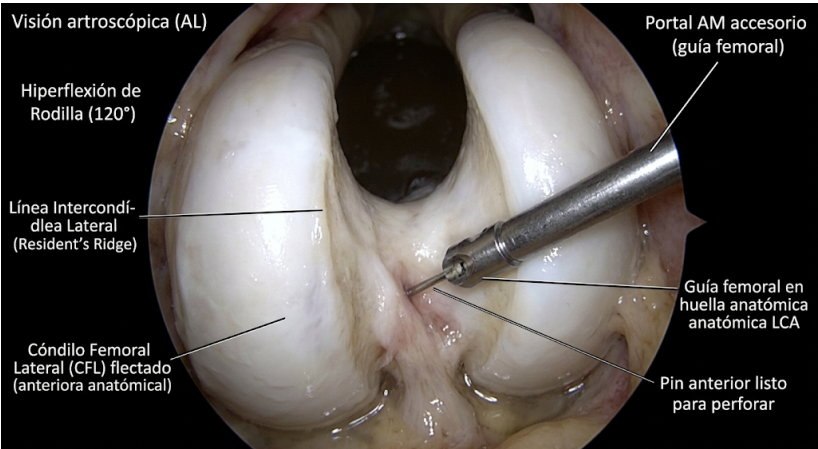


IMAGEN: Visión artroscópica (portal anterolateral) intraoperatoria mostrando la guía de perforación femoral a través del portal anteromedial accesorio (transportal). La guía se apoya sobre el cartilago posterior del cóndilo femoral lateral, apuntando al centro anatómico de la huella por debajo de la línea intercondílea lateral (Resident's Ridge), con la rodilla hiperflexionada a 120° para proteger el nervio peroneo y facilitar la salida del pin anterior.

REHABILITACIÓN Y CRITERIOS DE RETORNO DEPORTIVO

El éxito de una reconstrucción quirúrgica perfecta puede destruirse con un protocolo de rehabilitación deficiente o un alta prematura. El proceso ha abandonado los cronogramas puramente temporales en favor de un enfoque guiado por objetivos biológicos y funcionales (Criterios de progresión).

Fases de la Rehabilitación:

1. **Fase de Protección Máxima (0-4 semanas):** Los objetivos son mitigar el derrame, activar el cuádriceps (evitar inhibición artrogénica), restaurar la extensión completa simétrica a la contralateral y proteger la cicatrización temprana.
2. **Fase de Movilidad y Fuerza Base (4-12 semanas):** Recuperación de la flexión completa, reeducación de la marcha normal. Inicio de cadena cinética cerrada controlada (sentadillas, prensa). Se restringe la cadena cinética abierta intensa de extensión terminal ($0-30^\circ$) si se usó autoinjerto HTH, para proteger el sitio patelar, y para no estresar el injerto durante su fase de necrosis.
3. **Fase de Fortalecimiento Avanzado y Propiocepción (3-6 meses):** Hipertrofia muscular; balance pélvico y ejercicios de perturbación. El injerto transita por su fase de mayor debilidad (proliferación); se evitan torsiones bruscas.
4. **Fase de Pliometría y Agilidad (6-9 meses):** Integración de carrera recta, saltos controlados y mecánica de aterrizaje.
5. **Fase de Retorno Deportivo Específico (9+ meses):** Simulaciones de la dinámica del deporte (cortes, pivotes defensivos, reacción a estímulos externos).

Criterios de Retorno Deportivo (Return To Play - RTP):

El Consenso Internacional de Panther (2020) y las guías ESSKA enfatizan que ningún atleta debe retornar al deporte competitivo de pivote antes de los 9 meses postoperatorios. Por cada mes que se retrasa el retorno hasta los 9 meses, el riesgo de re-ruptura se reduce en un 51%.

La decisión es multidisciplinaria e integra:

- **Criterios Isocinéticos:** El Índice de Simetría del Miembro (LSI - *Limb Symmetry Index*) del cuádriceps y de los isquiotibiales debe ser $\geq 90\%$ (o $\geq 95\%$ para atletas de élite) a velocidades angulares de $60^\circ/\text{s}$, $180^\circ/\text{s}$ y $300^\circ/\text{s}$, comparado con el miembro sano.
- **Pruebas Funcionales (Hop Tests):** Single hop, Triple hop, Crossover hop y 6-meter timed hop deben mostrar una

simetría $\geq 90\%$ combinada con evaluación cualitativa (biomecánica del aterrizaje sin valgo dinámico).

- **Criterios Psicológicos:** Es vital. La kinesiophobia (miedo a la re-lesión) es la principal causa por la cual los atletas que alcanzan aptitud física no regresan a su nivel previo. Escalas como la ACL-RSI (*Anterior Cruciate Ligament Return to Sport After Injury*) con puntuaciones $>65-75$ son predictoras de retorno exitoso.

Tabla 5: Criterios de retorno deportivo basados en evidencia — Batería de pruebas

Criterio de Evaluación	Parámetro de Aprobación para Retorno (RTP)	Justificación Fisiomecánica
Tiempo Postoperatorio	Mínimo 9 meses (Idealmente 10-12 en jóvenes).	Permite la fase de remodelación del injerto (maduración del colágeno).
Dinamometría Isocinética	LSI de Cuádriceps e Isquiotibiales $\geq 90\%$.	Fuerza necesaria para la desaceleración excéntrica y estabilización dinámica.
Hop Tests (Batería de 4 pruebas)	Simetría de distancia/ tiempo $\geq 90\%$ + Aterrizaje estable.	Evalúa la cadena neuromuscular, propiocepción y tolerancia a la carga pliométrica.
Evaluación Psicológica	Score ACL-RSI ≥ 75 puntos.	Superación del miedo al movimiento y confianza en el miembro operado frente a carga articular imprevista.

Rango de Movimiento / Derrame	Extensión simétrica / Sin derrame (Trace 0).	Garantiza que no hay irritación articular ni pinzamiento mecánico con carga de impacto.
-------------------------------	--	---

PRONÓSTICO Y SEGUIMIENTO A LARGO PLAZO

El pronóstico tras una reconstrucción anatómica es generalmente favorable respecto a la estabilidad sintomática, permitiendo un retorno al deporte en el 81% de los casos (aunque solo el 65% retorna a su nivel pre-lesional competitivo).

Las tasas de re-ruptura del injerto varían entre 5% y 10% en adultos, escalando dramáticamente hasta un 25-30% en cohortes pediátricas y adolescentes con retorno prematuro. Paradójicamente, a los 5 años de seguimiento, la incidencia de ruptura del LCA contralateral suele superar estadísticamente a la ruptura del injerto ipsilateral, lo cual subraya la persistencia de los defectos neuromusculares y anatómicos base.

En cuanto a la preservación articular, la evidencia a 10 y 15 años demuestra que la reconstrucción previene la degeneración secundaria de los meniscos limitando la inestabilidad. Sin embargo, no protege completamente contra el desarrollo de osteoartritis postraumática. Hasta un 50% de los pacientes desarrollarán cambios degenerativos radiográficos a los 10-15 años, un riesgo que se dispara logarítmicamente si la lesión primaria incluyó una menisectomía subtotal.

El seguimiento clínico e imagenológico debe extenderse al menos por dos años. Se recomiendan evaluaciones de fuerza semestrales tras el alta deportiva y, ante signos de dolor persistente, el uso de RM para valorar la integridad de la osteointegración del túnel, la intensidad de señal del neo-ligamento y la salud del cartílago.

PUNTOS CLAVE / PERLAS CLÍNICAS

- **Abordaje Anatómico:** La reconstrucción intraarticular debe posicionar los túneles en el centro de las huellas de inserción nativas. La técnica transtibial clásica resulta frecuentemente en túneles femorales no anatómicos y fallos rotacionales.
- **Selección Individualizada:** El tendón cuadricipital emerge como el injerto primario de elección equilibrando biomecánica y baja morbilidad, desplazando paulatinamente al HTH y a los isquiotibiales en diversos centros de referencia mundiales.
- **Patología Meniscal Oculta:** Es mandatorio inspeccionar sistemáticamente el compartimento posteromedial para descartar lesiones de la "rampa meniscal", las cuales aumentan significativamente las fuerzas sobre el neoligamento si se dejan sin tratar.
- **SopORTE Extraarticular:** En pacientes de alto riesgo (adolescentes, hiperlaxos, Pivot shift grado III), añadir una tenodesis anterolateral (LET) disminuye drásticamente el estrés sobre el injerto durante la fase de ligamentización y la tasa global de falla.
- **Respetar la Biología (Timing):** Retornar al deporte antes de los 9 meses postoperatorios es el mayor factor de riesgo iatrogénico modificable para la re-ruptura.
- **Alta Multidimensional:** El RTP no es un alta médica de consultorio; exige pruebas isocinéticas (LSI >90%), funcionales (Hop tests >90%) y validación psicológica (ACL-RSI).

BIBLIOGRAFÍA

1. Diermeier T, Rothrauff BB, Engebretsen L, Lynch AD, Ayeni OR, Paterno MV, et al. Treatment after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(8):2390-2402. DOI: 10.1007/s00167-020-06012-6.
2. Getgood AMJ, Bryant DM, Litchfield R, Heard M, McCormack RG, Rezansoff A, et al. Lateral Extra-articular Tenodesis Reduces Failure of Hamstring Tendon Autograft

- Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: 2-Year Outcomes from the STABILITY Study Randomized Clinical Trial. *Am J Sports Med.* 2020;48(2):285-297. DOI: 10.1177/0363546519896333.
3. Musahl V, Getgood A, Neyret P, Claes S, Burnham JM, Batailler C, et al. Contributions of the anterolateral complex and the anterolateral ligament to rotatory knee stability in the setting of ACL injury: a roundtable discussion. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(4):997-1008. DOI: 10.1007/s00167-017-4436-7.
 4. Mouarbes D, Menetrey J, Marot V, Courtot L, Berard E, Cavaignac E. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Outcomes for Quadriceps Tendon Autograft Versus Bone-Patellar Tendon-Bone and Hamstring-Tendon Autografts. *Am J Sports Med.* 2019;47(14):3531-3540. DOI: 10.1177/0363546518825340.
 5. Webster KE, Feller JA. Exploring the High Reinjury Rate in Younger Patients Undergoing Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2016;44(11):2827-2832. DOI: 10.1177/0363546516651845.
 6. Sonnery-Cottet B, Saithna A, Cavalier M, Kajetanek C, Temponi EF, Daggett M, et al. Anterolateral Ligament Reconstruction Is Associated With Significantly Reduced ACL Graft Rupture Rates at a Minimum Follow-up of 2 Years: A Prospective Comparative Study of 502 Patients With the Bone-Patellar Tendon-Bone Autograft. *Am J Sports Med.* 2017;45(7):1547-1557. DOI: 10.1177/0363546516686057.
 7. Pioger C, Galiand JP, Ferreira A, Bothorel H, Defroda SF, Sonnery-Cottet B. Ramp Lesions of the Medial Meniscus: An Evidenced-Based Review on Diagnostics, Biomechanics, and Treatment. *Am J Sports Med.* 2022;50(12):3440-3450. DOI: 10.1177/03635465211051515.
 8. Ardern CL, Glasgow P, Meyer A, Hansen L, Bizzini M, Snyder-Mackler L, et al. 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical

- Therapy, Bern. *Br J Sports Med.* 2016;50(14):853-864. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096278.
9. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med.* 2016;50(13):804-808. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096031.
 10. Razi M, Ziai P, Ziaee M, Aslani H, Omid Kashani F. The Rise of Quadriceps Tendon Autograft in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Arthroscopy.* 2023;39(1):153-165. DOI: 10.1016/j.arthro.2022.08.012.
 11. van der List JP, DiFelice GS. Primary repair of the anterior cruciate ligament: A paradigm shift. *Int J Surg.* 2016;34:10-11. DOI: 10.1016/j.ijssu.2016.08.524.
 12. Davies L, Kelly M, O'Gorman R. Patient-Reported Outcomes and Psychological Readiness in ACL Reconstruction: The Role of the ACL-RSI Score. *Knee.* 2021;32:115-121. DOI: 10.1016/j.knee.2021.07.003.

Rehabilitación Postoperatoria, Criterios de Retorno Deportivo (Return to Play) y Prevención

María Gabriela Táquez Carbo

INTRODUCCIÓN

La reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) representa uno de los procedimientos quirúrgicos más frecuentes en la ortopedia y traumatología deportiva a nivel mundial. Sin embargo, el éxito del tratamiento no se fundamenta exclusivamente en la restitución anatómica y la fijación biomecánica intraoperatoria del injerto, sino en la integración biológica progresiva y en la recuperación funcional del sistema neuromuscular de la extremidad inferior. Este capítulo aborda de manera exhaustiva el espectro postoperatorio, enfocándose en la rehabilitación basada en evidencia, los criterios estrictos de retorno deportivo (*Return to Play* - RTP) y las estrategias de prevención de re-rupturas.

El contexto patológico de la lesión del LCA ha evolucionado. Históricamente, el alta médica se dictaba por el paso del tiempo cronológico (típicamente seis meses). En la actualidad, la evidencia científica imperativa de consensos internacionales (como el Consenso Panther y las guías de la ESSKA y AOSSM) ha provocado un cambio de paradigma hacia un enfoque basado en criterios funcionales, biológicos y psicológicos. La relevancia clínico-quirúrgica de este abordaje radica en que la tasa de re-ruptura y de

lesión contralateral en atletas jóvenes menores de 25 años que retornan a deportes de pivote puede alcanzar alarmantemente hasta un 25-30% si no se respetan las fases biológicas.

La justificación de este capítulo dentro de la presente obra es proveer al cirujano ortopedista, al médico del deporte y al fisioterapeuta un marco teórico y eminentemente práctico. Se detallarán las implicaciones de las decisiones intraoperatorias sobre los tiempos de rehabilitación, las herramientas de evaluación neuromotriz y las pautas para dictaminar un retorno deportivo seguro, minimizando el riesgo de osteoartrosis postraumática y garantizando la viabilidad de la carrera atlética a largo plazo.

EPIDEMIOLOGÍA Y BIOMECÁNICA APLICADA

Datos Epidemiológicos

La lesión del LCA tiene una incidencia global estimada de 30 a 78 casos por cada 100,000 personas al año, presentando picos significativos en la población atlética adolescente y en adultos jóvenes (15 a 25 años). En Latinoamérica, aunque los registros nacionales carecen de la homogeneidad de los países escandinavos, estudios epidemiológicos regionales de centros de trauma deportivo indican cifras crecientes proporcionales al aumento de la participación en deportes de contacto y pivote como el fútbol. Destaca una incidencia de 2 a 8 veces mayor en atletas femeninas en deportes comparables, atribuida a factores multifactoriales que se detallarán a continuación.

Mecanismo Lesional y Cinemática

El 70-80% de las lesiones del LCA ocurren mediante un mecanismo de no contacto. Biomecánicamente, la lesión se produce en una posición de desaceleración brusca con la rodilla en ligera flexión (0 a 30 grados), asociado a un valgo dinámico forzado y rotación interna de la tibia con respecto al fémur (posición de no retorno). Durante esta maniobra excéntrica, el músculo cuádriceps ejerce un vector de fuerza traslacional anterior sobre la tibia proximal, superando la resistencia tensil del LCA (aproximadamente 2160 Newtons en un adulto joven sano).

Factores de Riesgo

Los factores de riesgo se dividen en intrínsecos y extrínsecos. Entre los intrínsecos anatómicos destacan un surco intercondíleo estrecho (*índice notch* < 0.20), incremento de la pendiente tibial posterior (*posterior tibial slope* > 12 grados), hiperlaxitud ligamentaria generalizada y alteraciones neuromusculares (dominancia de cuádriceps sobre isquiotibiales). Los factores extrínsecos incluyen la fricción del calzado (tacos de alta tracción sobre césped artificial de tercera generación) y las condiciones climáticas.

TABLA 1: Factores de riesgo / Variables biomecánicas y nivel de evidencia

Factor de Riesgo / Variable	Descripción y Mecanismo Biomecánico	Nivel de Evidencia
Pendiente Tibial Posterior	Pendiente > 12º incrementa la traslación anterior de la tibia bajo carga axial compresiva.	Nivel I (Alto)
Dominancia de Cuádriceps	Desequilibrio en el ratio isquiotibiales/cuádriceps (H/Q ratio < 60%). Falla en frenar la traslación anterior.	Nivel II (Moderado)
Valgo Dinámico / Cadera	Debilidad del glúteo medio que induce aducción y rotación interna del fémur durante el aterrizaje (<i>drop jump</i>).	Nivel I (Alto)
Índice Intercondíleo	<i>Notch width index</i> < 0.20 (estenosis) favorece el pinzamiento (<i>impingement</i>) del LCA en extensión.	Nivel II (Moderado)
Factores Hormonales (Mujeres)	Fluctuaciones de estrógenos/relaxina en fase preovulatoria reducen la rigidez tensil del ligamento.	Nivel III (Controvertido)

Superficie / Calzado	Alto coeficiente de fricción rotacional (botas de tacos cónicos vs. laminados en césped sintético).	Nivel II (Moderado)
----------------------	---	---------------------

BASES ANATÓMICAS Y FISIOPATOLÓGICAS

Anatomía Quirúrgica y Biomecánica de los Haces

El LCA no es un cordón isométrico simple, sino una estructura compleja compuesta por dos fascículos principales dictaminados por su inserción tibial anatómica (*Terminología Anatómica*): el fascículo anteromedial (AM) y el fascículo posterolateral (PL).

- **Fascículo Anteromedial (AM):** Se tensa predominantemente en flexión (entre 45° y 90°) y es el principal restrictor de la traslación anterior del cajón anterior.
- **Fascículo Posterolateral (PL):** Se tensa en extensión completa e hiperextensión. Su función primordial es el control rotacional y la resistencia a las cargas en valgo y pivote.

La inserción femoral se localiza en la pared posteromedial del cóndilo femoral externo, ocupando un área ovalada (*footprint*) que el cirujano debe reproducir para lograr una reconstrucción anatómica que devuelva la estabilidad cinemática tridimensional.

Proceso de Ligamentización del Injerto

La fisiopatología postoperatoria está gobernada por el proceso de maduración biológica del injerto (ya sea tendón rotuliano o isquiotibiales), conocido como **ligamentización**, descrito clásicamente por Amiel et al. Este proceso es fundamental para comprender las limitaciones del avance acelerado en la rehabilitación. Se divide en tres fases histológicas continuas:

1. **Fase de Necrosis Temprana (0 - 4 semanas):**
Hipocelularidad severa, necrosis isquémica central del tejido injertado, perdiendo el 50% de su fuerza biomecánica inicial.
2. **Fase de Revascularización y Proliferación (4 - 12 semanas):**
Invasión de fibroblastos y neoangiogénesis celular mediada por citoquinas sinoviales. El injerto alcanza su punto biomecánico más débil (nadir estructural, o "fase de vulnerabilidad"). Aquí ocurren la mayoría de elongaciones iatrogénicas si la rehabilitación es hiperactiva.
3. **Fase de Maduración (3 meses - 2 años):**
Reorganización del colágeno (cambio de tipo III a tipo I), recuperación del patrón de *crimp* colagénico y reinervación gradual por mecanorreceptores (corpúsculos de Ruffini y Pacini), restaurando parcialmente la propiocepción.

Lesiones Asociadas

Las patologías concomitantes alteran drásticamente la evolución. Las lesiones del cuerno posterior del menisco interno o externo (como las *ramp lesions* o rupturas de la raíz meniscal) obligan a restringir la flexión profunda ($>90^\circ$) bajo carga y demoran el apoyo bipodal total. Asimismo, la incompetencia del ligamento anterolateral (ALL) exige, en casos seleccionados, una tenodesis extraarticular, lo que paradójicamente protege el injerto central y permite una rehabilitación un poco más confiada en cuanto al estrés rotacional.

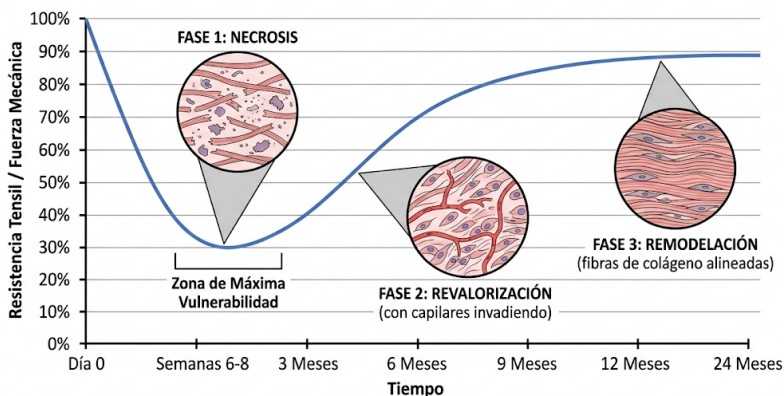


IMAGEN 1: Diagrama Fisiopatológico del Proceso de Ligamentización

Crear una gráfica temporal bivariada. El eje X representa el tiempo (de 0 meses a 24 meses). El eje Y representa la "Resistencia Tensil / Fuerza Mecánica" (en porcentaje del 0 al 100%). Mostrar una curva de color azul que comienza en 100% el día 0, cae dramáticamente al 30-40% alrededor de la semana 6-8 (marcar como "Zona de Máxima Vulnerabilidad"), y luego asciende de forma sigmoidea hasta estabilizarse en un 80-90% a los 12-24 meses. Insertar tres cortes histológicos esquemáticos en los puntos clave correspondientes a las fases de: 1. Necrosis, 2. Revascularización (con capilares invadiendo) y 3. Remodelación (fibras de colágeno alineadas).

EVALUACIÓN CLÍNICA Y POR IMÁGENES

Anamnesis Dirigida

El interrogatorio del paciente con sospecha de falla de injerto o en fase de RTP debe ser meticuloso. Es imperativo recabar el mecanismo exacto de trauma original, sensación de "chasquido" pop o fallo (*giving way*). En el escenario postoperatorio, el derrame articular recurrente es el signo clínico más sensible de sobrecarga condral o distensión del injerto. Se debe evaluar la presencia de dolor anterior de rodilla (particularmente si se usó HTH) y el componente de kinesiofobia o miedo al re-lesionarse.

Examen Físico y Artrometría

El examen clínico sigue siendo el pilar diagnóstico, de los cuales tres maniobras son mandatorias:

- **Test de Lachman:** Se realiza a 20-30° de flexión. Evalúa predominantemente el fascículo anteromedial (o el injerto en bloque). Se clasifica en grados de milimetraje respecto a la rodilla sana y se debe reportar la calidad del tope (*endpoint* duro o blando).
- **Pivot Shift Test:** Es la prueba más específica (98%) y correlaciona de manera directa con la inestabilidad funcional del paciente. Traduce la subluxación anterior de la tibia en extensión y su reducción abrupta mediada por la banda iliotibial alrededor de los 30° de flexión.
- **Dial Test:** Útil para descartar inestabilidad posterolateral asociada. Evaluado a 30° y 90° de flexión, comparando la rotación externa tibial.

Para cuantificar objetivamente la laxitud, la artrometría con **KT-1000/2000 o Rolimeter** es estándar de oro en investigación.

Se aplica una fuerza de 133 N (30 lbs). Una diferencia de lado a lado > 3 mm (delta) sugiere elongación o falla estructural del injerto.

Scores Funcionales y Psicológicos

Los cuestionarios estandarizados (PROMs) son vitales en la monitorización. El **Lysholm Score** y el **IKDC Subjetivo** evalúan la percepción funcional diaria e inestabilidad del paciente. Sin embargo, en el contexto deportivo actual, el **ACL-RSI** (*Anterior Cruciate Ligament - Return to Sport After Injury*) es una herramienta psicológica indispensable. Pacientes con un ACL-RSI inferior a 65 puntos tienen un pronóstico desfavorable para retornar a su nivel de juego previo, independientemente del éxito anatómico, debido a inhibición neurofisiológica y miedo consciente. El **KOOS** es de utilidad superior a largo plazo para monitorizar desarrollo temprano de osteoartritis.

Resonancia Magnética (RM)

La evaluación imagenológica postoperatoria busca confirmar la integridad del injerto. Los hallazgos de un injerto maduro sano incluyen una señal homogénea hipointensa (oscura) en secuencias T2/DP coronal y sagital, con trayecto rectilíneo, sin pinzamiento intercondíleo.

TABLA 2: Sensibilidad y especificidad de pruebas clínicas para lesión/falla de LCA

Prueba Clínica / Instrumental	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)	Hallazgo Positivo (Criterio)
Prueba de Lachman	85 - 94%	88 - 95%	Tope blando / Ausente, asimetría
Pivot Shift Test	24 - 32% (paciente despierto)	97 - 99%	Reducción brusca / Salto palpable

Prueba de Cajón Anterior	49 - 62%	88 - 91%	Desplazamiento > 5 mm a 90° flex
Artrometría KT-1000 (133 N)	89 - 92%	93 - 95%	Diferencia lado-lado > 3 mm
Resonancia Magnética (T2)	90 - 97%	95 - 100%	Discontinuidad de fibras, hiperintensidad

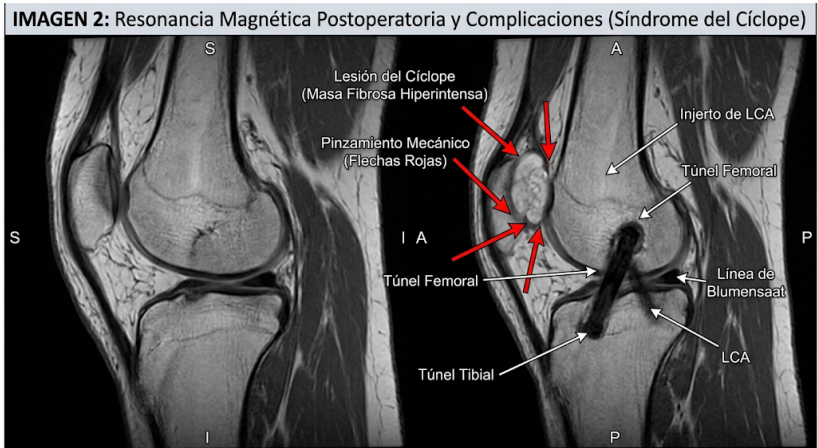


IMAGEN 2: Resonancia Magnética Postoperatoria y Complicaciones
 Renderizar una imagen de Resonancia Magnética (RM) en corte sagital ponderada en Densidad Protónica (DP). Mostrar un túnel tibial y femoral correctamente ubicados. En la porción anterior del injerto, justo anterior a la línea de Blumensaat en la escotadura intercondílea, dibujar una masa nodular fibrosa e hiperintensa característica del "Síndrome del Cíclope" (Cyclops lesion), bloqueando la extensión completa de la rodilla. Añadir flechas indicativas de color rojo señalando el pinzamiento mecánico.

CRITERIOS QUIRÚRGICOS / INDICACIONES

Indicaciones y Toma de Decisiones

La decisión entre tratamiento conservador (fisioterapia aislada) y reconstrucción quirúrgica no es dicotómica, sino un espectro dependiente del fenotipo del paciente.

- **Indicaciones Absolutas:** Paciente atleta que desea retornar a deportes de nivel I y II (deportes de pivote agresivo, cambios de dirección, salto, como fútbol, baloncesto y esquí); inestabilidad recurrente (*giving way*) que afecta las actividades de la vida diaria (AVD); lesiones reparables de meniscos asociadas (el LCA protege la sutura meniscal).
- **Indicaciones Relativas:** Pacientes de mediana edad (mayores de 40 años) que demandan alta actividad física laboral o recreativa.
- **Contraindicaciones:** Osteoartrosis severa multicompartimental (Kellgren-Lawrence III-IV), infección activa, mala cobertura cutánea, o pacientes sedentarios sin episodios de inestabilidad en AVD (*copers* verdaderos).

Tratamiento Conservador vs. Quirúrgico

La evidencia reciente derivada de la cohorte Delaware-Oslo estratifica a los pacientes en *Copers* (aquellos que compensan la inestabilidad) y *Non-copers*. Un ensayo de tratamiento conservador con pre-habilitación rigurosa de 3 a 6 meses es aceptable. No obstante, si el paciente fracasa (presentando subluxaciones), la indicación quirúrgica es imperativa. La reconstrucción del LCA en atletas jóvenes no previene la aparición de osteoartritis, pero su indicación cardinal es evitar el daño secundario al complejo menisco-condral provocado por episodios repetitivos de inestabilidad.

Timing Quirúrgico (Agudo vs. Diferido)

El consenso actual proscribe la cirugía de reconstrucción en la fase inflamatoria hiperaguda (primeras 2 semanas si no hay rodilla bloqueada) para evitar el riesgo devastador de **artrofibrosis**. El

timing quirúrgico óptimo ("la rodilla tranquila") demanda: resolución del derrame articular, recuperación de la extensión completa y control voluntario del cuádriceps (fase de *prehab*). Esto suele lograrse entre la semana 3 y 6 post-lesión.

TABLA 3: Criterios de indicación quirúrgica vs. manejo conservador

Variable	Perfil Quirúrgico Recomendado	Perfil Conservador (Coper)
Demanda Deportiva	Alta (Fútbol, Rugby, Básquetbol)	Baja (Natación, Ciclismo en línea recta)
Edad Fisiológica	Jóvenes y adultos jóvenes activos	Adultos mayores sedentarios
Laxitud Funcional	Episodios múltiples de <i>giving way</i> en AVD	Ausencia de inestabilidad tras 3 meses rehab
Lesiones Asociadas	Ruptura meniscal suturable o LCP/LCL	Lesión aislada del LCA
Evaluación KOS-ADLS	< 80% después de la pre-habilitación	≥ 80% en actividades de la vida diaria

TÉCNICA QUIRÚRGICA / PROCEDIMIENTO

La biomecánica intraoperatoria incide directamente en los plazos de rehabilitación. Un cirujano debe seleccionar el injerto y la técnica de fijación pensando en cómo responderá la rodilla a las fuerzas excéntricas del protocolo de fisioterapia.

Selección del Injerto

- **Hueso-Tendón Patelar-Hueso (HTH):** Es el patrón de oro histórico. Su cicatrización es de hueso a hueso en los túneles, logrando integración en 6-8 semanas, lo que permite

cargas intensas tempranas. Su desventaja principal es la morbilidad del sitio donante, generando dolor anterior de rodilla (condromalacia, tendinopatía) que dificulta la rehabilitación en fase excéntrica y el arrodillamiento.

- **Tendones Isquiotibiales (ST/G - Semitendinoso/ Recto Interno):** Menor morbilidad anterior de rodilla. Sin embargo, la cicatrización es tejido blando-hueso (10-12 semanas de consolidación). Biomecánicamente, genera un déficit crónico del 10-15% en la fuerza de flexión profunda ($>90^\circ$) y rotación tibial interna, clave a rehabilitar para frenar la tibia.
- **Tendón Cuadricipital:** Injerto en auge (con o sin taco óseo patelar). Ofrece un grosor denso (>8 mm). La extirpación genera una marcada inhibición artrogénica del cuádriceps que el rehabilitador deberá sortear mediante electroestimulación y terapia de biofeedback precoz.

Descripción del Procedimiento y Túneles

Bajo isquemia y control artroscópico por portales estándar anterolateral (visor) y anteromedial (trabajo), el hito crítico es la perforación de los túneles. La técnica anatómica actual exige realizar el túnel femoral por el portal medial accesorio (o técnica de *outside-in*), colocando el centro del túnel entre las eminencias AM y PL anatómicas, dejando 1.5 a 2 mm de pared ósea posterior (línea del *resident's ridge*). Un túnel femoral demasiado vertical (error de la técnica transtibial clásica) no controla la rotación e imposibilita superar la prueba del *pivot shift* en el campo.

Procedimientos Extra-articulares Concurrentes

En fenotipos de alto riesgo (revisiones, hiperlaxitud de Beighton, pivot shift explosivo grado III), se asocia la técnica con una Tenodesis Extra-articular Lateral (LET) o reconstrucción del Ligamento Anterolateral (ALL). Esta banda adicional actúa como un riel biomecánico que reduce el estrés rotatorio en el injerto central en más del 40%, protegiéndolo durante la "fase vulnerable" de la rehabilitación y disminuyendo las tasas de re-ruptura según las series del grupo SANTI.

TABLA 4: Comparación de tipos de injerto: ventajas, desventajas y tasas de re-ruptura

Tipo de Injerto	Ventajas Biomecánicas / Rehab	Desventajas (Implicaciones RTP)	Tasa de Falla / Re-ruptura
Auto injerto HT H	Consolidación rápida (hueso-hueso). Fijación muy rígida.	Dolor anterior persistente. Riesgo fractura patela.	3 - 6%
Isquiotibiales (ST G)	Menor dolor postoperatorio. Excelente estética.	Retraso integración. Debilidad flexora residual excéntrica.	4 - 8% (Mayor si diámetro <8mm)
Tendón Cuadriceps	Tejido muy robusto. Menor dolor que HTH.	Inhibición severa del cuádriceps en Fase I de rehab.	3 - 5%
Alloinjerto (Banco)	Sin morbilidad sitio donante. Menor tiempo Qx.	Integración biológica muy lenta. No recomendado en < 25 años.	10 - 25% (Jóvenes)

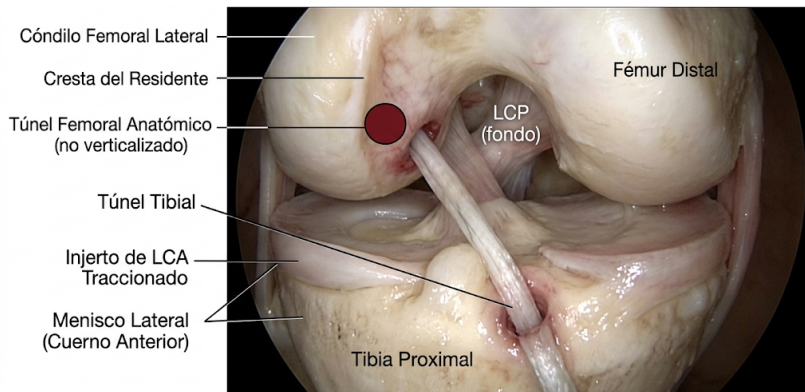


IMAGEN 3: Visión Artroscópica y Posicionamiento de Túneles

Ilustración de la vista artroscópica desde el portal anterolateral de una rodilla derecha en 90 grados de flexión. En la pared interna del cóndilo femoral externo, mostrar un círculo rojo oscuro ubicado anatómicamente detrás de la cresta del residente (lateral intercondylar ridge) representando el túnel femoral anatómico, no verticalizado. Abajo, el túnel tibial saliendo anterior a la espina tibial, sin invadir el cuerno anterior del menisco externo. Mostrar el injerto ya pasado y traccionado.

REHABILITACIÓN Y CRITERIOS DE RETORNO DEPORTIVO (RTP)

El paradigma contemporáneo dicta que el retorno al deporte (RTP) no es un evento aislado basándose en el calendario, sino un *continuum* neuro-fisiológico que evalúa la madurez biológica, el control sensoriomotor y la aptitud psicológica.

Fases de la Rehabilitación

Basado en consensos modernos, el protocolo se divide en cuatro fases no negociables gobernadas por hitos objetivos (criterios de progresión) y no por el tiempo per se:

- 1. Fase 1: Protección, Movilidad y Activación (0 - 4 semanas).** Objetivos: Controlar el edema, alcanzar hiperextensión simétrica pasiva y revertir la Inhibición

Muscular Artrogénica (AMI). El retraso en lograr extensión total resulta inexorablemente en artrofibrosis y dolor retrorrotuliano.

2. **Fase 2: Fuerza y Resistencia Neuromuscular (1 - 4 meses).** Inicia con cadena cinética cerrada (CKC) (sentadillas, prensa) y progresa a cadena cinética abierta (OKC). Antiguamente satanizada, la OKC de cuádriceps (extensiones de rodilla) es segura en arcos de 90° a 45° en etapa temprana, y arco completo post semana 12, esencial para abatir el déficit crónico del cuádriceps.
3. **Fase 3: Agilidad, Pliometría y Carrera (4 - 7 meses).** Integración de patrones motores. Inicio del trote sujeto a que el paciente tenga un Índice de Simetría de la Extremidad (LSI) > 70-80% en fuerza isométrica de cuádriceps respecto al lado sano.
4. **Fase 4: Retorno a la Participación / Deporte Específico (7 - 9+ meses).** Entrenamiento caótico y no anticipatorio. Cambio de dirección (*cutting*), rotaciones y perturbación externa simulación de juego.

Criterios de Retorno Deportivo (Batería Objetiva)

La liberación para el RTP debe someterse a una evaluación cuantitativa exigente.

- **Pruebas Isocinéticas:** El estándar de oro. Realizado en dinamómetro electromecánico a velocidades de 60°/s (evaluando fuerza pico) y 300°/s (potencia y resistencia). El LSI del cuádriceps debe ser **estrictamente $\geq 90\%$** (preferiblemente >95% en profesionales). La relación isquiotibial/cuádriceps (H/Q) debe mantenerse > 60%.
- **Pruebas Funcionales de Salto (Hop Tests):** Incluyen el salto simple, salto triple, salto cruzado y salto cronometrado de 6 metros. Estas pruebas evalúan la confianza en el aterrizaje. Un LSI de distancia $\geq 90\%$ es mandatorio.
- **Factores Psicológicos:** Escala ACL-RSI. Puntuaciones < 65 están asociadas de manera independiente a re-rupturas o

fracaso para regresar al nivel de pre-lesión competitivo, por lo cual se recomienda terapia neurocognitiva.

- Criterio Temporal Biológico:** Según Grindem et al., retornar antes de los 9 meses postoperatorios aumenta exponencialmente el riesgo de lesión secundaria. **El riesgo de ruptura se reduce en un 51% por cada mes que se retrasa el retorno deportivo hasta los 9 meses**, marcando este límite como el absoluto mínimo dictaminado por los consensos Panther y Delaware.

TABLA 5: Criterios de retorno deportivo basados en evidencia — Batería de pruebas

Dominio de Evaluación	Parámetro Medido	Punto de Corte / Criterio para RTP Seguro
Clínico	Derrame / Movilidad	Cero derrame, rango de movilidad simétrico al contralateral.
Fuerza Isocinética	Fuerza máxima de extensión (LSI)	LSI Cuádriceps $\geq 90\%$ (o 100% idealmente) a 60°/seg y 300°/seg.
Ratios Agonista/ Antag.	Ratio Isquiotibial / Cuádriceps	$\geq 60\%$ (previene hipertraslación anterior).
Pruebas Funcionales	Single Hop, Triple Hop, Cross-over	LSI de distancia $\geq 90\%$ con biomecánica de aterrizaje perfecta (sin valgo).
Psicológico	Cuestionario ACL-RSI	Puntuación > 65 a 75 puntos (confianza plena).

Tiempo Biológico	Cronología desde cirugía	Mínimo absoluto de 9 meses post-reconstrucción.
------------------	--------------------------	---

PRONÓSTICO Y SEGUIMIENTO A LARGO PLAZO

Riesgo de Re-Ruptura y Rodilla Contralateral

A pesar de la optimización técnica, el pronóstico en poblaciones de riesgo sigue siendo un reto. La tasa de ruptura del injerto se estima entre el 4-15%. Sin embargo, un hallazgo consistente en la literatura reciente (Webster y Feller, 2016) es que en atletas menores de 20 años, la tasa de sufrir una lesión del LCA en la **rodilla contralateral sana** (10-15%) supera a menudo el riesgo de fallar el injerto operado. Esto evidencia que los déficits biomecánicos subyacentes, deficiencias en los patrones de aterrizaje y alteraciones corticales (neuroplasticidad maladaptativa post-lesión) no se curan solo reconstruyendo una de las articulaciones.

Osteoartritis Postraumática (PTOA)

El seguimiento longitudinal demuestra que entre el 30% y el 50% de los pacientes desarrollarán signos radiográficos de osteoartritis 10 a 15 años tras la lesión del LCA. La presencia de condropatía en el evento inicial, y más crucialmente, el compromiso del menisco (particularmente la meniscectomía parcial/total) son los predictores primarios para degeneración unicompartmental.

Algoritmo de Seguimiento

El protocolo recomendado abarca visitas de seguimiento clínico a las 2, 6, 12 semanas, y a los 6, 9 y 12 meses, seguido de revisiones anuales hasta el segundo año. La resonancia magnética de control no es rutinaria salvo ante reaparición de síntomas, déficit extensor (descartar síndrome de cíclope) o dolor radicular/mecánico que sugiera falla biológica del anclaje.

PUNTOS CLAVE / PERLAS CLÍNICAS

1. **Biología sobre Calendario:** El injerto entra en una fase crítica de necrosis y revascularización entre la 4ta y 12va

semana; el protocolo de rehabilitación debe ser escrupuloso para evitar estrés tensil (especialmente fuerzas de cizallamiento en cadena abierta sin restricción de grados).

2. **La Importancia de la "Prehab":** Nunca operar una rodilla inflamada, con rigidez y déficit de activación cuádriceps. La resolución preoperatoria del derrame y la extensión total son los mejores predictores de éxito postquirúrgico.
3. **Túneles Anatómicos Exigidos:** La técnica quirúrgica con túneles anatómicos en el *footprint* originario es innegociable; un injerto vertical es incompatible con el RTP en deportes de pivote por falla rotacional persistente.
4. **Isocinesia Mandatoria:** El RTP no debe ser autorizado sin documentar un Índice de Simetría (LSI) del cuádriceps superior al 90% mediante dinamometría isocinética. Las pruebas subjetivas son insuficientes.
5. **Regla de los 9 Meses:** El retorno deportivo antes de los 9 meses multiplica severamente el riesgo de re-lesión. Retrasar el retorno tiene un efecto protector biológico estadísticamente masivo en menores de 25 años.
6. **Atención a la Kinesiofobia:** La barrera psicológica es tan limitante como la biomecánica. Aplicar sistemáticamente escalas como ACL-RSI para interceptar el miedo al fallo y remitir a readaptación neuro-cognitiva de ser necesario.

BIBLIOGRAFÍAS

1. **Meredith SJ, Rauer T, Chmielewski TL, et al.** Return to Sport After Anterior Cruciate Ligament Injury: Panther Symposium ACL Injury Return to Sport Consensus Group. *Am J Sports Med.* 2020;48(14):3608-3622. DOI: 10.1177/0363546520930829.
2. **Diermeier T, Rothrauff BB, Engebretsen L, et al.** Treatment after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(8):2390-2402. DOI: 10.1007/s00167-020-06012-6.

3. **Kotsifaki A, Korakakis V, Whiteley R, et al.** Measuring single leg hop for distance is insufficient to capture biomechanical deficits: A systematic review. *Br J Sports Med.* 2020;54:190-195. DOI: 10.1136/bjsports-2019-100962.
4. **Losciale JM, Zdeb RM, Cormier M, et al.** The Association Between Passing Return-to-Sport Criteria and Second Anterior Cruciate Ligament Injury Risk: A Systematic Review With Meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2019;49(2):43-54. DOI: 10.2519/jospt.2019.8190.
5. **Hurley ET, Fried JW, Kingery MT, et al.** Isokinetic Return-to-Play Criteria Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction - A Systematic Review. *Cartilage.* 2021;13(1 suppl):109S-115S. DOI: 10.1177/1947603520933821.
6. **Piussi R, Beischer S, Thomeé C, et al.** Return to sport and secondary ACL injury: A systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. *Sports Health.* 2021;13(4):328-335.
7. **Ebert JR, Edwards PK, Annear PT, et al.** Systematic review of rehabilitation and return to sport progression following anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2022;50(3):853-864.
8. **Slagers AJ, Reininga IHF, van den Akker-Scheek I.** Kinesiophobia and Return to Sport After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Sports Health.* 2023;15(3):398-406. DOI: 10.1177/19417381221102947.
9. **Raoul T, Ferreira A, Neri T, et al.** All-Inside Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with Quadricipital Tendon or Hamstring Grafts: A Prospective Randomized Study with Minimum 2-Year Follow-up. *Arthroscopy.* 2021;37(4):1199-1207.
10. **Buckthorpe M, La Rosa G, Villa FD.** Restoring Knee Extensor Strength After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Clinical Commentary. *Int J Sports Phys Ther.* 2019;14(1):159-172.
11. **Webster KE, Feller JA.** Exploring the High Reinjury Rate in Younger Patients Undergoing Anterior Cruciate Ligament

Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2016;44(11):2827-2832.
DOI: 10.1177/0363546516651845.

12. **Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA.** Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med.* 2016;50(13):804-808. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096031.

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y LIMITACIÓN DE USO

La información contenida en esta obra tiene un propósito exclusivamente académico y de divulgación científica. No debe, en ningún caso, considerarse un sustituto de la asesoría profesional calificada en contextos de urgencia o emergencia clínica. Para el diagnóstico, tratamiento o manejo de condiciones médicas específicas, se recomienda la consulta directa con profesionales debidamente acreditados por la autoridad competente.

La responsabilidad del contenido de cada artículo recae exclusivamente en sus respectivos autores.

ISBN: **978-9907-801-68-2**

Velseris Manta, Ecuador

Agosto: 2026

Editado en Ecuador

Toda forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra queda sujeta a autorización previa y expresa de los titulares de los derechos, conforme a lo dispuesto en la normativa vigente.