



## **ESPECIALIDAD KINESIOLOGÍA DEPORTIVA**

### **TRABAJO FINAL (TESIS)**

#### **Título**

**Neurocognición y control motor tras reconstrucción del  
ligamento cruzado anterior en deportistas.**

**Una revisión narrativa.**

**Alumno:** Lic. Poletto, Magalí

[magapoletto@gmail.com](mailto:magapoletto@gmail.com)

**Tutor:** Lic. Bonari Rodríguez, A. Carolina

[AnaCarolina.BonariRodriguez@uai.edu.ar](mailto:AnaCarolina.BonariRodriguez@uai.edu.ar)

## ÍNDICE

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| <b>RESUMEN</b> .....                           | 3  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                      | 5  |
| MARCO TEÓRICO .....                            | 5  |
| JUSTIFICACIÓN .....                            | 8  |
| <b>OBJETIVOS</b> .....                         | 9  |
| OBJETIVO GENERAL .....                         | 9  |
| <b>METODOLOGÍA</b> .....                       | 11 |
| DISEÑO DEL ESTUDIO .....                       | 11 |
| ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA.....                    | 11 |
| CRITERIOS DE INCLUSIÓN .....                   | 12 |
| CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....                    | 12 |
| DESCRIPCIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES ..... | 13 |
| RECURSOS UTILIZADOS.....                       | 13 |
| GESTIÓN DE REFERENCIAS .....                   | 14 |
| EVALUACIÓN DE LA CALIDAD METODOLÓGICA.....     | 14 |
| DIAGRAMA DE FLUJO (PRISMA).....                | 15 |
| <b>RESULTADOS</b> .....                        | 16 |
| <b>DISCUSIÓN</b> .....                         | 28 |
| <b>CONCLUSIÓN</b> .....                        | 31 |
| <b>REFERENCIAS</b> .....                       | 32 |
| <b>ANEXOS</b> .....                            | 36 |
| ANEXO 1: ESCALA PEDRO.....                     | 36 |
| ANEXO 2: ESCALA STROBE.....                    | 36 |

## RESUMEN

**Introducción:** Las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) son frecuentes en el deporte y se asocian a alteraciones persistentes en el control neuromuscular y la función sensoriomotora, aun luego de la reconstrucción quirúrgica. Dado que las demandas deportivas implican procesos cognitivos como la atención y la toma de decisiones, la incorporación de tareas neurocognitivas emerge como una estrategia relevante para optimizar la rehabilitación y favorecer un retorno al deporte más seguro.

**Objetivo:** Describir y analizar la evidencia científica disponible sobre la incorporación de tareas neurocognitivas en deportistas con reconstrucción del ligamento cruzado anterior, examinando sus efectos sobre el control motor, la función neuromuscular y otras variables asociadas al riesgo de re-lesión y al retorno seguro al deporte.

**Materiales y métodos:** Se realizó una revisión narrativa de la literatura. La búsqueda se llevó a cabo entre mayo y noviembre de 2025, en las bases de datos PubMed, Google Scholar, Elsevier, y PEDro, utilizando términos combinados mediante operadores booleanos (AND, OR), incluyendo descriptores MeSH y términos libres.

**Resultados:** La carga cognitiva influye sobre el control motor, con mayor impacto en tareas dinámicas, generando cambios en la coordinación, el desempeño funcional y las estrategias de movimiento, además de posibles efectos bilaterales y un potencial beneficio del entrenamiento neurocognitivo.

**Conclusión:** Las tareas neurocognitivas permiten detectar déficits no evidenciados en evaluaciones tradicionales en deportistas con RLCA, especialmente en contextos dinámicos. Su incorporación podría mejorar la valoración funcional y del riesgo de re-lesión, aunque la evidencia aún es limitada y heterogénea.

**Palabras clave:** LCA; reconstrucción; tareas neurocognitivas; control motor; retorno al deporte; re-lesión.

## ABSTRACT

**Introduction:** Anterior cruciate ligament (ACL) injuries are common in sports and are associated with persistent alterations in neuromuscular control and sensorimotor function, even after surgical reconstruction. Given that sports performance involves cognitive processes such as attention and decision-making, the incorporation of neurocognitive

tasks has emerged as a relevant strategy to optimize rehabilitation and promote a safer return to sport.

**Objective:** To describe and analyze the available scientific evidence on the incorporation of neurocognitive tasks in athletes following anterior cruciate ligament reconstruction, examining their effects on motor control, neuromuscular function, and other variables associated with re-injury risk and safe return to sport.

**Materials and Methods:** A narrative literature review was conducted. The search was performed between May and November 2025 in the PubMed, Google Scholar, Elsevier, and PEDro databases, using combined terms with Boolean operators (AND, OR), including both MeSH descriptors and free-text terms.

**Results:** Cognitive load influences motor control, with greater impact observed in dynamic tasks, leading to changes in coordination, functional performance, and movement strategies, as well as potential bilateral effects and possible benefits of neurocognitive training.

**Conclusion:** Neurocognitive tasks allow the detection of deficits not identified in traditional assessments in athletes with ACL reconstruction, particularly in dynamic contexts. Their incorporation may improve functional assessment and re-injury risk evaluation; however, the current evidence remains limited and heterogeneous.

**Keywords:** Anterior Cruciate Ligament; Reconstruction; Neurocognitive Tasks; Motor Control; Return to Sport; Reinjury

## **INTRODUCCIÓN**

### **MARCO TEÓRICO**

Las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) se encuentran entre las lesiones musculoesqueléticas más comunes y debilitantes en los atletas (1), y representan el 20% del total de lesiones de rodilla (2). Como componente estructural vital para la estabilidad de la rodilla, la integridad del LCA es crucial para mantener la mecánica articular adecuada, la fuerza muscular y la función articular general. El daño al LCA no solo compromete estas funciones, sino que también acelera la degeneración articular, perjudica el rendimiento deportivo y aumenta el riesgo de desarrollar osteoartritis (3).

La intervención quirúrgica ha sido durante mucho tiempo el estándar de atención que suelen seguir los atletas que desean volver al deporte después de una lesión del LCA porque permite la restauración de la estabilidad mecánica de la rodilla (2). Las tasas actuales de retorno al deporte en atletas de élite tras una reconstrucción de ligamento cruzado anterior (RLCA) son del 81 % para cualquier deporte, del 65 % a su nivel previo a la lesión y solo del 55 % a su nivel de competición anterior (4), con una tasa reportada del 30% de lesión secundaria, hasta 15 años después de la reconstrucción (5), de las cuales el 21 % ocurre en la extremidad contralateral y el 9 % en la extremidad ipsilateral. Aunque el tiempo no es el único factor en la toma de decisiones sobre el retorno al deporte, retrasar el regreso hasta nueve meses después de la cirugía puede reducir significativamente la tasa de reincidencia en un 51 %. Los atletas que regresan antes de los nueve meses posterior a la operación tiene una tasa aproximadamente siete veces mayor de sufrir una segunda lesión del LCA (4).

Si bien el daño estructural del ligamento es una preocupación principal, la neurofisiología de la lesión va más allá de la rotura mecánica del ligamento, abarcando profundas alteraciones en los sistemas nerviosos central y periférico, que afectan la integración sensoriomotora y el control neuromuscular (1).

El LCA, densamente poblado de mecanorreceptores, desempeña un papel fundamental en la propiocepción articular, regulando dinámicamente la estabilidad de la rodilla a través de complejos circuitos neuronales que conectan con la médula espinal y el cerebro. Estos

mecanorreceptores especializados detectan deformaciones mecánicas como estiramiento, tensión y compresión en el ligamento. Una vez activados, estos receptores envían información propioceptiva detallada a centros superiores de la médula espinal y el tronco encefálico, donde esta se procesa y se traduce en comandos motores que regulan la estabilidad articular. Más allá del reflejo monosináptico protector, la interacción entre los mecanorreceptores ligamentosos y musculares revela una sofisticada red de mecanismos de retroalimentación y prealimentación que regulan la rigidez muscular y la fuerza de contracción. Cuando el LCA se daña, estos mecanorreceptores se interrumpen, lo que provoca alteraciones en las vías neuronales aferentes ascendentes y modificaciones posteriores en la funcionalidad del SNC (3), contribuyendo a un retraso en la activación muscular, una planificación motora alterada y una estabilidad articular comprometida (1). Los déficits de fuerza en la musculatura de la cadera, la rodilla y el tobillo pueden persistir durante más de dos años después de la cirugía, al igual que los déficits en el rendimiento de desaceleración y aterrizaje/salto, y las asimetrías durante los cambios de dirección a 90 grados, consideradas funciones vitales para reducir el riesgo de lesión del LCA (4).

La alteración del control neuromuscular tras una lesión del ligamento cruzado anterior puede inducir cambios neuroplásticos crónicos a largo plazo asociados con la rehabilitación y las adaptaciones motoras (6). Estudios de resonancia magnética funcional han demostrado que los pacientes con deficiencia del LCA presentan una mayor activación en el giro temporal posteroinferior (procesamiento visual), el área motora pre suplementaria (planificación motora) y el área somatosensorial secundaria (procesamiento del dolor y sensorial) (7) . Esto sugiere una transición hacia estrategias de control motor más conscientes, aumentando la dependencia de fuentes sensoriales alternativas, como la retroalimentación visual y la conciencia espacial, para compensar la retroalimentación ligamentosa perdida (1). En teoría, la compensación neuronal tras la RLCA se manifiesta como una mayor atención a los movimientos que el atleta solía realizar sin pensar (es decir, dependencia neurocognitiva) (8).

Para minimizar el riesgo de lesiones, a menudo se realizan pruebas de retorno al deporte (RTS) para garantizar que el atleta esté físicamente listo para el deporte. Las pruebas

estándar incluyen fuerza muscular (p. ej., cuádriceps e isquiotibiales), función (p. ej., pruebas de salto) y función de la rodilla auto informada (p. ej., Comité Internacional de Documentación de la Rodilla). Sin embargo, cumplir los criterios de RTS de forma temprana (antes de los 8-9 meses) después de la reconstrucción del LCA puede dar solo la apariencia de preparación física para el deporte, ya que el riesgo de volver a lesionarse es mayor en comparación con aquellos que no recuperan la función tan rápidamente y retrasan el RTS (8).

Teniendo en cuenta que las actividades deportivas requieren conciencia situacional de un amplio campo atencional para monitorear continuamente el entorno circundante, filtrar información irrelevante y ejecutar simultáneamente programas motores complejos (6), la mayor afectación cortical probablemente impone exigencias cognitivas adicionales durante el movimiento (1). Cualquier déficit o retraso en el procesamiento sensorial o atencional puede contribuir con la incapacidad de corregir posibles errores en la coordinación compleja. Por lo tanto, la alta incidencia de segundas lesiones del LCA sin contacto puede explicarse en parte por una mayor carga neurocognitiva (9) .

Los enfoques de rehabilitación tradicionales pueden ser insuficientes para reconectar los circuitos neuronales alterados, lo que requiere una estrategia más integral que aproveche los principios de la neuroplasticidad para restaurar la función sensoriomotora óptima (1).

La rehabilitación neurocognitiva puede concebirse como cualquier tarea que ocupe la atención del paciente/atleta mediante estímulos visuales, mentales, auditivos, verbales o cinestésicos, mientras realiza simultáneamente un movimiento, tarea, ejercicio o habilidad (10), empleando herramientas como estrategias de enfoque externo, gafas estroboscópicas, pizarras inteligentes y realidad virtual, entre otras. Tiene como objetivo restaurar y mejorar la conectividad neuronal, la integración sensorial y la coordinación motora. Estas herramientas estimulan al SNC a adaptarse a diferentes niveles de información sensorial y complejidad motora, promoviendo el restablecimiento de patrones motores automáticos eficientes y mejorando la resiliencia neuromuscular. Este enfoque integrador busca restaurar no solo la estabilidad articular, sino también las redes neuronales subyacentes que sustentan el control dinámico del movimiento (1).

La necesidad de desafiar un amplio espectro del control sensoriomotor se demuestra en el escenario de lesión del LCA sin contacto: una falla en el mantenimiento del control neuromuscular de la rodilla mientras se atiende a un foco de atención externo, que involucra estímulos visuales dinámicos altamente complejos, superficies variables, planificación del movimiento, toma de decisiones rápida, posiciones variables de los jugadores e interacciones con el entorno y perturbaciones inesperadas. Por lo tanto, la necesidad de unir las intensas demandas de control neurocognitivo y motor del deporte durante la rehabilitación puede beneficiarse de intervenciones específicas que se dirijan a estos factores neurocognitivos además de las técnicas biomecánicas que ya se abordan ampliamente (11).

## **JUSTIFICACIÓN**

Las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) representan una de las patologías más frecuentes y discapacitantes dentro del ámbito deportivo, con consecuencias funcionales, psicológicas y socioeconómicas significativas. A pesar de los avances en las técnicas quirúrgicas, los programas de prevención y los protocolos de rehabilitación, las tasas de re-lesión del LCA continúan en aumento, afectando la calidad de vida del deportista y comprometiendo su retorno al nivel competitivo previo.

Dado que una nueva lesión o la necesidad de una segunda intervención quirúrgica tras el retorno al deporte son consideradas indicadores de fracaso terapéutico, resulta fundamental explorar enfoques que optimicen la preparación del atleta para un regreso seguro y sostenible a la competencia.

Uno de los principales obstáculos para lograr una reintegración deportiva exitosa radica en la discrepancia entre los protocolos de rehabilitación tradicionales y las demandas funcionales, cognitivas y sensoriomotoras que enfrentan los deportistas en situaciones reales de competencia. Diversos estudios recientes han puesto de manifiesto que las intervenciones centradas exclusivamente en la recuperación biomecánica y neuromuscular no son suficientes para prevenir nuevas lesiones. Esto se debe, en parte, a que dichos programas no abordan adecuadamente los déficits neurocognitivos que persisten tras la lesión, tales como las alteraciones en la propiocepción, el control motor

y el reclutamiento muscular deficientes, y la mayor dependencia de la retroalimentación visual.

Las herramientas convencionales de evaluación y entrenamiento, centradas mayoritariamente en parámetros físicos, a menudo no logran reproducir la complejidad dinámica e impredecible del entorno deportivo. Las exigencias neurocognitivas del regreso al deporte, que implican una toma de decisiones eficiente y la creación de patrones motores en un entorno competitivo en constante cambio, requieren estrategias novedosas y de fácil implementación clínica. En este contexto, el entrenamiento neurocognitivo emerge como una estrategia innovadora que podría abordar dichos vacíos y reducir los errores motores que aumentan el riesgo de lesión.

Sin embargo, este enfoque aún se encuentra infrautilizado en la práctica clínica, y existe una escasa evidencia longitudinal que fundamente su implementación en el área de la kinesiólogía deportiva. Por tanto, se hace necesaria una investigación que profundice en los efectos de la carga neurocognitiva como herramienta preventiva y rehabilitadora en deportistas con lesión de LCA. Este enfoque no solo permitiría optimizar los procesos de rehabilitación actuales, sino también ofrecer una base científica sólida para el diseño de protocolos más integrales y eficaces, abordando los aspectos neurofisiológicos y neurocognitivos de la lesión. Esto contribuirá a optimizar las estrategias de prevención y así mejorar las tasas de retorno seguro al deporte. En este contexto, y a partir de los fundamentos expuestos, surge la necesidad de conocer cuál es el impacto de la incorporación de estrategias neurocognitivas en los programas de prevención y rehabilitación sobre la función neuromuscular y el retorno seguro al deporte en deportistas con reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Describir y analizar la evidencia científica disponible sobre la incorporación de tareas neurocognitivas en deportistas con reconstrucción del ligamento cruzado anterior,

examinando sus efectos sobre el control motor, la función neuromuscular y otras variables asociadas al riesgo de re-lesión y al retorno seguro al deporte.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Identificar las tareas neurocognitivas utilizadas en la literatura científica en deportistas con RLCA y describir los protocolos empleados.
2. Analizar los principales hallazgos reportados en relación con la función neuromuscular, el control postural, la coordinación motora y el desempeño funcional posterior a la RLCA.

## METODOLOGÍA

### DISEÑO DEL ESTUDIO

El presente trabajo corresponde a una revisión narrativa de la literatura, cuyo objetivo es describir y analizar la evidencia científica disponible acerca de la aplicación de tareas neurocognitivas en deportistas con reconstrucción del ligamento cruzado anterior, en relación con la función neuromuscular y variables asociadas al retorno seguro al deporte.

### ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

La búsqueda de información se llevó a cabo durante el periodo comprendido entre los meses de mayo y noviembre de 2025, utilizando las bases científicas PubMed, Google Scholar, Elsevier, y PEDro. Se emplearon términos combinados mediante operadores booleanos (AND, OR), utilizando tanto descriptores controlados (MeSH) como términos libres. Las palabras clave utilizadas fueron “neurocognitive training”, “neurocognitive rehabilitation”, “neuroplasticity”, “injury”, “anterior cruciate ligament”, “reconstruction”, “prevention”, “athletes”, “physically active people”.

Algunos ejemplos de las combinaciones utilizadas son: (“neurocognitive training” OR “cognitive training”) AND (“anterior cruciate ligament” OR “ACL injury”) AND (“rehabilitation” OR “prevention”) AND (“athletes” or “physically active people”).

*Tabla 1.* Estrategia de búsqueda y resultados obtenidos

| BASE DE DATOS | ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA                                                                                                                                                                                                                                                                  | RESULTADOS |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| PubMed        | (“neurocognitive training” OR “cognitive training” OR “neurocognitive rehabilitation”) AND (“anterior cruciate ligament” OR “ACL injury” OR “reconstruction”) AND (“rehabilitation” OR “prevention”) AND (“athletes” OR “physically active people”) AND (“neuroplasticity” OR “injury”) | 142        |

|                                     |                                                                                                                                                                                                        |            |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Google Scholar</b>               | ("neurocognitive training" OR "cognitive training") AND ("ACL injury" OR "anterior cruciate ligament") AND ("rehabilitation" OR "prevention") AND ("athletes" OR "physically active people")           | 198        |
| <b>Elsevier<br/>(ScienceDirect)</b> | ("neurocognitive training" OR "neurocognitive rehabilitation") AND ("anterior cruciate ligament reconstruction" OR "ACL injury") AND ("rehabilitation" OR "injury prevention") AND ("neuroplasticity") | 36         |
| <b>PEDro</b>                        | Se utilizaron palabras clave combinadas con operadores booleanos: "neurocognitive training" AND "anterior cruciate ligament" AND "rehabilitation"                                                      | 7          |
| <b>TOTAL</b>                        |                                                                                                                                                                                                        | <b>383</b> |

Se definieron los siguientes criterios para la selección de estudios:

### CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Estudios realizados en deportistas o en poblaciones físicamente activas con reconstrucción de LCA que aborden los efectos de las intervenciones cognitivas sobre variables biomecánicas o de control motor de los miembros inferiores.
- Estudios de investigación primaria.
- Artículos publicados entre los años 2015 y 2025.
- Estudios escritos en cualquier idioma.
- Artículos gratuitos de texto completo.

### CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Revisiones bibliográficas y estudios científicos publicados en forma de resumen, comunicaciones cortas y/o cuyos datos no estuviesen publicados.
- Estudios sin relevancia directa con el objetivo de la revisión.

- Artículos centrados en poblaciones no relevantes.

La selección de los artículos se realizó en tres etapas: lectura del título, revisión del resumen, y lectura del texto completo. Aquellos que cumplieron con los criterios fueron incluidos para su análisis.

## **DESCRIPCIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES**

En esta revisión narrativa se consideraron las siguientes variables, definidas y operacionalizadas según la información reportada en los estudios incluidos:

1. Tareas neurocognitivas: actividades que incorporan demandas cognitivas —como atención, procesamiento visual, toma de decisiones y control ejecutivo— integradas a la ejecución motora durante evaluaciones o intervenciones en deportistas con RLCA. Se operacionaliza mediante la identificación, clasificación y análisis descriptivo de los tipos de tareas neurocognitivas reportadas en la literatura científica.
2. Función neuromuscular: integración del sistema nervioso y el muscular para generar movimientos voluntarios, reflejos y postura, durante tareas funcionales dinámicas. Se operacionaliza a través del análisis de las variables biomecánicas y de control motor utilizadas en los estudios incluidos para describir el desempeño neuromuscular.
1. Retorno seguro al deporte: reincorporación del atleta a la práctica deportiva previa a la lesión, en condiciones de entrenamiento o competencia. Operacionalmente, se identificó en los estudios mediante parámetros funcionales y biomecánicos que se asocian indirectamente con el riesgo de re-lesión y la preparación funcional para el retorno a la práctica deportiva.

## **RECURSOS UTILIZADOS**

En el desarrollo de la investigación se emplearon herramientas informáticas que facilitaron la organización, el análisis y la presentación de la información. El procesador de textos Microsoft Word fue utilizado para la redacción, edición y formateo del documento final. Por su parte, la hoja de cálculo Microsoft Excel se utilizó para la sistematización de los datos recolectados, la construcción de matrices de análisis y la elaboración de tablas.

## **GESTIÓN DE REFERENCIAS**

Para la organización y manejo de las referencias bibliográficas se utilizó el software Zotero (versión 7.0.22), que permitió almacenar, clasificar y generar citas de manera sistemática durante la redacción del manuscrito.

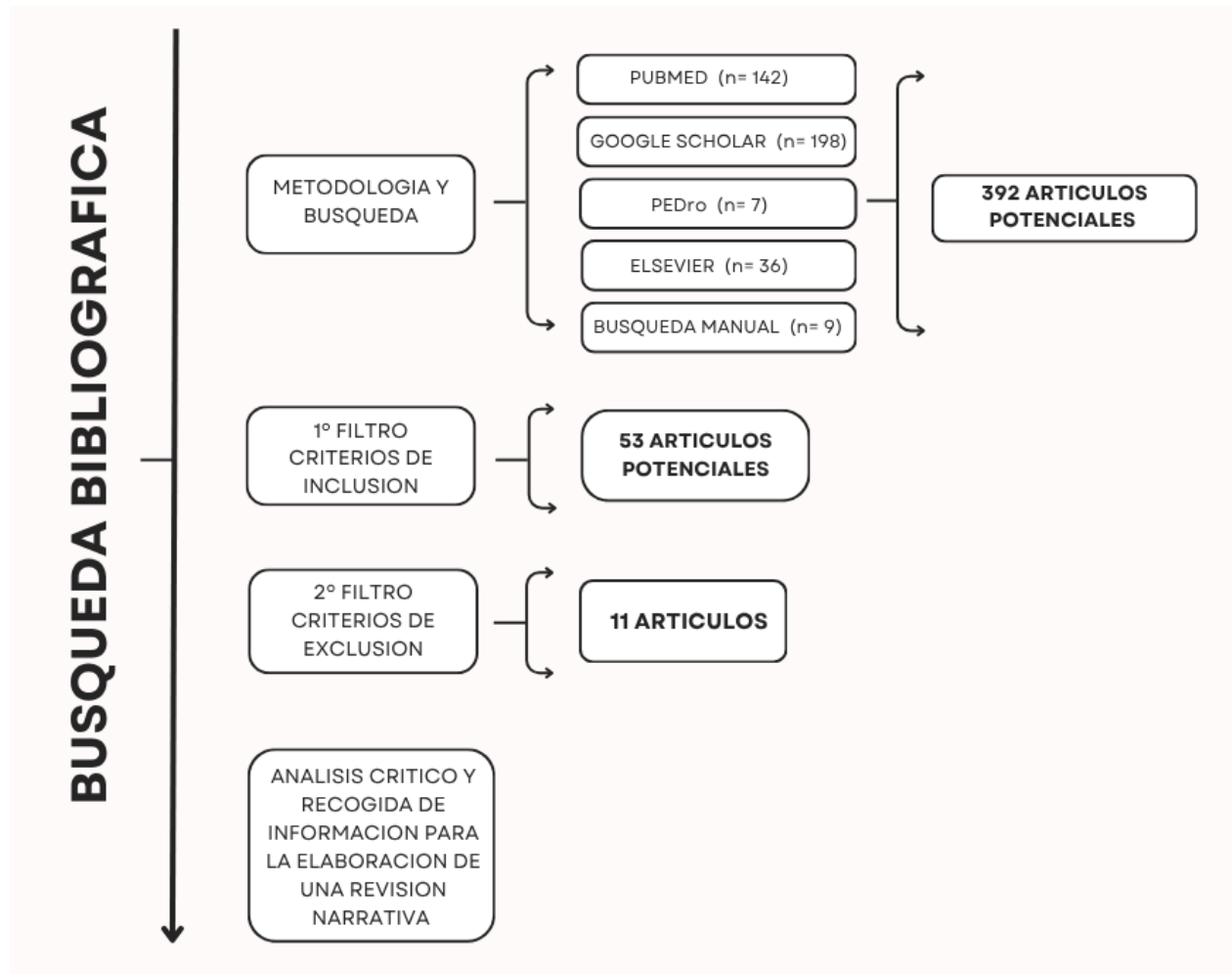
## **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD METODOLÓGICA**

Para valorar la calidad de los estudios incluidos en esta revisión narrativa, se aplicarán herramientas específicas según el diseño metodológico:

- Ensayos clínicos controlados: Se utilizó la escala PEDro, que evalúa criterios como aleatorización, ocultamiento, análisis por intención de tratar y reporte de resultados. Esta escala permite clasificar la calidad metodológica en rangos de baja, moderada o alta. La escala está compuesta por 11 ítems, de los cuales 10 son puntuables. Cada ítem se calificó como “sí” (1 punto) o “no” (0 puntos), con un puntaje máximo de 10. Los ensayos se clasificaron como de excelente calidad (9–10), buena calidad (6–8), calidad moderada (4–5) o baja calidad (0–3), en función del riesgo de sesgo. (ANEXO 1)
- Estudios observacionales (cohortes, casos y controles y transversales): Se empleó la escala STROBE, que analiza la selección de participantes, la comparabilidad entre grupos y la calidad del seguimiento. La declaración STROBE fue utilizada mediante una adaptación cuantitativa (STROBE+) con el fin de permitir la comparación entre estudios. Cada uno de los 22 ítems fue puntuado como: 1 punto si cumplía completamente, 0,5 puntos si cumplía parcialmente y 0 puntos si no cumplía. El puntaje máximo posible fue de 22 puntos. (ANEXO 2)

Los puntajes obtenidos se utilizaron para contextualizar la solidez de la evidencia, sin excluir estudios por su calidad, dado el carácter narrativo de la revisión.

## DIAGRAMA DE FLUJO (PRISMA)



## **RESULTADOS**

La estrategia de búsqueda en las bases de datos empleadas, sumada a la selección por búsqueda manual, arrojó un total de 392 artículos, de los cuales 11 cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos.

Los once estudios incluidos analizaron la interacción cognitiva–motora en deportistas con reconstrucción de ligamento cruzado anterior (RLCA), abordando tanto paradigmas de evaluación como intervenciones que incorporaron entrenamiento neurocognitivo. Los diseños metodológicos fueron heterogéneos, predominando estudios observacionales de tipo cohorte transversal ( $n=8$ ), mientras que un menor número fueron ensayos clínicos aleatorizados ( $n=3$ ). Las muestras analizadas oscilaron entre 11 y 80 participantes, incluyendo deportistas con RLCA y, en algunos casos, grupos control sanos emparejados por edad y nivel de actividad física. La población estudiada estuvo compuesta principalmente por adultos jóvenes físicamente activos o deportistas recreativos y competitivos.

A continuación, se presentan los resultados organizados en función de los objetivos específicos planteados.

**2Tabla 3.** Características metodológicas de los estudios incluidos.

| <b>Título</b>                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Autor y año</b>              | <b>Enlace</b>                                                                                                                                                 | <b>Diseño</b>               | <b>Objetivo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Muestra</b>                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Comparación de los efectos de los ejercicios de equilibrio con doble tarea cognitiva y tarea única sobre el equilibrio estático en personas con reconstrucción del ligamento cruzado anterior (12)                                                        | Hallaj Mazidluie et al.<br>2024 | <a href="https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11134260">https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11134260</a>                                             | Ensayo clínico aleatorizado | Comparar el efecto de los ejercicios cognitivos de equilibrio de doble tarea y de una sola tarea en los índices de equilibrio estático de personas con RLCA.                                                                                                                          | 28 personas con RLCA, divididos en dos grupos iguales. |
| Control visomotor del aterrizaje en caída después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (13)                                                                                                                                                | Grooms et al.<br>2018           | <a href="https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6107770">https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6107770</a>                                               | Cohorte transversal         | Investigar el efecto de la interrupción de retroalimentación visual estroboscópica (SVFD) en la mecánica del aterrizaje del salto vertical y determinar si el historial de lesiones influyó en el efecto.                                                                             | 15 personas con RLCA + 15 controles sanos emparejados  |
| Comparación entre el efecto del entrenamiento con realidad virtual inmersiva versus la rehabilitación convencional sobre la carga del miembro y los resultados funcionales en pacientes después de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior (14) | Gsangaya et al.<br>2023         | <a href="https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10570631">https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10570631</a>                                             | Ensayo clínico aleatorizado | Comparar la efectividad del uso de realidad virtual inmersiva como complemento a la rehabilitación convencional como apoyo en la rehabilitación de pacientes tras una RLCA, en términos de evaluación funcional objetiva y puntuación subjetiva del dolor y la función de la rodilla. | 30 personas con RLCA, divididos en dos grupos iguales. |
| Efecto del desafío cognitivo sobre el control postural de pacientes con reconstrucción del LCA bajo perturbaciones visuales y de superficie (15)                                                                                                          | Lion et al.<br>2018             | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966636217310391">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966636217310391</a> | Cohorte transversal         | Evaluar el efecto del desafío cognitivo en el control postural de ambas piernas bajo perturbaciones visuales y superficiales de pacientes con reconstrucción del LCA.                                                                                                                 | 19 personas con RLCA + 21 controles sanos              |
| Mayor interferencia cognitivo-motora entre pacientes tras reconstrucción del ligamento cruzado anterior en comparación con los controles (16)                                                                                                             | Strong et al.<br>2025           | <a href="https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11951357">https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11951357</a>                                             | Cohorte transversal         | Investigar si los pacientes después de la reconstrucción del LCA demuestran una interferencia cognitivo-motora (ICM) mayor que los controles no lesionados al agregar                                                                                                                 | 40 pacientes con RLCA y 40 controles sanos             |

|                                                                                                                                                                                         |                                  |                                                                                                                                                               |                             |                                                                                                                                                                                                                                     |                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                         |                                  |                                                                                                                                                               |                             | tareas cognitivas secundarias al salto vertical con caída y explorar la posible influencia del sexo en la ICM.                                                                                                                      |                                            |
| El efecto de la carga cognitiva en la variabilidad de la coordinación del movimiento de las extremidades inferiores en pacientes con reconstrucción del ligamento cruzado anterior (17) | Shi et al.<br>2021               | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966636220306081">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966636220306081</a> | Cohorte transversal         | Investigar la asimetría de la variabilidad de la coordinación del movimiento de las extremidades inferiores en individuos después de la RLCA y determinar los efectos de la carga cognitiva en la variabilidad de la coordinación.  | 25 personas con RLCA                       |
| Comparación de los efectos del enfoque externo de atención y la tarea cognitiva continua sobre el control postural en atletas con reconstrucción del ligamento cruzado anterior (18)    | Ahmadi et al.<br>2019            | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304394019307694">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304394019307694</a> | Cohorte transversal         | Revelar los efectos del enfoque externo (EE) de atención y la tarea cognitiva continua (TCC) sobre el control postural en atletas con RLCA comparando el patrón de la interacción condición-grupo entre el RLCA y atletas sanos.    | 20 personas con RLCA y 20 controles sanos  |
| Optimizando la vuelta al terreno de juego: Doble tarea vs. entrenamiento de fuerza tradicional para la rehabilitación del ligamento cruzado anterior (LCA) (19)                         | Mouriño-Cabaleiro et al.<br>2025 | <a href="https://www.researchgate.net/publication/390151012">https://www.researchgate.net/publication/390151012</a>                                           | Ensayo clínico aleatorizado | Evaluar la efectividad de un programa de entrenamiento de fuerza convencional en comparación con un entrenamiento de fuerza que incorpora la toma de decisiones en jugadores de deportes de equipo que hayan sido sometidos a RLCA. | 11 personas con RLCA (G1: n=5; G2: n=6)    |
| Función cognitivo-motora durante los aterrizajes de salto tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (20)                                                                    | Aflatounian et al.<br>2025       | <a href="https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12535655">https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12535655</a>                                             | Cohorte transversal         | Evaluar las deficiencias cognitivo-motoras que persisten tras una RLCA                                                                                                                                                              | 35 personas con RLCA y 35 controles sanos. |
| La influencia de la doble tarea cognitiva en los resultados de la prueba del triple salto tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (21)                                    | Ricupito et al.<br>2025          | <a href="https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11697992">https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11697992</a>                                             | Cohorte transversal         | Analizar la influencia del DT en el desempeño del Test del Triple Salto para distancia (THD) en el estado de los individuos después de la reconstrucción del LCA.                                                                   | 17 personas con RLCA                       |

|                                                                                                                                  |                    |                                                                                                                   |                     |                                                                                                                                                                                           |                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Efecto de la doble tarea sobre la asimetría de la marcha en pacientes tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (22) | Shi et al.<br>2018 | <a href="https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6089886/">https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6089886/</a> | Cohorte transversal | Determinar si el deterioro psicológico contribuía a las asimetrías en el movimiento de las extremidades inferiores al caminar en personas sometidas a cirugías de reconstrucción del LCA. | 25 personas con RLCA |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|

**Tabla 4.** Descripción de tareas neurocognitivas y protocolos empleados.

| <b>Autor/Año</b>                | <b>Tipo de tarea neurocognitiva</b>                                            | <b>Descripción del protocolo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Variables cognitivas implicadas</b>                                                  | <b>Variables neuromusculares evaluadas</b>                                                                                                  | <b>Principales hallazgos</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hallaj Mazidluie et al.<br>2024 | Ejercicios de equilibrio cognitivo en doble tarea (comparado con tarea simple) | Programa de ejercicios de equilibrio unipodal. El grupo de doble tarea realizó simultáneamente tareas cognitivas (decir números en orden inverso, días de la semana en forma inversa/alternada, nombrar palabras con letra específica, escribir palabras al revés). Las evaluaciones se realizaron mediante prueba de equilibrio estático unipodal sobre plataforma de presión FDM (20° flexión de rodilla, 20 s, promedio de 3 intentos). | Atención dividida, memoria de trabajo, flexibilidad cognitiva, control ejecutivo básico | Variables del centro de presión (COP): velocidad, desplazamiento y oscilación postural en equilibrio estático unipodal; subescalas del KOOS | Ambos grupos (doble y simple tarea) mejoraron significativamente las variables de equilibrio estático y las puntuaciones KOOS intragrupo ( $p < 0,05$ ). No se observaron diferencias significativas intergrupo en parámetros del COP ni correlación significativa entre KOOS y variables de equilibrio. Las tareas cognitivas podrían no haber sido suficientemente desafiantes para generar diferencias adicionales. |
| Grooms et al.,<br>2018          | Interrupción de retroalimentación visual mediante gafas                        | Tarea de aterrizaje bilateral (DVJ: Drop Vertical Jump) bajo dos condiciones visuales: visión normal y visión estroboscópica. Se                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Procesamiento visomotor, dependencia de retroalimentación                               | Excursión de flexión y aducción de rodilla, momento de flexión y                                                                            | La condición estroboscópica indujo cambios significativos en la excursión de flexión y aducción de rodilla y en la fuerza de reacción vertical. Los sujetos con RLCA mostraron mayor                                                                                                                                                                                                                                   |

|                      |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | estroboscópicas (SVFD)                                                                                                                       | analizaron cambios cinemáticos y cinéticos durante el aterrizaje.                                                                                                                                                                                                               | visual, control sensoriomotor                                                                                          | abducción de rodilla, fuerza máxima de reacción vertical del suelo                                                                                                               | aumento en la flexión de rodilla bajo SVFD en comparación con controles. Los resultados sugieren una mayor dependencia de la retroalimentación visual para el control neuromuscular tras RLCA.                                                                                                                                                                            |
| Gsangaya et al. 2023 | Realidad virtual inmersiva (PlayStation VR) con videojuegos interactivos (Headmaster, Dream Match Tennis, Beat Saber, Sparc VR, entre otros) | Grupo 1: rehabilitación convencional. Grupo 2: rehabilitación convencional + VR inmersiva. La VR comenzó a los 3 meses postoperatorios y se aplicó durante 3 meses, con sesiones de 30 minutos cada dos semanas. Evaluación preoperatoria y a los 6 meses.                      | Atención, procesamiento visuoespacial, coordinación visomotora, toma de decisiones en entorno dinámico, motivación     | Carga de la extremidad (Índice de Simetría), equilibrio dinámico (SEBT), rango de movimiento de rodilla, pruebas funcionales de salto (unipodal, vertical, lateral), dolor, IKDC | El grupo VR mostró mejoría significativa en dolor ( $p=0,012$ ) y puntuación IKDC ( $p=0,024$ ). No se observaron diferencias significativas en carga de extremidad, equilibrio, ROM ni pruebas de salto ( $p>0,05$ ).                                                                                                                                                    |
| Lion et al. 2018     | Paradigma de doble tarea (conteo regresivo silencioso de 7 en 7) durante bipedestación                                                       | Evaluación en 8 condiciones combinando: tarea única vs. dual, ojos abiertos vs. cerrados, superficie estable vs. espuma. Tres registros de 20 s por condición en plataformas de fuerza.                                                                                         | Atención dividida, carga cognitiva, procesamiento ejecutivo, priorización postural vs. cognitiva                       | Área de balanceo ( $\text{mm}^2$ ), trayectoria del centro de presión (mm)                                                                                                       | No hubo efecto principal de grupo en área ni trayectoria de balanceo ( $p>0,05$ ). La visión y la superficie influyeron significativamente ( $p<0,001$ ). La tarea dual redujo el área y trayectoria de balanceo en ambos grupos (mejor control postural). No se observaron diferencias entre RLCA y controles en ninguna condición                                       |
| Strong et al. 2025   | Paradigma de doble tarea durante Drop Vertical Jump (DVJ) con memoria de letras y toma de decisiones visual                                  | Realizaron DVJ sin tarea cognitiva y DVJ con tareas simultáneas: memorización de posición de letras (A–F), toma de decisiones rápida (flechas negras/rojas), control inhibitorio (acción opuesta según estímulo). Evaluación mediante plataformas de fuerza (vGRF) y captura de | Memoria de trabajo visuoespacial, atención, toma de decisiones rápida, control inhibitorio, velocidad de procesamiento | Acción motora correcta (%), altura relativa de salto, fuerza de reacción vertical máxima relativa (vGRF), porcentaje de respuestas cognitivas correctas                          | El grupo RLCA mostró mayor interferencia cognitivo-motora ( $p<0,001$ ), con menos respuestas cognitivas correctas ( $-13,3\%$ ), más acciones motoras incorrectas ( $-7,5\%$ ) y menor altura relativa de salto ( $-4,5\%$ ). No hubo diferencias en vGRF pico ( $p=0,59$ ). El efecto no se explicó por el rendimiento cognitivo aislado. No hubo diferencias por sexo. |

|                               |                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                      |                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |                                                                                                                                                                                         | movimiento. Se controló rendimiento cognitivo aislado con batería CANTAB.                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                      |                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Shi et al. 2021               | Paradigma de doble tarea durante la marcha (conteo regresivo de 7 en 7 desde número aleatorio 125–250)                                                                                  | Caminaron 10 m en condición de tarea única y doble tarea (orden aleatorizado). En doble tarea contaban hacia atrás en voz alta lo más rápido posible. Captura 3D con sistema VICON (100 Hz) y plataformas de fuerza (1000 Hz). Análisis de variabilidad de coordinación mediante técnica de codificación vectorial en cinco acoplamientos cadera–rodilla. | Atención dividida, carga cognitiva, velocidad de procesamiento, control ejecutivo    | Variabilidad de coordinación interarticular en distintas fases del ciclo de la marcha; cinemática de cadera y rodilla | La pierna lesionada mostró mayor variabilidad en fase de apoyo medio ( $p=0,012$ ). La condición de doble tarea aumentó la variabilidad durante fase de respuesta a la carga en ambas piernas ( $p<0,001$ ). No hubo efectos de interacción pierna $\times$ condición. La velocidad de marcha fue menor en doble tarea ( $p=0,003$ ) |
| Ahmadi et al. 2019            | Enfoque externo de atención (EF) mediante retroalimentación visual en app de nivelación vs tarea cognitiva continua (CCT): conteo mental de aparición de dígito en secuencias numéricas | Evaluación en apoyo monopodal sobre tabla de equilibrio colocada en plataforma de fuerza (60 s). Tres condiciones: control (solo tarea postural), EF (atención a marcador visual proyectado a 3 m), CCT (conteo mental continuo de secuencias numéricas auditivas). Orden aleatorizado.                                                                   | Atención selectiva, desvío atencional, atención sostenida, carga cognitiva continua  | Área elíptica 95% COP, desviación estándar AP y ML, velocidad media COP, frecuencia de potencia media (MPF)           | En el grupo RLCA hubo interacción grupo $\times$ condición significativa. La CCT redujo significativamente el área de balanceo y la DE del COP (AP y ML) respecto a control y EF ( $p<0,01$ ). El EF no difirió de la condición control. En controles sanos no hubo cambios entre condiciones. La CCT también aumentó la MPF.        |
| Mouriño-Cabaleiro et al. 2025 | Doble tarea con toma de decisión basada en estímulos luminosos (colores                                                                                                                 | 12 semanas (24 sesiones). G1: fuerza tradicional. G2: mismo programa + estímulo visual (PowerPoint con colores aleatorios). Cada color indicaba qué pierna o                                                                                                                                                                                              | Toma de decisiones rápida, atención selectiva visual, velocidad de reacción, control | MVIC (N) extensión cadera, flexión rodilla 15° y 90°, extensión rodilla; CMJu (cm); MHD (cm); LSI (%)                 | G2 mostró mejoras significativas en la pierna lesionada en: extensión de cadera ( $p=0,046$ ), flexión rodilla 90° ( $p=0,028$ ) y 15° ( $p=0,028$ ). No hubo diferencias significativas en saltos. G1 no mostró mejoras significativas en la                                                                                        |

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | asociados a acción específica) durante ejercicios de fuerza y saltos                                                                                                                                                                                 | acción ejecutar. Se añadió serie extra si LSI <85%. Evaluación pre y post con MIT (MVIC en extensión cadera, flexión rodilla 15° y 90°, extensión rodilla) y saltos (CMJu, MHD).                                                                                                                                                                                                      | inhibitorio, procesamiento perceptivo-motor                                                                                       |                                                                                                                                                                                                   | rodilla lesionada. La doble tarea parece potenciar la producción de fuerza respecto al entrenamiento tradicional                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Aflatounian et al. 2025 | Paradigma de doble tarea y manipulación sensorial durante tarea salto-aterrizaje-salto. Condiciones: línea base (anticipada), restricción visual (fijación), estímulo auditivo no anticipado, estímulo visual no anticipado, memoria visual-espacial | Salto desde caja de 30 cm, aterrizaje bilateral en plataformas de fuerza y segundo salto en dirección indicada (~250 ms antes del contacto inicial). Se incluyeron 6 condiciones combinando anticipación, restricción visual y toma de decisiones rápida. Captura 3D (250 Hz) y plataformas de fuerza (1000 Hz). Modelos lineales mixtos para analizar interacción grupo × condición. | Toma de decisiones rápida, procesamiento visuoespacial, memoria de trabajo visual, atención selectiva, integración sensoriomotora | Asimetría del momento extensor de rodilla en contacto inicial (KEM-Asym-IC), ángulo máximo de flexión de rodilla (pKFA), rango de abducción de rodilla (Inv-KAbA), rotación de cadera no afectada | No hubo interacción significativa grupo × condición. Sí hubo efecto de grupo para KEM-Asym-IC (ACLR mostró mayor asimetría independientemente de la condición; $p<0,001$ ). Hubo efecto de condición para pKFA: menor flexión de rodilla en desafíos de toma de decisiones rápida en ambos grupos ( $p<0,001$ ). Los desafíos cognitivos no exacerbaron diferencialmente el patrón del grupo ACLR |
| Ricupito et al. 2025    | Paradigma de doble tarea durante Triple Hop Distance (THD) con interferencia cognitiva mediante smartphones                                                                                                                                          | THD en dos condiciones: 1) tarea única (solo salto), 2) doble tarea con interferencia cognitiva administrada mediante dos iPhone X. La prueba se realizó en pasillo de 6 m × 15 cm. Se calculó el costo de la doble tarea (DTC) comparando rendimiento en tarea única vs. doble tarea. Distancia medida con cinta métrica estándar.                                                   | Atención dividida, carga cognitiva concurrente, procesamiento simultáneo cognitivo-motor                                          | Distancia total del triple salto (cm); cálculo del Dual Task Cost (%) para extremidad operada y sana                                                                                              | La condición de doble tarea deterioró significativamente el rendimiento del THD. La extremidad reconstruida mostró disminución significativa (~20,7 cm; $p=0,016$ ). También hubo deterioro en la extremidad sana (~10,4 cm; $p=0,038$ ). La extremidad sana presentó incluso mayor reducción porcentual en algunos análisis, sugiriendo vulnerabilidad bilateral bajo carga cognitiva.           |

|                    |                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                 |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Shi et al.<br>2018 | Paradigma de doble tarea durante la marcha (conteo regresivo en voz alta desde número aleatorio) | Sujetos con RLCA unilateral realizaron marcha en condición de tarea única y doble tarea. En doble tarea debían contar hacia atrás en intervalos regulares mientras caminaban. Se utilizó análisis tridimensional del movimiento y plataformas de fuerza para evaluar cinemática y cinética de cadera y rodilla en distintas fases del ciclo de la marcha. | Atención dividida, carga cognitiva, procesamiento ejecutivo, control atencional | Ángulo máximo de aducción de cadera en apoyo medio; momento pico de extensión de rodilla en respuesta a la carga y apoyo medio; momento máximo de abducción de cadera; índices de asimetría inter-limb | En doble tarea disminuyó significativamente el momento pico de extensión de rodilla en ambas piernas durante respuesta a la carga y apoyo medio ( $p=0,012$ ; $p=0,001$ ). También disminuyó el ángulo máximo de aducción de cadera en apoyo medio en ambas piernas ( $p=0,001$ ; $p=0,009$ ). Se redujeron algunos índices de asimetría inter-limb bajo doble tarea. |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

En los estudios incluidos se identificaron diversos paradigmas de tareas neurocognitivas, aplicados de manera concurrente a tareas motoras.

#### *Paradigmas de doble tarea cognitivo–motora*

La mayoría de los estudios empleó paradigmas de doble tarea, combinando una tarea motora con demandas cognitivas simultáneas como conteo regresivo, memoria de trabajo, toma de decisiones o control inhibitorio. Estas tareas se aplicaron durante situaciones de equilibrio estático y dinámico, marcha y gestos deportivos como el salto y el aterrizaje. (12,15–22)

#### *Perturbaciones sensoriales y visomotoras*

Dos estudios utilizaron manipulación de la información sensorial, especialmente mediante la interrupción de la retroalimentación visual a través de gafas estroboscópicas o restricciones visuales, con el objetivo de evaluar el control visomotor durante tareas de aterrizaje. (13,15)

#### *Tareas de toma de decisiones rápidas*

Algunos estudios incorporaron estímulos visuales o auditivos no anticipados, que requerían respuestas motoras rápidas y específicas, simulando demandas propias del entorno deportivo. (16,19,20)

#### *Realidad virtual inmersiva*

Un estudio evaluó el uso de realidad virtual inmersiva como complemento de la rehabilitación convencional, mediante videojuegos interactivos que exigían coordinación visomotora y toma de decisiones en entornos dinámicos. (14)

En conjunto, la evidencia disponible indica que la interacción cognitivo–motora en deportistas con RLCA es un fenómeno dependiente del contexto de tarea. Se identifican cuatro patrones principales:

1. Dependencia del tipo de tarea motora

La interferencia cognitivo–motora varía según la complejidad de la tarea:

- Baja sensibilidad en tareas estáticas

- Sensibilidad intermedia en la marcha
- Alta sensibilidad en tareas dinámicas, unipodales y deportivas

Este hallazgo se ve respaldado por estudios que no evidenciaron diferencias en condiciones estáticas, pero sí en tareas de salto o aterrizaje bajo doble tarea.

## 2. Efectos bilaterales

Diversos estudios evidenciaron que el impacto de la carga cognitiva no se limita a la extremidad intervenida, sino que también afecta la extremidad contralateral. Esto sugiere la presencia de mecanismos de reorganización central posteriores a la lesión, más que un déficit exclusivamente periférico.

## 3. Modificación de estrategias motoras

Si bien la carga cognitiva no siempre incrementa las asimetrías entre miembros, sí induce cambios en las estrategias de movimiento, tales como reducción de la flexión de rodilla o modificaciones en los momentos articulares, lo que podría tener implicancias en el riesgo de reinjuria.

## 4. Potencial terapéutico del entrenamiento en doble tarea

Las intervenciones que incorporan demandas cognitivas durante el entrenamiento muestran resultados prometedores, particularmente en la mejora de la producción de fuerza. No obstante, la evidencia disponible es aún limitada y basada en muestras pequeñas, por lo que estos hallazgos deben interpretarse con cautela.

## Resultados sobre la función neuromuscular

Los resultados relacionados con la función neuromuscular fueron heterogéneos. En estudios de intervención, la incorporación de tareas de toma de decisiones durante el entrenamiento de fuerza se asoció con mejoras significativas en la producción de fuerza del miembro intervenido, en comparación con programas tradicionales.

En contraste, los estudios observacionales mostraron que la inclusión de tareas cognitivas durante la marcha o el salto modifica variables cinéticas y cinemáticas, como los momentos articulares y las fuerzas de reacción del suelo, aunque estos cambios no

siempre difieren significativamente entre sujetos con RLCA y controles sanos. Esto sugiere que algunas adaptaciones podrían responder a estrategias compensatorias generales más que a déficits específicos de la lesión.

#### Resultados sobre el control postural

En tareas de equilibrio estático, la incorporación de doble tarea se asoció con mejoras en los parámetros del centro de presión tanto en individuos con RLCA como en controles sanos, sin diferencias significativas entre grupos. Este hallazgo podría explicarse por un fenómeno de automatización del control postural ante la introducción de una carga cognitiva adicional.

Asimismo, las tareas cognitivas continuas durante el equilibrio monopodal mostraron una reducción del área de balanceo y de la variabilidad del centro de presión en sujetos con RLCA, mientras que otras estrategias atencionales, como el enfoque externo, no evidenciaron efectos diferenciales. Estos resultados refuerzan la idea de que el impacto de la cognición sobre el control postural depende del tipo de demanda cognitiva implementada.

#### Resultados sobre la coordinación y la variabilidad del movimiento

Los estudios que analizaron la coordinación interarticular evidenciaron que la carga cognitiva incrementa la variabilidad del movimiento durante la marcha, especialmente en la extremidad intervenida y en fases específicas del ciclo de la marcha, como el apoyo medio.

Asimismo, en tareas dinámicas como el salto, los individuos con RLCA mostraron una mayor interferencia cognitivo–motora en comparación con los controles, manifestada por una disminución del rendimiento motor y de la precisión en las tareas cognitivas. Este hallazgo sugiere una menor capacidad para gestionar demandas concurrentes en contextos de alta exigencia.

#### Resultados sobre el desempeño funcional

En pruebas funcionales, la incorporación de tareas cognitivas produjo un deterioro significativo del rendimiento, evidenciado en una disminución de la distancia en el triple

salto y en alteraciones en el rendimiento durante tareas de aterrizaje. Este efecto se observó tanto en la extremidad intervenida como en la contralateral, lo que refuerza la hipótesis de compromiso bilateral.

Por otro lado, la utilización de realidad virtual como complemento terapéutico mostró mejoras en variables subjetivas, como el dolor y la función percibida de la rodilla, aunque no se observaron cambios significativos en variables objetivas de rendimiento funcional. Esto sugiere que los beneficios de este tipo de intervención podrían estar más relacionados con aspectos perceptivos y motivacionales que con adaptaciones neuromusculares directas.

## DISCUSIÓN

El objetivo de la presente revisión narrativa fue describir y analizar la evidencia científica disponible acerca de la aplicación de tareas neurocognitivas en deportistas con reconstrucción del ligamento cruzado anterior (RLCA), en relación con la función neuromuscular y variables asociadas al retorno seguro al deporte.

Uno de los hallazgos principales de esta revisión es que la interferencia cognitivo–motora se manifiesta de manera dependiente del contexto, particularmente del tipo y complejidad de la tarea motora. En este sentido, las tareas estáticas mostraron una baja sensibilidad para detectar alteraciones, mientras que las tareas dinámicas y específicas del deporte, como los saltos y aterrizajes, evidenciaron mayores niveles de interferencia. Este patrón sugiere que los déficits funcionales en sujetos con RLCA no son necesariamente evidentes en condiciones controladas, sino que emergen en situaciones que requieren una mayor integración entre procesos cognitivos y motores.

Desde una perspectiva metodológica, este hallazgo pone en cuestionamiento la validez ecológica de muchas de las evaluaciones utilizadas tradicionalmente en la práctica clínica. Las pruebas realizadas en condiciones de tarea única podrían sobreestimar la recuperación funcional del deportista, al no contemplar las demandas atencionales y decisionales propias del entorno deportivo. En consecuencia, los criterios actuales para el retorno al deporte podrían no reflejar adecuadamente la capacidad del individuo para enfrentar situaciones reales de juego, lo que podría contribuir a las elevadas tasas de reinjuria reportadas en esta población.

Otro aspecto relevante es la evidencia de efectos bilaterales ante la carga cognitiva. Los resultados indican que tanto la extremidad intervenida como la contralateral se ven afectadas durante tareas de doble demanda, lo que sugiere que la lesión del ligamento cruzado anterior genera adaptaciones a nivel del sistema nervioso central. Este hallazgo es consistente con la noción de que la RLCA no constituye únicamente una alteración periférica, sino que implica cambios en la organización y el control del movimiento a nivel global. En términos clínicos, esto refuerza la necesidad de abandonar enfoques rehabilitadores centrados exclusivamente en la extremidad lesionada, promoviendo en su lugar intervenciones que aborden el sistema neuromuscular de manera integral.

En relación con las estrategias motoras, se observó que la incorporación de demandas cognitivas no siempre incrementa las asimetrías, pero sí modifica la forma en que se ejecuta el movimiento. La reducción de la flexión de rodilla y las alteraciones en los momentos articulares observadas en tareas dinámicas podrían interpretarse como estrategias compensatorias orientadas a reducir la complejidad del control motor bajo condiciones de alta demanda. Sin embargo, estas adaptaciones podrían comprometer la eficiencia mecánica y aumentar la carga sobre estructuras pasivas, lo que potencialmente incrementa el riesgo de reinjuria. En este sentido, no solo resulta relevante evaluar el rendimiento, sino también la calidad del movimiento en contextos de doble tarea.

Los resultados vinculados a la función neuromuscular mostraron una marcada heterogeneidad. Mientras que los estudios de intervención sugieren que la incorporación de componentes cognitivos durante el entrenamiento puede mejorar la producción de fuerza, los estudios observacionales no evidencian diferencias consistentes entre sujetos con RLCA y controles sanos en variables cinéticas y cinemáticas. Esta discrepancia podría explicarse por la capacidad de los sujetos para adoptar estrategias compensatorias que enmascaran déficits en condiciones de laboratorio, pero que podrían no ser sostenibles en situaciones más exigentes. Asimismo, las diferencias en los protocolos utilizados y en las características de las muestras dificultan la comparación directa entre estudios.

En cuanto al control postural, los hallazgos muestran que la introducción de tareas cognitivas puede mejorar ciertos parámetros, como la reducción del área de balanceo. Este resultado, que podría parecer contraintuitivo, se ha asociado con procesos de automatización del control motor, en los cuales la atención se desvía de la ejecución consciente del movimiento. No obstante, este efecto no es uniforme y depende del tipo de tarea cognitiva implementada, lo que sugiere que no todas las estrategias atencionales tienen el mismo impacto sobre el control postural. Este aspecto resulta particularmente relevante al momento de diseñar intervenciones, ya que una selección inadecuada de las tareas podría no generar los efectos esperados.

Por otro lado, el aumento de la variabilidad del movimiento observado en condiciones de doble tarea, especialmente durante la marcha y en tareas dinámicas, sugiere una menor

estabilidad del sistema motor en sujetos con RLCA. Si bien cierta variabilidad puede considerarse adaptativa, en contextos de alta exigencia deportiva una variabilidad excesiva podría comprometer la eficiencia y la seguridad del movimiento. Esto cobra especial relevancia en acciones como el aterrizaje, donde el control preciso del movimiento es fundamental para la prevención de lesiones.

En relación con el desempeño funcional, la evidencia indica que la incorporación de demandas cognitivas deteriora el rendimiento en pruebas como el triple salto, afectando tanto a la extremidad intervenida como a la contralateral. Este hallazgo refuerza la hipótesis de compromiso bilateral y pone en evidencia que la evaluación en condiciones de tarea única podría no ser suficiente para determinar la preparación del deportista para el retorno a la actividad.

En cuanto a las intervenciones, el entrenamiento en doble tarea y el uso de herramientas como la realidad virtual muestran un potencial interesante dentro del proceso de rehabilitación. Sin embargo, los resultados actuales son aún preliminares. Mientras que se observaron mejoras en variables subjetivas como el dolor y la función percibida, los cambios en variables objetivas fueron limitados. Esto sugiere que, si bien estas estrategias pueden mejorar la adherencia y la motivación, su impacto sobre el rendimiento neuromuscular requiere ser investigado con mayor profundidad.

Es importante considerar que los hallazgos de esta revisión deben interpretarse a la luz de ciertas limitaciones. La evidencia disponible se caracteriza por un predominio de estudios observacionales, tamaños muestrales reducidos y una considerable heterogeneidad en los protocolos de evaluación e intervención. Asimismo, la falta de estandarización en las tareas cognitivas utilizadas dificulta la comparación entre estudios y limita la posibilidad de establecer recomendaciones clínicas específicas. Estas limitaciones ponen de manifiesto la necesidad de desarrollar investigaciones futuras con diseños más robustos, que permitan establecer relaciones causales y definir protocolos de intervención basados en evidencia.

Desde una perspectiva aplicada, los resultados de este estudio sugieren que la rehabilitación del deportista con RLCA debería incorporar de manera sistemática la dimensión cognitiva dentro del entrenamiento. La inclusión de tareas de doble tarea,

estímulos impredecibles y situaciones que simulen el entorno deportivo podría contribuir a una preparación más completa y específica para el retorno al deporte. En este sentido, la integración de la cognición y el movimiento no debería considerarse un complemento, sino un componente central dentro del proceso rehabilitador.

En conclusión, la interacción cognitivo–motora emerge como un factor determinante en la evaluación y rehabilitación de deportistas con RLCA. Si bien la evidencia actual respalda la relevancia de este enfoque, aún existen limitaciones que impiden establecer lineamientos definitivos. Por lo tanto, se requieren futuros estudios con mayor rigor metodológico que permitan optimizar las estrategias de evaluación e intervención, con el objetivo de mejorar el rendimiento funcional y reducir el riesgo de reinjuria en esta población.

## **CONCLUSIÓN**

En síntesis, la evidencia muestra que las tareas neurocognitivas permiten detectar déficits en deportistas con RLCA que no aparecen en condiciones tradicionales, especialmente en contextos dinámicos. Su incorporación en la evaluación y rehabilitación podría mejorar la valoración funcional y del riesgo de re-lesión, aunque la evidencia aún es heterogénea y requiere mayor estandarización.

## REFERENCIAS

1. Stańczak M, Swinnen B, Kacprzak B, Pacek A, Surmacz J. Neurophysiology of ACL Injury. *Orthop Rev.* 2025;17:129173. doi:10.52965/001c.129173 PubMed PMID: 39980496; PubMed Central PMCID: PMC11842161.
2. Faltus J, Criss CR, Grooms DR. Shifting Focus: A Clinician's Guide to Understanding Neuroplasticity for Anterior Cruciate Ligament Rehabilitation. *Curr Sports Med Rep.* febrero de 2020;19(2):76-83. doi:10.1249/JSR.0000000000000688 PubMed PMID: 32028352.
3. Guan Y, Li J, Wei Y, Shi PT, Yang C, Yun X, et al. Brain functional connectivity alterations in patients with anterior cruciate ligament injury. *Brain Res.* 1 de agosto de 2024;1836:148956. doi:10.1016/j.brainres.2024.148956 PubMed PMID: 38657888.
4. Thomas ZM, Lupowitz L, Ivey M, Wilk KE. Neurocognitive and Neuromuscular Rehabilitation Techniques after ACL injury - Part 2: Maximizing Performance in the Advanced Return to Sport Phase. *Int J Sports Phys Ther.* 2024;19(12):1629-41. doi:10.26603/001c.126270 PubMed PMID: 39628780; PubMed Central PMCID: PMC11611477.
5. Strong A, Grip H, Boraxbekk CJ, Selling J, Häger CK. Brain Response to a Knee Proprioception Task Among Persons With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Controls. *Front Hum Neurosci.* 2022;16:841874. doi:10.3389/fnhum.2022.841874 PubMed PMID: 35392122; PubMed Central PMCID: PMC8980265.
6. Kakavas G, Malliaropoulos N, Pruna R, Traster D, Bikos G, Maffulli N. Neuroplasticity and Anterior Cruciate Ligament Injury. *Indian J Orthop.* mayo de 2020;54(3):275-80. doi:10.1007/s43465-020-00045-2 PubMed PMID: 32399146; PubMed Central PMCID: PMC7205971.
7. Grooms DR, Page SJ, Nichols-Larsen DS, Chaudhari AMW, White SE, Onate JA. Neuroplasticity Associated With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Orthop*

Sports Phys Ther. marzo de 2017;47(3):180-9. doi:10.2519/jospt.2017.7003 PubMed PMID: 27817301.

8. Grooms DR, Chaput M, Simon JE, Criss CR, Myer GD, Diekfuss JA. Combining Neurocognitive and Functional Tests to Improve Return-to-Sport Decisions Following ACL Reconstruction. J Orthop Sports Phys Ther. agosto de 2023;53(8):415-9. doi:10.2519/jospt.2023.11489 PubMed PMID: 37186672; PubMed Central PMCID: PMC10847844.
9. Neurocognitive and Neurophysiological Functions Related to ACL Injury: A Framework for Neurocognitive Approaches in Rehabilitation and Return-to-Sports Tests - Daghan Piskin, Anne Benjaminse, Panagiotis Dimitrakis, Alli Gokeler, 2022 [Internet]. [citado 30 de noviembre de 2025]. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/19417381211029265>
10. Wilk KE, Ivey M, Thomas ZM, Lupowitz L. Neurocognitive and Neuromuscular Rehabilitation Techniques after ACL Injury, Part 1: Optimizing Recovery in the Acute Post-Operative Phase- A Clinical Commentary. Int J Sports Phys Ther. 19(11):1373-85. doi:10.26603/001c.124945 PubMed PMID: 39507089; PubMed Central PMCID: PMC11540096.
11. Grooms D, Appelbaum G, Onate J. Neuroplasticity following anterior cruciate ligament injury: a framework for visual-motor training approaches in rehabilitation. J Orthop Sports Phys Ther. mayo de 2015;45(5):381-93. doi:10.2519/jospt.2015.5549 PubMed PMID: 25579692.
12. Hallaj Mazidluie M, Ahadi J, Oraei Eslami F, Ghanavati T, Moradi A. Comparison of the Effects of Cognitive Dual-Task and Single-Task Balance Exercises on Static Balance among People with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. Arch Bone Jt Surg. 2024;12(5):349-56. doi:10.22038/ABJS.2024.77458.3579 PubMed PMID: 38817420; PubMed Central PMCID: PMC11134260.

13. Grooms DR, Chaudhari A, Page SJ, Nichols-Larsen DS, Onate JA. Visual-Motor Control of Drop Landing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Athl Train*. mayo de 2018;53(5):486-96. doi:10.4085/1062-6050-178-16 PubMed PMID: 29749751; PubMed Central PMCID: PMC6107770.
14. Gsangaya MR, Htwe O, Selvi Naicker A, Md Yusoff BAH, Mohammad N, Soh EZF, et al. Comparison between the effect of immersive virtual reality training versus conventional rehabilitation on limb loading and functional outcomes in patients after anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective randomized controlled trial. *Asia-Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol*. 5 de octubre de 2023;34:28-37. doi:10.1016/j.asmart.2023.09.002 PubMed PMID: 37841643; PubMed Central PMCID: PMC10570631.
15. Effect of cognitive challenge on the postural control of patients with ACL reconstruction under visual and surface perturbations. *Gait Posture*. 1 de febrero de 2018;60:251-7. doi:10.1016/j.gaitpost.2017.12.013
16. Strong A, Boraxbekk CJ, Markström JL. Greater Cognitive-Motor Interference Among Patients After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Compared With Controls. *Am J Sports Med*. abril de 2025;53(5):1041-9. doi:10.1177/03635465251322947 PubMed PMID: 40035612; PubMed Central PMCID: PMC11951357.
17. Shi H, Ren S, Miao X, Zhang H, Yu Y, Hu X, et al. The effect of cognitive loading on the lower extremity movement coordination variability in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *Gait Posture*. 1 de febrero de 2021;84:141-7. doi:10.1016/j.gaitpost.2020.10.028
18. Comparing the effects of external focus of attention and continuous cognitive task on postural control in anterior cruciate ligament reconstructed athletes. *Neurosci Lett*. 10 de enero de 2020;715:134666. doi:10.1016/j.neulet.2019.134666
19. Mourino Cabaleiro A, Fernández-Romero J, Vila Suárez ME, Saavedra M. Optimizando la vuelta al terreno de juego: Doble tarea vs. entrenamiento de fuerza tradicional para la rehabilitación del ligamento cruzado anterior (LCA) Optimizing

return to play: Double task vs. Traditional strength training for anterior cruciate ligament (ACL) rehabilitation. *E-Balónmano Com J Sports Sci.* 24 de marzo de 2025;21:265-76. doi:10.17398/1885-7019.21.265

20. Aflatounian F, Becker JN, Hutchison KA, Simon JE, Grooms DR, Monfort SM. Cognitive-Motor Function During Jump Landings After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med.* 14 de octubre de 2025;13(10):23259671251378761. doi:10.1177/23259671251378761 PubMed PMID: 41116771; PubMed Central PMCID: PMC12535655.
21. Ricupito R, Grassi A, Zanuso M, Torneri P. The Influence of Cognitive Dual Tasking on the Outcomes of the Triple Hop Test Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Int J Sports Phys Ther.* 20(1):40-7. doi:10.26603/001c.127511 PubMed PMID: 39758699; PubMed Central PMCID: PMC11697992.
22. Shi H, Huang H, Yu Y, Liang Z, Zhang S, Yu B, et al. Effect of dual task on gait asymmetry in patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *Sci Rep.* 13 de agosto de 2018;8:12057. doi:10.1038/s41598-018-30459-w PubMed PMID: 30104568; PubMed Central PMCID: PMC6089886.

## ANEXOS

### ANEXO 1: ESCALA PEDRO

| Estudio (autor y año)           | 1 (no puntúa) | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | PUNTAJE | CALIDAD  |
|---------------------------------|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----------|
| Hallaj Mazidluie et al. (2024)  | SI            | SI | SI | SI | NO | NO | SI | SI | NO | SI | SI | 7/10    | BUENA    |
| Gsangaya et al. (2023)          | SI            | SI | NO | SI | NO | NO | NO | SI | NO | SI | SI | 5/10    | MODERADA |
| Mouriño-Cabaleiro et al. (2025) | SI            | SI | NO | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | SI | 5/10    | MODERADA |

### ANEXO 2: ESCALA STROBE

| Estudio (autor y año)     | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | PUNTAJE | %     |
|---------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|-------|
| Grooms et al. (2018)      | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | P | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | P  | SI | SI | 21/22   | 95,5% |
| Lion et al. (2018)        | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | P | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | P  | SI | SI | 21/22   | 95,5% |
| Strong et al. (2025)      | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | P | SI | SI | SI | P  | SI | SI | SI | SI | SI | SI | P  | SI | SI | 20,5/22 | 93,2% |
| Shi et al. (2021)         | SI | SI | SI | SI | SI | P  | SI | SI | P | NO | SI | SI | NO | SI | SI | SI | NO | SI | P  | SI | P  | SI | 17/22   | 77,3% |
| Ahmadi et al. (2020)      | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | P | NO | SI | SI | NO | SI | SI | SI | SI | SI | SI | P  | SI | SI | 19/22   | 86,4% |
| Aflatounian et al. (2025) | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | P | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | 21,5/22 | 97,7% |
| Ricupito et al. (2025)    | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | P | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | NO | SI | 20,5/22 | 93,2% |
| Shi et al. (2018)         | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | P | NO | SI | SI | SI | SI | SI | P  | SI | P  | SI | P  | SI | NO | 18/22   | 81,8% |