

## **Grado en Fisioterapia**

### **Trabajo Fin de Grado**

**Título:**

***incorporación de la realidad virtual al  
tratamiento habitual en la recuperación  
de un esguince de tobillo en futbolistas***

Alumno: Fernando Mena Molina

Tutor: Dr. Néstor Pérez Mallada

**Madrid, 15/04/2024**

# ÍNDICE

**TABLA DE ABREVIATURAS**

**ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA**

**2. EVALUACIÓN DE LA EVIDENCIA**

**3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

**4. HIPÓTESIS**

**5. METODOLOGÍA**

A. Diseño

B. Sujetos de estudio

C. Variables

D. Hipótesis operativa

E. Recogida, análisis de datos y contraste de la hipótesis

F. Limitaciones del estudio

G. Equipo investigador

**6. PLAN DE TRABAJO**

A. Diseño de la intervención

B. Etapas de desarrollo

C. Distribución de tareas

D. Lugar realización del proyecto

**7. REFERENCIAS**

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Test Balance error scoring system (11).....	12
Ilustración 2. Test Time in balance test (11).....	12
Ilustración 3. Force plate measures (11) .....	13
Ilustración 4. Test star excursion balance test (11) .....	13
Ilustración 5. Test figure of 8 hop test (11).....	14
Ilustración 6. Imagen de un ejercicio con banda de resistencia. (12) ...	14
Ilustración 7. Imagen de un ejercicio en una plataforma inestable. (12) .....	15
Ilustración 8 Juego de RV de exploración en Walkbot (18) .....	19
Ilustración 9 Gafas virtuales Oculus rift DK2 (24).....	20
Ilustración 10. Gafas virtuales Oculus Rift y sistema HTC Vive (28)....	22
Ilustración 11. Cuadrícula (28) .....	23
Ilustración 12. Colocación del paciente. (a) orientación en disposición lineal del tobillo en el dinamómetro; (b) altura del dinamómetro con respecto al suelo para el tobillo; (c) ubicación del tobillo a 90° en el eje del dinamómetro en la mortaja tibiofibular; (d) flexión de 90° de la rodilla y el tobillo con respecto al dinamómetro. (30).....	38
Ilustración 13. Y balance test (31).....	39
Ilustración 14. Juego Beat saber. (33).....	40
Ilustración 15. Juego Pistol Whip. (34).....	40
Ilustración 16.Juego Final soccer VR. (35) .....	41
Ilustración 17. Juego Assassin´s creed, Nexus. (36).....	41
Ilustración 18. Ubicación hospital Universitario de Getafe (google maps) .....	43

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.Resultados del estudio (28) .....	23
Tabla 2: Términos de búsqueda en deCS y meSH .....	24
Tabla 3: Búsquedas en PUBMED.....	24
Tabla 4: Búsquedas en EBSCO.....	25
Tabla 5. Búsqueda en PEDro .....	26
Tabla 6. Poder estadístico y nivel de significación para la variable K. Elaboración propia.....	30
Tabla 7. Tabla de variables del estudio. (Elaboración propia) .....	32
Tabla 8. Tabla de ejercicios de propiocepción con RV. (Elaboración propia) .....	40
Tabla 9. Etapas de desarrollo del proyecto. (Elaboración propia).....	42
Tabla 10. Hoja de mediciones (Elaboración propia) .....	54
Tabla 11. Hoja de mediciones (Elaboración propia) .....	54

## TABLA DE ABREVIATURAS

Antero posterior	AP
Comité ético de investigación clínica	CEIC
Esguince lateral de tobillo	ELT
Escala visual analógica del dolor	EVA
Entornos virtuales	EV
Grupo experimental	GE
Grupo control	GC
Inestabilidad funcional de tobillo	IFT
Inestabilidad crónica de tobillo	ICT
Intervalo de confianza	IC
Medio lateral	ML
Realidad aumentada	RA
Realidad virtual	RV
Rest-Ice Compression-Elevation	RICE
Rango de movimiento	ROM

## RESUMEN

**Antecedentes:** El esguince de tobillo es una de las lesiones más frecuentes en los futbolistas. Puede ser causado por un mal apoyo o una contusión, además es una lesión la cual tiene muchas consecuencias negativas a largo plazo si no se trata como se debe, como pueden ser una alteración del equilibrio estático y dinámico, tiempo de reacción muscular, fuerza muscular y de la percepción de la articulación y una funcionalidad limitada. El tratamiento principal es el fortalecimiento de la musculatura, trabajo de la movilidad de la articulación y el trabajo propioceptivo. A pesar de que el tratamiento habitual esté demostrado que ayuda a la recuperación del esguince de tobillo, es necesario implementar nuevas técnicas como la RV para su tratamiento para así optimizarlo aún más.

**Objetivo:** Evaluar la efectividad de la incorporación de la realidad virtual junto al tratamiento habitual frente a no hacerlo en la variación del dolor, fuerza de inversión, fuerza de eversión, desplazamiento anterior, desplazamiento postero-medial y desplazamiento posterolateral, medidos con la escala EVA, dinamómetro y el Y balance test respectivamente en futbolistas con esguince de tobillo.

**Metodología:** Estudio analítico, experimental, longitudinal y prospectivo. Las variables a tener en cuenta son el dolor, fuerza de inversión, fuerza de eversión, desplazamiento anterior, desplazamiento postero-medial y desplazamiento posterolateral. El estudio cuenta con un grupo que recibe el tratamiento habitual de fisioterapia y otro grupo que además del tratamiento habitual se añade la realidad virtual. Se realiza un contraste de hipótesis mediante la comparación de dos medias de 2 muestras independientes.

**Palabras clave:** Fisioterapia, Realidad virtual, esguince de tobillo, equilibrio, fuerza, dolor.

## ABSTRACT

**Backgrounds:** Ankle sprain is one of the most frequent injuries in soccer players. It can be caused by poor support or contusion, and it's a injury that has many negative long-term consequences if not treated properly, such as alteration of static and dynamic balance, muscle reaction time, muscle strength, joint perception, and limited functionality. The main treatment involves strengthening the muscles, working on joint mobility, and proprioceptive training. Although conventional treatment has been shown to aid in ankle sprain recovery, it is necessary to implement new techniques like VR to further optimize it.

**Objective:** Assessing the effectiveness of incorporating virtual reality alongside standard treatment versus not doing so in the variation of pain, inversion strength, eversion strength, anterior displacement, postero-medial displacement, and posterolateral displacement, measured with the VAS scale, dynamometer, and the Y balance test respectively in soccer players with ankle sprain.

**Methodology:** Analytical, experimental, longitudinal, and prospective study. The variables to consider are pain, inversion strength, eversion strength, anterior displacement, postero-medial displacement, and posterolateral displacement. The study includes a group receiving the standard physiotherapy treatment and another group where virtual reality is added to the standard treatment. A hypothesis test is conducted by comparing the means of two independent samples.

**Keywords:** Physical therapy, Virtual reality, ankle sprain, balance, strength, pain

## 1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA

El fútbol es uno de los deportes más populares en la actualidad, gracias al anuario de estadísticas deportiva del ministerio de deportes de España, se puede observar que el fútbol es el deporte más practicado con un 22% de participación, por lo que esto podría explicar el porque es uno de los deportes donde más lesiones y epidemiología de las lesiones se dan, tanto en atletas profesionales como aficionados. (1)

Dentro de todas las lesiones que pueden afectar al jugador, las de tobillo son conocidas por tener consecuencias negativas a largo plazo, como la aparición de una inestabilidad crónica del tobillo. Además, también pueden llevar consigo una carga médica y socioeconómica significativa. Las más comunes incluyen los esguinces de los ligamentos laterales externos e internos ya que representan entre un 70% y un 91% de todas las lesiones de tobillo en el fútbol, gracias a un estudio epidemiológico de diez años donde se analizaron las lesiones de tobillo durante los partidos y los entrenamientos, entre los años 2004 y 2009, el 66.82% de todas las lesiones correspondieron al esguince del ligamento lateral externo. Por otro lado, el 8.71% de las lesiones fueron en el ligamento lateral interno, el 9.48% fueron lesiones en los vasos sanguíneos y el 11.47% fueron esguinces en la parte alta del tobillo. (2)

Otros tipos de afectaciones que puede tener un esguince de tobillo podrían ser en el equilibrio estático y dinámico, el tiempo de reacción muscular, la fuerza muscular y la percepción de la articulación, lo que resulta en un tobillo doloroso, hinchado y con una funcionalidad limitada, lo que va a provocar una caída del rendimiento. Estos factores, combinados con una recuperación insuficiente de la lesión inicial, aumentan el riesgo de una recaída, que puede llevar a una inestabilidad funcional de tobillo (IFT) o a una inestabilidad crónica del tobillo (ICT). La IFT va a provocar una sensación persistente de inestabilidad dentro de la articulación y afecta aproximadamente al 70% de los pacientes con esguince lateral de tobillo (ELT). Tanto la IFT como la ICT afectan a la alineación biomecánica articular normal y la capacidad de soportar el peso corporal, lo que ocasiona discapacidad a largo plazo y consecuencias crónicas debilitantes para la salud, como la osteoartritis y una calidad de vida reducida, lo que supone una carga socioeconómica elevada. (3)

En un meta análisis llevado a cabo por Mauro Mandorino y col. hicieron un análisis de cincuenta y cinco estudios en los cuales recogían información acerca de la tasa de lesiones en jugadores jóvenes de fútbol masculino. Los autores identificaron una tasa general de lesiones por cada 1000 horas que variaba desde 0.51 hasta 18.4. Específicamente, la tasa de lesiones varió desde 2.84 hasta 47.7 durante los partidos y desde 0.9 hasta 11.14 durante los entrenamientos. A su vez, tomando en cuenta el mecanismo de lesión, se reportó la comparativa entre lesiones por contacto y lesiones sin contacto. El porcentaje osciló desde el 23% hasta el 72% para las lesiones por contacto, mientras fue del 7% hasta el 77% para las lesiones sin contacto. Tres estudios diferenciaron también entre lesiones traumáticas y lesiones por sobreuso, reportando un porcentaje que iba desde el 65% hasta el 76% para las lesiones traumáticas, y desde el 25% hasta el 35% para las lesiones por sobreuso. (4)

Las lesiones de ligamentos que sufren los futbolistas, se podrían clasificar como "esguinces de tobillo alto" también conocidos como lesiones de la sindesmosis, que ocurren en los ligamentos superiores del tobillo. Estas lesiones son menos comunes y generalmente se producen por una inversión forzada del pie y el tobillo, con el tobillo en dorsiflexión y el pie pronado, además, pueden estar asociados con fracturas de tobillo y suelen ser más graves que los "esguince de tobillo bajo" que se refieren a las lesiones de los ligamentos laterales del tobillo, que son más comunes. Estos ligamentos se encuentran en la parte exterior del tobillo y se lesionan cuando se gira el tobillo de manera inusual. (5)

Los ELT se clasifican comúnmente en grados I, II o III, según la gravedad de la lesión en los ligamentos laterales, en los grados más bajos, generalmente se observa una inflamación leve, sensibilidad y dificultad mínima en el rango de movimiento. Sin embargo, una inflamación difusa, equimosis, sensibilidad, pruebas provocativas positivas e incapacidad para soportar peso están asociadas con una inestabilidad importante en una lesión de grado III. Según una revisión sistemática, el 96% de los pacientes que presentan los tres hallazgos de inflamación, equimosis y sensibilidad tienen una ruptura en los ligamentos laterales, en comparación con solo el 14% de las personas que no presentan todos estos hallazgos. (6)

El tiempo necesario para la recuperación de un esguince dependerá de varios factores, como la gravedad de la lesión inicial, la capacidad del paciente, y esta, puede variar de

10 días a 6 semanas, en cambio los deportistas que sufren una esguince más importante generalmente necesitan períodos de recuperación mucho más prolongados, por ejemplo los deportistas profesionales con lesiones aisladas estables de grado II vuelven a jugar en un promedio de 45 días, en comparación con 64 días para aquellos con lesiones inestables de grado II, en cambio en el caso de lesiones de grado III tratadas quirúrgicamente, el tiempo estimado de recuperación oscila entre 10 y 14 semanas. (5)

El ELT es una de las lesiones más comunes de las extremidades inferiores. Varios estudios han demostrado que entre el 31 % y el 40 % de la inestabilidad residual crónica del tobillo se produce después de la ELT. Una fisioterapia adecuada en las primeras etapas es importante para prevenir síntomas y signos agudos y secuelas crónicas. Uno de los métodos más eficaces para tratar los esguinces agudos es la crioterapia utilizando el protocolo RICE (Rest-Ice Compression-Elevation). En general, se ha demostrado que la crioterapia reduce la inflamación y la hinchazón al reducir la temperatura de la piel, el tejido subcutáneo y los músculos, contraer los vasos sanguíneos y reducir la producción de metabolitos. Por el contrario, la aplicación de calor induce metabolitos y elasticidad muscular, estimula el flujo sanguíneo local y alivia los espasmos musculares. Se sabe que el método de contraste, de agua fría y tibia promueve la recuperación al estimular el sistema nervioso central, eliminar los desechos metabólicos y mejorar la circulación periférica. (7)

En una revisión, Van Rijn et al. enseñaron que sólo hasta el 85% de los pacientes se recuperaban completamente 3 años después de la lesión. Los fisioterapeutas y especialistas en lesiones deportivas rara vez son los primeros en evaluar los esguinces de tobillo ya que normalmente, se acude primeramente a la urgencia, por lo tanto, el tratamiento inicial suele ser prescrito por un médico de urgencias. Independientemente de la gravedad del esguince, a menudo se opta por un tratamiento funcional (posagudo y mediante el protocolo RICE). Este tipo de tratamiento funcional/activo está plenamente justificado, ya que varias revisiones de la literatura especializada han demostrado que la cirugía no es eficaz y que la terapia funcional es mejor que la inmovilización con yeso para volver rápidamente a las actividades deportivas. (8)

Uno de los estudios que corroboran la idea de que es más óptimo elegir un tratamiento conservador frente a un tratamiento quirúrgico lo demuestra Altomare y colaboradores con su estudio donde realizan un meta análisis de varios autores que hablan sobre el

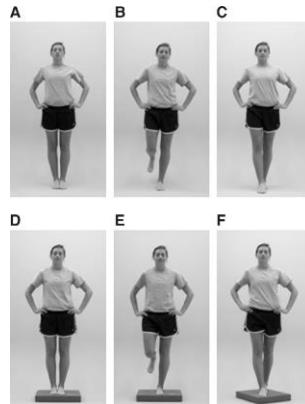
tema y las conclusiones fueron las siguientes: Niedermann et al. informaron una mayor rigidez y más complicaciones, como infecciones y disestesias, en pacientes tratados quirúrgicamente. Evans et al. afirmaron la superioridad del tratamiento conservador en términos de inestabilidad residual del tobillo, tiempo necesario para volver al trabajo y tasa de desgaste de actividades deportivas. Sommer et al. informaron resultados similares a 1 año de seguimiento tanto para el tratamiento quirúrgico como para el conservador, pero el tratamiento conservador llevó a una recuperación temprana de la movilidad y estabilidad del tobillo. Specchiulli et al., Kaikonen et al., y Povacz et al. informaron mejores resultados funcionales y un retorno más rápido a las actividades previas a la lesión en pacientes tratados con manejo conservador. Moller-Larsen et al. validaron el uso del tratamiento conservador basado en vendaje de cinta porque llevó a la restauración temprana del estado del tobillo antes de la lesión y a menos síntomas a 1 año de seguimiento, por lo que está demostrado que el tratamiento conservador va a ser mejor elección que el tratamiento quirúrgico ya que aunque en el caso que los resultados a largo plazo vayan a ser los mismos, el tratamiento quirúrgico conlleva muchos más inconvenientes. (9)

El tratamiento habitual comienza con ejercicios de fortalecimiento muscular y coordinación del tobillo. El control funcional generalmente se introduce unos días después de comenzar el programa de fisioterapia, ya que el dolor y el edema ya se han reducido. El fortalecimiento de los músculos peroneales y dorsiflexores del tobillo es la base del programa de fisioterapia ya que estos son los responsables de resistir activamente la extensión del tobillo mediante inversión/flexión plantar. Los ejercicios isométricos de los músculos peroneales y dorsiflexores comienzan poco después de la lesión, incluso si se utiliza inmovilización, la velocidad del progreso variará según la gravedad de la lesión, la cantidad de hinchazón y la determinación del atleta. El programa habitual está estructurado para llevarse a cabo durante 4 a 6 semanas. Ocasionalmente, se utilizan modalidades como el ultrasonido para reducir la sensibilidad sobre los ligamentos lesionados. (10)

Además se han desarrollado una variedad de test de estabilidad postural para identificar un mal equilibrio asociado con los esguince de tobillo, para así saber en que punto de la lesión se encuentra el deportista y desde donde tenemos que partir en la fase de fortalecimiento, algunos de los test que se utilizan son: (11)

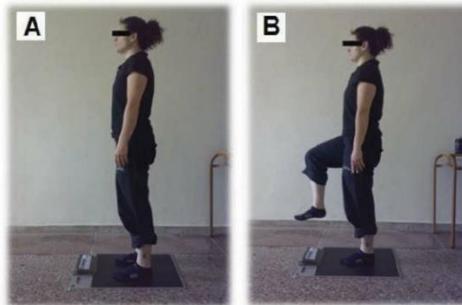
- **Balance Error Scoring System:** Este test nos da una medida estática cuantitativa del equilibrio utilizando un puntaje de error. Este test, pone a prueba

el sistema de control postural al realizar una variedad de posturas en una superficie firme y una superficie inestable. Cuando se tiene una puntuación alta, quiere decir que hay déficits de equilibrio asociados con ICT. (11)



*Ilustración 1. Test Balance error scoring system (11)*

- **Time in balance test:** En este test el paciente se posiciona sobre un solo pie en una superficie firme y se evalúa cuánto tiempo el participante puede mantenerse en dicha posición sin perder el equilibrio. Cuando el paciente aguanta muy poco tiempo, se relaciona a una ICT. (11)



*Ilustración 2. Test Time in balance test (11)*

- **Force plate measures:** El paciente se posiciona sobre una tabla la cual va recogiendo datos sobre su centro de presiones y a partir de ahí va cuantificado los déficits de equilibrio asociados con la inestabilidad del tobillo a través de un metaanálisis donde las variables eran, el área de la elipse y el área rectangular del centro de presiones. (11)

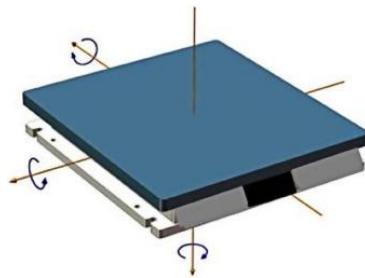


Ilustración 3. Force plate measures (11)

- **Star Excursion Balance Test:** Es un test dinámico en el cual se detectan déficits de control postural asociados con una ICT, en esta prueba se ha demostrado que los pacientes con ICT tienen un menor alcance en las direcciones anteromedial, medial y posteromedial al intentar mantener el equilibrio en su tobillo afectado en comparación con su tobillo no lesionado. (11)

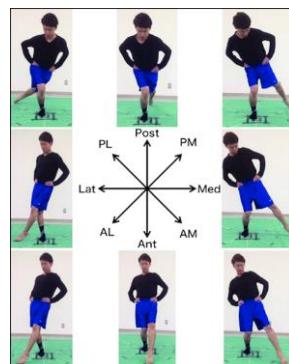


Ilustración 4. Test star excursion balance test (11)

- **Figure of 8 hop test:** En este test, el paciente realizará una serie de saltos, haciendo un 8 entre dos conos separados en una distancia de 5 metros, esta prueba indica que una mayor sensación de inestabilidad del paciente y un mayor tiempo para completar esta prueba está relacionado con un ICT. (11)

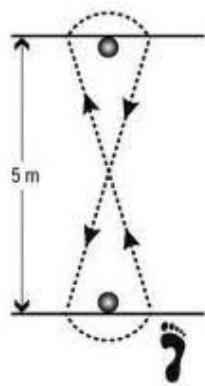


Ilustración 5. Test figure of 8 hop test (11)

Algunos de los ejercicios más utilizados en un tratamiento habitual de una esguince de tobillo son ejercicios con banda elástica, realizando movimientos flexión plantar, flexión dorsal, inversión y eversión, como los que se muestran en la siguiente imagen. (12)



Ilustración 6. Imagen de un ejercicio con banda de resistencia. (12)

Y ejercicios en bosu o plataforma inestable, donde los pacientes se sitúan encima de dicha plataforma y deben de intentar mantener el equilibrio, activando así todo el complejo del tobillo para lograr dicho objetivo. (12)



Ilustración 7. Imagen de un ejercicio en una plataforma inestable. (12)

Estos ejercicios son comunes dentro de un tratamiento habitual ya que han demostrado mejorar la función y la estabilidad del tobillo después de una lesión como puede ser un esguince de tobillo, para demostrarlo se realizaron test como Time-in-balance test, Star Excursion Balance Test y Figure-8 hop test, se realizó una medida pre y post, con un grupo que realizaba ejercicios con banda elástica (grupo 1) y otro grupo al igual que el anterior con ICT que realizaba el ejercicio en la plataforma bosu (grupo 2), los resultados fueron los siguientes: En el Time-in-balance test se pasó en el grupo 1 de 29,03 sg a 40,84 sg, una mejoría de 11,81 sg, mientras que en el grupo 2 se pasó de 29,86 sg a 28,33 sg, en este caso empeoró 1,53 sg.

En el Star Excursion Balance Test los resultados fueron los siguientes: (12)

- **Dirección anterior:** Grupo 1 (77,57 cm a 80,11 cm) una mejoría de 2,53 cm, grupo 2 (75,29 cm a 75,62 cm) una mejoría de 0,33 cm,
- **Dirección antero-medial:** Grupo 1 (79,91 cm a 84,79 cm) una mejoría de 4,88 cm, grupo 2 (79,81 cm a 83,62 cm) una mejoría de 3,81 cm.
- **Dirección medial:** Grupo 1 (81,03 cm a 89,93 cm) una mejoría de 8,90 cm, grupo 2 (81,23 cm a 90,17 cm) una mejoría de 8,94 cm.
- **Dirección postero-medial:** Grupo 1 (82,42 cm a 94,04 cm) una mejoría 11,62 cm, grupo 2 (85,78 cm a 94,37cm) una mejoría de 8,59cm.
- **Dirección postero-lateral:** Grupo 1 (74,57 cm a 85,92 cm) una mejoría de 11,35cm, grupo 2 (77,23 cm a 84,58 cm) una mejoría de 7,35 cm.

En el Figure-8 hop test se pasó en el grupo 1 de 14,59 sg a 13,02 sg, una mejoría en tiempo de 1,57 sg, mientras que en el grupo 2 se pasó de 13,42 sg a 12,09 sg, una mejoría en el tiempo de 1,33 sg. (12)

Otro tratamiento que podemos observar en las lesiones de ligamentos del tobillo es la operación quirúrgica, para valorar los resultados de la misma, un estudio dirigido por Feng-Qi Liu y colaboradores tuvo como objetivo explorar la seguridad y eficacia generales del tratamiento quirúrgico versus el tratamiento conservador para la lesión aguda del ligamento lateral del tobillo, para analizar los resultados principales se utilizó la diferencia de medias o riesgo relativo (RR), junto con el intervalo de confianza (IC) del 95%, los resultados que se sacaron en claro a raíz de este estudio fueron los siguientes:

No se observaron diferencias significativas en la incidencia de lesión recurrente de tobillo (RR: 1,01, IC 95%: 0,62-1,65), rango de movimiento limitado (RR: 1,44, IC 95%: 0,83-2,50), trombosis venosa profunda (RR: 1,33, IC 95%: 0,73-2,41), e infección o necrosis de la herida (RR: 3,99, IC 95%: 0,45-35,34). Sin embargo, los pacientes sometidos a tratamiento quirúrgico tuvieron tasas significativamente mayores de complicaciones (RR: 3,31, IC 95 %: 2,55-4,28), anquilosis (RR: 3,63, IC 95 %: 2,16-6,08), sensibilidad al susto. (RR: 10,16, IC 95%: 3,89-26,52) y pérdida sensorial (RR: 5,66, IC 95%: 2,76-11,59). (13)

La realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) han recibido cada vez más atención en los últimos años, estas tienen como objetivo hacer creer al cerebro de los pacientes que se encuentran en lugares donde realmente no están. En la RV, los pacientes interactúan con un entorno virtual que simula actividades de la vida real. Estas tecnologías pueden reducir los tiempos y costos de hospitalización y, al mismo tiempo, aumentar la cantidad de pacientes que pueden recibir tratamiento. (14)

La historia de la tecnología de RV es más extensa de lo que parece: el concepto de RV fue concebido en los años 60 y los primeros dispositivos comerciales de RV surgieron a finales de los años 80. Debido a esto, en las últimas dos décadas, numerosos investigadores han investigado los procesos, efectos y aplicaciones de esta tecnología, generando una gran cantidad de artículos científicos. (15)

La RV se ha convertido en una herramienta terapéutica en muchos campos médicos, sin embargo, existen barreras para su uso, como la falta de espacio, tiempo, personal de apoyo, incentivos adecuados para los pacientes y capacitación de los terapeutas. El uso clínico de la RV depende en gran medida de la motivación y la actitud del terapeuta.

Un ensayo clínico realizado por Levac et al. de fisioterapeutas y terapeutas ocupacionales canadienses sobre sus experiencias y percepciones de la realidad virtual encontraron que la terapia de RV se usaba con mayor frecuencia para accidentes cerebrovasculares (25,8%), lesiones cerebrales traumáticas (15,3%), trastornos musculoesqueléticos (14,9%), parálisis cerebrales (10,5%) y trastornos del neurodesarrollo (6,3%). (16)

Mediante la implementación de la RV, los pacientes experimentan una mayor motivación e interés. Esta tecnología puede representar una manera innovadora de aplicar el tratamiento, lo cual aumenta la adherencia al mismo al permitir controlar los ejercicios a través de la retroalimentación de un juego, estimulando los sentidos auditivos, táctiles y visuales. Los dispositivos de RV brindan un entorno interactivo que sumerge a los usuarios en un mundo simulado alternativo, proporcionando una sensación real al recibir estímulos multimodales o participar en juegos similares a experiencias de la vida cotidiana. Además, esta técnica puede ofrecer resultados sobresalientes al simular entornos reales. (17)

Las intervenciones de RV también se pueden adaptar y personalizar fácilmente según las necesidades del usuario, el entrenamiento con RV mejora la motivación y el compromiso y se asocia con una mayor satisfacción y disfrute del ejercicio, por otro lado, la adherencia a los programas de ejercicio tradicionales es de hasta el 50% y esta, va disminuyendo con el tiempo, el bajo cumplimiento de los mismos puede deberse a la falta de interés o disfrute del ejercicio, estados emocionales negativos o falta de valía. La RV se puede utilizar para fomentar una rehabilitación más eficaz mediante la creación de un entorno que motive, supervise y fomente la adherencia al tratamiento, además, la RV crea retroalimentación en tiempo real, desafiantes y controlables escenarios que son representativos de situaciones del mundo real. Por lo tanto, la comunicación paciente-profesional se puede mejorar facilitando la comprensión de las tareas al mismo tiempo que se monitorea objetivamente el progreso. (18)

Las tecnologías modernas de RV, proporcionan una amplia gama de entornos inmersivos que resultan muy interesantes y atractivos para los juegos serios. Esto se aplica tanto a las tareas cognitivas como a la participación física de los jugadores en estos mundos virtuales. Por ejemplo, los entornos de RV ofrecen la posibilidad de personalizar y adaptar las actividades deportivas según las habilidades y necesidades

individuales, permitiendo a los usuarios, investigadores o terapeutas controlar y modificar el entrenamiento de cada individuo. Además, se pueden realizar seguimientos de las puntuaciones obtenidas en los juegos de RV en tiempo real o fuera de línea. Para ello, se desarrollan y prueban bases de datos de tareas y ejercicios en colaboración con diversos especialistas, terapeutas y neurocientíficos. Estas bases de datos tienen en cuenta los últimos descubrimientos en neurociencia, como la neuroplasticidad (meta), la asimetría cerebral y los efectos del espejo. (19)

Los equipos de RV para fisioterapia se llamaban originalmente Exergames, un término en inglés que significa videojuegos de ejercicios. Posteriormente, se lanzaron nuevos métodos similares, como Wii Fit, Kinetic Eye Toy y Wii Balance Board, Nintendo Wii y PlayStation, que combinaban videojuegos y métodos de ejercicio. Si bien es cierto que los dispositivos médicos se han desarrollado en respuesta a las tendencias comerciales, se han realizado pocas investigaciones sobre productos diseñados específicamente para la fisioterapia. (20)

Las ventajas del entrenamiento basado en RV son que las tareas se pueden transferir al mundo real a través de cambios en el tejido neuronal, promoviendo cambios neuroplásticos en pacientes con enfermedades neurológicas, reduciendo el miedo a caer y entrenando el movimiento. Para ello se han utilizado sensores como el sensor Kinect de Microsoft, que muestran posiciones tridimensionales sin marcas. Estas posturas se utilizan como entrada para los sistemas de RV para mejorar la función del equilibrio y reducir el miedo a caer en los adultos mayores. Varios estudios han demostrado diferencias significativas en las medidas de equilibrio clínico entre los participantes entrenados con entrenamiento de equilibrio tradicional, incluida la realidad virtual. (21)

Además, Los pacientes que reciben fisioterapia con RV pueden tener costos de fisioterapia más bajos y un alta más rápida en comparación con los pacientes tratados con terapias convencionales, ya que los resultados del estudio demostraron que diviendo a dos grupos, un grupo realizó tratamiento con RV y el otro el tratamiento habitual durante 12 semanas, el coste medio de cada uno fue de 1050€ para el grupo de RV y 2805€ para el grupo de tratamiento habitual, esto fue debido a que el grupo de tratamiento habitual tuvo que ser rehospitalizado más veces que el grupo de tratamiento con RV.(22).

Para valorar la eficacia del uso de la RV, se realizó un estudio donde se quería comprobar que cambios se producían en pacientes con síndrome de Angelman (un trastorno neurológico genético) mediante el uso de la RV para su tratamiento, para ello, se le realizaron a los sujetos de estudio, test como: (23)

- Escala de Tinetti:** Se evalúa la movilidad y equilibrio.
- El sistema de clasificación de la función motora gruesa:** Este sistema examina movimientos como sentarse, caminar o el uso de dispositivos de movilidad.
- Escala de eficacia de la caídas:** Evalúa el miedo de que el paciente sufra una caída.
- Estudio de la biomecánica:** Se realizó una medición biomecánica para determinar el movimiento articular e información de fuerza durante la marcha en la cinta antes y después del uso del sistema de entrenamiento de marcha interactivo robótico.

Para ver que cambios se producían en los pacientes, estos fueron sometidos dos veces por semana durante 10 semanas, a un sistema de entrenamiento de marcha interactivo robótico juntos con ejercicios inmersivos mediante RV y RA como el de la siguiente imagen:



Ilustración 8 Juego de RV de exploración en Walkbot (18)

Donde el paciente mientras estaba utilizando el sistema robótico para andar en la cinta, se veía inmerso en un juego virtual donde tenía que explorar el mapa dentro del juego. Y se vieron los siguientes resultados:

En la escala de Tinetti, se pasó de una puntuación de 12 a 15, siendo una mejoría del 25% en la capacidad de marcha y equilibrio, en el sistema de clasificación de la función motora gruesa se pasó de 43 a 48 puntos, siendo una mejoría del 11,62% en la función motora gruesa, y en la escala de eficacia de caídas se pasó de un 16 a un 19, lo que es una mejoría 18,75% en el miedo a sufrir una caída, en cuanto al estudio biomecánico, tanto los valores de torque de la articulación de la rodilla como de la cadera mejoraron

aproximadamente un 20% como resultado del entrenamiento, por lo que se ve una mejoría en la fuerza muscular activa requerida durante la marcha. (23)

En otro estudio cuyo objetivo era ver el efecto de incluir el uso de la RV en el tratamiento habitual de pacientes quemados en la variable del dolor y el rango de movimiento (ROM), en dicho estudio se cogió a 22 pacientes pediátricos de entre 9 y 16 años, hospitalizados en el área de quemados con un porcentaje de quemado del 10 al 25%, dichos participantes se dividieron de manera aleatoria, un grupo realizando el tratamiento habitual el cual era cinesiterapia pasiva por parte del fisioterapeuta, más ejercicios de fuerza, todo esto durante 20 minutos y el otro grupo recibió el mismo tratamiento pero con la inclusión de la realidad virtual, al igual que el otro grupo, durante 20 minutos, mediante el uso de las gafas Oculus rift DK2, como las de la siguiente imagen: (24)



Ilustración 9 Gafas virtuales Oculus rift DK2 (24)

Para llevar a cabo el estudio y verificar las diferencias del dolor y del ROM se utilizaron la escala visual analógica del dolor (EVA) y un goniómetro digital para medir el ROM; Los resultados mostraron una disminución significativa en la intensidad del dolor en el grupo de estudio, con una diferencia media de 4.2 y un intervalo de confianza del 95% (IC) de (3.25-5.1), con un valor de  $p$  ( $<0.003$ ). Por otro lado, no hubo una diferencia significativa en la intensidad del dolor en el grupo de control, con un valor de  $p$  ( $>0.739$ ) y una diferencia media de 1.2 y un IC del 95% (0.3-2.1). Además, hubo una diferencia significativa entre los grupos después del tratamiento a favor del grupo de estudio, con un valor de  $p$  ( $\leq 0.001$ ) y una DM de 3.4 y un IC del 95%, en cuanto al ROM hubo un aumento significativo de los valores del mismo en el grupo de estudio, con una diferencia media de  $71.9^\circ$  y un IC del 95% de ( $88-55.8^\circ$ ) y un valor de  $p$  de 0.003. Por otro lado, el grupo de control no mostró mejoría en la ROM, con una diferencia media de  $2.8^\circ$ , un IC del 95% ( $6.2-0.59^\circ$ ), y un valor de  $p$  de 0.066. Además, hubo una diferencia

significativa entre los grupos después del tratamiento a favor del grupo de estudio, ya que la DM fue de  $45.5^{\circ}$  y el valor de p fue de 0.011. (24)

En un estudio se investigó los efectos de un programa de ejercicios con RV comparando los resultados del ejercicio con RV y el ejercicio convencional en la variable del equilibrio en pacientes con IFT, en él se cogieron a 21 participantes con signos de IFT y se les dividió en dos grupos, un grupo realizaría un entrenamiento con un programa de ejercicios de realidad virtual de fuerza y equilibrio con el Nintendo Wii fit plus, y en el grupo control, se realizaría 4 ejercicios de fuerza con theraband y ejercicios de equilibrio; En el estudio se midió el equilibrio estático y dinámico en direcciones anteroposterior (AP) y mediolateral (ML); Para valorar los resultados del estudio se realizaron tres mediciones y se calculó el valor promedio. Un valor más alto indica que el paciente tiene dificultades para mantener el equilibrio. Primeramente, se midió el equilibrio estático, para posteriormente medir el equilibrio dinámico. La estabilidad de la plataforma se podía modificar en niveles, desde el 1 hasta el 8. Los niveles seleccionados en el estudio son los niveles 2, 4 y 8, que correspondían a estabilidad baja, moderada y alta; Tras realizar el estudio se comprobó que el resultado del ejercicio virtual fue significativamente menor que en el ejercicio convencional en la dirección general del equilibrio estático y los niveles 2, 4 y 8 del equilibrio dinámico en la dirección medial-lateral y antero-posterior, por lo que el ejercicio con RV ha resultado ser más efectivo que el tratamiento convencional en la mejora del equilibrio en pacientes con IFT. (25)

Un avance importante en el uso de entornos virtuales (EV) ha sido la incorporación de información táctil y fuerzas de interacción en lo que antes era una experiencia esencialmente visual. Se están interconectando robots de diversa complejidad con presentaciones EV más tradicionales para proporcionar retroalimentación háptica que enriquece la experiencia sensorial, agrega parámetros de tareas físicas y proporciona fuerzas que producen interacciones biomecánicas y neuromusculares con el entorno virtual que se aproximan al movimiento del mundo real con más precisión a comparación de los EV solo visuales. Se puede utilizar retroalimentación háptica simple para agregar la percepción de contacto a habilidades como chutar una pelota de fútbol, además, estas sensaciones de colisión con obstáculos del mundo virtual también se pueden utilizar para enseñar trayectorias de movimiento normales, como la acción requerida para colocar un objeto en un estante o pasar por encima de una acera. (26)

En la actualidad, la tecnología de RV ha entrado en el mercado de los videojuegos para consumidores, dando lugar a dispositivos como Oculus Rift y HTC Vive. A diferencia del Oculus Rift, que se centra en moverse dentro de un espacio limitado, el HTC Vive está diseñado para seguir los movimientos de una persona que se desplaza libremente en un área de hasta  $4 \times 4$  metros, este enfoque más amplio del HTC Vive puede proporcionar acceso a un número mayor de investigadores que deseen emplear la RV para estudiar la visión y el comportamiento humanos en entornos naturales y sin limitaciones. La experiencia de jugar una variedad de juegos diseñados para el HTC Vive sugiere que su sistema de seguimiento es rápido y estable. Por lo tanto, el HTC Vive se presenta como una opción atractiva para ser utilizado en la investigación científica, el sistema de rastreo del HTC Vive utiliza el principio de "adentro hacia afuera", eliminando la necesidad de usar cámaras externas. En su lugar, emplea dos emisores láser llamados "faros", los cuales emiten barridos láser infrarrojos tanto en direcciones horizontales como verticales, cubriendo  $120^\circ$  en cada dirección. Tanto los auriculares como los controladores del HTC Vive están equipados con fotodiodos que detectan cuándo son alcanzados por el láser. La diferencia en el tiempo en que el láser impacta en los diferentes fotodiodos permite determinar la posición y la orientación de los auriculares dentro del espacio de juego.. (27)

Un estudio llevado a cabo por Borrego y colaboradores se propuso comparar el rendimiento del Oculus Rift y del HTC Vive en varios aspectos como el rango de trabajo del seguimiento de la cabeza y el área de trabajo, precisión y fluctuación en un entorno del tamaño de una habitación, el objetivo final era evaluar su idoneidad para aplicaciones de juegos, rehabilitación y otros usos relacionados con la salud. (28)

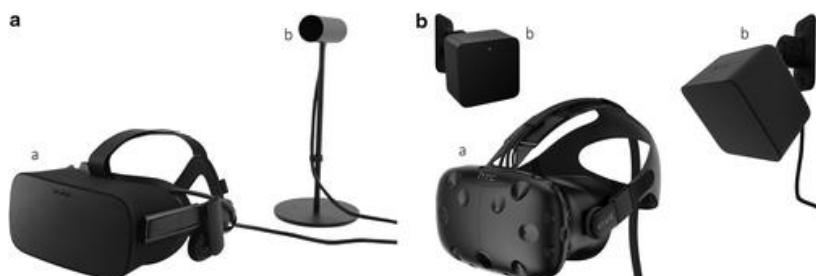


Ilustración 10. Gafas virtuales Oculus Rift y sistema HTC Vive (28)

Para estimar el área de trabajo, la precisión y la fluctuación del seguimiento de ambos sistemas en un entorno del tamaño de una habitación, se delimitó en el suelo una cuadrícula de  $10 \times 10$  con cuadrados de  $50 \times 50$  cm que abarcaba un área de 25 m

cuadrados. La cámara de seguimiento del Oculus se situó a 70 cm del suelo, centrada a lo largo del eje x en  $x = 2,5$  m y  $y = -0,75$  m. Por su parte, las estaciones base del HTC Vive se ubicaron en un lado de la cuadrícula a una altura de 250 cm, en las posiciones  $x = 1,5$  m,  $y = 3,0$  m y  $x = 5,0$  m,  $y = -0,5$  m, respectivamente. Cada estación base estaba orientada hacia la otra con un ángulo de inclinación de 40 grados. (28)

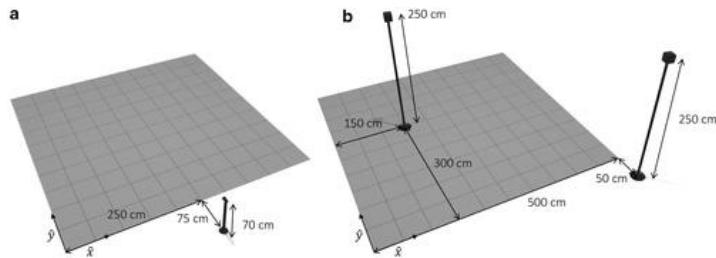


Ilustración 11. Cuadrícula (28)

Los resultados se obtuvieron desde el suelo, sentado y de pie, y fueron los siguientes:

En cuanto al área de trabajo, se mostró un área de trabajo de 11,75 m<sup>2</sup> para Oculus Rift y 24,87 m<sup>2</sup> para HTC Vive en todas las alturas, lo que superó con creces las áreas de trabajo máximas recomendadas de 2,75 y 6,25 m<sup>2</sup> para ambos dispositivos, en cuanto a la precisión y fluctuación los resultados fueron los siguientes:

	En el suelo (0 m)	Desde sentado (1,3m)	Desde de pie (1,7m)			
Precisión (cm)	Oculus rift	HTC Vive	Oculus Rift	HTC Vive	Oculus Rift	HTC Vive
Adentro	—	$0,58 \pm 0,45$	$0,76 \pm 0,53$	$0,75 \pm 0,69$	$0,61 \pm 0,55$	$1,22 \pm 1,18$
Afuera	—	$0,85 \pm 0,84$	$1,03 \pm 0,74$	$0,93 \pm 0,72$	$0,92 \pm 0,75$	$1,49 \pm 1,38$
fluctuación (mm)						
Adentro	—	$0,19 \pm 0,26$	$0,12 \pm 0,18$	$0,23 \pm 0,33$	$0,13 \pm 0,46$	$0,31 \pm 0,56$
Afuera	—	$0,27 \pm 0,37$	$0,25 \pm 0,48$	$0,32 \pm 0,44$	$0,36 \pm 0,54$	$0,44 \pm 0,99$

Tabla 1.Resultados del estudio (28)

Al examinar los datos recopilados, se observaron resultados bastante parecidos en términos de precisión y estabilidad para ambos dispositivos en distintas alturas, salvo por un detalle: la precisión del HTC Vive fue superior cuando se usó a alturas más bajas. Tanto el Oculus Rift como el HTC Vive demostraron un desempeño similar cuando se usaron a nivel de altura sentado, tanto dentro como fuera del área de trabajo recomendada. No obstante, al emplearse a una altura más elevada, el HTC Vive exhibió una precisión inferior y mayor inestabilidad. (28)

## 2. EVALUACIÓN DE LA EVIDENCIA

Toda la información ha sido obtenida por medio de las búsquedas realizadas de manera sistemática en las bases de datos: EBSCO, Pubmed y PEDro.

Las búsquedas realizadas en estas bases de datos se realizaron en el día: / / 2023

Todos los términos utilizados se han ido combinando con los booleanos “OR” “AND”, para buscar Artículos que tuviesen los términos utilizados en las búsquedas.

Tabla 2: Términos de búsqueda en deCS y meSH

TÉRMINOS	deCS	meSH
<b>#1 Esguinces</b>	Sprains	Sprains
<b>#2 Tobillo</b>	Ankle	Ankle
<b>#3 Fútbol</b>	Soccer	Soccer
<b>#4 Realidad virtual</b>	Virtual reality	Virtual reality
<b>#5 Realidad aumentada</b>	Augmented reality	Augmented reality
<b>#6 Fuerza muscular</b>	Muscle strength	Muscle strength
<b>#7 ROM</b>	Range of motion	Range of motion
<b>#8 Dolor</b>	Pain	Pain

### Búsquedas en PUBMED

Los artículos que se han seleccionado han sido bajo un filtro de 5 años de antigüedad.

La mayoría de los artículos seleccionados se encuentran en inglés, además se han utilizado los booleanos “OR” o “AND” para así, combinar los términos.

En la siguiente tabla se pueden ver los resultados de las búsquedas.

Tabla 3: Búsquedas en PUBMED

PUBMED	RESULTADOS
#1 and #2 and #4	6
#3 and #4 and #8	5
#1 and #4	5
#2 and #5	9
#2 and #3 and #4	1
#4 and #6 and #7 and #8	19
#5 and #7 and #8	16

Artículos encontrados: 67

### Búsquedas en EBSCO

Las búsquedas realizadas en EBSCO se han utilizado con un filtro de 5 años de antigüedad, la mayoría de los artículos se encuentran en inglés, además se han utilizado los booleanos “OR” o “AND” para poder combinar los términos en las distintas búsquedas.

Para la búsqueda en EBSCO, se han utilizado las bases de datos, Academic search complete, E-JOURNALS, CINAHL complete y MEDLINE complete.

En la siguiente tabla podemos ver los resultados.

Tabla 4: Búsquedas en EBSCO

EBSCO	RESULTADOS
#1 and #2 and #4	17
#3 and #4 and #8	19
#1 and #4	9
#2 and #5	19
#2 and #3 and #4	5
#4 and #6 and #7 and #8	1
#5 and #7 and #8	32
#2 and #4 and #6	13

Artículos encontrados: 115

### Búsquedas en PEDro

Las búsquedas realizadas en PEDro se han realizado con un filtro de máximo 5 años de antigüedad.

La mayoría de los artículos se encuentran en inglés, además se han utilizado los booleanos “OR” o “AND” para poder combinar los términos en las distintas búsquedas.

Los resultados de las búsquedas han sido los siguientes:

Tabla 5. Búsqueda en PEDro

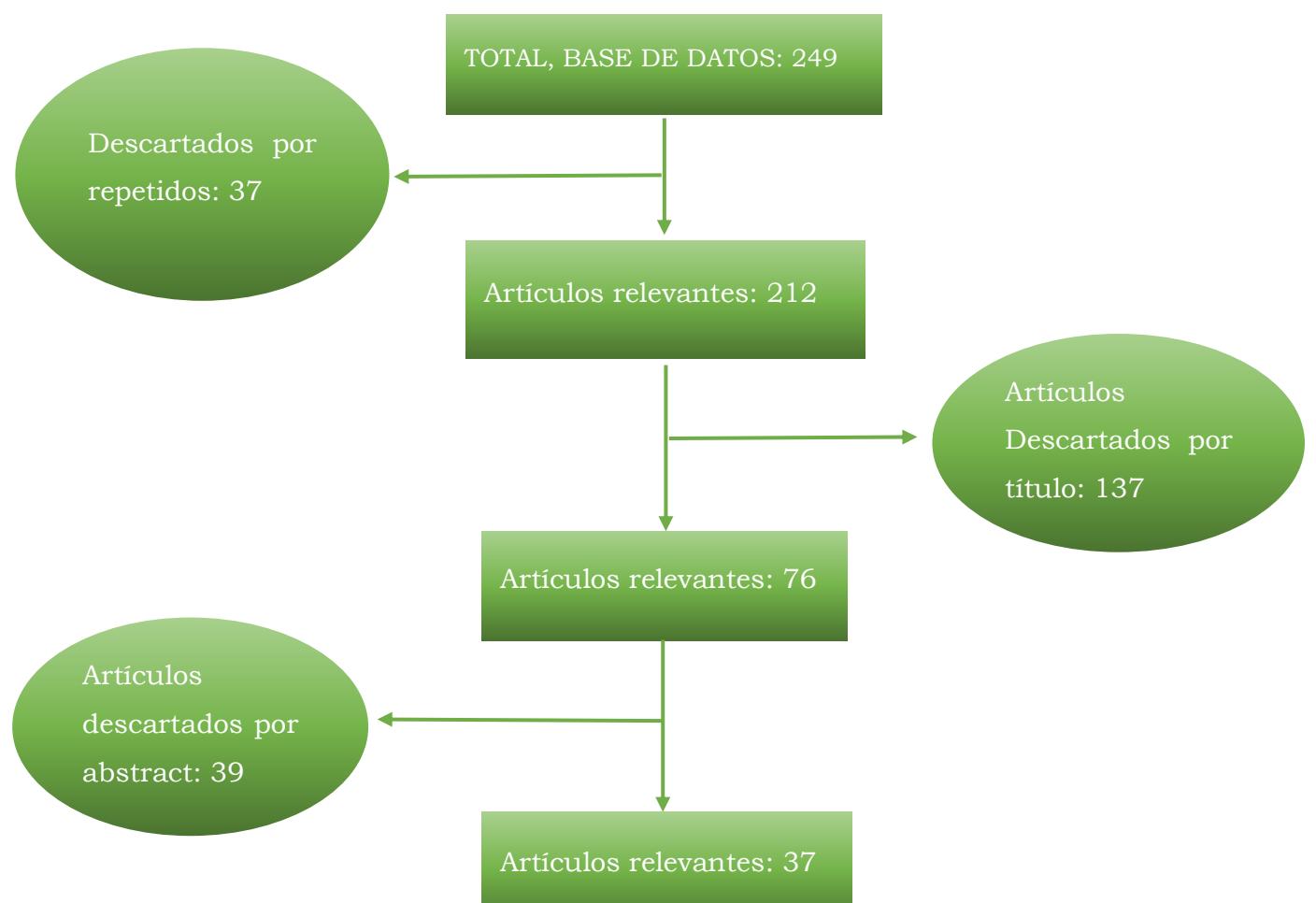
**PEDro**

**RESULTADOS**

#1 and #2 and #4	14
#3 and #4 and #8	3
#1 and #4	18
#2 and #5	1
#2 and #3 and #4	5
#4 and #6 and #7 and #8	16
#5 and #7 and #8	3
#2 and #4 and #6	7

Artículos encontrados: 67

**DIAGRAMA DE FLUJO**



### 3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

#### **Objetivo general:**

- Efectividad de la realidad virtual junto al tratamiento habitual frente a tratamiento habitual en futbolistas con esguince de tobillo.

#### **Objetivos específicos:**

- Analizar cambios de la fuerza de eversión del grupo de realidad virtual junto al tratamiento habitual frente al tratamiento habitual en futbolistas con esguince de tobillo.
- Analizar cambios de la fuerza de inversión del grupo de realidad virtual junto al tratamiento habitual frente al tratamiento habitual en futbolistas con esguince de tobillo.
- Analizar cambios del dolor del grupo de realidad virtual junto al tratamiento habitual frente al tratamiento habitual en futbolistas con esguince de tobillo.
- Analizar cambios del desplazamiento anterior del grupo de realidad virtual junto al tratamiento habitual frente al tratamiento habitual en futbolistas con esguince de tobillo.
- Analizar cambios del desplazamiento postero-lateral del grupo de realidad virtual junto al tratamiento habitual frente al tratamiento habitual en futbolistas con esguince de tobillo.
- Analizar cambios del desplazamiento postero-medial del grupo de realidad virtual junto al tratamiento habitual frente al tratamiento habitual en futbolistas con esguince de tobillo.

## **4. HIPÓTESIS CONCEPTUAL**

La inclusión de la realidad virtual junto al tratamiento habitual inducirá disminución del dolor, aumento de la fuerza y aumento de la distancia, frente a solo realizar el tratamiento habitual en futbolistas con esguince de tobillo.

## 5. METODOLOGÍA

### **Diseño:**

Se ha realizado un estudio analítico para la implementación de este proyecto. De tipo experimental, debido a que hay una intervención de dos grupos (Grupo A o experimental; Grupo B o control), cada grupo es asignado de manera aleatoria. Este estudio será longitudinal porque va a existir un período de tiempo entre las variables que se evalúan y será prospectivo ya que habrá mediciones pre y post.

El evaluador, responsable de realizar las mediciones y analizar los datos será “ciego”, y este será el único en serlo, ya que los participantes deberán firmar un formulario de consentimiento informado que explique todos los métodos del estudio realizados y, por lo tanto, no pueden ser cegados. Los pacientes se dividirán en dos grupos: un grupo de control (CG), que recibirá únicamente el tratamiento habitual para la recuperación de un esguince de tobillo, y un grupo experimental (GE), que recibirá el tratamiento habitual junto con RV.

Se tomarán medidas antes del inicio de ambos tratamientos y se tomarán otras al finalizar el estudio. La intervención tendrá una duración de 2 meses.

Los sujetos también recibirán una hoja de consentimiento informado (ANEXO 1) y una hoja de información del paciente (ANEXO 2) escrito de manera que les permita comprender todo lo relacionado con el estudio. También se debe informar a los pacientes que pueden retirarse del estudio si es necesario.

Haciendo referencia a los principios éticos, este estudio respeta la Declaración de Helsinki y Tokio, aprobada por la Asamblea Médica Mundial. Se presentará una solicitud para su aprobación al Comité Ético de investigación Clínica (CEIC) del Hospital de Getafe para la revisión y aprobación del estudio (Anexo 3).

Se debe respetar la Ley Orgánica 3/2018 de protección de datos personales para asegurar a los sujetos que sus datos personales serán protegidos y utilizados únicamente para investigaciones para las que han sido informados.

### **Sujetos:**

La población diana del estudio serán futbolistas.

Para seleccionar la muestra se dictarán los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

Los criterios de inclusión serán:

- Futbolistas de entre 18 y 30 años (ya que es la edad donde se encuentran la mayor parte de jugadores federados)
- Diagnosticados de esguince de tobillo.

Criterios de exclusión:

- Problemas de salud visual preexistentes.
- Personas con historial de mareos o vértigos.
- Personas que puedan sufrir epilepsia.
- Personas con condiciones cardíacas graves.

## Cálculo muestral

La selección de la muestra se llevará a cabo mediante un método de muestreo no probabilístico consecutivo, de modo que los individuos diagnosticados con esguince de tobillo serán incluidos en la muestra a medida que sean identificados.

Para realizar el cálculo muestral utilizaremos la fórmula de comparación de 2 medias:

$$N = \frac{2 \times K \times SD^2}{d^2}$$

El poder estadístico ( $1-\beta$ ) se establece cuando es un 80% en los estudios del ámbito sanitario, y a un 5% del nivel de significación. Por lo que la variable K, que es una constante obtenida a través del nivel de significación ( $\alpha$ ) y de la potencia estadística ( $1-\beta$ ). Entonces podemos decir que K es 7,8, según los expuesto en la Tabla 6:

Tabla 6. Poder estadístico y nivel de significación para la variable K. Elaboración propia

PODER ESTADÍSTICO (1- $\beta$ )	NIVEL DE SIGNIFICACIÓN ( $\alpha$ )		
	5%	1%	0,10%
80%	7,8	11,7	17,1
90%	10,5	14,9	20,9
95%	13	17,8	24,3
99%	18,4	24,1	31,6

Para tomar los valores de desviación estándar (SD) y la precisión (d) se tomará como referencia el artículo (25), con población y variable de equilibrio similar a nuestro estudio.

El valor SD se obtiene de los resultados de la desviación típica de la medición previa.

El valor SD = 115,81

El valor de d se obtiene por la resta de los resultados de pretratamiento u postratamiento.

Valor d = 62,8

$$N = \frac{2 \times 7,8 \times 115,81^2}{62,8^2} = 53,05$$

N es = 53, que será la muestra que esté en cada grupo.

A continuación, realizaremos el cálculo muestral de las variables de fuerza de eversión e inversión.

Para tomar los valores de desviación estándar (SD) y la precisión (d) se tomará como referencia el artículo (30), con población y variable de fuerza de inversión similar a nuestro estudio.

Cálculo muestral (variable de inversión):

El valor SD = 30,13

El valor de d se obtiene por la resta de los resultados de pretratamiento u postratamiento.

Valor d = 15

$$N = \frac{2 \times 7,8 \times 30,13^2}{15^2} = 63$$

N es = 63, que será la muestra que esté en cada grupo, formando así un total de 126 sujetos para el estudio.

Para tomar los valores de desviación estándar (SD) y la precisión (d) se tomará como referencia el artículo (30), con población y variable de fuerza de eversión similar a nuestro estudio.

Cálculo muestral (variable de eversión):

$$N = \frac{2 \times 7,8 \times 37,75^2}{18,87^2} = 62$$

N es = 62, que será la muestra que esté en cada grupo, formando así un total de 124 sujetos para el estudio.

Entre los 3 cálculos muestrales obtenidos cogeremos el de mayor resultado, y a este le sumaremos un 10% por posibles pérdidas, por lo que a N=63, le sumaremos el 10% y el resultado será el número de pacientes que tendremos para cada grupo del estudio, el cual será 69, por lo que en total habrá 138 participantes.

### **Variables:**

*Tabla 7. Tabla de variables del estudio. (Elaboración propia)*

Variable	Tipo	Unidad de medida	Forma de medirla
Tipo de tratamiento	independiente, cualitativa, nominal, dicotómica		0= tratamiento realidad virtual y tratamiento habitual (experimental) 1= tratamiento fisioterapia habitual (control)
Momento de medición	independiente, cualitativa, nominal, dicotómica		0 = pretratamiento 1 = postratamiento
Dolor	Dependiente, cuantitativa, continua	Numérica (0 al 10)	Escala Visual Analógica (EVA)
Fuerza	Dependiente, cuantitativa, continua	Newton	Dinamómetro (fuerza isométrica)
Fuerza en eversión			
Fuerza en Inversión			
Equilibrio	Dependiente, cuantitativa, continua	Cm	Y balance test
Desplazamiento anterior			
Desplazamiento postero-medial			

Desplazamiento postero-lateral			
--------------------------------	--	--	--

Tabla 7. tabla de variables (elaboración propia)

El **Y balance test** es un test dinámico en el cual se detectan déficits de control postural asociados con una ICT, en esta prueba se ha demostrado que los pacientes con ICT tienen un menor alcance en las direcciones anterior, postero-lateral y postero-medial, al intentar mantener el equilibrio en su tobillo afectado en comparación con su tobillo no lesionado.

La **escala EVA** consiste en una escala numérica del 0 al 10 donde 0 significa que el paciente no siente nada de dolor y 10 lo contrario, es el peor dolor que ha experimentado, el paciente deberá posicionar su dolor dentro de esta escala del 0 al 10.

El **dinamómetro** es una máquina la cual nos va a ayudar a recoger la fuerza en N que realiza nuestro paciente en los movimientos que queremos estudiar, en este caso se valorará la fuerza isométrica, para ello hay que posicionar adecuadamente al paciente.

### **Hipótesis operativa:**

#### Variable desplazamiento anterior:

**-Hipótesis nula (H0):** No hay diferencias estadísticamente significativas entre la inclusión de la realidad virtual junto al tratamiento habitual frente a realizar únicamente el tratamiento habitual en el desplazamiento anterior en futbolistas con esguince de tobillo.

**-Hipótesis alternativa (H1):** Existen diferencias estadísticamente significativas entre la inclusión de la realidad virtual junto al tratamiento habitual frente a realizar únicamente el tratamiento habitual en el desplazamiento anterior en futbolistas con esguince de tobillo.

#### Variable desplazamiento postero-medial:

**-Hipótesis nula (H0):** No hay diferencias estadísticamente significativas entre la inclusión de la realidad virtual junto al tratamiento habitual frente a realizar únicamente el tratamiento habitual en el desplazamiento postero-medial en futbolistas con esguince de tobillo.

**-Hipótesis alternativa (H1):** Existen diferencias estadísticamente significativas entre la inclusión de la realidad virtual junto al tratamiento habitual frente a realizar únicamente

el tratamiento habitual en el desplazamiento postero-medial en futbolistas con esguince de tobillo.

Variable desplazamiento postero-lateral:

**-Hipótesis nula (H0):** No hay diferencias estadísticamente significativas entre la inclusión de la realidad virtual junto al tratamiento habitual frente a realizar únicamente el tratamiento habitual en el desplazamiento postero-lateral en futbolistas con esguince de tobillo.

**-Hipótesis alternativa (H1):** Existen diferencias estadísticamente significativas entre la inclusión de la realidad virtual junto al tratamiento habitual frente a realizar únicamente el tratamiento habitual en el desplazamiento postero-lateral en futbolistas con esguince de tobillo.

Variable de dolor:

**-Hipótesis nula (H0):** No hay diferencias estadísticamente significativas entre la inclusión de la realidad virtual junto al tratamiento habitual frente a realizar únicamente el tratamiento habitual en el dolor en futbolistas con esguince de tobillo.

**-Hipótesis alternativa (H1):** Existen diferencias estadísticamente significativas entre la inclusión de la realidad virtual junto al tratamiento habitual frente a realizar únicamente el tratamiento habitual en el dolor en futbolistas con esguince de tobillo.

Variable de la fuerza en eversión:

**-Hipótesis nula (H0):** No hay diferencias estadísticamente significativas entre la inclusión de la realidad virtual junto al tratamiento habitual frente a realizar únicamente el tratamiento habitual en la fuerza de eversión en futbolistas con esguince de tobillo.

**-Hipótesis alternativa (H1):** Existen diferencias estadísticamente significativas entre la inclusión de la realidad virtual junto al tratamiento habitual frente a realizar únicamente el tratamiento habitual en la fuerza de eversión en futbolistas con esguince de tobillo.

Variable de la fuerza en inversión:

**-Hipótesis nula (H0):** No hay diferencias estadísticamente significativas entre la inclusión de la realidad virtual junto al tratamiento habitual frente a realizar únicamente el tratamiento habitual en la fuerza de inversión en futbolistas con esguince de tobillo.

**-Hipótesis alternativa (H1):** Existen diferencias estadísticamente significativas entre la inclusión de la realidad virtual junto al tratamiento habitual frente a realizar únicamente el tratamiento habitual en la fuerza de inversión en futbolistas con esguince de tobillo.

### **Recogida, análisis de datos, contraste de hipótesis:**

Se registrarán las variables de interés utilizando la hoja de recolección de datos (Anexo 5). Antes, el investigador principal obtendrá la información del paciente junto con su respectivo código de identificación (Anexo 4).

Una vez recopilados todos los datos, se trasladarán a una hoja de cálculo en Microsoft Excel para su posterior análisis con el programa IBM SPSS Statistics.

El análisis de los datos se llevará a cabo mediante un enfoque de análisis donde la intención es comparar la efectividad del tratamiento. Este método respeta la asignación aleatoria de los pacientes a cada tipo de tratamiento, evitando problemas relacionados con la pérdida de pacientes durante el estudio.

Después de la recolección de datos, se realizarán los siguientes análisis:

Se hará un análisis descriptivo de todas las variables: se calcularán la media, el mínimo, el máximo, la desviación estándar, la mediana, el Q1 y el Q3 de las variables dependientes. Esto se utiliza para observar las diferencias dentro de una misma población. Se representarán gráficamente utilizando histogramas o diagramas de caja y bigotes, según la distribución.

Seguidamente realizaremos un análisis estadístico inferencial mediante el contraste de hipótesis de la media de las diferencias entre las mediciones pre y post tratamiento en ambos grupos. Los resultados se presentarán en tablas y diagramas de caja y bigotes.

Para seleccionar la prueba adecuada, se utilizarán el test de Kolmogorov-Smirnov para evaluar la normalidad y el test de Lévene para evaluar la homogeneidad de las varianzas. Si ambos resultados arrojan un valor de  $p > 0,05$ , se aplicará la prueba paramétrica correspondiente (la prueba t de Student para muestras independientes). En caso contrario, se utilizará la prueba no paramétrica (U de Mann-Whitney).

Un valor de  $p < 0,05$  indicará que se pueden rechazar las hipótesis nulas, lo que sugiere

la presencia de diferencias estadísticamente significativas. De lo contrario, se aceptará la hipótesis nula, concluyendo que no existen diferencias estadísticamente significativas.

### **Limitaciones del estudio:**

La principal limitación que encontraremos será el medio de transporte por parte de los futbolistas ya que tendrán que ser ellos los que se transporten al lugar donde se va a realizar el estudio.

El grupo de intervención recibirá más horas de trabajo propioceptivo, ya que primero tendrán que realizar el mismo trabajo propioceptivo que el grupo control para después realizar el trabajo propioceptivo con RV.

### **Equipo de investigación:**

El equipo para esta investigación estará formado por:

- Investigador principal: Fernando Mena Molina
- Evaluador: Doctor en fisioterapia y con un master de biomecánica.
- Fisioterapeutas colaboradores: 7 fisioterapeutas con el título de diplomatura o grado de fisioterapia.

## 6. PLAN DE TRABAJO

### Diseño de la intervención:

Una vez redactado el proyecto, se debe solicitar la aprobación del CEIC del Hospital Universitario de Getafe (Anexo 3). Una vez obtenida la aprobación del CEIC, se concretará una reunión con el equipo de investigación que será parte del proyecto, explicando a cada integrante su labor y como se va a llevar a cabo en plan de trabajo.

Los participantes del estudio serán seleccionados mediante un muestreo no probabilístico consecutivo. Es por ello por lo que el investigador principal se pondrá en contacto con los diferentes presidentes de los equipos de fútbol federados de la comunidad de Madrid para que estos contacten con los entrenadores, staff técnico y médico para que nos proporcionen a los jugadores que cumplan con los criterios de inclusión e informarles del estudio.

Una vez puestos en contacto con el investigador principal antes de realizar el estudio se les realizará la recogida de datos (Anexo 4) con la entrega de la hoja de información al paciente (Anexo 2) y el consentimiento informado (Anexo 1), esta documentación se le proporcionará vía email, días antes de que se produzca el momento de las mediciones. Las herramientas con las que se tomarán los datos y aquí se les realizará la asignación aleatoria, en la que antes de la llegada de los pacientes se van a aleatorizar los números. Abriendo la aplicación de generador automático de números, como es Excel, una vez nos haya dado los números la primera mitad de los números pertenecerá al grupo control y la otra mitad al grupo experimental.

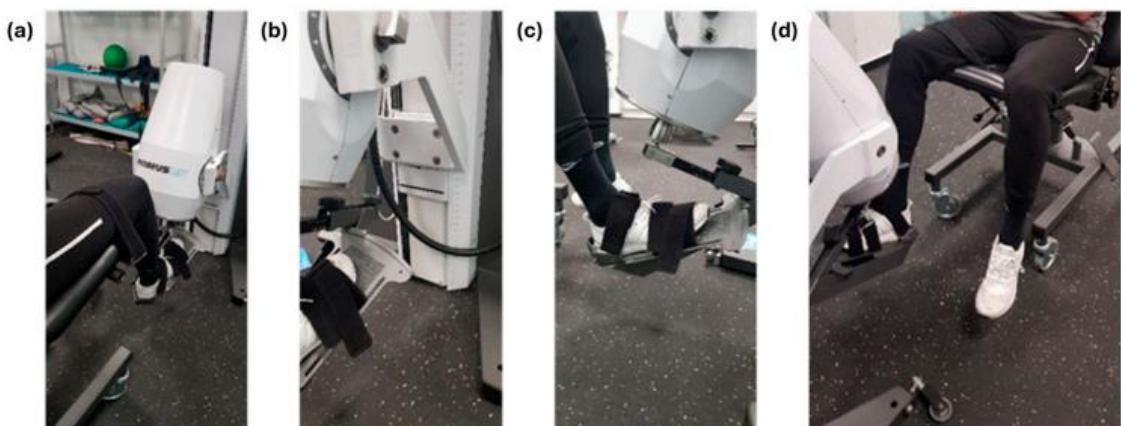
La primera medición se les realizará el primer día que se les cite y consistirá en medir las siguientes variables:

- Dolor (Valorado con la escala EVA)
- Fuerza mediante la medición de la fuerza isométrica de eversión e inversión. (Valorado con dinamómetro)
- Equilibrio mediante la medición del desplazamiento anterior, desplazamiento postero-medial y desplazamiento postero lateral. (valorado con el Y balance test)

Para tomar las mediciones del **dolor**, se le preguntará a cada futbolista que nos indique dentro de una escala del 0 al 10 (escala EVA), donde situaría su dolor, siendo el 10 el peor dolor que ha sufrido y 0 no siente nada de dolor, pediremos al paciente que sea lo

más objetivo posible dentro de la subjetividad que presenta esta escala.

Para tomar las mediciones de la **fuerza**, se le realizará a cada jugador una prueba dinamométrica isométrica de inversión y eversión, se realizarán 5 repeticiones de cada movimiento, y nos quedaremos con el resultado de la media de estas 5 repeticiones, realizará 6 segundos de contracción isométrica y 12 segundos de descanso. Para medirlo utilizaremos la máquina PRIMUS RS 701, el paciente se posicionará sentado y tendrá que realizar el movimiento de eversión e inversión. Para la colocación del paciente tomaremos como referencia el estudio (30) donde al igual que nosotros valoran la fuerza de inversión y eversión de tobillo con la misma máquina, y el posicionamiento será el siguiente:



*Ilustración 12. Colocación del paciente. (a) orientación en disposición lineal del tobillo en el dinamómetro; (b) altura del dinamómetro con respecto al suelo para el tobillo; (c) ubicación del tobillo a 90° en el eje del dinamómetro en la mortaja tibiofibular; (d) flexión de 90° de la rodilla y el tobillo con respecto al dinamómetro. (30)*

Para tomar las mediciones del **equilibrio**, se le realizará a cada jugador el Y balance test, que nos indicará en cm el desplazamiento anterior, postero-medial y postero-lateral que puede realizar, para coger los valores, el paciente se posicionará de pie, con el pie afecto en contacto con el suelo, y el otro elevado, y con este último deberá llegar hasta donde pueda en las tres direcciones que marca la Y que estará en el suelo, el paciente se posicionará en el centro de esta Y, el test se realizará 3 veces y se cogerá las medidas de la mejor marca en cada movimiento, el futbolista descansará 2 minutos entre la realización del test con la próxima realización del mismo para que no influya la fatiga en las mediciones.



Ilustración 13. Y balance test (31)

Por otro lado, los futbolistas no podrán observar los resultados que se van tomando a medida que se está haciendo las pruebas, excepto en la escala EVA ya que él mismo es el que nos tiene que dar el dato.

A su vez, en el mismo día, se asignará a cada paciente un código de identificación individual para garantizar el anonimato de los datos y permitir la aleatorización en los grupos control y experimental, recordamos que:

- El grupo control: recibirá exclusivamente el tratamiento habitual de fisioterapia para el esguince de tobillo. (ANEXO 7) (32).
- El grupo experimental: recibirán tratamiento por medio de la realidad virtual junto al tratamiento habitual de fisioterapia para la esguince de tobillo.

Ambos grupos trabajarán con movilidad pasiva, movilidad activa, ejercicios de fuerza y ejercicios de propiocepción. Estos aspectos se trabajarán de la misma forma en ambos grupos, pero además el grupo experimental realizará un trabajo propioceptivo con RV, después de haber realizado todo el tratamiento que han hecho igual que el grupo control. El tratamiento para cada sujeto tendrá una duración de 2 meses. Al finalizar el tratamiento, se llevará a cabo la segunda medición de las variables del estudio de la misma manera y en las mismas condiciones que en la primera. Una vez completada la muestra, se analizarán los datos y se redactará las conclusiones.

### **INTERVENCIÓN:**

Los fisioterapeutas especializados tratarán a cada paciente con dos sesiones semanales de unos 45 minutos, los martes y los viernes, a excepción de la primera sesión que será empleada para realizar una correcta medición y evaluación de las diferentes variables a estudiar.

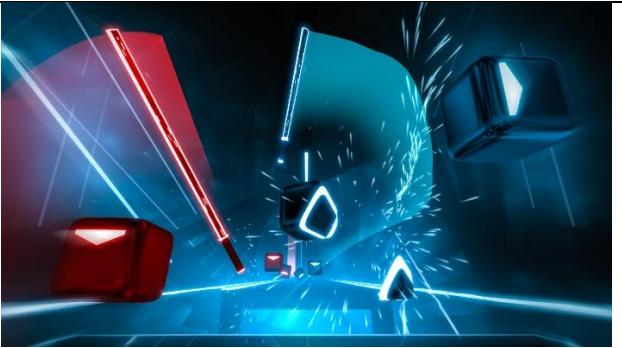
Solo aquellos pacientes que formen parte del grupo experimental recibirán el tratamiento

con RV junto al tratamiento habitual de fisioterapia, que será aceptado al firmar el consentimiento informado.

Para ello en las sesiones se trabajará el esguince con el tratamiento habitual, el cuál realizaremos con lo que se expone en el ANEXO 7.

En el grupo experimental emplearemos la RV, además de todo el tratamiento habitual, para ello, usaremos las gafas Meta Quest 2, antes de su uso, se llevará a cabo la verificación y calibración del equipo, el paciente se pondrá las gafas y sostendrá dos mandos, uno con cada mano y realizará los siguientes ejercicios:

*Tabla 8. Tabla de ejercicios de propiocepción con RV. (elaboración propia)*

<p><b>Juego BEAT SABER</b></p> <p>El paciente se posicionará de pie en una zona segura y libre de objetos con el pie afectado en el suelo y el otro pie elevado, lo que deberá hacer es con los mandos que tiene en la mano realizar "cortes" para cortar las cosas que se van acercando a él en el juego.</p> <p>Dentro del juego hay diferentes niveles, por lo que la intensidad se puede ir aumentando, aumentando el nivel de dificultad dentro del juego.</p> <p>El objetivo es mantener el equilibrio mientras realiza movimiento con el miembro superior.</p>	 <p><i>Ilustración 14. Juego Beat saber. (33)</i></p>
<p><b>Juego PISTOL WHIP</b></p> <p>El paciente se posicionará de pie en una zona segura y libre de objetos, lo que deberá hacer es esquivar las balas que le van a intentar dar dentro del juego, lo que vamos a conseguir con esto es trabajar todas las transferencias de peso, cambios de dirección... a la vez que él dentro del juego va a intentar</p>	 <p><i>Ilustración 15. Juego Pistol Whip. (34)</i></p>

disparar a los enemigos	
<p>Juego Final soccer VR</p> <p>El paciente se posicionará de pie en una zona segura y libre de obstáculos, lo que deberá hacer es realizar el movimiento de disparo para tirar a puerta el balón que le pasan en el juego, si el balón es blanco pateará con la pierna derecha, si el balón es rojo pateará con la pierna izquierda y no realizará el disparo si le viene un balón negro.</p> <p>Con esto trabajaremos la estabilidad, transferencia de peso y además trabajaremos movimientos específicos de su deporte.</p>	 <p>Ilustración 16. Juego Final soccer VR. (35)</p>
<p>Juego ASSASSIN`S CREED NEXUS</p> <p>En este juego el paciente estará inmerso en el mundo de la época romana, en el cual será un asesino, por lo que tendrá que pelear contra los enemigos que le vayan apareciendo, en el juego, deberá dar saltos, hacer cambios de dirección, transferencias de pesos...</p>	 <p>Ilustración 17. Juego Assasin's creed, Nexus. (36)</p>

El paciente jugará a cada juego de 5, jugando un total de entre 20 minutos durante el tratamiento, aunque el tratamiento durará más debido a los descansos entre juego y juego que será de unos 4-5 minutos.

El orden en el que se realizarán los ejercicios será el mismo que está expuesto en la tabla, debido a que cada juego es un poco más complejo que el anterior.

El tratamiento con realidad virtual se realizará en las últimas fases de tratamiento, cuando el paciente ya haya ganado movilidad y haya ganado fuerza, y el dolor haya cesado totalmente y además haya realizado el mismo entrenamiento propioceptivo que el grupo control.

La finalidad de coger estos juegos es mejorar la propiocepción, por ello dentro de los

juegos se realizan cambios de dirección, transferencias de peso, saltos, estabilización...

### **Etapas del desarrollo:**

*Tabla 9. Etapas de desarrollo del proyecto. (Elaboración propia)*

<b>Etapas</b>	<b>Periodo de realización</b>
Redacción del proyecto	Septiembre de 2023- mayo de 2024
Solicitud al CEIC	Entre junio y Julio de 2024
Creación del equipo que va a participar en el proyecto	Julio y agosto de 2024
Informar al hospital	Septiembre 2024
Selección de la muestra	Desde septiembre-octubre de 2024 en cuanto los equipos vayan derivando a los futbolista hasta finalizar la muestra
Recogida de datos	Primer día
Intervención	Desde octubre 2024 hasta diciembre 2024
Medición final	Una vez acabado los 2 meses de tratamiento
Recogida y análisis de los datos	Al finalizar la muestra durante 1 mes
Conclusiones y resultados	Al haber analizado la muestra durante 1 mes

### **Distribución de las tareas de todo el equipo:**

**-Investigador principal:** Responsable de desarrollar el diseño del proyecto. Elegir y reunir a los integrantes del equipo de intervención y explicarles el proyecto sobre el que van a trabajar. Encargado de hacer llegar la hoja de información al paciente junto con el consentimiento informado y además será quien redacte y ponga las conclusiones del proyecto.

**-Fisioterapeutas encargados del tratamiento:** Serán los que estarán con los futbolistas durante todo el tratamiento de los dos grupos, del grupo control y experimental.

**-Evaluador-analista:** Será el que se encargue de la medición, cálculo y evaluación de los resultados obtenidos para posteriormente analizarlos e interpretarlos.

**-Equipos federados:** Encargados de derivar a los futbolistas que presenten las características de inclusión del proyecto

### **Lugar realización del proyecto:**

El proyecto se desarrollará en la Unidad de traumatología del Hospital Universitario de Getafe en la dirección, Carr. Madrid – Toledo, Km 12,500, 28905 Getafe, Madrid.



Ilustración 18. Ubicación hospital Universitario de Getafe (Google maps)

## 7. REFERENCIAS

1. Kolokotsios S, Drousia G, Koukoulithras I, et al. Ankle Injuries in Soccer Players: A Narrative Review. *Cureus*. DOI: 10.7759/cureus.17228.
2. Rommers N, Rössler R, Tassignon B, et al. Most amateur football teams do not implement essential components of neuromuscular training to prevent anterior cruciate ligament injuries and lateral ankle sprains. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2022. DOI: 10.1007/s00167-022-06878-8.
3. Elaraby AER, Shahien M, Jahan AM, et al. The Efficacy of Virtual Reality Training in the Rehabilitation of Orthopedic Ankle Injuries: A Systematic Review and Meta-analysis. *Adv Rehabil Sci Pract* 2023. DOI: 10.1177/11795727231151636.
4. Mandorino M, Figueiredo AJ, Gjaka M, et al. Injury incidence and risk factors in youth soccer players: a systematic literature review. Part I: epidemiological analysis. *Biol Sport* 2023. DOI: 10.5114/biolsport.2023.109961.
5. D'Hooghe P, Khelaifi K, Abdelatif N, Kaux JF. From "Low" to "High" Athletic Ankle Sprains: A Comprehensive Review. *Operative Techniques in Orthopaedics* 2018 -02-01;28.
6. Halabchi F and Hassabi M. Acute ankle sprain in athletes: Clinical aspects and algorithmic approach. *World J Orthop* 2020. DOI: 10.5312/wjo.v11.i12.534.
7. El-Tahtawy M, Gomaa E, Azzam AH, et al. Postural stability changes after contrast immersion in ankle sprain (Randomized Controlled Trial). *Egyptian Journal of Physical Therapy* 2021. DOI: 10.21608/ejpt.2021.47354.1021.
8. Guillodo Y, Le Goff A and Saraux A. Adherence and effectiveness of rehabilitation in acute ankle sprain. *Ann Phys Rehabil Med* 2011. DOI: 10.1016/j.rehab.2011.03.002.
9. Altomare D, Fusco G, Bertolino E, et al. Evidence-based treatment choices for acute lateral ankle sprain: a comprehensive systematic review. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2022. DOI: 10.26355/eurrev\_202203\_28333.

10. Smith RW and Reischl SF. Treatment of ankle sprains in young athletes. *Am J Sports Med* 1986. DOI: 10.1177/036354658601400606
11. Linens SW, Ross SE, Arnold BL, et al. Postural-Stability Tests That Identify Individuals With Chronic Ankle Instability. *J Athl Train* 2014. DOI: 10.4085/1062-6050-48.6.09.
12. Cain MS, Ban RJ, Chen Y, et al. Four-Week Ankle-Rehabilitation Programs in Adolescent Athletes With Chronic Ankle Instability. *J Athl Train* 2020. DOI: 10.4085/1062-6050-41-19.
13. Liu F and Diao N. Surgical therapy vs conservative therapy for patients with acute injury of lateral ankle ligament: A meta-analysis and systematic review. *Int Wound J* 2019. DOI: 10.1111/iwj.13120.
14. Berton A, Longo UG, Candela V, et al. Virtual Reality, Augmented Reality, Gamification, and Telerehabilitation: Psychological Impact on Orthopedic Patients' Rehabilitation. *J Clin Med* 2020. DOI: 10.3390/jcm9082567.
15. Cipresso P, Giglioli IAC, Raya MA, et al. The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature. *Front Psychol* 2018. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.02086.
16. Lin H, Li Y, Hu W, et al. A Scoping Review of The Efficacy of Virtual Reality and Exergaming on Patients of Musculoskeletal System Disorder. *J Clin Med* 2019. DOI: 10.3390/jcm8060791.
17. Gazendam A, Zhu M, Chang Y, et al. Virtual reality rehabilitation following total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2022. DOI: 10.1007/s00167-022-06910-x.
18. Forsyth L, Bonacci J and Childs C. A pilot randomised control trial of the efficacy of stability-based training with visualisation for people with chronic ankle instability. *Med Biol Eng Comput* 2022. DOI: 10.1007/s11517-022-02533-z.

19. Sokołowska B. Impact of Virtual Reality Cognitive and Motor Exercises on Brain Health. *Int J Environ Res Public Health* 2023. DOI: 10.3390/ijerph20054150.
20. Blasco J, Igual-Camacho C, Blasco M, et al. The efficacy of virtual reality tools for total knee replacement rehabilitation: A systematic review. *Physiother Theory Pract* 2021. DOI: 10.1080/09593985.2019.1641865.
21. Prasertsakul T, Kaimuk P, Chinjenpradit W, et al. The effect of virtual reality-based balance training on motor learning and postural control in healthy adults: a randomized preliminary study. *Biomed Eng Online* 2018. DOI: 10.1186/s12938-018-0550-0.
22. Prvu Bettger J, Green CL, Holmes DN, et al. Effects of Virtual Exercise Rehabilitation In-Home Therapy Compared with Traditional Care After Total Knee Arthroplasty: VERITAS, a Randomized Controlled Trial. *J Bone Joint Surg Am* 2020. DOI: 10.2106/JBJS.19.00695.
23. Han S, Park C and You J(H. Effects of Robotic Interactive Gait Training Combined with Virtual Reality and Augmented Reality on Balance, Gross Motor Function, Gait Kinetic, and Kinematic Characteristics in Angelman Syndrome: A Case Report. *Children (Basel)* 2022. DOI: 10.3390/children9040544.
24. Ali RR, Selim AO, Abdel Ghafar MA, et al. Virtual reality as a pain distractor during physical rehabilitation in pediatric burns. *Burns* 2022. DOI: 10.1016/j.burns.2021.04.031.
25. Kim K and Heo M. Comparison of virtual reality exercise versus conventional exercise on balance in patients with functional ankle instability: A randomized controlled trial. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2019. DOI: 10.3233/BMR-181376
26. Adamovich SV, Fluet GG, Tunik E, et al. Sensorimotor training in virtual reality: a review. *NeuroRehabilitation* 2009. DOI: 10.3233/NRE-2009-0497.
27. Niehorster DC, Li L and Lappe M. The Accuracy and Precision of Position and Orientation Tracking in the HTC Vive Virtual Reality System for Scientific Research. *Iperception* 2017. DOI: 10.1177/2041669517708205.

28. Borrego A, Latorre J, Alcañiz M, et al. Comparison of Oculus Rift and HTC Vive: Feasibility for Virtual Reality-Based Exploration, Navigation, Exergaming, and Rehabilitation. *Games Health J* 2018. DOI: 10.1089/g4h.2017.0114.
29. Kaminski TW, Buckley BD, Powers ME, et al. Effect of strength and proprioception training on eversion to inversion strength ratios in subjects with unilateral functional ankle instability. *Br J Sports Med* 2003. DOI: 10.1136/bjsm.37.5.410.
30. Mallada NP, Beltrán MJM, Nuño MAS, et al. Biomechanical Factors Predisposing to Knee Injuries in Junior Female Basketball Players. *Sports (Basel)* 2024. DOI: 10.3390/sports12020060.
31. Functional Movement Systems. Y Balance Test Kit [Internet]. [04/04/2024]. Disponible en: [https://www.functionalmovement.com/store/23/y-balance\\_test\\_kit](https://www.functionalmovement.com/store/23/y-balance_test_kit)
32. Xhardez, Yves. *Vademecum de Kinesioterapia y Reeducación Funcional*. 4a ed. 3<sup>a</sup> reimpresión – Buenos Aires: Editorial El Ateneo; 2002.
33. Beat Saber Multiplayer Mode Now Available on Steam and Oculus; Check Out the Trailer Here. Twinfinite [en línea]. Disponible en: <https://twinfinite.net/news/beat-saber-multiplayer-mode-now-available-on-steam-and-oculus-check-out-the-trailer-here/>. (Fecha de acceso: 04/04/2024).
34. Pistol Whip on Steam. Steam [en línea]. Disponible en: [https://store.steampowered.com/app/1079800/Pistol\\_Whip/?l=spanish](https://store.steampowered.com/app/1079800/Pistol_Whip/?l=spanish). (Fecha de acceso: 04/04/2024).
35. Final Soccer VR (Previously Final Goalie). Real o Virtual [en línea]. Disponible en: <https://www.realovirtual.com/rovdbejuegos/3140/final-soccer-vr-previouslly-final-goalie>. (Fecha de acceso: 04/04/2024).
36. Assassin's Creed Nexus VR debut: trailer, detalles y capturas de pantalla. Zilvitis Mazeikiai [en línea]. Disponible en: <https://www.zilvitismazeikiai.lt/ssassin-s-creed-nexus-vr-debut-trailer-details-and-screenshots-2726018.html>. (Fecha de acceso: 04/04/2024).

## ANEXOS

## ANEXO 1: CONSENTIMIENTO INFORMADO

**TÍTULO DEL PROYECTO:** incorporación de la realidad virtual al tratamiento habitual en la recuperación de un esguince de tobillo en futbolistas.

**PRINCIPAL INVESTIGADOR:** D. Fernando Mena Molina

D. /Dña. ...., de ..... años y con DNI nº .....

Manifiesto que he leído y entendido la hoja de información que se me ha entregado, que he hecho las preguntas que me surgieron sobre el proyecto y que he recibido información suficiente sobre el mismo.

Comprendo que mi participación es totalmente voluntaria, que puedo retirarme del estudio cuando quiera sin tener que dar explicaciones y sin que esto repercuta en mis cuidados médicos.

Presto libremente mi conformidad para participar en el Proyecto de Investigación titulado “incorporación de la realidad virtual al tratamiento habitual en la recuperación de un esguince de tobillo en futbolistas”.

He sido también informado/a de que mis datos personales serán protegidos e incluidos en un fichero que deberá estar sometido a y con las garantías del Reglamento General de Protección de Datos (RGPD), que entró en vigor el 25 de mayo de 2018 que supone la derogación de Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre referidos a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales

Tomando ello en consideración, OTORGO mi CONSENTIMIENTO para cubrir los objetivos especificados en el proyecto.

Aranjuez, a de de 2024

**Anulación del consentimiento.**

D/D<sup>a</sup>\_\_\_\_\_ con DNI\_\_\_\_\_.

El día\_\_\_\_\_ del mes\_\_\_\_\_ y año\_\_\_\_\_ comunico mi deseo de renunciar al consentimiento informado firmado para la participación en el estudio “Influencia de la realidad virtual en la recuperación de un esguince de tobillo en futbolistas”. “En virtud de mis derechos, renuncio a seguir formando parte del estudio de investigación. Firmando este documento para dejar constancia y que tenga efecto”.

Firma: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de\_\_\_\_\_.

## **ANEXO 2: HOJA DE INFORMACIÓN AL PACIENTE**

Estudio sobre la incorporación de la realidad virtual al tratamiento habitual en la recuperación de un esguince de tobillo en futbolistas.

Investigador Principal: D. Fernando Mena Molina

### **Información sobre el estudio**

Estimado participante:

Te invitamos a participar en un estudio de investigación que tiene como objetivo investigar la efectividad de la incorporación de la realidad virtual en la recuperación de un esguince de tobillo en futbolistas. Más adelante, te proporcionamos información detallada sobre el estudio y tus responsabilidades como participante.

### **Descripción del estudio**

Objetivo del estudio: El estudio busca investigar si la incorporación de la realidad virtual junto con el tratamiento habitual afecta la recuperación de la propiocepción en futbolistas con esguince de tobillo, en comparación con aquellos que reciben solo el tratamiento habitual.

**Duración del estudio:** El estudio se llevará a cabo durante 2 meses.

**Procedimiento:** Los participantes serán asignados aleatoriamente a uno de los dos grupos: el grupo control, que recibirá solo el tratamiento habitual de fisioterapia para el esguince de tobillo, y el grupo experimental, que recibirá el tratamiento habitual junto con realidad virtual. Se realizarán las pertinentes mediciones antes y después del tratamiento para evaluar la recuperación de la lesión.

### **Riesgos y Beneficios:**

Riesgos: No se anticipan riesgos significativos asociados, sin embargo, puede experimentar fatiga durante las sesiones de tratamiento.

Beneficios: Participar en este estudio puede contribuir al avance de la investigación en el campo de la fisioterapia dentro de las lesiones deportivas y tener la posibilidad de recuperarte de tu esguince de tobillo.

### **Confidencialidad y Consentimiento:**

Toda la información recopilada durante el estudio será confidencial y se utilizará únicamente con fines de investigación. Tu participación es voluntaria y puedes retirarte del mismo en cualquier momento sin consecuencias.

Si estás interesado en participar en el estudio, firma el formulario de consentimiento informado y completa la hoja de datos personales. Si tienes alguna pregunta, no dudes en ponerte en contacto con el investigador principal, D. Fernando Mena Molina.

Firma del Investigador Principal:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "F. Mena".

## **ANEXO 3: SOLICITUD AL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA.**

Don/Dña. Fernando Mena Molina en calidad de investigador principal, con domicilio en Aranjuez.

EXPONE:

Estimados miembros del Comité Ético de Investigación Clínica:

Me dirijo a ustedes en calidad de investigador principal para someter a consideración de este comité el protocolo de investigación titulado "incorporación de la realidad virtual al tratamiento habitual en la recuperación de un esguince de tobillo en futbolistas". Este estudio tiene como objetivo ver la efectividad de la realidad virtual junto al tratamiento habitual frente a tratamiento habitual en futbolistas con esguince de tobillo.

El estudio se llevará a cabo de acuerdo con las normativas legales y éticas aplicables para los ensayos clínicos realizados en España, así como siguiendo las pautas establecidas por la última revisión de la Declaración de Helsinki.

Adjunto a esta carta, encontrarán la documentación completa del protocolo de investigación. Quedo a disposición para proporcionar cualquier información adicional que requieran o para responder cualquier pregunta relacionada con el estudio.

Agradezco de antemano su atención a esta solicitud y espero su pronta respuesta.

Un saludo.

Firmado: D/D<sup>a</sup> \_\_\_\_\_ Fernando Mena Molina \_\_\_\_\_  
En \_\_\_\_\_ Aranjuez \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_ 15 \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 04 \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 2024 \_\_\_\_\_

## ANEXO 4: HOJA DE DATOS PERSONALES DEL PACIENTE

Nombre del Paciente: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_ años:

Género: \_\_\_\_\_

Equipo de Fútbol: \_\_\_\_\_

Historial de Lesiones Anteriores:

Contacto de Emergencia:

Nombre: \_\_\_\_\_

Relación: \_\_\_\_\_

Número de contacto: \_\_\_\_\_

Fecha de Inicio del Tratamiento: // \_\_\_\_\_

Fecha de Finalización del Tratamiento: // \_\_\_\_\_

Observaciones Adicionales:

Es necesario que sepas que la participación en este estudio es voluntaria y que tus datos personales serán confidenciales. Si tienes alguna duda, no dudes en comunicarte con el investigador principal., D. Fernando Mena Molina.

Firma del Participante: \_\_\_\_\_

## ANEXO 5: HOJA DE MEDICIONES

Tabla 10. Hoja de mediciones (Elaboración propia)

<b>Código de participante</b>	
<b>Fecha</b>	

Tabla 11. Hoja de mediciones (Elaboración propia)

	<b>PRE- INTERVENCIÓN</b>	<b>POST- INTERVENCIÓN</b>
<b>Dolor</b>		
<b>Fuerza Inversión</b>		
<b>Fuerza Eversión</b>		
<b>Desplazamiento</b>		
<b>Anterior</b>		
<b>Desplazamiento</b>		
<b>Postero-medial</b>		
<b>Desplazamiento</b>		
<b>Postero-lateral</b>		

## **ANEXO 7 VADEMECUM DE KINESIOTERAPIA Y REEDUACIÓN FUNCIONAL, TRATAMIENTO HABITUAL ESGUINCE DE TOBILLO (32):**

Lucha contra el edema residual:

- Terapia de contraste (calor-frío)
- Masaje de drenaje y ejercicios en declive tipo Allen-Burger
- Eventual contención flexible
- Hidroterapia

Lucha contra el dolor:

- Masaje de Cyriax
- Corriente de baja frecuencia y ultrasonidos sobre los puntos dolorosos
- Ionización cálcica

Reeducación:

- Masoterapia circulatoria y trófica
- Movilización activa asistida y pasiva indoloras en todas las articulaciones: Tibiotarsiana, peroneotibiales inferior y superior, subastragalina y mediotarsiana.
- Empleo de las técnicas de Mennel
- Fortalecimiento de los músculos de la pierna y peroneos laterales:
  - Ejercicios en descarga: globales (esquemas de Kabat, contracción-relajación) y analíticos (primero estáticos y concéntricos y luego excéntricos).
  - Ejercicios de terapia con poleas,
  - Ejercicios con carga del peso corporal y luego, eventualmente, con carga adicional.
- Reeducación propioceptiva (Freeman; C. Herveou y Messean):
  - En el suelo
  - Sobre plataformas móviles (coordinación y equilibrio)
- Corrección de la marcha con apoyo progresivo, después marcha sobre terrenos variados
- Fortalecimiento muscular general del miembro inferior y readaptación para el esfuerzo