

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNANDEZ DE ELCHE**  
**FACULTAD DE MEDICINA**  
**TRABAJO DE FIN DE GRADO**  
  
**GRADO EN FISIOTERAPIA**



**EFFECTIVIDAD DE LA REALIDAD VIRTUAL**  
**EN LA REHABILITACIÓN DE PLASTIAS DE LCA**

**AUTOR:** GONZÁLEZ TORRALVO, JUAN

**TUTOR:** PINA BERNABEU, BEATRIZ

**Departamento:** Fisioterapia

**Curso académico:** 2023 - 2024

**Convocatoria de** JUNIO 2024



## ÍNDICE

### *Resumen y palabras clave*

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo General.....	12
2.2 Objetivos Específicos.....	12
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	13
3.1 Diseño del estudio.....	13
3.2 Estrategia de búsqueda.....	13
4. RESULTADOS.....	15
4.1 Descripción de la muestra.....	16
4.2 Mediciones.....	16
4.3 Contenido de los programas.....	17
4.4 Resultados de los programas.....	18
5. DISCUSIÓN.....	20
6. CONCLUSIONES.....	22
7. BIBLIOGRAFÍA.....	23
8. ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
8.1 Figura 1. Ecuación de búsqueda.....	13
8.2 Figura 2. Criterios de inclusión y exclusión.....	14
8.3 Figura 3. Diagrama de Flujo de Metodología de búsqueda.....	15
8.4 Figura 4. Frecuencia de entrenamiento por semana.....	18
9. ÍNDICE DE ANEXOS.....	26
9.1 Anexo I. Escala de Evaluación PEDro.....	26
9.2 Anexo II. Resumen de todos los artículos.....	27
9.3 Anexo III. Análisis de la Calidad metodológica mediante la escala PEDro.....	33
9.4 Anexo IV. Evaluación subjetiva IKDC 2000 .....	34

9.5 Anexo V. Puntuación de rodilla de Lysholm .....38



## *Abreviaturas*

**LCA:** Ligamento Cruzado Anterior

**RV:** Realidad Virtual

**RVI:** Realidad Virtual Inmersiva

**ECA:** Estudio Clínico Aleatorizado

**CCA:** Cadena Cinética Abierta

**CCC:** Cadena Cinética Cerrada

**ACLR:** Cirugía de reconstrucción del Ligamento Cruzado Anterior

**Em:** Edad media

**IMC:** Índice de Masa Corporal

**H:** Hombres

**M:** Mujeres

**Rd:** Rodilla derecha

**Ri:** Rodilla izquierda

**FPT:** Par máximo para la Flexión de rodilla

**EPT:** Par máximo para la Extensión de rodilla

**EEII:** Extremidades inferiores

**IQ:** Intervención Quirúrgica

**Art:** Artículos

**VGRF:** Fuerza de reacción vertical máxima del suelo

**ERVI:** Entorno de Realidad Virtual Inmersiva



**ENRV:** Entorno de No Realidad Virtual

**RTS:** Return To Sport

**ACV:** Accidentes Cerebrovasculares



## ***Resumen y palabras clave***

**Introducción:** El LCA es crucial para la estabilidad y propiocepción de la rodilla. Su lesión es frecuente y puede optarse por tratamiento conservador o quirúrgico. Destacamos el uso de RVI como herramienta de rehabilitación post-ACLR, utilizando gafas de realidad virtual o salas especializadas para simular entornos clínicos más atractivos mediante estimulación sensorial, intentando restablecer ciertas habilidades.

**Objetivos:** 1) Analizar la influencia comparando los efectos de la RVI en la rehabilitación de pacientes post-ACLR. 2) Observar qué parámetros son más efectivos.

**Material y métodos:** Se ha realizado una revisión bibliográfica en las bases de datos Pubmed, Scopus, Google scholar y Cochrane, extrayendo 5 artículos para su posterior estudio y análisis, especificando contenido, medición y resultados.

**Resultados:** 1) El 60% de los estudios evaluó movilidad articular, encontrando una mejora significativa en el 66,66% de los casos. La propiocepción y estabilidad mejoraron en el 100% de los estudios que las midieron (40%). No hubo diferencias en el equilibrio dinámico, reparto de cargas y apoyo, pero si en saltos unilaterales, VGRF y valgo de rodilla. También se observó una mejora en el dolor y en la puntuación de la escala IK2000. 2) Se incluyen programas de entre 8 y 24 semanas acompañado de rehabilitación convencional, con una media de 3,12 sesiones por semana y 28,33 minutos de duración.

**Conclusiones:** A pesar de que falte evidencia científica que respalde esta herramienta de tratamiento y no haya unos parámetros específicos, la RVI obtiene resultados clínicamente favorables.

**Palabras clave:** Ligamento cruzado anterior, realidad virtual, ejercicio físico, rehabilitación.

### ***Abstract and keywords***

**Introduction:** The ACL is crucial for knee stability and proprioception. It is frequently injured and can be treated conservatively or surgically. We highlight the use of RVI as a post-ACLR rehabilitation tool, using virtual reality glasses or specialized rooms to simulate more attractive clinical environments through sensory stimulation, trying to restore certain skills.

**Objectives:** 1) To analyze the influence by comparing the effects of IVR on the rehabilitation of post-ACLR patients. 2) To observe which parameters are more effective.

**Material and methods:** A literature review was carried out in the Pubmed, Scopus, Google scholar and Cochrane databases, extracting 5 articles for subsequent study and analysis, specifying content, measurement and results.

**Results:** 1) 60% of the studies evaluated joint mobility, finding a significant improvement in 66.66% of the cases. Proprioception and stability improved in 100% of the studies that measured them (40%). There were no differences in dynamic balance, load distribution and support, but there were differences in unilateral jumps, VGRF and knee valgus. An improvement in pain and in the IK2000 scale score was also observed. 2) Programs of between 8 and 24 weeks accompanied by conventional rehabilitation were included, with an average of 3.12 sessions per week and 28.33 minutes in duration.

**Conclusions:** Despite the lack of scientific evidence to support this treatment tool and the absence of specific parameters, IVR obtains clinically favorable results.

**Key words:** anterior cruciate ligament, virtual reality, physical exercise, rehabilitation.

## 1. INTRODUCCIÓN

Anatómicamente el ligamento cruzado anterior (LCA) es una estructura ubicada en la rodilla, de forma intraarticular y extrasinovial. Se origina en la cara interna del cóndilo femoral externo y se dispone de forma distal, anterior e interna en abanico para insertarse en la porción medial de la meseta tibial (1).

En la biomecánica corporal principalmente participa en impedir el desplazamiento anterior de la tibia sobre el fémur y, en menor medida, impidiendo el varo, valgo y la rotación interna de la rodilla, esta última a flexión de 90° (2). Es una estructura de vital importancia para la propiocepción, ya que en su interior se encuentran mecanorreceptores como corpúsculos de Ruffini, corpúsculos de Pacini, órganos tipo Golgi y terminaciones nerviosas libres (3), que lo capacitan junto a los demás ligamentos de la rodilla de regular la cinemática articular, informar sensorialmente sobre la musculatura periarticular e influir directamente sobre la posición de las superficies articulares, la dirección y la magnitud de las fuerzas (2).

La rotura del LCA es bastante frecuente (0,4-0,8 cada 1000 habitantes de entre 10 y 64 años, siendo la mayor incidencia entre 28 y 35) (4), y conlleva una pérdida significativa de la estabilidad de la rodilla, además de incrementar el riesgo de presentar lesiones meniscales posteriores o degeneración temprana del cartílago (5).

La lesión se relaciona con un mecanismo indirecto (70% de los casos) provocado por un frenazo brusco combinado con un cambio de dirección, pivotaje o apoyo de la rodilla casi en extensión completa tras un salto. En cambio, las lesiones por contacto directo (30%) ocasionan un desplazamiento de la tibia sobre el fémur. Usualmente suelen ir asociadas alguna lesión meniscal (40-45%), alguna otra lesión ligamentosa (30-35%) y, solo el 10-30% de los casos, es una lesión aislada de LCA (4).

Hay dos tipos de tratamiento: conservador y quirúrgico. El más adecuado dependerá de la edad del paciente, del grado de inestabilidad y la asociación de otras lesiones además de la actividad y las expectativas del paciente, que será el más importante en la decisión clínica (1,6,7).

Si el tratamiento conservador no da resultados se optará por el tratamiento quirúrgico, llamado “Gold standard”, siempre y cuando se tenga la extensión completa y la reacción sinovial sea mínima (7).

Este tratamiento tiene por objetivo disminuir el dolor y restaurar la funcionalidad de la rodilla intervenida, sustituyendo el ligamento por una plastia o injerto, que podrá obtenerse del propio cuerpo del paciente, de otro cuerpo o de material sintético, siendo el autoinjerto el más utilizado, extrayéndolo del tendón rotuliano o del semitendinoso-grácil (6).

En lo que respecta a la rehabilitación postoperatoria diferenciaremos 5 fases (1:Recuperación de la cirugía, 2:Fuerza y control neuromuscular, 3: Carrera, agilidad y aterrizajes, 4: Return to play (RTP), 5:prevención de futuras lesiones ) (8) en las que incluiremos: Técnicas para la modulación del dolor; el cuál puede afectar de manera directa a la inhibición de la actividad muscular, Mecanismos para controlar el edema, inflamación e hinchazón (12), Ejercicios de flexibilidad (9), Cinesiterapia, tanto activa como pasiva, evitando sobre todo la pérdida de extensión completa resultando anormal en la artocinética articular. Electroestimulación (13), Ejercicios de fortalecimiento (12); debido a que los pacientes experimentan una pérdida de fuerza significativa de las EEII (10) de hasta el 40% con la contralateral (11), debido a la atrofia muscular y a la inhibición artrogénica. Es importante tratar esta debilidad, que puede persistir durante años y provoca reducción crónica de la función, degeneración de la articulación y un alto riesgo de volver a lesionarse (10). Ejercicios pliométricos, Ejercicios funcionales (12) y Ejercicios propioceptivos (9).

El enfoque del tratamiento es importante y muchas veces la adherencia a él por parte del paciente suele ser una complicación común (13), por lo que destacamos el uso de la Realidad Virtual Inmersiva como parte del tratamiento, ya que puede hacer que el ejercicio sea más divertido e interesante, aumentando así la motivación del paciente (14).

Definimos Realidad Virtual como la simulación (generada por ordenador) de un entorno o una actividad mediante la estimulación, en tiempo real, de uno o varios canales sensoriales, permitiendo al usuario interactuar con la simulación como si estuviera en un entorno real. En función del grado de inmersividad, se distingue entre RV no inmersiva, semiinmersiva e inmersiva (15). En la RVI el individuo tiene la sensación de estar presente en el entorno virtual, concentrándose más en la tarea y utilizando patrones motores y sensoriales más naturales y realistas (16). Esta sensación de inmersividad puede lograrse a través de gafas de realidad virtual (Head-Mounted Display) o salas de seis paredes (15), incidiendo en

la mejora de las habilidades motoras mediante la estimulación repetida, la retroalimentación sensorial y la motivación del paciente (17) y, en consecuencia, obtienen una mejor retención y aprendizaje. Con la RVI pretendemos practicar movimientos relevantes para la terapia en el contexto de un juego (18), y la pregunta de investigación que se trata en este trabajo es: ¿Será efectiva la RVI como terapia complementaria al tratamiento de LCA? Se ha recopilado la evidencia científica más reciente para el estudio y conclusión.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Analizar la influencia de la RVI en la rehabilitación de pacientes postquirúrgicos de LCA.

### **2.2 Objetivos específicos**

Especificar los efectos resultantes de añadir RVI al tratamiento de pacientes postquirúrgicos de LCA.

Medir y comparar el resultado entre pacientes tratados mediante RVI y pacientes tratados mediante rehabilitación convencional o pacientes sanos.

Analizar y comparar el planteamiento del tratamiento y sesiones más efectivo.



### 3. MATERIAL Y MÉTODO

#### DISEÑO DEL ESTUDIO

Se ha seguido el enfoque sugerido por el método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para llevar a cabo esta revisión sistemática. Además, la Oficina de Investigación Responsable de la Universidad Miguel Hernández de Elche ha dado su aprobación a este estudio, identificado con el COIR: TFG.GFI.BPB.JGT.240109.

#### ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

Se realizó una búsqueda exhaustiva en las bases de datos Pubmed, Scopus, Google scholar y Cochrane, desde el 1 de abril de 2024 hasta el 2 de mayo de 2024, con la ecuación de búsqueda representada en la **Figura 1** y con los criterios de inclusión y exclusión detallados en la **Figura 2**.

Ecuación de búsqueda

```
((("LCA"[Title/Abstract] OR "ACL"[Title/Abstract] OR "Ligamento Cruzado Anterior"[Title/Abstract] OR "Anterior Cruciate Ligament"[Title/Abstract]) AND ((("Realidad Virtual"[Title/Abstract]) OR "Virtual Reality"[Title/Abstract])) AND ("exercise therapy"[MeSH Terms] OR "exercise"[Title/Abstract] OR "Rehabilitación"[Title/Abstract] OR "Rehabilitation"[Title/Abstract]))
```

**Figura 1.** Ecuación de búsqueda.

<b>Criterios de inclusión</b>
<p>Artículos que contengan las palabras clave, tanto en el título como en el abstract</p> <p>Publicados en los últimos 8 años</p> <p>Enfocado a pacientes de cualquier sexo</p> <p>ECA o estudios diagnósticos</p> <p>Pacientes post-ACLR</p> <p>Plastias obtenidas del tendón rotuliano o del semitendinoso-grácil.</p> <p>Que incluyan ejercicio físico</p> <p>Que incluya ejercicios de RVI</p>
<b>Criterios de exclusión</b>
<p>Artículos repetidos</p> <p>Que aborden el tratamiento con RVI pero no en lesiones de LCA</p> <p>Que se enfoquen en pacientes sanos o lesiones asociadas</p> <p>Artículos con una puntuación igual o inferior a 4 en la escala PEDro</p>

**Figura 2.** Criterios de inclusión y exclusión.

### **Evaluación de la Calidad metodológica.**

Los artículos se evaluaron mediante la escala de valoración PEDro (Physiotherapy Evidence Database) (**Anexo II**) y, posteriormente, se recopiló la información más destacada de cada uno de ellos (**Anexo III**).

#### 4. RESULTADOS

Con la ecuación de búsqueda se obtuvieron un total de 3827 artículos entre las bases de datos Pubmed, Scopus, Google Scholar y Cochrane. Aplicando los filtros de búsqueda 2916 de los cuales sólo 11 pasaron los criterios de inclusión. Eliminando artículos repetidos se obtuvo un total de 5 artículos

Figura 3.

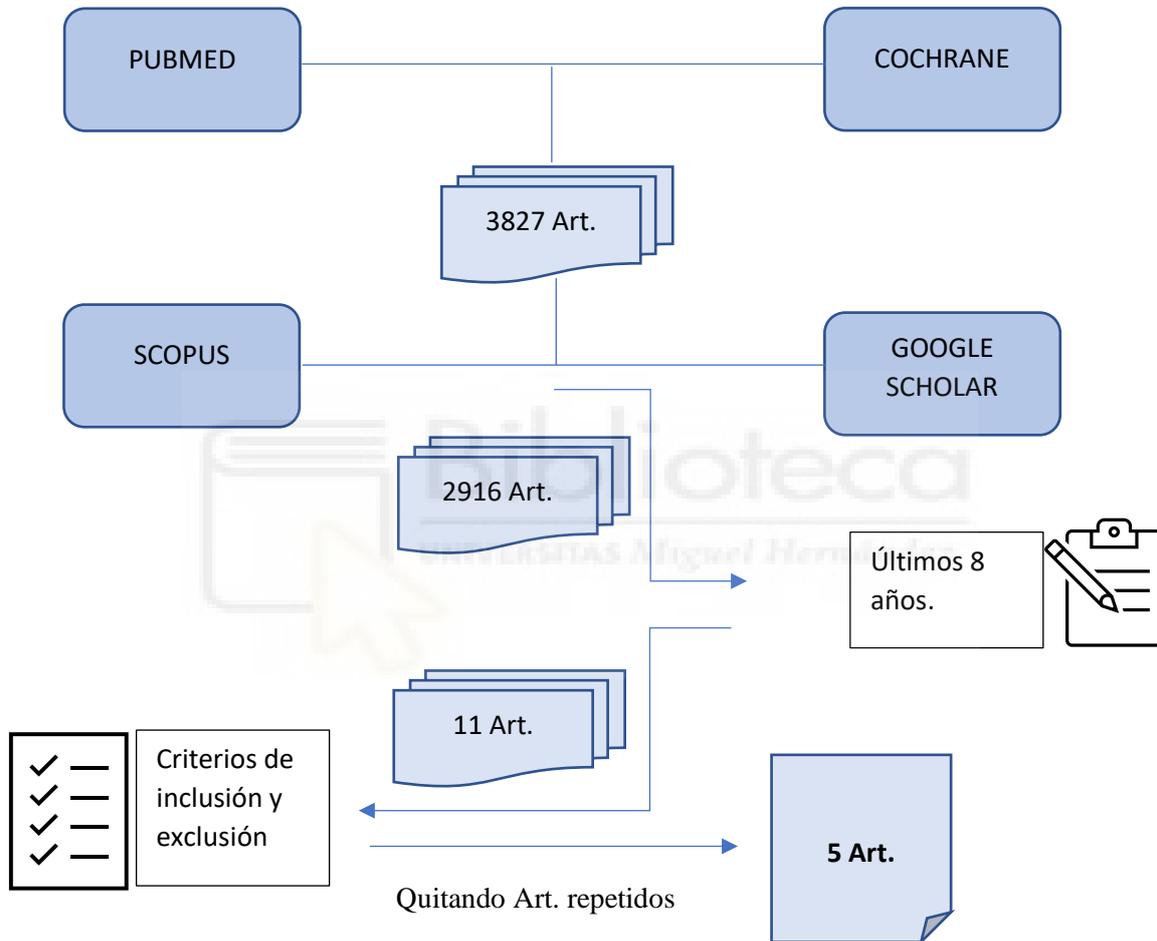


Figura 3. Diagrama de Flujo de Metodología de búsqueda.

#### **4.1 Descripción de la muestra.**

Los integrantes de los estudios varían entre 19 y 72 participantes, con un total de 201 sujetos de entre 16 y 45 años. Objetivamente el 67,27% de ellos fueron hombres y el 32,73% mujeres, donde en ningún caso hubo diferencias significativas entre ellos previamente al estudio y con una edad media de la muestra total de 27,91 años.

#### **4.2 Mediciones.**

En general y, a pesar de que los estudios fueron similares en cuanto al programa y contenido, se evaluaron una serie de ítems específicos en cada uno de ellos, aunque el rango de movilidad articular fue común (19,20,23), además de la propiocepción y la estabilidad postural (21,22).

Todos ellos abordaron el estudio de una manera funcional y evaluativa, en la que se tenía en cuenta el equilibrio estático y dinámico (20,21), tiempo de reacción de la rodilla ante un estímulo (21), saltos unipodales, triples saltos y salto vertical (20) analizando el aterrizaje y midiendo patrones de movimiento como; el valgo, la fuerza de reacción vertical máxima del suelo (VGRF), la excursión de flexión y su ángulo en el VGRF máximo (23).

También se tuvo en cuenta la subjetividad, el miedo a la recidiva (22), el dolor (mediante la escala EVA) y el cuestionario IKDC 2000 (**Anexo IV**) (20), una de las dos escalas que se usó entre las evaluaciones, siendo la otra la Puntuación de rodilla de Lysholm (**Anexo V**) (19).

En el 80% de los ensayos se realizaron dos mediciones, dependiendo en cuál, la primera medición se realizó; a mitad del programa, justo antes de añadir RVI al ensayo (21,22), al inicio del tratamiento convencional (19) y, por último antes de la IQ (20). La segunda medición se realizó al finalizar el programa (19,20,21,22). El 20% restante, al ser un estudio diagnóstico tomó una única medición en diferentes entornos (23).

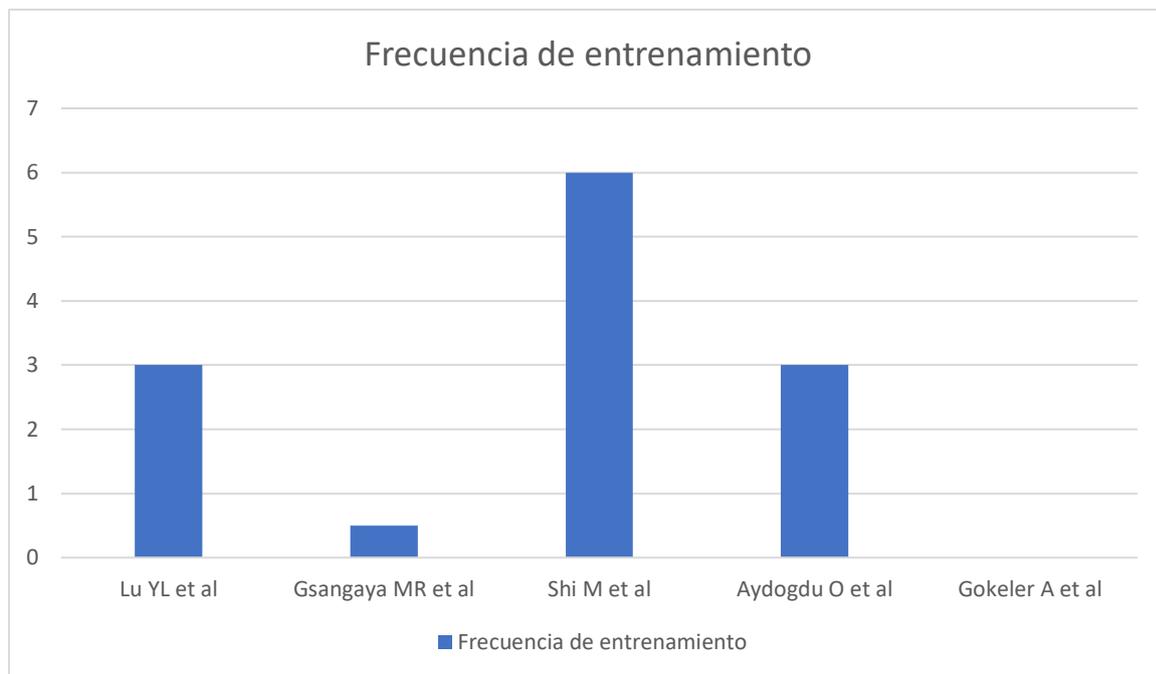
### **4.3 Contenido de los programas.**

Se observa que la mayoría de los estudios (60%) incluyen un programa de rehabilitación convencional previo al tratamiento de RVI (19,20,21), empezando dos de ellos inmediatamente después de ACLR (20,21) y otro 3 meses posterior a la intervención (19). El otro 40% comienza una vez finalizado este tratamiento, para experimentar y evaluar únicamente el tratamiento mediante RVI (22,23).

Todos los programas duran entre 8 y 24 semanas (19,20,21,22) excepto uno (23), en el cuál mediante una recogida de datos en un entorno de RVI y en otro de no RVI evalúa si realmente la RVI consigue mejorar los patrones de movimiento en pacientes ACLR dados de alta.

Además, el 80% de los ensayos consta de un GC y un GO (19,20,21,23) donde siguen un tratamiento convencional hasta la mitad del programa. Una vez cumplimentado la primera parte el GC sigue un tratamiento distinto al GO, dependiendo del estudio el GC sigue un tratamiento isocinético mientras que el GO sigue el tratamiento isocinético acompañado del de RVI (19). En otro caso, el GC sigue el tratamiento convencional frente al GO que además añade el tratamiento con RVI (20). Otro estudio opta por finalizar el tratamiento convencional en los dos grupos y adjudicar uno basado en el equilibrio para el GC y otro basado en la RVI para el GO (21).

En cuanto a la frecuencia de entrenamiento basado en RVI se obtiene una media de 3,12 veces a la semana, con un tiempo medio por sesión de 28,33 minutos. Incluyen juegos basados en ejercicios de sentadillas, saltos, carreras, agilidad, propiocepción, perturbación, desplazamiento del centro de gravedad y equilibrio (19,20,21,22).



**Figura 4.** Frecuencia de entrenamiento por semana.

#### 4.4 Resultados de los programas

El 60% de los estudios valora la movilidad articular de una forma u otra (19,20,23). Todos los sujetos mejoraron sus valores previos al tratamiento, pero solo en el 66,66% de ellos hubo diferencias significativas entre grupos (19,23). Se midió el ángulo de flexo-extensión donde más fuerza realizaban los pacientes a una velocidad angular de 60°/s con el Sistema Isocinético Humac Norm, obteniéndose una diferencia significativa  $p < 0,05$  entre grupos, alcanzando mejores valores el GO (19). Otros valores que mejoraron fueron la Excursión de flexión de rodilla y el Ángulo de flexión en VGRF máxima, aumentando los valores del grupo ACLR en el ERVI significativamente respecto al ENRV, mientras que el GC disminuyó sus valores en el ERVI (23). Por otro lado, en el Rango de Flexión de Rodilla medido con goniómetro no hubo diferencias significativas entre los grupos, aunque todos ellos aumentaron sus valores en torno a 16-20° (20).

Se observó que el 40% de los estudios evaluó la propiocepción antes y después de incluir la RVI en el tratamiento (20,22). Hubo diferencias significativas entre grupos, obteniendo mejores valores propioceptivos en el GO.

El 40% de los estudios midió La Estabilidad de los pacientes, tomando dos mediciones como referencia, la primera antes de añadir la RVI y la segunda al finalizar el tratamiento, comparando entre los grupos. El GO obtuvo mejores resultados que el GC en Estabilidad postural y En Estabilidad en el tiempo (con ojos abiertos, ojos cerrados y unilateralmente) (21,22). En cambio, el 40% de los estudios demostró que los resultados de; El Equilibrio Dinámico, El Apoyo y El Reparto de la Carga fueron similares entre los grupos, cargando un 6% más en el MMII no afecto en este último (19,20).

A la hora de evaluar, el 40% de los estudios incluyó saltos (20,23). Se realizaron saltos en vertical, de lado a lado y unilateralmente, obteniendo únicamente diferencias significativas entre grupos en esta última para el GO (20). Por otra parte, se realizó un mismo análisis, pero en dos entornos (ERVI y ENRV), que consistió en una escena de tráfico en la que el paciente tenía que bajar de un cajón de 20 cm de altura aterrizando en dos placas de fuerza cuando el semáforo y los peatones lo permitiesen. Se analizó el Valgo de Rodilla y VGRF, de los cuales no se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos, pero sí entre el grupo ACLR en ERVI y ENRV, donde aumentó los valores en ERVI en los dos ítems.

Finalmente se consideró la Evaluación Subjetiva en el 40% de los estudios, demostrando que el GO mejoró respecto al GC en cuanto al dolor (19,20) y en el Cuestionario IK2000 (20).

## 5. DISCUSIÓN

La revisión bibliográfica realizada muestra que todos los programas de ejercicio mediante RVI mejoran y/o mantienen ciertas habilidades del paciente, abarcando desde la motivación y adherencia al tratamiento hasta la optimización de patrones de movimiento y estabilidad articular. Estos hallazgos subrayan la importancia de un enfoque multidimensional y personalizado en la rehabilitación, potenciando la recuperación integral de los pacientes.

Es cierto que es un método de innovación y aún falta evidencia científica al respecto, pero los hallazgos obtenidos muestran que hay múltiples beneficios interrelacionados. Uno de los aspectos más sorprendentes que se descubrió fue el impacto positivo en el estado psicológico de los pacientes. La interacción en un entorno virtual no solo reduce el miedo al movimiento, sino que también aumenta la motivación mejorando habilidades motoras mediante ejercicios funcionales y juegos temáticos (19,20).

Con esta terapia conseguimos desviar la atención del paciente de un enfoque interno (centrado en el movimiento del cuerpo) a un enfoque externo (centrado en la función) mejorando así el rendimiento y la eficiencia del movimiento. Hemos visto que también mejora la propiocepción y la estabilidad de la rodilla proporcionando retroalimentación sensorial y simulando escenarios de equilibrio, lo cual es crucial para la recuperación y prevención de recidivas. Esto se alinea con la mejora en los patrones de movimiento y la reducción de asimetrías en la carga biomecánica observada, optimizando la rehabilitación para el RTS y la toma de decisiones rápidas en situaciones deportivas complejas (19,21,23). Además, los dispositivos de RVI portátiles facilitan la rehabilitación fuera del entorno clínico, aumentando la adherencia y la interactividad del tratamiento (22).

Los estudios revisados sugieren que los programas de rehabilitación que integran la RVI pueden ofrecer resultados comparables e incluso superiores a los métodos tradicionales. Un ejemplo por destacar fue un estudio en Malasia, donde utilizaron RVI junto con la rehabilitación convencional. Los pacientes reportaron menos dolor y una mejor función de la rodilla en comparación con aquellos que solo recibieron rehabilitación convencional (20).

Los métodos tradicionales, aunque efectivos, a veces resultan monótonos y desmotivadores para los pacientes. Aquí es donde la RV entra en juego y, aunque sea un método más costoso, ofrece una alternativa atractiva y motivadora a través de estímulos visuales, auditivos, táctiles y cinestésicos. Es cierto que es un campo muy amplio a la hora de programar la rehabilitación, ya que dentro de la RVI tenemos diferentes tipos de tecnología, los cuales no van a reproducir los mismos estímulos, ambientes y ejercicios entre sí, aunque parecidos, pero hemos visto que la tecnología utilizada, como el sistema Dynstable y PlayStation VR, permite una variedad de ejercicios que pueden adaptarse a las necesidades individuales del paciente.

La RVI carece de ninguna otra revisión actualmente, aunque otras revisiones abordan la RV semiinversiva como complemento al tratamiento, donde se encuentran resultados óptimos y validados, en los que destaca la mejoría del control postural, pero afirma la falta de evidencia científica para valorar otros parámetros (24). Además, en otros ámbitos clínicos la RVI puede ser muy útil, por ejemplo, en los pacientes con ACV se ha demostrado la mejora del equilibrio y la marcha (25).

Aún falta mucha investigación respecto a la RVI y numerosos estudios están abordando el tema a falta de resultados, pero es una terapia que requiere una elevada inversión económico-logística (por ejemplo, equipos informáticos de alto rendimiento, *Head-Mounted Display...*) (26), sumado a la falta de evidencias que avalen la utilización de la RVI frente a los sistemas semiinmersivos o no inmersivos (25). No obstante, es una terapia complementaria que merece la pena promover y desarrollar debido a los magníficos resultados que ha dado hasta el momento.

## LIMITACIONES Y SESGOS

Principalmente la falta de estudios respecto al tema ha sido lo que más ha limitado la búsqueda bibliográfica, con un total de 5 estudios de los cuales 4 han sido ECA. El escaso nivel de evidencia es obvio al ser una terapia innovadora, así como costosa. Además, se puede observar que los estudios obtenidos son heterogéneos, con una calidad metodológica no muy alta. Hemos tenido que emplear un filtro menos estricto para abarcar más área de recopilación de estudios, buscando en los últimos 8 años y sin limitación de idioma.

## 6. CONCLUSIONES

Se han extraído una serie de conclusiones en esta revisión sobre los 5 artículos estudiados, las cuales responden a los objetivos propuestos anteriormente y, además, a la pregunta de investigación; ¿Será efectiva la RVI como terapia complementaria al tratamiento de LCA?

1. Falta evidencia científica que respalde su efectividad, pero actualmente está en proceso a pesar de ser una terapia costosa.
2. Se ha visto que frente a la rehabilitación convencional mejora la propiocepción y la estabilidad, reduce el dolor, mejora el aprendizaje motor enfocando de una forma más funcional el movimiento, aumenta la adherencia al tratamiento y consigue un mejor ajuste de este, adaptándose de una forma más individual al paciente.
3. No hay unas directrices específicas para que la terapia con RVI sea más eficiente, pero hemos comprobado que la frecuencia de entrenamiento recomendada es alta, con sesiones frecuentes y de intensidad ajustable según el progreso del paciente.



## 7. BIBLIOGRAFÍA:

1. Ayala-Mejías JD, García-Estrada GA, Alcocer Pérez-España L. Lesiones del ligamento cruzado anterior [Anterior cruciate ligament lesions]. *Acta Ortop Mex.* 2014 Jan-Feb;28(1):57-67.
2. Estrada-Cruz K, Pérez-Meave JA. Anatomía angular funcional postquirúrgica en pacientes con sustitución del ligamento cruzado anterior con injerto autólogo [Postoperative functional angular anatomy in patients with anterior cruciate ligament with autologous graft]. *Acta Ortop Mex.* 2018 May-Jun;32(3):157-162.
3. Siegel L, Vandenakker-Albanese C, Siegel D. Anterior cruciate ligament injuries: anatomy, physiology, biomechanics, and management. *Clin J Sport Med.* 2012 Jul;22(4):349-55.
4. Sánchez-Alepuz E, Miranda I, Miranda FJ. Functional evaluation of patients with anterior cruciate ligament injury. A transversal analytical study. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol (Engl Ed).* 2020 Mar-Apr;64(2):99-107.
5. Zapién-Soto A, Torres-Méndez JL, Calixto-García A, Guillén-Alcalá MA. Valoración funcional de los diferentes tipos de plastía del ligamento cruzado anterior empleados en el Servicio de Artroscopía del Hospital General Xoco [Functional assessment of the different types of anterior cruciate ligament plasty used at the Xoco General Hospital Arthroscopy Service]. *Acta Ortop Mex.* 2011 May-Jun;25(3):161-6.
6. Monk AP, Davies LJ, Hopewell S, Harris K, Beard DJ, Price AJ. Surgical versus conservative interventions for treating anterior cruciate ligament injuries. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2016, Issue 4.
7. Meuffels DE, Poldervaart MT, Diercks RL, Fievez AW, Patt TW, Hart CP, Hammacher ER, Meer Fv, Goedhart EA, Lenssen AF, Muller-Ploeger SB, Pols MA, Saris DB. Guideline on anterior cruciate ligament injury. *Acta Orthop.* 2012 Aug;83(4):379-86.
8. Cooper R, Hughes M. Mourné\_ACL\_Rehab\_2018\_2.1

9. Paredes Hernández V, Martos Varela S, Romero Moraleda B. Propuesta de readaptación para la rotura del ligamento cruzado anterior en fútbol. *Revista internacional de medicina y Ciencias de la actividad física y del deporte* 2011;43.
10. Hughes L, Rosenblatt B, Haddad F, Gissane C, McCarthy D, Clarke T, Ferris G, Dawes J, Paton B, Patterson SD. Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial. *Sports Med.* 2019 Nov;49(11):1787-1805.
11. Mirkov DM, Knezevic OM, Maffioletti NA, Kadija M, Nedeljkovic A, Jaric S. Contralateral limb deficit after ACL-reconstruction: an analysis of early and late phase of rate of force development. *J Sports Sci.* 2017 Mar;35(5):435-440
12. Wilk KE, Macrina LC, Cain EL, Dugas JR, Andrews JR. Recent advances in the rehabilitation of anterior cruciate ligament injuries. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012 Mar;42(3):153-71.
13. Tras R, Del R, Con LCA. Rehabilitación tras reconstrucción del lca con plastia h-t-h. 2009;365-81.
14. Ding Y, Sivak M, Weinberg B, Mavroidis C, Holden MK. NUVABAT: Northeastern university virtual ankle and balance trainer. En: 2010 IEEE Haptics Symposium. IEEE; 2010.
15. Vilageliu-Jordà E, Enseñat-Cantallops A, García-Molina A. Uso de la realidad virtual inmersiva en la rehabilitación cognitiva de pacientes con daño cerebral. Revisión sistemática [Use of immersive virtual reality for cognitive rehabilitation of patients with brain injury]. *Rev Neurol.* 2022 May 16;74(10):331-339.
16. Silva JMD, Santos MDD, Costa RQMD, Moretto EG, Viveiro LAP, Lopes RD, Brucki SMD, Pompeu JE. Applicability of an immersive virtual reality system to assess egocentric orientation of older adults. *Arq Neuropsiquiatr.* 2023 Jan;81(1):19-26.
17. Volovik MG, Borzиков VV, Kuznetsov AN, Bazarov DI, Polyakova AG. Virtual reality technology in complex medical rehabilitation of patients with disabilities (review). *Sovrem Tekhnologii Med.* 2018;10(4):173.

18. Lohse K, Shirzad N, Verster A, Hodges N, Van der Loos HF. Video games and rehabilitation: using design principles to enhance engagement in physical therapy. *J Neurol Phys Ther.* 2013 Dec;37(4):166-75.
19. Lu YL, Jiang SH, Huang SS, Luo GG, Lin ZQ, Li JB. [Clinical observation of virtual reality technology combined with isokinetic strength training for patients after anterior cruciate ligament reconstruction]. *Zhongguo Gu Shang.* 2023 Dec 25;36(12):1159-64.
20. Gsangaya MR, Htwe O, Selvi Naicker A, Md Yusoff BAH, Mohammad N, Soh EZF, Silvaraju M. 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.* 2023 Oct 5;34:28-37
21. Shi M, Pan WP, Zeng M, Lin SJ, Li Y, Wu H, et al. Effects of Virtual Reality Balance Training on Proprioception of Knee after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice.* 2020;1458–63.
22. Aydogdu O, Sari Z. AB1476-HPR Effects of wearable technology as virtual rehabilitation on functional outcomes in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. Saturday, 16 JUNE 2018. 2018. p. 1868.1–1868
23. Gokeler A, Bisschop M, Myer GD, Benjaminse A, Dijkstra PU, van Keeken HG, van Raay JJ, Burgerhof JG, Otten E. Immersive virtual reality improves movement patterns in patients after ACL reconstruction: implications for enhanced criteria-based return-to-sport rehabilitation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016 Jul;24(7):2280-6
24. Villalobos C, Galaz González MC, Gatica Quiroga EC. Efectividad de la terapia con video juegos para pacientes adultos sometidos a cirugía de reconstrucción del ligamento cruzado anterior: revisión sistemática. 2017.
25. Palacios-Navarro G, Hogan N. Head-mounted display-based therapies for adults post-stroke: a systematic review and meta-analysis. *Sensors (Basel)* 2021; 21: 1111.
26. Zanier ER, Zoerle T, Di Lernia D, Riva G. Virtual reality for traumatic brain injury. *Front Neurol* 2018; 9: 345.

## **Anexo I.** Escala de Evaluación PEDro.

La escala PEDro sirve para la medición de la calidad de los informes de los ensayos clínicos. Se añade un punto por cada uno de los siguientes criterios que se cumpla:

1. Los criterios de elección fueron especificados.
2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos.
3. La asignación fue oculta.
4. Los grupos fueron similares al inicio con relación a los indicadores de pronóstico más importantes.
5. Todos los sujetos fueron cegados.
6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados.
7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados.
8. Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos.
9. Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por “intención de tratar”.
10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave.
11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave.

**Anexo II.** Resumen de todos los artículos

AUTOR	TIPO DE INTERVENCIÓN Y MUESTRA	OBJETIVO	DURACIÓN Y MEDIDAS	INTRUMENTAL	RESULTADOS
Lu YL et al, 2023	<p><b>ECA(n40)</b></p> <p><u>1)GC (n20)</u></p> <p>Em: 29,1±8,6 a</p> <p>IMC: 24,08±2,40 kg</p> <p>15H            5M</p> <p>11Rd            9Ri</p>	<p>Comparar la efectividad del tratamiento de RVI combinado con entrenamiento isocinético + RHB convencional</p>	<p><b>Duración:</b> 8 semanas, a partir del 3º mes postoperatorio.</p> <p><b>Mediciones:</b> Pretratamiento y Postratamiento:</p> <p>-Puntuación de Rodilla de Lysholm</p> <p>-FPT</p> <p>-EPT</p> <p><u>GC:</u> 4 semanas RHB convencional + 4 semanas RHB isocinética</p>	<p>-Sistema Isocinético HUMAC NORM</p> <p>-Dispositivo Ring-</p> <p>ConTM</p> <p>-Mandos Joy-</p> <p>ConTM</p>	<p>En general hubo diferencias significativas en el GO respecto al GC (p&lt;0,05).</p> <p>-Mejóro respectivamente en la cojera, el dolor, dolor de espalda, de cabeza y en la puntuación global de Lysholm. Únicamente para el apoyo no hubo diferencias significativas (p&gt;0,05).</p>
	<p><u>2)GO (n20)</u></p> <p>Em: 30,95±9,11 a</p> <p>IMC: 25,19±3,78 kg</p> <p>16H            4M</p> <p>13Rd            7Ri</p>				

			<p><u>GO</u>: 4 semanas RHB convencional + 4 semanas (RHB isocinética + RVI)</p>		<p>-GO obtuvo mejores valores para FPT (47,60±19,07)° frente a GC(35,45±16,21)°. P&lt;0,05</p> <p>-GO obtuvo mejores valores para EPT (47,25±17,82)° frente a GC(34,75±14,28)°. P&lt;0,05</p>
Gsangaya MR et al, 2023	<p><b>ECA(n30)</b></p> <p>23H 7M</p> <p>19Rd 11Ri</p> <p><u>1)GC(n15)</u></p> <p>Em: 25,1 a</p> <p><u>2)GO (n20)</u></p>	<p>Comparar el efecto del entrenamiento de RVI versus RHB convencional</p>	<p><b>Duración:</b> 24 semanas, a partir del postoperatorio.</p> <p><b>Mediciones:</b> Pretratamiento y postratamiento:</p> <p>-Carga de las EEII</p> <p>-Equilibrio dinámico</p>	<p>-Casco RV Play Station (PSUR)</p> <p>-Dos controladores de movimiento portátiles</p>	<p>No hubo diferencias significativas entre grupos en la carga de las EEII, el rango articular y en cuanto al equilibrio dinámico, sacando en este último una</p>

	Em: 28,6 a		<p>-Rango articular de la rodilla afecta</p> <p>-Salto funcional</p> <p>-Dolor</p> <p>-Evaluación subjetiva</p> <p><u>GC:</u> 12 semanas RHB convencional + 12 RHB convencional + Carrera</p> <p><u>GO:</u> 12 semanas RHB convencional + 12 semanas RHB convencional + RVI</p>	<p>puntuación similar en el Star Excursion Balance Test.</p> <p>Si que hubo mejoría del GO frente al GC respecto al dolor, con una puntuación más baja en la escala EVA.</p> <p>Mejóro también notablemente en la prueba de saltos (<math>p=0,002</math>) y en la evaluación subjetiva, mediante la escala IKDC2000.</p>
--	------------	--	---	--

<p>Shi M et al, 2020</p>	<p><b>ECA(n72)</b> Edad: 20-45años <u>1)GC (n36)</u> <u>2)GO (n36)</u></p>	<p>Comparar la efectividad de tratamiento con RVI versus tratamiento enfocado al equilibrio</p>	<p><b>Duración:</b> 16 semanas, a partir del postoperatorio. <b>Mediciones:</b> A la semana 8 y 16 postoperatorio: -Estabilidad en el tiempo (COP) -Estabilidad en el tiempo con ojos cerrados (COPS) -COP unipodal -Tiempo de reacción de la rodilla afecta -Área envolvente del límite de estabilidad -Propiocepción</p>	<p>-Dynestable Virtual Blance Assement System -Cámara de captura de movimiento -Sistema de sonido envolvente estéreo -Placa de fuerza de MMII</p>	<p>Los dos grupos mejoraron en la segunda medición. Entre ellos obtuvieron diferencias significativas, el GO obtuvo mejores valores que el GC para todos los ítems (<math>p &lt; 0,05</math>), excepto para el área envolvente del límite de estabilidad.</p>
------------------------------	--	---	--	---	---

<p>Aydogdu O et al, 2018</p>	<p><b>ECA (n19)</b> Un único grupo (n19) Em: 28,47±6,18 a</p>	<p>Medir el resultado de añadir un tratamiento con RVI tras una RHB convencional de LCA</p>	<p><b>Duración:</b> 8 semanas, postratamiento <b>Mediciones:</b> Al finalizar la RHB convencional y al acabar la terapia de RV: -Propiocepción -Estabilidad postural -Miedo a recaer</p>	<p>-Sistema portátil de RV -Dinamómetro isocinético Biodex System pro 4 -Sistema pedalo sensamove</p>	<p>El grupo mejoró significativamente en la segunda medición; Propiocepción (p=0,003), Estabilidad postural (p=0,001) y Miedo a la recidiva (p=0,001), midiendo esta última con la puntuación de kinesiophobia de Tampa.</p>
<p>Gokeler A et al, 2016</p>	<p><b>Estudio Diagnóstico (n40)</b> <u>1)GC (n20)</u> Em: 29,7±2,7 a 10H 10M</p>	<p>Evaluar si la RVI mejora los patrones de movimientos en pacientes post ACLR</p>	<p>El programa se realizó en pacientes post ACLR dados de alta con menos de 1 año desde la IQ y en sujetos sanos.</p>	<p>-Pantalla de 3,65x2,70 metros -Sistema auditivo inmerso</p>	<p>En el entorno de RVI el GO mejoró en los valores de todos los ítems respecto al entorno no virtual, por lo que si que sería efectivo</p>

	<p>Sujetos sanos</p> <p>2)GO (n20)</p> <p>Em: 23,5±4,3 a</p> <p>10H                      10M</p> <p>&lt;1 año desde la IQ</p> <p>Dados de alta</p> <p>Han practicado deporte</p>	<p>En un entorno de realidad no virtual y en otro entorno de RVI se tomaron 8 mediciones con cada pierna para la prueba.</p> <p>Se midieron 4 ítems:</p> <p>-Excursión de flexión de rodilla</p> <p>-Momento máximo interno de rodilla</p> <p>-Fuerza de reacción vertical máxima del suelo (VGRF)</p> <p>-Ángulo de rodilla enVGRF</p>	<p>-2 cámaras infrarojas</p> <p>V8Workstation 4.6</p> <p>-11 marcadores reflectantes</p> <p>-2 placas de fuerza Bertee Corporation</p> <p>-Sistemas de análisis de movimiento VicoIn y Dflow</p>	<p>este método como complemento al tratamiento.</p>
--	--	---	--	---

**Anexo III.** Análisis de la Calidad metodológica mediante la escala PEDro.

Artículos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
Lu YL et al, 2023	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	8
Gsangaya MR et al, 2023	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	7
Shi M et al, 2020	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	7
Aydogdu O et Al, 2018	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	5
Gokeler A et al, 2016	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6

**Anexo IV.** Evaluación subjetiva IKDC 2000.

Base sus respuestas en el nivel más alto de actividad que cree que es capaz de desarrollar sin tener síntomas significativos, incluso aunque en la actualidad no desarrolle esas actividades.

1. ¿Cuál es el nivel más alto de actividad que puede realizar sin sentir dolor en la rodilla?

- A Actividades muy agotadoras, como saltar o girar, como en el juego de baloncesto o fútbol.
- B Actividades agotadoras, como trabajo físico pesado, esquiar o jugar al tenis.
- C Actividades moderadas, como trabajo físico moderado correr o hacer jogging.
- D Actividades ligeras, como caminar, hacer trabajos en la casa o en el patio (jardín).
- E No puedo hacer ninguna de las actividades indicadas arriba debido al dolor. Nunca=0 1 2 3 4 5 6 7 8

2. Durante las últimas 4 semanas o desde que se produjo su lesión, ¿con cuánta frecuencia ha tenido usted dolor?

Nunca=0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Constantemente=10

3. Marque la intensidad del dolor en la casilla correspondiente

Ningún dolor=0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 El peor dolor imaginable=10

4. Durante las últimas 4 semanas, o desde que se produjo su lesión, ¿cómo de rígida o hinchada estaba su rodilla?

- A Nada
- B Poco
- C Moderadamente
- D Mucho
- E Muchísimo

5. ¿Cuál es el nivel más alto de actividad que puede realizar sin que la rodilla se hinche de forma considerable?

- A Actividades muy agotadoras, como saltar o girar, como en el juego de baloncesto o fútbol.
- B Actividades agotadoras, como trabajo físico pesado, esquiar o jugar al tenis.
- C Actividades moderadas, como trabajo físico moderado correr o hacer jogging.
- D Actividades ligeras, como caminar, hacer trabajos en la casa o en el patio (jardín).
- E No puedo hacer ninguna de las actividades indicadas arriba debido a la hinchazón de la rodilla.

6. Durante las últimas 4 semanas, o desde que tuvo la lesión, ¿se le ha bloqueado o se le ha trabado temporalmente la rodilla?

- A Sí
- B No

7. Cuál es el nivel más alto de actividad que puede hacer sin que la rodilla le falle?

- A Actividades muy agotadoras, como saltar o girar, como en el juego de baloncesto o fútbol.
- B Actividades agotadoras, como trabajo físico pesado, esquiar o jugar al tenis.
- C Actividades moderadas, como trabajo físico moderado correr o hacer jogging.
- D Actividades ligeras, como caminar, hacer trabajos en la casa o en el patio (jardín).
- E No puedo hacer ninguna de las actividades indicadas arriba debido a que la rodilla me falla.

#### ACTIVIDADES DEPORTIVAS

8. ¿Cuál es el nivel más alto de actividad que puede efectuar de forma habitual?

- A Actividades muy agotadoras, como saltar o girar, como en el juego de baloncesto o fútbol.
- B Actividades agotadoras, como trabajo físico pesado, esquiar o jugar al tenis.
- C Actividades moderadas, como trabajo físico moderado correr o hacer jogging.
- D Actividades ligeras, como caminar, hacer trabajos en la casa o en el patio (jardín).
- E No puedo hacer ninguna de las actividades indicadas arriba, a causa de la rodilla.

9. Debido a su rodilla, ¿qué nivel de dificultad tiene usted para?:

a. Subir escaleras

A Ninguna dificultad

B Dificultad mínima

C Dificultad moderada

D Sumamente difícil

E No puedo hacerlo

b. Bajar escaleras.

A Ninguna dificultad

B Dificultad mínima

C Dificultad moderada

D Sumamente difícil

E No puedo hacerlo

c. Arrodillarse sobre la parte delantera de la rodilla

A Ninguna dificultad

B Dificultad mínima

C Dificultad moderada

D Sumamente difícil

E No puedo hacerlo

d. Ponerse en cuclillas

A Ninguna dificultad

B Dificultad mínima

C Dificultad moderada

D Sumamente difícil

E No puedo hacerlo

e. Sentarse con la rodilla doblada

A Ninguna dificultad

B Dificultad mínima

C Dificultad moderada

D Sumamente difícil

E No puedo hacerlo

f. Levantarse de una silla

A Ninguna dificultad

B Dificultad mínima

C Dificultad moderada

D Sumamente difícil

E No puedo hacerlo

g. Correr hacia delante en dirección recta

A Ninguna dificultad

B Dificultad mínima

C Dificultad moderada

h. Saltar y caer sobre la pierna afectada

A Ninguna dificultad

B Dificultad mínima

C Dificultad moderada

D Sumamente difícil

D Sumamente difícil

E No puedo hacerlo

E No puedo hacerlo

i. Parar y comenzar rápidamente a caminar o correr

A Ninguna dificultad

B Dificultad mínima

C Dificultad moderada

D Sumamente difícil

E No puedo hacerlo



**Anexo V.** Puntuación de rodilla de Lysholm.

Esta evaluación consta de ocho componentes:

Cojera (5 puntos), Apoyo (5 puntos), Bloqueo (15 puntos), Inestabilidad (25 puntos), Dolor (25 puntos), Hinchazón (10 puntos), Subir escaleras (10 puntos) y Ponerse en cuclillas (5 puntos).

La puntuación total es de 100 puntos.

Las puntuaciones más bajas indican una discapacidad más grave.

