

**Grado en Fisioterapia**

**Trabajo Fin de Grado**

**Título:**

***Inclusión de ejercicio terapéutico con  
realidad virtual en tratamiento de  
fisioterapia en niños con trastorno del  
espectro autista***

Alumno: Elena Nieto Hernández

Tutor: Dr. Néstor Pérez Mallada

**Madrid, mayo de 2024**

## Índice

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Índice de Tablas .....                                           | 4  |
| Resumen .....                                                    | 5  |
| Abstract .....                                                   | 6  |
| Glosario de Términos.....                                        | 7  |
| 1. Antecedentes y estado actual del tema.....                    | 8  |
| 2. Evaluación de la evidencia.....                               | 19 |
| 2.1. Búsquedas .....                                             | 19 |
| 2.1.1. Búsquedas seleccionadas de EBSCO .....                    | 20 |
| 2.2. Flujograma .....                                            | 22 |
| 3. Objetivos del estudio.....                                    | 23 |
| 3.1. Objetivo general .....                                      | 23 |
| 3.2. Objetivos específicos.....                                  | 23 |
| 4. Hipótesis.....                                                | 24 |
| 5. Metodología .....                                             | 25 |
| 5.1. Diseño .....                                                | 25 |
| 5.2. Sujetos de estudio.....                                     | 26 |
| 5.3. Variables .....                                             | 29 |
| 5.4. Hipótesis operativa .....                                   | 30 |
| 5.5. Recogida, análisis de datos, contraste de la hipótesis..... | 31 |
| 5.6. Limitaciones del estudio .....                              | 33 |
| 5.7. Equipo investigador .....                                   | 34 |
| 6. Plan de trabajo.....                                          | 35 |
| 6.1. Diseño de la intervención .....                             | 35 |
| 6.2. Etapas de desarrollo.....                                   | 39 |
| 6.3. Distribución de tareas de todo el equipo investigador.....  | 39 |
| 6.4. Lugar de realización del proyecto .....                     | 40 |
| 7. Bibliografía.....                                             | 41 |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8. Anexos.....                                                                           | 46 |
| Anexo I. Búsquedas seleccionadas de EBSCO.....                                           | 46 |
| Anexo II. Solicitud al Comité de Ética de Investigación Clínica.....                     | 48 |
| Anexo III. Hoja de información al paciente y a los padres/tutores legales....            | 49 |
| Anexo IV. Consentimiento informado .....                                                 | 51 |
| Anexo V. Hoja de renuncia a la participación .....                                       | 52 |
| Anexo VI. Hoja de recogida de datos del paciente .....                                   | 53 |
| Anexo VII. Batería de pruebas MABC-2 (30).....                                           | 54 |
| Anexo VIII. Cuestionario KINDL .....                                                     | 56 |
| Anexo IX. Tratamiento habitual de fisioterapia .....                                     | 57 |
| Anexo X. Videojuegos realidad virtual inmersiva: tratamiento grupo experimental<br>..... | 58 |
| Anexo XI. Gafas de realidad virtual Oculus Rift.....                                     | 61 |
| Anexo XII. Repositorio.....                                                              | 65 |

## Índice de Tablas

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Abreviaturas. Elaboración propia .....                                                    | 7  |
| Tabla 2. Puntuación ítems cuestionario KINDL. Elaboración propia basada en referencia (17).....    | 12 |
| Tabla 3. Rangos de edad de batería MABC-2. Elaboración propia basada en referencia (30). .....     | 16 |
| Tabla 4. Términos libres y términos DeCS. Elaboración propia. ....                                 | 19 |
| Tabla 5. Búsquedas EBSCO. Elaboración propia. ....                                                 | 20 |
| Tabla 6. Artículos obtenidos de EBSCO. Elaboración propia. ....                                    | 21 |
| Tabla 7. Criterios de inclusión. Elaboración propia. ....                                          | 26 |
| Tabla 8. Criterios de exclusión. Elaboración propia. ....                                          | 26 |
| Tabla 9. Obtención del valor de k. Elaboración propia. ....                                        | 28 |
| Tabla 10. Variables independientes. Elaboración propia.....                                        | 30 |
| Tabla 11. Variables dependientes. Elaboración propia. ....                                         | 30 |
| Tabla 12. Etapas del desarrollo. Elaboración propia. ....                                          | 39 |
| Tabla 13. Puntuaciones de las pruebas de MABC-2. Elaboración propia basada en referencia (30)..... | 55 |

## **Resumen**

### **Antecedentes:**

El trastorno del espectro autista es una alteración del desarrollo neurológico que suele diagnosticarse durante los primeros años de vida. Este trastorno es una afectación que acompaña a las personas que lo padecen para siempre. Las personas con autismo tienen unas características muy significativas que les diferencian, que son conductas estereotipadas, intereses reducidos y dificultad para establecer relaciones interpersonales y entorpecimiento para la comunicación. Además, aunque no se incluya dentro de las características diagnósticas, los niños con autismo presentan déficits motores, que les dificultan la realización de sus actividades del día a día.

### **Objetivo:**

Analizar la incorporación en el tratamiento habitual de un plan de ejercicio terapéutico mediante realidad virtual frente al tratamiento habitual de fisioterapia en niños con trastorno del espectro autista.

### **Metodología:**

Estudio analítico, experimental, longitudinal y prospectivo; con evaluador analista y fisioterapeutas de tratamiento habitual ciegos. Se llevará a cabo con 3680 sujetos diagnosticados con trastorno del espectro autista (TEA) entre 5 y 12 años por medio de un muestreo dirigido por conveniencia. Se dividirá la muestra en dos grupos de intervención de forma aleatoria. El grupo control recibirá el tratamiento habitual de fisioterapia y el grupo experimental recibirá el tratamiento habitual de fisioterapia más ejercicio terapéutico mediante realidad virtual (RV). El estudio durará 12 semanas y se realizarán las mediciones una semana anterior (medición pre) y posterior (medición post). Las variables que se estudiarán serán el desarrollo motor y la calidad de vida. Para analizar los datos de las mediciones se utilizará el programa IBM SPSS Statistics® v 28.0.

### **Palabra clave:**

Trastorno del espectro autista, desarrollo motor, calidad de vida, ejercicio terapéutico, realidad virtual.

## **Abstract**

### **Background:**

Autism spectrum disorder is a neurological developmental disorder that is usually diagnosed during the first years of life. This disorder is a condition that accompanies people who suffer from it forever. People with autism have very significant characteristics that differentiate them which are stereotyped behaviors, reduced interests and difficulty establishing interpersonal relationships and difficulty in communication. Furthermore, although it is not included in the diagnostic characteristics, children with autism have motor deficits, which make it difficult for them to carry out their daily activities.

### **Objective:**

To analyze the incorporation into the usual treatment of a therapeutic exercise plan using virtual reality compared to the usual physiotherapy treatment in children with autism spectrum disorder.

### **Methods:**

Analytical, experimental, longitudinal and prospective study; with analyst evaluator and usual treatment physiotherapists blind. It will be carried out with 3680 subjects diagnosed with autism spectrum disorder between 5 and 12 years old through convenience sampling. The sample will be divided into two intervention groups randomly. The control group will receive the usual physiotherapy treatment and the experimental group will receive the usual physiotherapy treatment plus therapeutic exercise using virtual reality. The study will last 12 weeks and measurements will be carried out one week before (pre measurement) and after (post measurement). The variables that will be studied will be motor development and quality of life. To analyze the measurement data, the IBM SPSS Statistics® v 28.0 program will be used.

### **Keywords:**

Autism spectrum disorder, motor development, quality of life, therapeutic exercise, virtual reality.

## Glosario de Términos

| Abreviatura | Término                                                                                             |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AF          | Actividad física                                                                                    |
| AVD         | Actividades de la vida diaria                                                                       |
| BOT-2       | Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency (Prueba de competencia motora de Bruininks-Oseretsky) |
| CEIC        | Comité Ético de Investigación Clínica                                                               |
| CI          | Consentimiento informado                                                                            |
| CVRS        | Calidad de vida relacionada con la salud                                                            |
| d           | Precisión                                                                                           |
| HIP         | Hoja de información al paciente                                                                     |
| LCR         | Líquido céfalo raquídeo                                                                             |
| MABC-2      | Movement Assessment Battery for Children (Batería de evaluación del movimiento para niños)          |
| RV          | Realidad virtual                                                                                    |
| SD          | Desviación estándar                                                                                 |
| TDAH        | Trastorno por déficit de atención e hiperactividad                                                  |
| TEA         | Trastorno del espectro autista                                                                      |

Tabla 1. Abreviaturas. Elaboración propia

## 1. Antecedentes y estado actual del tema

El trastorno del espectro autista (TEA) es considerado como una notable alteración del desarrollo neurológico, que suele ser diagnosticado en la niñez durante los primeros años de vida. Un 1% del total de los niños padecen TEA; y es más común que lo padezcan niños que niñas. Además, también es más frecuente encontrar niños con TEA en países con un nivel socioeconómico alto (1).

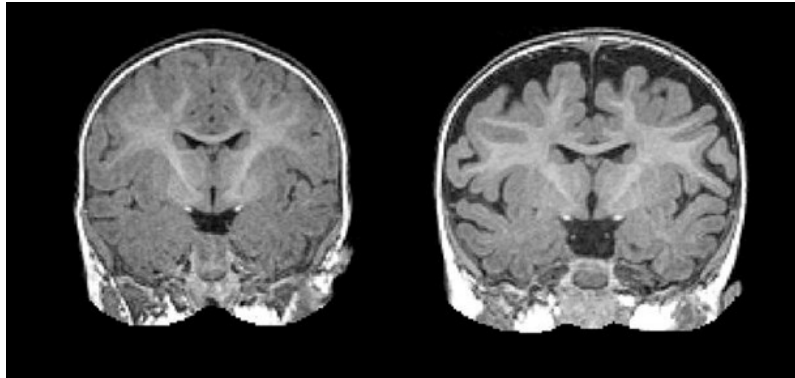
Hay varios instrumentos que diagnostican el TEA, pero un ejemplo de una escala muy utilizada es ADOS-G (Autism Diagnostic Observation Schedule-Generic). Esta escala puede diagnosticar el autismo desde edad preescolar no verbal; y es una evaluación estandarizada y semiestructurada a través de la observación en cuatro módulos, en los que se incluyen actividades que evalúan la comunicación, la interacción social recíproca, el juego, la conducta estereotipada y otras conductas anormales y los intereses restringidos (2).

Es común en las personas que padecen TEA que, además, sufran otras patologías, tales como ansiedad, epilepsia, depresión, o trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH). Las personas con TEA presentan mayor probabilidad de sufrir una muerte temprana en comparación a personas sanas, por el conjunto de trastornos que habitualmente manifiestan (3).

Este trastorno del neurodesarrollo, que es una afectación que acompaña a las personas que lo padecen durante toda su vida, tiene unas características muy significativas que diferencian a los niños con TEA (4), aunque hay que tener en cuenta que hay un grado muy elevado de variabilidad con respecto a la gravedad de estos síntomas en cada individuo (5). Estas características son: comportamientos o conductas estereotipadas (comportamiento involuntario y repetitivo), como pueden ser aleteo de las manos, marcha en puntillas, frases repetidas, aplausos, la repetición de acciones cotidianas en un mismo orden, o balanceo de la cabeza, entre otras; intereses reducidos; dificultad para establecer relaciones interpersonales; y, por último, entorpecimiento y limitación para la comunicación. Estos rasgos distintivos, les hacen tener una personalidad antisocial e independiente (4).

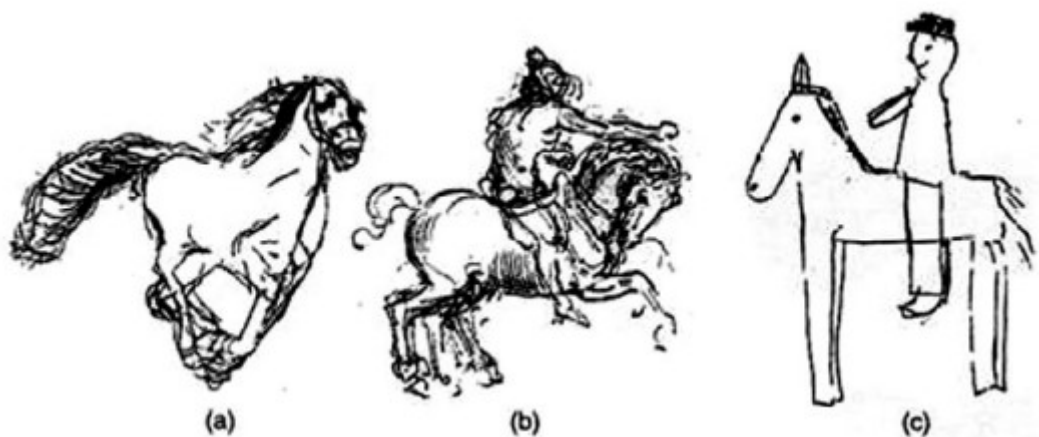
Una característica física es el tamaño cerebral, ya que, según han revelado varios estudios, el 90% de las resonancias magnéticas nucleares de niños autistas entre 2 y 4 años muestran una masa cerebral más grande (3) y mayor cantidad de líquido céfalo raquídeo (LCR) que el de niños que no tienen TEA, lo que ayuda a diagnosticar la enfermedad. Cuanto mayor es la

cantidad de LCR que se distingue en la resonancia, mayores serán los síntomas del niño en el futuro. El aumento de LCR se muestra en la próxima imagen, siendo la resonancia magnética de la derecha de la foto la de un niño con TEA (6).



*Figura 1. Resonancia magnética nuclear niño sin TEA vs niño con TEA (6).*

Dentro de las características nombradas, también es muy común que niños autistas tengan ciertas habilidades o capacidades intactas, y superiores a las de otros niños. Un ejemplo de esto es la capacidad para dibujar. En la imagen a continuación, el dibujo (a) fue realizado por una niña autista de 5 años sin haber recibido clases de dibujo. El caballo (b) fue pintado por Leonardo Da Vinci. Y el dibujo (c) lo pintó un niño de 8 años con normodesarrollo. Este es un ejemplo muy claro en el que se entiende que los niños autistas tienen ciertos déficits, como se ha explicado previamente (estereotipias, falta de relación con las personas, intereses reducidos), pero que hay habilidades en las que pueden destacar más que la media; en este caso, incluso se compara el dibujo de una niña con TEA al dibujo de un pintor famoso (7).



*Figura 2. Dibujo de niña con TEA vs dibujo de Leonardo Da Vinci vs dibujo de niño sin TEA (7).*

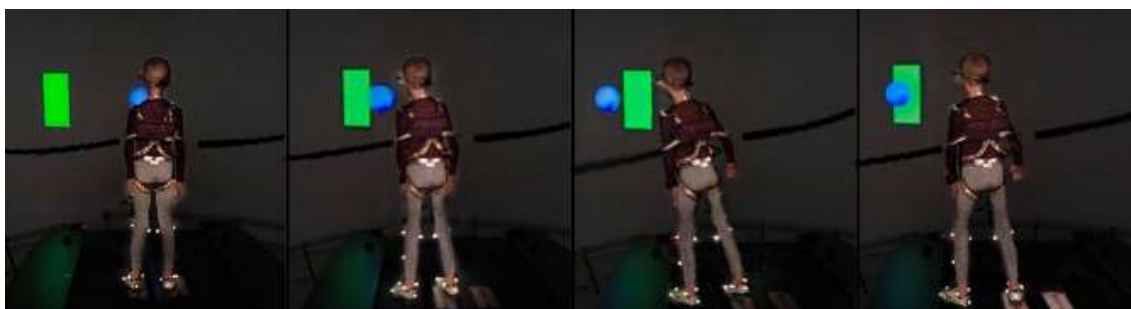
Con respecto a la estereotipia de marcha en puntillas, ésta está muy asociada y relacionada a niños con TEA, es muy habitual teniendo una prevalencia mayor. Es un dato a tener en cuenta debido a que este tipo de marcha podría estar conectado a una disminución de la sensibilidad sensorial, por eso ellos buscan la forma de estimularse mediante las puntillas. Muchos de estos pacientes tienen que recurrir finalmente a cirugías con el objetivo de alargar los tendones, aunque la primera opción que se les propone y recomienda es el tratamiento de fisioterapia junto al uso de yesos (8).

Otra característica que con frecuencia presentan los niños autistas es la alteración del sueño. Les supone un trabajo mayor dormirse y mantener el sueño, aumentando notablemente sus síntomas: agravando las estereotipias y generando dificultades para controlar sus sentimientos, por ejemplo. Además, teniendo en cuenta que durante el sueño se realizan los procesos de memorización, y tiene mucho que ver con respecto al avance cognitivo, esto puede suponer un retraso intelectual, pudiendo afectar al rendimiento escolar y a la actividad diaria de estos niños. La actividad física (AF) podría ser una buena elección de tratamiento para la alteración del sueño (9). Uno de los cuestionarios más utilizados para identificar y valorar problemas de sueño en niños con TEA es el cuestionario de hábitos de sueño para niños: CSHQ. Éste consta de 35 ítems, y algunas de las preguntas que hay que responder son: duración del sueño, ansiedad/tranquilidad al dormir y despertares durante la noche (10).

Pese a que los déficits motores son una realidad en este tipo de pacientes, y han sido establecidos como causas limitantes en las actividades de la vida diaria (AVD), todavía no se ha incorporado como una característica diagnóstica del TEA, debido a que, de momento, toda la atención se la llevan las cualidades mencionadas previamente (11).

Aproximadamente, entre el 79% y el 83% de estos niños presentan problemas motores. Las restricciones motoras habituales en los niños con TEA no siempre se relacionan con el grado de discapacidad intelectual, siendo en algunos casos un factor independiente del otro (12), debido a que el nivel de inteligencia varía mucho entre las personas con TEA, pudiendo tener en ocasiones coeficientes intelectuales muy elevados, incluso por encima de la media; o, en otros casos, discapacidad intelectual severa (3). Para hacer referencia a este empeoramiento motor, hay que tener en cuenta la gran relación que puede tener con la motivación y la ansiedad, es decir, si el niño intenta realizar cualquier actividad motora fina o gruesa, puede generarle frustración si no es capaz de llevarlo a cabo apropiadamente; lo que desembocará en una falta de motivación a seguir intentándolo y trabajando en ello (13).

Las habilidades motoras tienen un papel muy importante para la adquisición de otras capacidades y aptitudes, como el tema afectivo y emocional. Los atrasos en el desarrollo temprano (que pueden ser debidos a las limitaciones motoras), como por ejemplo voltearse, gatear, o sentarse en los bebés, se ha relacionado con retrasos de las capacidades comunicativas. Incluso los movimientos habituales del día a día, así como caminar, agarrar un objeto, escribir, y hasta estar de pie, son distintos a los movimientos que realizan niños que no padecen TEA al llevar a cabo la misma actividad. Los investigadores han llegado a la conclusión de que esto es debido a que los niños con TEA efectúan los movimientos de una forma menos eficiente, influyendo en esto la falta de estabilidad postural. Para cuantificar cómo son los movimientos en los que los niños con TEA hacen uso de todo el cuerpo para lograr un objetivo, se ha empezado a usar la tecnología de la realidad virtual (RV), de la que se hablará más adelante. En este estudio, gracias a la integración de la captura del movimiento, se ha podido investigar la diferencia de movimientos dirigidos a objetivos entre niños con normodesarrollo y niños con TEA, cuyo movimiento es menos eficiente. En la siguiente imagen se muestra una de las pruebas que tuvieron que realizar los participantes para el estudio, en la que el objetivo era llevar la bola azul al rectángulo verde (14).



*Figura 3. Niño con TEA experimentando la RV (14).*

A pesar de que no todos los niños autistas reciben tratamiento, los que sí lo hacen, el tratamiento habitual que hoy día se lleva a cabo es terapia ocupacional (en la que se trabajan aspectos como el habla), fisioterapia, tratamiento farmacológico, en algunos casos utilización de mecanismos ortopédicos, y terapias en las que se trabajan aspectos como la conducta (15).

La intervención fisioterapéutica temprana es fundamental para explotar la plasticidad cerebral, consiguiendo mejorar el desarrollo y la calidad de vida. Es tan evidente la necesidad del tratamiento de fisioterapia porque ésta incide favorablemente sobre áreas como la postura, la marcha, las alteraciones del tono muscular, la actividad motora, las estereotipias, y el retraso psicomotor. Dentro del tratamiento de fisioterapia para niños con TEA, una modalidad muy realizada es la terapia manual, que engloba la terapia miofascial, muy útil para tratar la

musculatura que está dolorida y restringida de movimiento en alguno de los planos, y mejorar la circulación. Otras terapias habituales que se les realiza a niños con TEA en el tratamiento de fisioterapia son: hidroterapia (terapia en el agua) e hipoterapia (terapia con caballos) (16).

Además de las terapias mencionadas, en ocasiones, los padres de estos niños reciben también un tipo de tratamiento para que afronten de la mejor manera posible la patología de sus hijos (15).

Como se ha nombrado, la intervención de fisioterapia es clave para mejorar la calidad de vida de los niños autistas, y por esto, es importante valorar la calidad de vida relacionada con la salud (CVRS) (17). Para ello se utiliza el cuestionario KINDL, formada por 24 ítems para la versión para los padres y 12 ítems para la versión para los niños (4 a 16 años), que deben responderse con una puntuación del 1 al 5, siendo el 1 nunca y el 5 siempre (Tabla 2). Las seis dimensiones que se evalúan son bienestar físico, bienestar emocional, autoestima, familia, amigos y escuela (18). En el caso de la versión para niños, hay 2 ítems por cada dimensión, y la puntuación total se calcula mediante la suma de los puntos obtenidos en cada una de las dimensiones (cada dimensión puede tener de 2 a 10 puntos), siendo el rango de la puntuación final de 12 a 60 puntos. Esta puntuación se transforma a una escala de 0 a 100 puntos, en la que mayor puntuación es representativa de una mejor CVRS (17).

|   |               |
|---|---------------|
| 1 | Nunca         |
| 2 | Casi nunca    |
| 3 | Algunas veces |
| 4 | Casi siempre  |
| 5 | Siempre       |

*Tabla 2. Puntuación ítems cuestionario KINDL. Elaboración propia basada en referencia (17).*

La estereotipia, se ha probado que tiene relación con el entorpecimiento con respecto a la obtención de habilidades motoras y con las capacidades sociales y comunicativas de los niños. Así, en diversos estudios ha sido demostrado que los niños con TEA que poseen estas conductas repetitivas tienden a ser más antisociales y su aptitud de aprendizaje se ve dificultada (19). Además, los déficits que normalmente presentan a nivel sensitivo (propiocepción, visión, audición) influyen también sobre la adquisición de habilidades (20).

Los trastornos comportamentales y sociales nombrados anteriormente, normalmente están relacionados con estilos de vida sedentarios sin la práctica de AF, lo que afecta a la conducta motriz y al desarrollo. Debido a esta inactividad física, es probable que entren en juego

enfermedades hipocinéticas como diabetes tipo II, obesidad y enfermedades que afectan al corazón y los vasos sanguíneos (por ejemplo, hipertensión). Teniendo en cuenta esta relación entre la AF y las conductas y comportamientos sociales y las habilidades motoras de los niños en niños con TEA, se puede afirmar que son directamente proporcionales, por lo que, si una aumenta, la otra lo hará también; pero, si una disminuye, también disminuirá la otra (1). Aparte, las relaciones interpersonales, la comunicación y la participación social necesitan de un buen funcionamiento de los sistemas neurológicos para regular, coordinar y organizar la información (13).

Considerando la falta de AF que, por lo general, presentan los niños con TEA, esto tiene una importante relación con la coordinación y el desarrollo, dando lugar a un déficit del control postural, que, por consiguiente, puede afectar a la hora de sufrir caídas y lesiones (21).

Para suplir el sedentarismo y ejecutar algún tipo de AF, el yoga puede ser una buena alternativa para niños con TEA, ya que, además, influye en el desarrollo perceptivo mejorando la propiocepción para que el niño tenga la capacidad de reconocer todas las partes de su cuerpo y saber ubicarlas en el espacio; en la habilidad motora trabajando la flexibilidad, la fuerza y el equilibrio; en la capacidad cardiorrespiratoria regulando la frecuencia cardíaca e incrementar la fuerza de la musculatura respiratoria (22). Aspectos conductuales igualmente se ven favorecidos por el hecho de la imitación de las posturas, mejorando las aptitudes sociales, y, por tanto, el habla y el lenguaje (23). Lo bueno del yoga es que se puede adaptar a los distintos niveles de los niños, e ir avanzando y aumentando la dificultad. Existe una variante del yoga que es el “Yoga creativo” en el que se introducen canciones y juegos para que sea más fácil el aprendizaje de las posturas complejas (22).

Torpeza, lentitud y dificultad para llevar a cabo movimientos que requieran coordinación y la utilización de grupos musculares, mala anticipación motriz, afectación de las capacidades gruesas y finas, alteraciones de los patrones, y falta de equilibrio, forman parte de las múltiples dificultades motoras que presentan las personas con TEA, además del control postural mencionado previamente. El control postural y el equilibrio están muy ligados, y son de las mayores preocupaciones, ya que, en muchos de los casos de personas con TEA, no se llega a alcanzar nunca un nivel adulto de equilibrio, como sí lo alcanzan las personas que no padecen patología. El equilibrio provoca que sea posible la capacidad de mantener el cuerpo en una posición durante un tiempo determinado, por lo que esta deficiencia con respecto al equilibrio y control postural se manifiesta mediante un balanceo postural en estático (24).

A mayor balanceo, mayor inestabilidad postural, que puede deberse a problemas con respecto al procesamiento visual, vestibular o somatosensorial; o a hipotonía del niño por deterioración de la función de los ganglios basales (11).

Esto puede suponer grandes limitaciones en sus vidas, puesto que, sin el equilibrio apropiado, la realización de las AVD se verá dificultada, como ducharse, vestirse, caminar, desempeñar algún deporte o alguna actividad de ocio, dificultándoles las relaciones sociales, y, de esta manera, causando estilos de vida sedentarios, que no ayudan a mejorar las diversas alteraciones motoras. Para que haya un buen control corporal para ejecutar movimientos tiene que llevarse a cabo la interconexión de tres pilares, que son la persona, la acción o tarea que se realice, y el entorno. Dentro de la persona, se debe tener en cuenta por su importancia ciertos aspectos, tales como emocionales y afectivos, sensorio-motores, intelectuales y cognitivos y físicos, en los que se incluyen el sistema musculoesquelético, la parte neurológica y el sistema cardiovascular. El control del equilibrio es necesario que sea bueno tanto en estático como en dinámico, siendo el equilibrio estático la base fundamental para que, al moverse y realizar movimientos, se tenga un buen equilibrio dinámico también. Por ello, se precisa tener un correcto funcionamiento de los sistemas sensoriales, es decir, que estos sistemas sean capaces de interpretar apropiadamente las aferencias visuales, propioceptivas y vestibulares, para que la orden motora producida por la corteza y el cerebelo sea también la adecuada (24), dado que la postura se ajusta gracias a la fusión de estos tres sistemas sensoriales aferentes. De hecho, al vendar los ojos a un niño con TEA, o al subirle a una plataforma fluctuante, se aprecia lo importantes y necesarios que son, en estos casos los sistemas visual y propioceptivo, porque en estos pacientes, que ya suelen tener las aferencias de estos sistemas disminuidas y un control postural poco maduro, al ponérselo un poco más complicado, el mantenimiento de la postura y el equilibrio para ellos es muy difícil (25). En el caso de los niños con TEA, que, generalmente presentan alteración del equilibrio, esto puede mejorar mediante programas de entrenamiento en los cuales se fomente el uso de información y señales visuales, propioceptivas y auditivas (24). Una de las opciones para este tipo de tratamiento es la realidad virtual, con la que se puede medir el equilibrio y la capacidad de reacción postural mediante sensaciones de balanceos, y posibilitando la aplicación de cambios sobre el entorno visual (25).

En un estudio se llevó a cabo la comparación de las habilidades motoras complejas y equilibrio. Los participantes totales fueron 24 niños cuyas edades oscilaban entre 5 y 12 años y los dividieron en niños con TEA y niños con normodesarrollo. La variable habilidad motora fue medida mediante el test Bruininks-Oseretsky, segunda edición (BOT-2: Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency) y la batería de evaluación del movimiento para niños, segunda edición (MABC-2: Movement Assessment Battery for Children) (26).

La primera prueba nombrada de aptitud motora (BOT-2) se utiliza para medir las capacidades finas y gruesas de niños, y puede emplearse desde los 4 años hasta los 21. Los ítems que se evalúan son control manual fino para testar la coordinación y el control de la musculatura distal de miembros superiores (manos y dedos); coordinación manual, que evalúa principalmente las capacidades motoras gruesas necesarias para la manipulación de objetos mediante el control de brazos y manos; coordinación corporal, que engloba control postural; y, por último, fuerza y agilidad. Todos estos ítems pueden ser valorados debido a que el BOT-2 incluye diversos objetos y numerosas actividades para realizar las pruebas y medir los aspectos mencionados previamente. Esta prueba consta de dos formularios: uno breve compuesto de 14 subpruebas, y otro completo formado por 90 subpruebas. Se requieren alrededor de entre 40-60 minutos para llevar a cabo el formulario completo, y unos 15-20 minutos para completar el corto (27).

La otra prueba, MABC-2, que, igualmente mide y evalúa habilidades motoras (evalúa destrezas motoras finas y gruesas), puede ser utilizada en niños de 3 a 16 años (28). Esta batería consta de una prueba estandarizada y de una lista de observación conductual. La prueba estandarizada está formada de ocho pruebas que valoran tres dimensiones: destreza manual, puntería y atrape y equilibrio. Las tareas que forman este test están orientadas de manera diferente en función de la edad del niño, esto quiere decir que dependiendo de la edad del niño que va a realizar el test, las tareas están adaptadas de una manera o de otra; y los rangos de edad son: niños de tres/cuatro a seis años, niños de siete a 10 años y niños de 11 a 16 años (Tabla 2). Además, la lista de observación conductual, que es un cuestionario con múltiples preguntas, permite la obtención de información de las actividades motoras de la vida cotidiana (29). Algunos aspectos que mide el MABC-2 son motricidad fina, integración motora fina, destreza manual, equilibrio, coordinación bilateral de las extremidades, agilidad y velocidad y fuerza (30).

| Rango/Edad          |                   |           |
|---------------------|-------------------|-----------|
| Rango 1. 3-6 años   | Destreza manual   | 3 pruebas |
|                     | Puntería y atrape | 2 pruebas |
|                     | Equilibrio        | 3 pruebas |
| Rango 2. 7-10 años  | Destreza manual   | 3 pruebas |
|                     | Puntería y atrape | 2 pruebas |
|                     | Equilibrio        | 3 pruebas |
| Rango 3. 11-16 años | Destreza manual   | 3 pruebas |
|                     | Puntería y atrape | 2 pruebas |
|                     | Equilibrio        | 3 pruebas |

Tabla 3. Rangos de edad de batería MABC-2. Elaboración propia basada en referencia (30).

También fue utilizado en este estudio un formulario que tuvieron que rellenar los padres de las escalas de comportamiento adaptativo de Vineland, tercera edición (Vineland-3) (26). Esta escala sirve para pacientes recién nacidos hasta los 90 años, y testa el desarrollo de las habilidades funcionales. Está compuesta por distintos formularios, que se eligen teniendo en cuenta la edad del paciente (31). Los resultados finales del estudio fueron notablemente significativos, ya que la diferencia entre los dos grupos fue muy grande, siendo los niños con TEA los que presentaban mayores dificultades a la hora de la realización de tareas, especialmente a las enfocadas en coordinación, equilibrio (estático y dinámico), agilidad, fuerza y velocidad. Aun así, no todos los niños con TEA presentan las mismas limitaciones motoras o de la vida diaria, por lo que el tratamiento de cada uno de los niños debe ser individualizado teniendo en cuenta cuáles son las restricciones en cada caso (26).

Siguiendo en la línea de la actividad física, se realizó otra investigación en la que se estudió los efectos de un circuito de ejercicios en 14 niños con TEA y 14 niños con normodesarrollo, siendo una de las condiciones para poder participar en el estudio, que nunca hubieran realizado ejercicio de forma habitual. De estos 28 niños, se hicieron 4 grupos: grupo TEA control, grupo TEA ejercicio, grupo desarrollo típico control y grupo desarrollo típico ejercicio. El programa de ejercicio tuvo una duración de 12 semanas, 3 días a la semana. Algunos de los ejercicios fueron equilibrio (caminar sobre una tabla o bloques), fuerza, agarre (tirar de una cuerda con las manos), saltar y esquivar obstáculos, y, además había ejercicios en los que se trabajaba la estimulación visual a través de la luz y la estimulación auditiva. La herramienta de medición fue el test BOT-2. La conclusión fue que, a pesar de que los niños con desarrollo típico tuvieron un índice mayor de mejora en los parámetros medidos, los niños con TEA también mejoraron sus aptitudes con respecto al principio de la investigación. Estos resultados

invitan a que cada vez más, los niños autistas reciban tratamiento (aparte del tratamiento habitual) en el que se incluya el ejercicio físico (32).

Se ha mencionado antes que la RV ha empezado a usarse para medir y cuantificar datos. Para explicar qué es esta herramienta, se entiende como una base de datos que tiene la capacidad de elaborar un entorno tridimensional involucrando todos los sentidos, originado por un ordenador, y teniendo la posibilidad de ser modificado en todo momento. Es decir, es un entorno ficticio creado por un ordenador, que el usuario que lo experimenta puede llegar a sentirlo como real, ya que puede interaccionar con los objetos virtuales que se encuentre dentro de este entorno ficticio (33).

Algunos casos en los que se está empleando la RV es en la medicina, que sirve de gran ayuda a la hora de diagnosticar patologías, realizar cirugías con una mayor certeza de que saldrá bien, para efectuar autopsias virtuales, o incluso para el tratamiento de fobias; y en el ámbito militar, en el que la RV puede servir para la conducción de vehículos de pilotaje de aviones (34).

Últimamente, también se ha confirmado la eficacia del uso de estas herramientas virtuales a la hora de trabajar con niños, ya sea en el ámbito escolar con un fin educativo, o en un ámbito clínico (recuperación de muchas enfermedades, psicología). También, la RV es un instrumento muy útil para niños que padecen TEA debido al entorno facilitado que esta realidad implica. Es muy probable que la RV sea un entorno seguro para niños autistas porque en este “mundo” son ellos quienes tienen el control total de la situación y porque tienen todas las oportunidades de repetición de las acciones que ellos quieran. Es una muy buena opción de trabajo porque además de lo ya dicho, la RV hace que los niños se involucren emocionalmente, trabajando así componentes psicológicos, además de motores y mejorar su aprendizaje y desarrollo (35). Esto es debido a la reorganización cortical y la activación de varias conexiones motoras (36).

Los niños autistas, por lo general, no tienen la capacidad de jugar simbólicamente. El juego simbólico suele aparecer sobre los 2 años y prolongarse hasta los 4 años aproximadamente y consiste en reemplazar una situación real por una imaginaria, como, por ejemplo, disfrazarse de superhéroe y salvar el mundo, o cocinar en una cocinita de juguete. La RV ayuda a niños con TEA al desarrollo mental comprendiendo mejor el entorno y entendiendo un poco mejor este juego simbólico fomentando la imaginación (37).

Hasta el momento, la mayoría de los tratamientos para niños con autismo se han centrado principalmente en mejorar las capacidades comunicativas y los déficits que presentan en el ámbito social, y hay muy pocos estudios e intervenciones con el propósito de tratar sobre los aspectos motores. En el presente, se están llevando a cabo estrategias de promoción de la AF haciéndola atractiva y moderna con el fin de evitar la falta de motivación y disfrute que padecen los niños con TEA (en general para todos los niños, ya estén sanos o tengan alguna patología, pero es especialmente interesante para niños con TEA por su falta de interés) para que tengan la motivación necesaria; esto es conseguido por la RV, que logra un aumento en el interés y participación y que hacer ejercicio sea más divertido, y de esta manera se evitan problemas como el sedentarismo. Para los terapeutas, el uso de la RV en pacientes con TEA es una muy buena opción por la seguridad de la plataforma, que se utiliza para trabajar movimientos corporales (con y sin contacto físico), y en el entorno que el terapeuta estime conveniente para cada niño, provocando una mejora en el aprendizaje motor, y, lo que es más importante, que pueda utilizar estas habilidades que ha adquirido en su vida diaria, como ha sido demostrado. Actualmente se está probando que hay mayor rendimiento motor de niños con TEA en entornos virtuales que en entornos reales (5).

Al hablar de RV, se tiene en cuenta también el aprendizaje cognitivo que se adquiere, porque es una manera de trabajar la organización y planificación y ejecución de las tareas. Y, al igual que sucede con las actividades motoras, este aprendizaje lo adhieren a la vida real; probablemente esto sea porque están aprendiendo a la vez que consiguen disfrutar y jugar, y la unión a este tipo de tratamiento favorece la aplicación real. A pesar de que hay artículos que evidencian la extrapolación de todas estas habilidades en el día a día, se planteó la hipótesis de que, como los niños con TEA suelen tener una disminución de la sensibilidad, al realizar actividades en entornos virtuales podría suponer un problema debido a que no reciben ese feedback táctil, lo que supondría un empeoramiento de sus capacidades. En contra de esta idea, se estudió que la dificultad de trabajar con la realidad virtual hace que los niños busquen sus propias estrategias motoras para resolver la actividad que estén llevando a cabo (20).

## 2. Evaluación de la evidencia

### 2.1. Búsquedas

La principal base de datos que ha sido utilizada para realizar las búsquedas fue EBSCO, que incluye más bases de datos. Las bases de datos de EBSCO seleccionadas fueron Academic Search Complete, CINAHL Complete, E-Journals y MEDLINE Complete.

La página usada para la búsqueda de los términos libres fue DeCS.

Además, también fue utilizada la página Google Académico, para realizar búsquedas dirigidas de artículos más específicos sobre la realidad virtual y el desarrollo motor.

| Términos libres                          | Términos DeCS                                                                                    |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Child (Niños)                            | Child<br>Child Behavior Disorders<br>Child Development Disorders, Pervasive<br>Child Development |
| Autism (Autismo)                         | Autistic Disorder<br>Autism Spectrum Disorder                                                    |
| Virtual Reality (Realidad virtual)       | Virtual Reality<br>Virtual Reality Exposure Therapy<br>Exergaming                                |
| Exercise Therapy (Ejercicio terapéutico) | Exercise Therapy                                                                                 |
| Physical Therapy (Fisioterapia)          | Physical Therapy Specialty<br>Physical Therapy Modalities                                        |
| Play (Jugar)                             | Play Therapy<br>Play and Playthings                                                              |
| Balance (Equilibrio)                     | Core Stability<br>Postural Balance                                                               |
| Motor Skills (Habilidades motoras)       | Motor Skills<br>Motor Skills Disorders                                                           |

Tabla 4. Términos libres y términos DeCS. Elaboración propia.

### 2.1.1. Búsquedas seleccionadas de EBSCO (Anexo I):

La siguiente numeración pertenece a los términos DeCS que han sido seleccionados para realizar las búsquedas. En aquellos casos en los que se ha utilizado más de un término DeCS, éstos se han unido con “or” para obtener todos los artículos que incluyera, al menos, uno de estos términos.

**S1:** Child OR Child Behavior Disorders OR Child Development Disorders, Pervasive OR Child Development

**S2:** Autistic Disorder OR Autism Spectrum Disorder

**S3:** Virtual Reality OR Virtual Reality Exposure Therapy OR Exergaming

**S4:** Exercise Therapy

**S5:** Physical Therapy Specialty OR Physical Therapy Modalities

**S6:** Play Therapy OR ( Play and Playthings )

**S7:** Core Stability OR Postural Balance

**S8:** Motor Skills OR Motor Skills Disorders

Las búsquedas que aparecen a continuación han sido extraídas de la plataforma EBSCO. Las bases de datos empleadas fueron Academic Search Complete, CINAHL Complete, E-Journals y MEDLINE Complete. En las búsquedas en las que había un elevado número de resultados se aplicó un filtro de 10 o de 5 años. Todas estas búsquedas fueron realizadas el 28 de octubre de 2023.

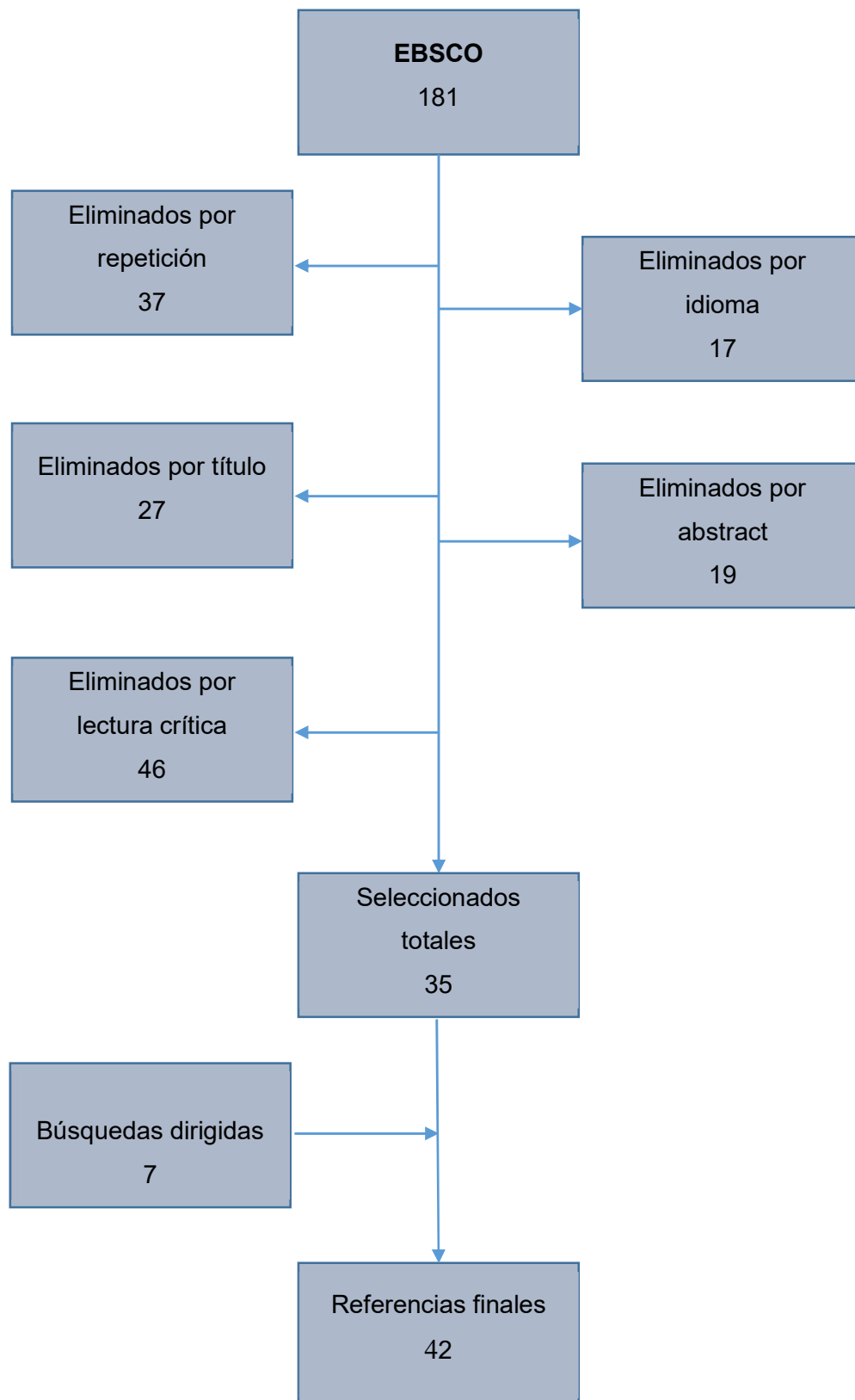
|                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| <b>Búsqueda 1</b>  | S1 AND S2 AND S4 AND S5        |
| <b>Búsqueda 2</b>  | S1 AND S2 AND S3 AND S5        |
| <b>Búsqueda 3</b>  | S1 AND S2 AND S7 AND S8        |
| <b>Búsqueda 4</b>  | S1 AND S2 AND S6 AND S7 AND S8 |
| <b>Búsqueda 5</b>  | S3 AND S5 AND S7 AND S8        |
| <b>Búsqueda 6</b>  | S1 AND S2 AND S3 AND S4        |
| <b>Búsqueda 7</b>  | S1 AND S2 AND S4               |
| <b>Búsqueda 8</b>  | S1 AND S2 AND S3 AND S7        |
| <b>Búsqueda 9</b>  | S1 AND S2 AND S3 AND S8        |
| <b>Búsqueda 10</b> | S1 AND S2 AND S3 AND S7 AND S8 |
| <b>Búsqueda 11</b> | S1 AND S2 AND S3 AND S6        |
| <b>Búsqueda 12</b> | S1 AND S2 AND S5               |

Tabla 5. Búsquedas EBSCO. Elaboración propia.

| Búsqueda           | Filtros | Artículos obtenidos | Eliminados por repetición | Artículos finales |
|--------------------|---------|---------------------|---------------------------|-------------------|
| 1                  | x       | 5 artículos         | x                         | 5 artículos       |
| 2                  | x       | 1 artículo          | x                         | 1 artículo        |
| 3                  | 5 años  | 50 artículos        | 16 artículos              | 34 artículos      |
| 4                  | x       | 4 artículos         | x                         | 4 artículos       |
| 5                  | 10 años | 14 artículos        | 2 artículos               | 12 artículos      |
| 6                  | x       | 4 artículos         | x                         | 4 artículos       |
| 7                  | 5 años  | 78 artículos        | 21 artículos              | 57 artículos      |
| 8                  | x       | 5 artículos         | x                         | 5 artículos       |
| 9                  | 5 años  | 27 artículos        | 11 artículos              | 16 artículos      |
| 10                 | x       | 4 artículos         | x                         | 4 artículos       |
| 11                 | x       | 8 artículos         | x                         | 8 artículos       |
| 12                 | 5 años  | 46 artículos        | 15 artículos              | 31 artículos      |
| Artículos totales: |         |                     |                           | 181 artículos     |

Tabla 6. Artículos obtenidos de EBSCO. Elaboración propia.

## 2.2. Flujograma



### **3. Objetivos del estudio**

#### **3.1. Objetivo general**

Analizar la incorporación en el tratamiento habitual de un plan de ejercicio terapéutico mediante realidad virtual frente al tratamiento habitual de fisioterapia en niños con TEA.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Analizar los cambios del desarrollo motor por la incorporación en el tratamiento habitual de un plan de ejercicio terapéutico mediante realidad virtual frente al tratamiento habitual de fisioterapia en niños con TEA.
- Analizar los cambios de la calidad de vida por la incorporación en el tratamiento habitual de un plan de ejercicio terapéutico mediante realidad virtual frente al tratamiento habitual de fisioterapia en niños con TEA.

## **4. Hipótesis**

La incorporación en el tratamiento habitual de un plan de ejercicio terapéutico mediante realidad virtual mejora el desarrollo motor y la calidad de vida frente al tratamiento habitual de fisioterapia en niños con TEA.

## 5. Metodología

### 5.1. Diseño

Se ha diseñado un estudio de investigación analítico, experimental, longitudinal y prospectivo. El muestreo de la población será dirigido por conveniencia; y, una vez seleccionada la muestra, al ser experimental puro, el estudio se compone de dos grupos, uno control y otro experimental, siendo éstos asignados a través de un proceso de aleatorización de la muestra, para aumentar las posibilidades de que ambos grupos sean similares. Con respecto al enmascaramiento, se llevará a cabo la técnica de evaluador ciego, que es la persona que mide las variables, sin conocer el grupo perteneciente de cada sujeto; y los fisioterapeutas que realicen el tratamiento habitual de fisioterapia tampoco sabrán a qué grupo pertenece cada niño.

Este diseño de estudio ha sido seleccionado para comparar la efectividad de dos tratamientos distintos en niños con TEA. Una vez aleatorizados los sujetos en los dos grupos, se distingue el grupo control, que recibirá el tratamiento convencional de fisioterapia para niños con TEA; y el grupo experimental, que recibirá un plan de ejercicio terapéutico a través de la RV, además del tratamiento convencional de fisioterapia.

En lo que se refiere a aspectos éticos, el estudio se llevará a cabo de acuerdo a las normativas nacionales (RD 223/2004) e internacionales (Normas de Buena Práctica Clínica) vigentes, Ley de protección de datos y derechos ARCO, de acceso, rectificación, cancelación y oposición (Ley 15/1999 de 13 de diciembre). Los aspectos éticos se basarán en los principios básicos para toda investigación médica, enunciados en la actualización de octubre de 2013 Declaración de Helsinki, que fue aprobada en 1964 por la Asamblea Médica Mundial. Se respetarán, de esta manera, los requisitos éticos y jurídicos del estudio experimental recogidos en la Declaración. Se enviará una solicitud de aprobación de dicho proyecto de investigación, y éste será evaluado y aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica (CEIC) del Hospital Universitario 12 de Octubre (Anexo II), encargado de revisar si el estudio cumple con los aspectos éticos y metodológicos.

Siguiendo con los aspectos éticos, se incluirá antes de comenzar el estudio, la entrega a los pacientes, y, en el caso de este estudio, a los padres o tutores de los participantes (ya que son menores de edad), de una “Hoja de información al paciente” (HIP) (Anexo III) informando, en esta situación, a los padres o tutores legales, de todos los aspectos de la investigación

(objetivos, métodos, beneficios previstos y peligros potenciales del estudio y de las molestias que dicha investigación pueda ocasionar). También se les entregará por escrito un consentimiento informado (CI) (Anexo IV) que debe ser firmado por los padres o tutores legales antes de comenzar el estudio. Por último, se les hará entrega de una hoja de renuncia (Anexo V) por si antes de empezar el estudio o a lo largo de éste, los padres o tutores legales deciden retirar la participación de los niños.

Como se ha nombrado anteriormente, se cumplirá la Ley de Protección de datos y derechos ARCO, de acceso, rectificación, cancelación y oposición (Ley 15/1999 de 13 de diciembre), que fue actualizada por la Ley Orgánica 3/2018 de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y Garantía de los Derechos Digitales. Los datos de los sujetos participantes serán anonimizados, existiendo dos bases de datos; una que contará con todos los datos personales, a la que solo tendrá acceso el investigador; y otra que no tendrá datos personales, sino códigos de identificación y todos los datos obtenidos del estudio.

## 5.2. Sujetos de estudio

La población diana del estudio, y sobre la que se pretende extrapolar los resultados del proyecto, son los niños diagnosticados de TEA de entre 5 y 12 años de edad (26).

Por otro lado, la población de estudio, sobre la que se tiene acceso dentro de la población diana, son los niños diagnosticados de TEA de entre 5 y 12 años de edad, que forman parte del Hospital Universitario 12 de Octubre.

| <b>Criterios de inclusión</b>                                   |
|-----------------------------------------------------------------|
| Niños diagnosticados de TEA                                     |
| Niños de entre 5 y 12 años de edad (26)                         |
| Niños que formen parte del Hospital Universitario 12 de Octubre |

*Tabla 7. Criterios de inclusión. Elaboración propia.*

| <b>Criterios de exclusión</b>                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------|
| Niños que presenten otras patologías neuromusculoesqueléticas, además del TEA |
| Niños que consuman fármacos que alteren aspectos psicopatológicos             |
| Niños que no tengan comprensión lingüística                                   |

*Tabla 8. Criterios de exclusión. Elaboración propia.*

Teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión citados, se llevará a cabo la selección de la muestra de estudio mediante un muestreo no probabilístico (ya que los niños seleccionados serán únicamente aquellos pertenecientes al Hospital Universitario 12 de Octubre) dirigido por conveniencia.

Una vez obtenida la muestra, se procederá a realizar un proceso de aleatorización de los sujetos para formar el grupo control y el experimental. Para llevar a cabo la aleatorización, habrá una bolsa que contendrá bolitas rojas y bolitas blancas; y se le pedirá a cada uno de los sujetos de la muestra que saquen una bolita: si les toca la roja, pertenecerán al grupo control; si les toca la blanca, al grupo experimental.

El tamaño muestral dependerá de cuatro variables, que son el nivel de confianza, la potencia, la magnitud de la diferencia y la varianza.

La ecuación de comparación de dos medias utilizada para realizar el cálculo del tamaño muestral será:

$$n = \frac{2k * SD^2}{d^2}$$

- n: número de sujetos que formará parte de cada grupo del estudio. A este resultado se le sumará un 15% de este dato por posibles pérdidas. La muestra total (grupo control y grupo experimental), será el doble de este resultado.
- k: constante que depende del nivel de significación y de la potencia estadística.
- SD: desviación típica.
- d: precisión del intervalo de confianza.

Para obtener el valor de la constante k se utilizará la siguiente tabla. Para el estudio se asume un nivel de significación o riesgo ( $\alpha$ ) de 0,05 (5%), lo que quiere decir que el nivel de confianza es de 95%; y una potencia o poder estadístico ( $1-\beta$ ) de 0,80 (80%), por lo que el valor de k será 7,8.

| Poder estadístico (1-β) | Nivel de significación (α) |      |       |
|-------------------------|----------------------------|------|-------|
|                         | 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  |

Tabla 9. Obtención del valor de k. Elaboración propia.

Se realizará el cálculo del tamaño muestral para cada una de las variables dependientes del estudio para, posteriormente, seleccionar el valor más elevado. Estas variables son el desarrollo motor y la calidad de vida.

**Desarrollo motor:** Los datos necesarios para el cálculo muestral de esta variable serán obtenidos del artículo “Comprehensive motor skills assessment in children with autism spectrum disorder yields global deficits” (26).

| Test: subtest            | ASD group (n = 12) |       | Typical group (n = 12) |       | F      | p-value | Partial Eta squared |
|--------------------------|--------------------|-------|------------------------|-------|--------|---------|---------------------|
|                          | Std Score          | SD    | Std Score              | SD    |        |         |                     |
| MABC-2: Total test score | 4.670              | 2.103 | 8.170                  | 2.949 | 11.203 | 0.003*  | 0.337               |

Figura 4. Datos para el tamaño muestral de la variable desarrollo motor (26).

El valor de la desviación estándar (SD) será de 2,103. Para calcular la precisión (d) se realizará la diferencia de la marca del grupo control y del grupo experimental, siendo el valor de d = 3,5.

$$n = \frac{2 * 7,8 * 2,103^2}{3,5^2} = 5,63$$

El tamaño muestral para la variable desarrollo motor será de 6 sujetos para cada grupo, es decir, un total de 12 sujetos entre ambos grupos. Con el 10% añadido, el tamaño muestral será 14 sujetos.

**Calidad de vida:** Los datos necesarios para el cálculo muestral de esta variable serán obtenidos del artículo “Calidad de vida relacionada con la salud informada por los padres en preescolares españoles: propiedades psicométricas del Kiddy-KINDL-R” (17).

| Dimensiones                    | M      | DE   | rango  | $\alpha$ |
|--------------------------------|--------|------|--------|----------|
| Bienestar físico               | 17,06  | 2,18 | 6-20   | 0,71     |
| Bienestar emocional            | 17,01  | 2,13 | 8-20   | 0,72     |
| Autoestima                     | 16,17  | 2,13 | 6-20   | 0,75     |
| Familia                        | 16,78  | 2,20 | 9-20   | 0,73     |
| Amigos                         | 17,40  | 2,20 | 10-20  | 0,80     |
| Preescolar/guardería           | 17,25  | 2,04 | 6-15   | 0,64     |
| Puntuación total Kiddy-KINDL-R | 101,70 | 9,32 | 66-119 | 0,90     |

Figura 5. Datos para el tamaño muestral de la variable calidad de vida (17).

El valor de la desviación estándar (SD) será 9,32. La precisión equivale al valor de la consistencia interna de la escala, que en este artículo se estimó mediante el cálculo del coeficiente  $\alpha$ , por lo que  $d = 0,90$ .

$$n = \frac{2 * 7,8 * 9,32^2}{0,90^2} = 1672,9$$

El tamaño muestral para la variable calidad de vida será de 1673 sujetos para cada grupo, es decir, un total de 3346 sujetos entre ambos grupos. Con el 10% añadido, el tamaño muestral será 3680 sujetos.

El tamaño muestral del estudio será 3680 sujetos, 1840 en cada grupo, debido a que se debe seleccionar el cálculo muestral mayor.

### 5.3. Variables

Las variables se van a dividir en independientes y dependientes.

Las variables independientes son el tratamiento, que se dividirá en dos grupos (control y experimental) y el momento de medición, que se llevará a cabo antes y después de realizar el tratamiento.

| <b>Variables independientes</b> | <b>Tipo</b>                          | <b>Unidad de medida</b> | <b>Forma de medida</b>                    |
|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| Tratamiento                     | Cualitativa<br>nominal<br>dicotómica | -                       | 0= Grupo control<br>1= Grupo experimental |
| Momento de medición             | Cualitativa<br>nominal<br>dicotómica | -                       | 0= Pre<br>1= Post                         |

Tabla 10. Variables independientes. Elaboración propia.

Las variables dependientes son el desarrollo motor y la calidad de vida.

| <b>Variables dependientes</b> | <b>Tipo</b>              | <b>Unidad de medida</b> | <b>Forma de medida</b> |
|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| Desarrollo motor              | Cuantitativa<br>continua | 0 - 32 puntos           | Batería MABC-2         |
| Calidad de vida               | Cuantitativa<br>continua | 0 - 100 puntos          | Escala KINDL           |

Tabla 11. Variables dependientes. Elaboración propia.

## 5.4. Hipótesis operativa

Se enuncia la hipótesis operativa para las variables dependientes. La hipótesis nula indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en los resultados de los dos grupos y la hipótesis alternativa que sí existen diferencias.

### Desarrollo motor:

- Hipótesis nula: No existen diferencias estadísticamente significativas en el desarrollo motor entre el grupo al que se incorpora al tratamiento habitual un plan de ejercicio terapéutico mediante realidad virtual y el grupo que recibe el tratamiento habitual de fisioterapia en niños con TEA.
- Hipótesis alternativa: Existen diferencias estadísticamente significativas en el desarrollo motor entre el grupo al que se incorpora al tratamiento habitual un plan de ejercicio terapéutico mediante realidad virtual y el grupo que recibe el tratamiento habitual de fisioterapia en niños con TEA.

### **Calidad de vida:**

- Hipótesis nula: No existen diferencias estadísticamente significativas en la calidad de vida entre el grupo al que se incorpora al tratamiento habitual un plan de ejercicio terapéutico mediante realidad virtual y el grupo que recibe el tratamiento habitual de fisioterapia en niños con TEA.
- Hipótesis alternativa: Existen diferencias estadísticamente significativas en la calidad de vida entre el grupo al que se incorpora al tratamiento habitual un plan de ejercicio terapéutico mediante realidad virtual y el grupo que recibe el tratamiento habitual de fisioterapia en niños con TEA.

### **5.5. Recogida, análisis de datos, contraste de la hipótesis**

El investigador principal se pondrá en contacto con el director del Hospital Universitario 12 de Octubre y con el encargado del departamento de neuropediatría del mismo hospital para poder recibir el listado de niños con TEA participantes del estudio que cumplen con los criterios establecidos.

Una vez proporcionado el listado de pacientes al investigador, éste se encargará de concretar una entrevista en la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios con los padres o tutores legales de los participantes del estudio y con los propios sujetos participantes para informarles sobre todas las características del estudio, y que decidan si quieren que sus hijos participen. En los casos afirmativos, durante la entrevista, el investigador se ocupará de recoger los datos personales de los niños participantes en una hoja de recogida de datos (Anexo VI), que contendrá nombre y apellidos, código identificador, grupo asignado (control o experimental) y datos de la valoración y observaciones realizadas por el investigador. A los padres se les entregará una hoja de información (Anexo III), el consentimiento informado (Anexo IV) que deben firmar antes del comienzo del estudio y una hoja de renuncia a la participación (Anexo V), por si los padres o tutores legales o el mismo niño decide abandonar el estudio de investigación en cualquier momento.

El evaluador analista recibirá una hoja de recogida de datos en la que aparecerán los códigos identificadores de los niños para que él pueda apuntar las mediciones pre y post del tratamiento en la base de datos de Microsoft Excel. Los datos se analizarán mediante el programa IBM SPSS Statistics® v 28.0.

El análisis de los resultados se realizará mediante un análisis por intención de tratar, debido a que este método se aproxima a la realidad de la práctica clínica en caso de que algún paciente no cumpla el tratamiento prescrito de forma íntegra. Con este análisis se compara la eficacia de ambos tratamientos siendo la medición de las variables recogida de todos los participantes del estudio. Esta estrategia es la única que guarda las ventajas de la asignación aleatoria de los sujetos participantes, ya que evita factores de confusión, por ser los dos grupos comparables.

Dentro del análisis estadístico, éste se divide en estadística descriptiva y estadística analítica o inferencial. El primer paso a seguir es la realización de un análisis descriptivo, en el que se describe información de los datos, es decir, de las variables cualitativas y cuantitativas, tratando de resumirlas y organizarlas.

Para empezar, se analizarán, de forma descriptiva, las variables cualitativas independientes (tratamiento y momento de medición), obteniendo los datos de frecuencia absoluta (número de veces que se presenta la categoría en las variables medidas), frecuencia relativa (división de frecuencia absoluta entre total de los casos) y porcentaje (multiplicación de frecuencia relativa por 100). Los datos se organizarán en forma de tabla de frecuencias y gráficos, pudiendo ser de barras o sectores.

Seguidamente, se desarrollará el análisis descriptivo de las variables cuantitativas, ofreciendo datos de medidas de tendencia central (media, mediana y moda), medidas de dispersión (rango y desviación típica), medidas de posición percentil y cuartil y medidas de forma (asimetría y curtosis). En este caso, las gráficas obtenidas serán histogramas, debido a que todas las variables cuantitativas son continuas.

Dado por finalizado el análisis descriptivo, se pasará a ejecutar el análisis inferencial de contraste bilateral de hipótesis, en el que se comparan dos medias para valorar si existen o no diferencias estadísticamente significativas. En el programa SPSS se creará una nueva variable, que será el resultado de restar las medias del pre y del post de las variables dependientes del estudio. Esta nueva variable se llamará “Diferencia de medias de la medición pre y post”, y es sobre la que se hará el contraste.

Al ser las muestras independientes (ya que son dos grupos en los que se realiza un pre y un post en cada uno de ellos), se empezará utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov para comprobar si es una muestra normal o no; y el test de Levene para averiguar la homogeneidad o heterogeneidad entre las varianzas.

- Si en los dos test los valores de  $p$  son superiores a 0,05 la muestra tendrá una distribución normal y existirá homogeneidad entre las varianzas. En este caso, se llevará a cabo la prueba T de Student de muestras independientes.
- En cambio, si los valores obtenidos de  $p$  en los dos test son inferiores a 0,05 la distribución de la muestra será no normal y no habrá homogeneidad de varianzas, por lo que se realizará la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para muestras independientes.

Por último, para saber si aceptar la hipótesis nula o la alternativa:

- Si el valor de  $p$  obtenido en la prueba T de Student o U de Mann-Whitney es  $p > 0,05$  se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, es decir, no existen diferencias estadísticamente significativas.
- Si el valor de  $p$  de la prueba T de Student o U de Mann-Whitney es  $p < 0,05$  se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, es decir, existen diferencias estadísticamente significativas.

## 5.6. Limitaciones del estudio

- Que haya muchas pérdidas de sujetos (más pérdidas de lo previstas inicialmente), porque los niños, por su edad o por su propia patología, en un determinado momento se aburran, o no quieran llevar a cabo las instrucciones que se les proporcione por cansancio, falta de colaboración o falta de confianza.
- El tiempo. Dado que los participantes son niños, su horario está limitado porque tienen que asistir al colegio, de modo que hay que elegir un horario favorable para los participantes del estudio y sus tutores legales y el evaluador analista.
- El número muestral es muy elevado, ya que son niños con características muy específicas y circunstancias muy concretas, y la selección es difícil.

## 5.7. Equipo investigador

El equipo investigador estará formado por:

- Investigador principal: Elena Nieto Hernández, graduada en Fisioterapia en la Universidad Pontificia Comillas.
- Fisioterapeuta Experto en pediatría: Graduado en Fisioterapia en la Universidad Pontificia Comillas con un Máster oficial en pediatría. Experiencia clínica de 15 años.
- Fisioterapeuta Experto en pediatría: Graduado en Fisioterapia en la Universidad Pontificia Comillas con un Máster oficial en pediatría. Experiencia clínica de 17 años.
- Fisioterapeuta Experto en pediatría: Graduado en Fisioterapia en la Universidad Pontificia Comillas con un Máster oficial en pediatría. Experiencia clínica de 14 años.
- Informático y diseñador gráfico: Graduado en Informática y especializado en realidad virtual. Experiencia de 9 años.
- Evaluador analista: Graduado en Fisioterapia en la Universidad Pontificia Comillas. Gran experiencia en análisis de datos. Experiencia clínica de 19 años.
- Pediatra neurológico: Graduado en Medicina y especializado en pediatría neurológica. Experiencia clínica de 23 años.

## **6. Plan de trabajo**

### **6.1. Diseño de la intervención**

Para comenzar el estudio, lo primero que se realizará será el planteamiento y la redacción del proyecto de investigación. Una vez terminado este paso, se procederá a presentar el proyecto al Comité Ético de Investigación Clínica (Anexo II) del Hospital Universitario 12 de Octubre para solicitar su aprobación. También será presentado a la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios para obtener su consentimiento para realizar allí las entrevistas con los pacientes y sus padres o tutores legales, las mediciones necesarias pre y post tratamiento y el tratamiento.

En el momento que el Comité Ético apruebe el proyecto el investigador principal se encargará de concretar una reunión con todos los miembros del equipo para dividir las tareas de cada uno de ellos, explicar los aspectos relevantes y resolver todas las dudas acerca del proyecto. Especialmente, se informará al evaluador analista sobre cómo será el protocolo de mediciones y los programas que se usarán para ello. Además, el investigador explicará con detalle a los dos fisioterapeutas expertos miembros del equipo que llevarán a cabo el tratamiento habitual (que se va a realizar en ambos grupos) en qué consiste éste, para que el tratamiento sea lo más parecido posible para todos los niños.

A continuación, el investigador principal se pondrá en contacto con el director y el encargado del departamento de neuropediatría del Hospital Universitario 12 de Octubre para concretar una reunión que tendrá lugar en el mismo hospital. En esta reunión se les informará sobre el proyecto y se les pedirá un listado con los niños que cumplan los criterios de inclusión del estudio y, a su vez, que envíen un correo electrónico a los padres o tutores legales de estos niños con los datos principales del estudio y con el número de teléfono y el correo electrónico del investigador principal para que los interesados en recibir información y que sus hijos participen se pongan en contacto con el investigador. El investigador, además, enviará a través de correo electrónico información sobre los objetivos y tratamiento. Para los padres o tutores legales que continúen interesados se fijará una entrevista con ellos y con los niños en la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios. En esta entrevista se entregará a los padres o tutores legales que finalmente decidan que sus hijos participarán una hoja de información (Anexo III) con los objetivos, metodología y beneficios y riesgos del tratamiento que se llevará a cabo; además del consentimiento informado (Anexo IV), que deberán firmar los padres de forma previa al comienzo del estudio, y una hoja de renuncia

(Anexo V) por si los padres o tutores legales deciden que sus hijos abandonen el estudio.

Durante la primera entrevista, el investigador también recogerá los datos personales (nombre y apellidos, código identificador, grupo asignado (control o experimental) de los niños participantes en una hoja de recogida de datos (Anexo VI), en la que, además de datos personales, también recogerá datos de la valoración y observaciones del investigador.

- El código identificador de cada niño para mantener el anonimato se asignará por orden de entrevistas, es decir, el primer niño con el que se tenga la entrevista será en número 1, el segundo niño el número 2, y así sucesivamente hasta la última entrevista con el último niño. La hoja que contenga los códigos identificadores se le enviará al evaluador analista para que pueda registrar las mediciones pre y post tratamiento.
- El grupo asignado se decidirá aleatoriamente, porque el día que se realice la entrevista, se le pedirá a cada uno de los niños participantes que saquen una bolita de una bolsa llena de bolitas rojas y bolitas blancas. Si les toca una bolita roja pertenecerán al grupo control, y si les toca una blanca, al grupo experimental.

Por último, otro de los objetivos de la primera entrevista será que el investigador tenga una primera toma de contacto con todos los niños para conocerse, y ganarse la confianza de los niños para que la ejecución del tratamiento sea más sencilla (ya que los niños con TEA presentan, en la mayoría de los casos, dificultades para socializar (4)).

A medida que se vayan realizando las entrevistas iniciales, el investigador principal enviará un correo electrónico a todos los padres o tutores legales de estos niños que hayan finalizado la entrevista con el día, la hora y la localización para llevar a cabo la medición de las variables pre-tratamiento (una semana después de la entrevista)

Las mediciones serán de las variables desarrollo motor y calidad de vida, y las llevará a cabo el evaluador analista para poder registrar los resultados. El desarrollo motor se medirá mediante la escala MABC-2 por la realización de un total de 8 pruebas (Anexo VII). La calidad de vida será medida con el cuestionario KINDL (Anexo VIII).

El siguiente paso, una vez se hayan realizado las mediciones pre tratamiento será empezar con el tratamiento en sí. Se citará a los padres/tutores legales una semana después mediante un correo electrónico especificando el día, la hora y el lugar, que será la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios (hay que tener en cuenta que el horario

disponible de los niños será por la tarde, ya que por las mañanas es horario escolar).

A los niños del grupo control se les realizará el tratamiento habitual de fisioterapia para niños con TEA (Anexo IX) y los del grupo experimental realizarán el tratamiento habitual más ejercicio terapéutico de aspecto lúdico, ya que jugarán a dos videojuegos de realidad virtual inmersiva (Anexo X) con unas gafas de realidad virtual Oculus Rift (Anexo XI), porque es el sistema compatible con ambos videojuegos.

Los dos videojuegos a los que jugarán los niños del grupo experimental son “Beat Saber” y “The Climb” (Anexo IX). Se han elegido estos dos videojuegos porque con ambos se trabajan las habilidades motoras. En los dos se hace hincapié en coordinación, motricidad fina (destreza manual) y equilibrio, además de agilidad y rapidez. En “The Climb” el niño tiene que calcular mentalmente un plan de organización para decidir cuál será el siguiente movimiento que hará durante la escalada. También se han seleccionado porque no existen contraindicaciones ni riesgos para niños con TEA, como asustarse por luces fuertes, sonidos bruscos o apariciones repentinas de imágenes impactantes; y, por lo tanto, servirá para crear adherencia en el tratamiento y que el niño haga ejercicio terapéutico de una manera lúdica y divirtiéndose.

Previamente a dar comienzo al tratamiento, el investigador principal habrá comprado todo el material necesario para los fisioterapeutas que realicen el tratamiento habitual de fisioterapia para ambos grupos, y lo llevará a la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios para colocarlo en las salas que la universidad ofrezca. Ese mismo día también dejará preparado en la sala donde se realizará el tratamiento del grupo experimental el PC, las gafas de RV y los controladores (mandos): programará y sincronizará el PC con los videojuegos, con las gafas de RV y con los controladores Oculus Touch (los mandos).

Tanto para el grupo control como para el grupo experimental, los profesionales que llevarán a cabo el tratamiento habitual con los niños serán dos fisioterapeutas con un máster oficial en pediatría (que no sabrán a qué grupo pertenece cada niño). Sin embargo, los tratamientos con RV los realizará otro fisioterapeuta experto, que estará acompañado por el informático experto en RV, que será el encargado de dar soporte técnico en caso de incidencia.

Para cada una de las sesiones también se pedirá a los padres o tutores legales que entren a la sala del tratamiento con los niños.

En total, el tratamiento de ambos grupos se realizará durante 12 semanas, 3 días a la semana de una hora de duración cada sesión (32). Los días de tratamiento serán: lunes, miércoles y viernes para una parte de la muestra; y martes, jueves y sábado para la otra parte de la muestra.

Al tener disponibles dos salas de la Escuela distintas para desarrollar el tratamiento habitual, se habrá citado a la vez (mismo día y misma hora) a un niño de cada grupo para realizar su tratamiento. Al finalizar la sesión, el niño del grupo control se podrá ir, y el niño del grupo experimental se tendrá que ir a otra sala donde realizará el tratamiento de ejercicio terapéutico mediante RV durante 20 minutos, jugando la mitad del tiempo a “Beat Saber” y la otra mitad a “The Climb”.

Cuando finalicen las 12 semanas de tratamiento el evaluador analista volverá a medir las variables que se midieron antes del comienzo del tratamiento de la misma manera.

Una vez que el evaluador analista tenga todas las mediciones registradas en la hoja que se le facilitó al principio del estudio con los códigos identificadores de los niños y haya analizado estadísticamente los resultados obtenidos con el programa IBM SPSS Statistics® v 28.0, éste entregará los análisis estadísticos elaborados al investigador principal. En este momento, el investigador principal redactará los resultados y sacará las conclusiones del estudio.

## 6.2. Etapas de desarrollo

| Etapas                                                                                                     | Periodo de realización                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Redacción del proyecto                                                                                     | Octubre de 2022 a abril de 2023                                                          |
| Solicitud y aprobación del proyecto del CEIC                                                               | Mayo a junio de 2023                                                                     |
| Reunión del equipo investigador                                                                            | Junio de 2023                                                                            |
| Reclutamiento de sujetos                                                                                   | De junio de 2023 a septiembre de 2023                                                    |
| Entrevista con los sujetos y padres o tutores legales (entrega de HIP, firma de CI y asignación de grupos) | De septiembre de 2023 hasta completar la muestra                                         |
| Medición de variables pre tratamiento                                                                      | Durante la semana siguiente a la realización de la entrevista                            |
| Tratamiento                                                                                                | Una semana después desde la medición                                                     |
| Medición de variables post tratamiento                                                                     | Una semana después de finalizar el tratamiento                                           |
| Análisis estadísticos de los datos                                                                         | Durante un mes al haber finalizado todas la mediciones post tratamiento                  |
| Redacción del trabajo y publicación del estudio                                                            | Durante dos meses tras haber recibido el investigador principal el análisis de los datos |

Tabla 12. Etapas del desarrollo. Elaboración propia.

## 6.3. Distribución de tareas de todo el equipo investigador

Las tareas serán distribuidas entre el equipo investigador de la siguiente manera:

- **Investigador principal:** se encargará de diseñar, planificar, desarrollar y redactar el estudio de investigación, y redactar, además, la solicitud al CEIC. También de reunir al equipo investigador y explicarles sus funciones; además de reunirse con el director y el encargado del departamento de neuropediatría del Hospital Universitario 12 de Octubre para obtener el listado de participantes del estudio. Será encargado de explicar a los padres de los sujetos toda la información del proyecto y entregarles la hoja de información al paciente y el consentimiento informado. Valorará a los niños participantes y anotará los datos en la hoja de recogida de datos. Enviará una hoja con los códigos identificativos de los niños al evaluador analista. Por último, sacará las

conclusiones del estudio y las redactará.

- **Fisioterapeutas expertos:** se encargarán de realizar el tratamiento de fisioterapia a los niños. Dos de ellos realizarán el tratamiento habitual de fisioterapia al grupo control y al grupo experimental, y el otro realizará el tratamiento mediante la RV.
- **Informático y diseñador gráfico:** estará en las sesiones del tratamiento experimental (ejercicio a través de RV) junto al fisioterapeuta para dar soporte técnico en caso de incidencia.
- **Evaluador analista:** se encargará de realizar las mediciones pre y post tratamiento de las variables y de recopilar, analizar e interpretar los datos obtenidos. Con estos datos, redactará un informe final que será entregado al investigador principal.
- **Pediatra neurológico:** se encargará de proporcionar el listado con los niños que cumplan los criterios de inclusión del estudio al investigador principal.

#### 6.4. Lugar de realización del proyecto

El proyecto se realizará en la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios, ubicada en Av. San Juan de Dios,1, 28350 Ciempozuelos, Madrid.

Tanto las entrevistas iniciales, como las mediciones pre y post tratamiento y el tratamiento se desarrollará en la Escuela. Las entrevistas y las mediciones se realizarán en una de las salas de la escuela, el tratamiento con RV en una sala que se equipará y preparará con un PC, gafas de RV y controladores, y para el tratamiento habitual habrá dos salas distintas (para poder tratar a dos niños a la vez) que serán equipadas igualmente con juegos y material lúdico y fisioterapéutico.

## 7. Bibliografía

(1) Haghighi AH, Broughani S, Askari R, Shahrabadi H, Souza D, Gentil P. Combined Physical Training Strategies Improve Physical Fitness, Behavior, and Social Skills of Autistic Children. *J Autism Dev Disord.* 2023 -11;53(11):4271-4279.

(2) Lord C, Rutter M, DiLavore PC, Risi S, Gotham K, Bishop SL, Luyster RJ y Guthrie W. ADOS-2. Escala de Observación para el Diagnóstico del Autismo - 2. Hogrefe TEA Ed. 2024.

(3) Roşca AM, Rusu L, Marin MI, Ene VV, Ene VC. Physical Activity Design for Balance Rehabilitation in Children with Autism Spectrum Disorder. *Children.* 2022 -08;9(8):1152.

(4) Chen L, Su W, Ho T, Lu L, Tsai W, Chiu Y, et al. Postural Control and Interceptive Skills in Children With Autism Spectrum Disorder. *Phys Ther.* 2019 -09;99(9):1231-1241.

(5) Moraes ÍAP, Lima JA, Silva NM, Simcsik AO, Silveira AC, Menezes LDC, et al. Effect of Longitudinal Practice in Real and Virtual Environments on Motor Performance, Physical Activity and Enjoyment in People with Autism Spectrum Disorder: A Prospective Randomized Crossover Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 -11;19(22):14668.

(6) <https://psiquiatria.com/trastornos-infantiles-y-de-la-adolescencia/resonancias-magneticas-de-lactantes-muestran-que-el-autismo-esta-ligado-a-aumento-del-liquido-cefalorraquideo/>. Accessed Feb 12, 2024.

(7) Puerto E. Avances en el conocimiento y modelado computacional del cerebro autista: Una revisión de literatura. *Cuad Act.* 2021 -12;9(9):109-125.

(8) Leyden J, Fung L, Frick S. Autism and toe-walking: are they related? Trends and treatment patterns between 2005 and 2016. *J Child Orthop.* 2019 -08;13(4):340-345.

(9) Tse CYA, Lee HP, Chan KSK, Edgar VB, Wilkinson-Smith A, Lai WHE. Examining the impact of physical activity on sleep quality and executive functions in children with autism spectrum disorder: A randomized controlled trial. *Autism.* 2019 -10;23(7):1699-1710.

(10) Iannizzotto V, Paez A, Zanin L, Azpiroz R, De Bortoli M. Hábitos de sueño y trastornos del espectro autista. *Fund Human*. 2014 -05;14(27):159-173.

(11) Hariri R, Nakhostin-Ansari A, Mohammadi F, Memari AH, Oskouie IM, Haghparast A. An Overview of the Available Intervention Strategies for Postural Balance Control in Individuals with Autism Spectrum Disorder. *Autism Res Treat*. 2023 -03;1(1):1-9.

(12) Ruggeri A, Dancel A, Johnson R, Sargent B. The effect of motor and physical activity intervention on motor outcomes of children with autism spectrum disorder: A systematic review. *Autism: Int Jour Res Pract*. 2020 -04;24(3):544-568.

(13) Belaire A, Colomer C, Maravé-Vivas M, Chiva-Bartoll O. Analysis of the motor performance of children with ASD and its relationship with personal and contextual variables. *Int J Dev Disabil*. 2022 -07;68(4):558-566.

(14) Fears NE, Templin TN, Sherrod GM, Bugnariu NL, Patterson RM, Miller HL. Autistic Children Use Less Efficient Goal-Directed Whole Body Movements Compared to Neurotypical Development. *J Autism Dev Disord*. 2023 -07;53(7):2806-2817.

(15) Jungade S. Manual physical therapy as a novel treatment modality for Autism spectrum disorder – A pilot study. *J Complement Integr Med*. 2020 -06;17(2):1-6.

(16) Ruiz JI. Efectividad de los abordajes de fisioterapia en niños con trastorno del espectro autista: una revisión sistemática. 2015.

(17) Orgilés M, Melero S, Penosa P, Espada JP, Morales A. Calidad de vida relacionada con la salud informada por los padres en preescolares españoles: propiedades psicométricas del Kiddy-KINDL-R. *An Pediatr (Barc)*. 2019 -05;90(5):263-271.

(18) Rosalinda GG, Julio CHN, Marcela VL, Octavio MM, Sara SCA. Confiabilidad y estructura factorial de Kiddo-Kindl, una herramienta de medición para la calidad de vida de los adolescentes mexicanos. *Rev Elect Metod Apl*. 2015 -07;20(2):1-10.

(19) Tse CYA, Pang CL, Lee PH. Choosing an Appropriate Physical Exercise to Reduce Stereotypic Behavior in Children with Autism Spectrum Disorders: A Non-randomized Crossover Study. *J Autism Dev Disord*. 2018 -05;48(5):1666-1672.

(20) Íbis APM, Carlos BMM, Talita DS, Thais M, Tania BC, Lilian DCM, et al. Motor learning and transfer between real and virtual environments in young people with autism spectrum disorder: A prospective randomized cross over controlled trial. *Autism Res.* 2020 - 02;13(2):307-319.

(21) Miller HL, Caçola PM, Sherrod GM, Patterson RM, Bugnariu NL. Children with Autism Spectrum Disorder, Developmental Coordination Disorder, and typical development differ in characteristics of dynamic postural control: A preliminary study. *Gait Post.* 2019 - 01;67(5):9-11.

(22) Kaur M, Bhat A. Creative Yoga Intervention Improves Motor and Imitation Skills of Children With Autism Spectrum Disorder. *Phys Ther.* 2019 -11;99(11):1520-1534.

(23) Helsel BC, Foster RNS, Sherman J, Ptomey LT, Montgomery RN, Washburn RA, et al. A Remotely Delivered Yoga Intervention for Adolescents with Autism Spectrum Disorder: Feasibility and Effectiveness for Improving Skills Related to Physical Activity. *J Autism Dev Disord.* 2023 -10;53(10):3958-3967.

(24) Nuntanee S, Daranee S. Effect of Motorized Elephant-Assisted Therapy Program on Balance Control of Children with Autism Spectrum Disorder. *Occup Ther Int.* 2019 - 11;1(1):1-10.

(25) Greffou S, Bertone A, Hahler E, Hanssens J, Mottron L, Faubert J. Postural hypo-reactivity in autism is contingent on development and visual environment: a fully immersive virtual reality study. *J Autism Dev Disord.* 2012 -06;42(6):961-970.

(26) Odeh CE, Gladfelter AL, Stoesser C, Roth S. Comprehensive motor skills assessment in children with autism spectrum disorder yields global deficits. *Int J Dev Disabil.* 2022 -05;68(3):290-300.

(27) Jean CD, Deborah K, Kay K. Review of the Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency, Second Edition (BOT-2). *Phys Occup Ther Pediatr.* 2007 -01; 27(4):87-102.

(28) Brown T, Lalor A. The Movement Assessment Battery for Children—Second Edition (MABC-2): A Review and Critique. *Phys & Occup Ther In Pediatr.* 2009 -01;29(1):86-103.

(29) Mariño SM, Rico DJ, Rodríguez FJE, Peixoto PL. Instrumentos para evaluar las habilidades motoras en niños con Trastorno del Espectro Autista entre 5 y 12 años: Revisión sistemática. Ed Fís Dep Recr. 2021 -05;1(42):286-295.

(30) <https://www.pearsonclinical.es/mabc-2-bateria-de-evaluacion-del-movimiento-para-ninos-2>. Accessed Mar 29, 2024.

(31) <https://www.pearsonclinical.es/vineland-3-vineland-adaptive-behavior-scales-3>. Accessed Mar 29, 2024.

(32) Arslan E, Ince G, Akyüz M. Effects of a 12-week structured circuit exercise program on physical fitness levels of children with autism spectrum condition and typically developing children. Int J Dev Disabil. 2022 -07;68(4):500-510.

(33) Levis D. ¿Qué es la realidad virtual? Crea Comm Atri. 2006 -01;1(1).

(34) Pérez MFJ. Presente y Futuro de la Tecnología de la Realidad Virtual. Rev Asoc Creativ. 2011 -03;1(16):3-39.

(35) Herrera G, Alcantud F, Jordan R, Blanquer A, Labajo G, De Pablo C. Development of symbolic play through the use of virtual reality tools in children with autistic spectrum disorders: Two case studies. Autism. 2008 -03;12(2):143-157.

(36) Ali SG, Wang X, Li P, Jung Y, Bi L, Kim J, et al. A systematic review: Virtual-reality-based techniques for human exercises and health improvement. Front Public Health. 2023 -03;11(11):43-94.

(37) Zhen B, Blackwell AF, Coulouris G. Using Augmented Reality to Elicit Pretend Play for Children with Autism. IEEE Trans Vis Comput Graph. 2015 -05;21(5):598-610.

(38) Urzúa A, Mercado G. La Evaluación de la Calidad de Vida de los y las Adolescentes a través del Kiddo - Kindl. Ter Psicol. 2008 -07;26(1):133-141.

(39) Cazorla GJJ, Cornellà CJ. Las posibilidades de la fisioterapia en el tratamiento multidisciplinar del autismo. Rev Pediatr Aten Primaria. 2014 -03;16(61):37-46.

(40) <https://vandal.elespanol.com/juegos/ps4/beat-saber/56731>. Accessed Apr 4, 2024.

(41) <https://vandal.elespanol.com/juegos/pc/the-climb/35107>. Accessed Apr 4, 2024.

(42) <https://mundo-virtual.com/gafas-realidad-virtual/oculus-rift/#tecnicos>. Accessed Apr 4, 2024.

## 8. Anexos

### Anexo I. Búsquedas seleccionadas de EBSCO

Términos libres:

| Número de ID de búsqueda    | Términos de la búsqueda                                                                                                                                                            | Opciones de búsqueda                                                              | Acciones                                                                                              |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> S8 |  Motor Skills OR Motor Skills Disorders                                                           | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase | <a href="#">Ver resultados</a> (141,261)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>   |
| <input type="checkbox"/> S7 |  Core Stability OR Postural Balance                                                               | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase | <a href="#">Ver resultados</a> (71,556)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>    |
| <input type="checkbox"/> S6 |  Play Therapy OR ( Play and Playthings )                                                          | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase | <a href="#">Ver resultados</a> (38,948)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>    |
| <input type="checkbox"/> S5 |  Physical Therapy Specialty OR Physical Therapy Modalities                                        | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase | <a href="#">Ver resultados</a> (102,701)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>   |
| <input type="checkbox"/> S4 |  Exercise Therapy                                                                                 | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase | <a href="#">Ver resultados</a> (108,459)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>   |
| <input type="checkbox"/> S3 |  Virtual Reality OR Virtual Reality Exposure Therapy OR Exergaming                                | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase | <a href="#">Ver resultados</a> (95,931)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>    |
| <input type="checkbox"/> S2 |  Autistic Disorder OR Autism Spectrum Disorder                                                    | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase | <a href="#">Ver resultados</a> (180,428)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>   |
| <input type="checkbox"/> S1 |  Child OR Child Behavior Disorders OR Child Development Disorders, Pervasive OR Child Development | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase | <a href="#">Ver resultados</a> (6,757,845)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a> |

### Búsquedas

|                              |                                                                                                                    |                                                                                                                                            |                                                                                                |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> S10 |  S1 AND S2 AND S3 AND S5        | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase                                                          | <a href="#">Ver resultados</a> (1)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>  |
| <input type="checkbox"/> S9  |  S1 AND S2 AND S4 AND S5        | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase                                                          | <a href="#">Ver resultados</a> (5)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>  |
| <input type="checkbox"/> S15 |  S3 AND S5 AND S7 AND S8        | Limitadores - Fecha de publicación: 20130101-20231231<br>Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase | <a href="#">Ver resultados</a> (14)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a> |
| <input type="checkbox"/> S14 |  S3 AND S5 AND S7 AND S8        | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase                                                          | <a href="#">Ver resultados</a> (19)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a> |
| <input type="checkbox"/> S13 |  S1 AND S2 AND S6 AND S7 AND S8 | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase                                                          | <a href="#">Ver resultados</a> (4)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>  |
| <input type="checkbox"/> S12 |  S1 AND S2 AND S7 AND S8        | Limitadores - Fecha de publicación: 20180101-20231231<br>Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase | <a href="#">Ver resultados</a> (50)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a> |
| <input type="checkbox"/> S11 |  S1 AND S2 AND S7 AND S8        | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase                                                          | <a href="#">Ver resultados</a> (80)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a> |

|                          |     |                                                                                                                  |                                                                                                                                            |                                                                                                 |
|--------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | S20 |  S1 AND S2 AND S3 AND S8        | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase                                                          | <a href="#">Ver resultados</a> (35)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>  |
| <input type="checkbox"/> | S19 |  S1 AND S2 AND S3 AND S7        | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase                                                          | <a href="#">Ver resultados</a> (5)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>   |
| <input type="checkbox"/> | S18 |  S1 AND S2 AND S4               | Limitadores - Fecha de publicación: 20180101-20231231<br>Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase | <a href="#">Ver resultados</a> (78)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>  |
| <input type="checkbox"/> | S17 |  S1 AND S2 AND S4               | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase                                                          | <a href="#">Ver resultados</a> (130)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a> |
| <input type="checkbox"/> | S16 |  S1 AND S2 AND S3 AND S4        | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase                                                          | <a href="#">Ver resultados</a> (4)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>   |
| <input type="checkbox"/> | S25 |  S1 AND S2 AND S5               | Limitadores - Fecha de publicación: 20180101-20231231<br>Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase | <a href="#">Ver resultados</a> (46)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>  |
| <input type="checkbox"/> | S24 |  S1 AND S2 AND S5               | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase                                                          | <a href="#">Ver resultados</a> (91)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>  |
| <input type="checkbox"/> | S23 |  S1 AND S2 AND S3 AND S6        | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase                                                          | <a href="#">Ver resultados</a> (8)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>   |
| <input type="checkbox"/> | S22 |  S1 AND S2 AND S3 AND S7 AND S8 | Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase                                                          | <a href="#">Ver resultados</a> (4)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>   |
| <input type="checkbox"/> | S21 |  S1 AND S2 AND S3 AND S8        | Limitadores - Fecha de publicación: 20180101-20231231<br>Ampliadores - Aplicar materias equivalentes<br>Modos de búsqueda - Booleano/Frase | <a href="#">Ver resultados</a> (27)   <a href="#">Ver detalles</a>   <a href="#">Modificar</a>  |

## **Anexo II. Solicitud al Comité de Ética de Investigación Clínica**

Dña. Elena Nieto Hernández en calidad de investigador principal con domicilio social en X.

### **EXPONE:**

Que desea llevar a cabo el estudio "Inclusión de ejercicio terapéutico con realidad virtual en tratamiento de fisioterapia en niños con trastorno del espectro autista". Que será realizado en la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios por Elena Nieto Hernández.

Que el estudio se realizará tal y como se ha planteado, respetando la normativa legal aplicable para los ensayos clínicos que se realicen en España y siguiendo las normas éticas internacionalmente aceptadas (Helsinki última revisión).

### **Por lo expuesto, SOLICITA:**

Le sea autorizada la realización de este ensayo cuyas características son las que se indican en la hoja de resumen del ensayo y en el protocolo.

Para lo cual se adjunta la siguiente documentación:

- 4 copias del protocolo de ensayo clínico.
- 3 copias del Manual del Investigador.
- 3 copias de los documentos referentes al consentimiento informado, incluyendo la hoja de información para el sujeto de ensayo.
- 3 copias de la Póliza de Responsabilidad Civil.
- 3 copias de los documentos sobre la idoneidad de las instalaciones.
- 3 copias de los documentos sobre la idoneidad del investigador principal y sus colaboradores.
- Propuesta de compensación económica para los sujetos, el centro y los investigadores.

Firmado:

El promotor,

Dña. Elena Nieto Hernández.

En Madrid a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de 2024.

### **Anexo III. Hoja de información al paciente y a los padres/tutores legales**

El estudio del que va a formar parte ha sido aprobado por el Comité de Ética de Investigación Clínica (CEIC) del Hospital Universitario 12 de Octubre. Se realizará de acuerdo a la legislación vigente y está basado en las normas de buenas prácticas clínica y en los principios de la declaración de Helsinki.

Según la Ley General de Sanidad y la Ley 41/2002, usted tiene derecho a conocer el procedimiento al que va a ser sometido el menor como participante en este estudio y las complicaciones más frecuentes que puedan ocurrir.

Asimismo, es imprescindible que sea comprendida dicha información y respondidas las posibles cuestiones a cerca del estudio. Con la firma del presente documento ratifica que se le ha informado de todos los riesgos que tiene la terapia a utilizar y que ha consultado todas las dudas que se le planteen y ha podido resolver las cuestiones planteadas sobre la sistemática de evaluación y riesgos que esta posee. Recalcando la libertad para poder abandonar el estudio en cualquier instancia del mismo, presentando la hoja de renuncia.

Le recordamos que, por imperativo legal, tendrá que firmar el padre, la madre o el tutor legal del menor, el consentimiento informado para que podamos realizarle dicho procedimiento.

Según la Ley Orgánica de Protección de Datos y Garantía de los Derechos Digitales 3/2018, los datos serán anonimizados y protegidos y utilizados exclusivamente para esta investigación. Para mantener el anonimato, se les será asignados un código de identificación. Toda la información recogida previamente al estudio será archivada en la base de datos.

Título del proyecto: "Inclusión de ejercicio terapéutico con realidad virtual en tratamiento de fisioterapia en niños con trastorno del espectro autista".

El investigador principal es Elena Nieto Hernández, Fisioterapeuta graduada en la Universidad Pontificia Comillas. El proyecto se realizará en la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios.

#### Descripción del estudio:

El objetivo del estudio es analizar la incorporación en el tratamiento habitual de un plan de ejercicio terapéutico mediante realidad virtual frente al tratamiento habitual de fisioterapia en niños con TEA. Los pacientes se dividirán en dos grupos: el control recibirá el tratamiento habitual de fisioterapia, y el experimental recibirá, además del tratamiento habitual, un plan de ejercicio terapéutico a través de RV.

Los criterios de inclusión son: niños diagnosticados de TEA de entre 5 y 12 años y que formen parte del Hospital Universitario 12 de Octubre. Los criterios de exclusión son: niños que presenten otras patologías neuromusculoesqueléticas (aparte del TEA), que consuman fármacos que alteren aspectos psicopatológicos y niños que no tengan comprensión lingüística.

El estudio durará 12 semanas y las mediciones de las variables (desarrollo motor y calidad de vida) se realizarán una semana antes de empezar el tratamiento y una semana después de acabarlo.

#### Posibles riesgos y contraindicaciones:

Al tratarse de métodos no invasivos, la aparición de riesgos disminuye considerablemente. Pero si durante el estudio el sujeto presentase algún tipo de dolor, molestia, sensación, reacción asociada o circunstancia que se alejase de la normalidad de la cual le ha sido informada previamente por el profesional correspondiente, tendrá que avisarnos de inmediato.

Contacto del investigador:

TELÉFONO: \_\_\_\_\_

CORREO ELECTRÓNICO: \_\_\_\_\_

#### **Anexo IV. Consentimiento informado**

Dña. Elena Nieto Hernández con DNI \_\_\_\_\_, Fisioterapeuta e investigador de la Universidad Pontificia Comillas en la Escuela de Enfermería y Fisioterapia “San Juan de Dios” declaro haber facilitado a los padres/tutor legal del sujeto, toda la información necesaria para la realización de los procedimientos explicitados en el presente documento y declaro haber confirmado, inmediatamente antes de la explicación de los mismos, que el sujeto no incurre en ninguno de los casos contraindicados relacionados anteriormente, así como haber tomado todas las precauciones necesarias para que la aplicación de los procedimientos sea correcta.

Firmado:

En Madrid a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de \_\_\_\_

#### **Declaración de consentimiento:**

D/Dña. \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_ en calidad de padre/madre o tutor legal del menor \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_ he leído la hoja de información que me ha entregado la fisioterapeuta e investigadora principal Elena Nieto Hernández. Se me ha informado sobre la terapia que se va a realizar, y ha sido explicada en cuanto al consentimiento informado la importancia de la firma que este documento posee. He tenido la oportunidad de hacer preguntas sobre los procedimientos e intervenciones del estudio. Entiendo que tengo el derecho de revocar este documento en cualquier momento.

Por lo cual, decido, dar mi conformidad, libre, voluntaria y consciente a los procedimientos que se me han informado.

Firmado:

En Madrid a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de \_\_\_\_

## **Anexo V. Hoja de renuncia a la participación**

Tiene derecho a retirar su consentimiento en cualquier momento previo a la realización de los procedimientos o durante ellos por medio de esta hoja.

Yo D/Dña. \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_ en calidad de padre/madre o tutor legal del menor \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_ revoco el consentimiento informado para la participación del sujeto en el estudio "Inclusión de ejercicio terapéutico con realidad virtual en tratamiento de fisioterapia en niños con trastorno del espectro autista" en virtud de mi propio derecho. Para que conste y haga efecto, firmo el presente documento:

Firmado:

En Madrid a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de \_\_\_\_

## **Anexo VI. Hoja de recogida de datos del paciente**

### **DATOS PARTICIPANTES DEL ESTUDIO**

Los próximos datos recopilados se guardarán de forma confidencial, NO quedará reflejado ninguna de esta información de manera pública ni a lo largo del trabajo de investigación, asignando a cada uno de los participantes un código de identificación. Los datos serán custodiados por los investigadores que forman el equipo de estudio.

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

Fecha de nacimiento: \_\_\_\_\_

Nacionalidad: \_\_\_\_\_

Sexo: Mujer / Hombre

DNI/Pasaporte: \_\_\_\_\_

Correo electrónico: \_\_\_\_\_

Dirección domiciliaria: \_\_\_\_\_

Localidad: \_\_\_\_\_ Provincia: \_\_\_\_\_ Código postal: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Código de identificación para la investigación:

Grupo: CONTROL / EXPERIMENTAL

## Anexo VII. Batería de pruebas MABC-2 (30)

### Destreza Manual

| Pruebas aplicadas por rango de edad |                       |                        |                         |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| Pruebas                             | Rango 1<br>(4-6 años) | Rango 2<br>(7-10 años) | Rango 3<br>(11-16 años) |
| Introducir monedas                  | ✓                     |                        |                         |
| Enhebrar cuentas                    | ✓                     |                        |                         |
| Dibujar el trazado 1                | ✓                     |                        |                         |
| Insertar clavijas                   |                       | ✓                      |                         |
| Entrelazar el cordel                |                       | ✓                      |                         |
| Dibujar el trazado 2                |                       | ✓                      |                         |
| Voltear clavijas                    |                       |                        | ✓                       |
| Montar un triángulo                 |                       |                        | ✓                       |
| Dibujar el trazado 3                |                       |                        | ✓                       |

Figura 6. Pruebas destreza manual MABC-2 (30).

### Puntería y Atrape

| Pruebas aplicadas por rango de edad |                       |                        |                         |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| Pruebas                             | Rango 1<br>(4-6 años) | Rango 2<br>(7-10 años) | Rango 3<br>(11-16 años) |
| Atrapar el saquito                  | ✓                     |                        |                         |
| Lanzar el saquito a una diana       | ✓                     |                        |                         |
| Atrapar con dos manos               |                       | ✓                      |                         |
| Lanzar el saquito a una diana       |                       | ✓                      |                         |
| Atrapar la pelota con una mano      |                       |                        | ✓                       |
| Lanzar a una diana                  |                       |                        | ✓                       |

Figura 7. Pruebas puntería y atrape MABC-2 (30).

## Equilibrio

| Pruebas aplicadas por rango de edad |                       |                        |                         |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| Pruebas                             | Rango 1<br>(4-6 años) | Rango 2<br>(7-10 años) | Rango 3<br>(11-16 años) |
| Equilibrio sobre una pierna         | ✓                     |                        |                         |
| Andar de puntillas                  | ✓                     |                        |                         |
| Saltar sobre alfombrillas           | ✓                     |                        |                         |
| Equilibrio sobre un soporte         |                       | ✓                      |                         |
| Andar adelante talón-punta          |                       | ✓                      |                         |
| Saltar a la pata coja en línea      |                       | ✓                      |                         |
| Equilibrio sobre dos soportes       |                       |                        | ✓                       |
| Andar atrás talón-punta             |                       |                        | ✓                       |
| Saltar a la pata coja en zig-zag    |                       |                        | ✓                       |

Figura 8. Pruebas equilibrio MABC-2 (30).

Para la obtención de la puntuación cuantitativa, se valorarán las pruebas de la siguiente manera:

| Valoración cualitativa | Valoración cuantitativa |
|------------------------|-------------------------|
| Mala                   | 1                       |
| Regular                | 2                       |
| Buena                  | 3                       |
| Muy buena              | 4                       |

Tabla 13. Puntuaciones de las pruebas de MABC-2. Elaboración propia basada en referencia (30).

Al haber ocho pruebas a realizar para completar la batería MABC-2, la puntuación máxima del test es 32, y la mínima es 8 puntos (30).

## Anexo VIII. Cuestionario KINDL

| Dimensión Teórica   | Preguntas                                         |
|---------------------|---------------------------------------------------|
| Bienestar Físico    | Me he sentido enfermo                             |
|                     | Me ha dolido algo                                 |
|                     | He estado muy cansado/a o agotado                 |
|                     | He tenido mucha fuerza y energía                  |
|                     | Me he reído y divertido mucho                     |
|                     | Me he aburrido mucho                              |
|                     | Me he sentido solo/a                              |
| Bienestar Emocional | He sentido miedo o me he sentido inseguro/a       |
|                     | Me he sentido orgulloso/a de mí mismo/a           |
|                     | Me he gustado a mí mismo/a                        |
|                     | Me he sentido bien conmigo mismo/a                |
| Autoestima          | He tenido muchas buenas ideas                     |
|                     | Me he llevado bien con mis padres                 |
|                     | Me he sentido a gusto en casa                     |
|                     | Hemos tenido fuertes discusiones o peleas en casa |
| Familia             | Me he sentido agobiado por mis padres             |
|                     | He hecho cosas con mis amigos                     |
|                     | Les he caído bien a los demás                     |
| Amigos              | Me he llevado bien con mis amigos/as              |
|                     | Me he sentido diferente de los demás              |
|                     | He podido hacer bien las tareas escolares         |
|                     | Me han interesado las clases                      |
| Escuela             | Me ha preocupado mi futuro                        |
|                     | He tenido miedo de sacar malas notas              |

Figura 9. Cuestionario KINDL (38).

## **Anexo IX. Tratamiento habitual de fisioterapia**

El tratamiento habitual de fisioterapia se ha obtenido del artículo “Las posibilidades de la fisioterapia en el tratamiento multidisciplinar del autismo”. (39)

El tratamiento fisioterapéutico se realizará en una sala con juegos en la que habrá todo tipo de material lúdico (cojines de colores, colchonetas, trampolines, telas) y material terapéutico (cremas).

Las sesiones se dividirán en dos partes: masaje terapéutico y ejercicios. Los ejercicios son:

- Ejercicios de percepción táctil a través de estímulos (esponja, crema, peine, cepillo).
- Ejercicios de coordinación (gateo, reptar, subir escaleras).
- Ejercicios de propiocepción (a través de una estimulación).
- Ejercicios de equilibrio.
- Ejercicios de percepción vestibular (balanceos, columpio).
- Ejercicios de estimulación motriz.
- Ejercicios de estimulación visual.

Los objetivos propuestos desde esta intervención fisioterapéutica son:

- Disminuir contracturas producidas por la hipertonía.
- Recuperar la tonicidad perdida en caso de hipotonía.
- Aumentar la sensación propioceptiva de distintas partes del cuerpo.
- Disminuir las posturas dolorosas.
- Mejorar la marcha.
- Mejorar la coordinación entre extremidades.
- Aumentar el reconocimiento del esquema corporal.
- Mejorar el contacto visual y focalizar la atención (39).

## Anexo X. Videojuegos realidad virtual inmersiva: tratamiento grupo experimental

### Beat Saber: (40)

El juego es compatible con varios sistemas de realidad virtual, incluidos Oculus Rift, HTC Vive y PlayStation VR.

En *Beat Saber*, los jugadores utilizan controles de movimiento para empuñar dos "sables de luz", uno rojo y otro azul, con los que deben cortar bloques de colores que se acercan al ritmo de la música. Cada bloque está marcado con una flecha que indica la dirección en la que debe ser cortado. El juego combina música, ritmo y movimiento físico, desafiando a los jugadores a mantenerse al ritmo mientras cortan los bloques, esquivan obstáculos y se adaptan a los cambios de patrones.



Figura 10. Juego Beat Saber (40).

Una de las **mecánicas de juego** claves de *Beat Saber* es su enfoque en la precisión y el tiempo. Los jugadores ganan puntos por cortar los bloques de manera precisa y por mantener una racha de cortes exitosos, lo que incentiva tanto la precisión como la fluidez en el movimiento. El juego ofrece una variedad de canciones que varían en dificultad, desde niveles fáciles para principiantes hasta opciones extremadamente desafiantes que pondrán a prueba la habilidad y la resistencia de los jugadores más experimentados (40).



Figura 11. Juego Beat Saber (40).

### **The Climb:** (41)

El juego está diseñado específicamente para la plataforma **Oculus Rift**, aprovechando la tecnología de realidad virtual para ofrecer una experiencia de escalada inmersiva y realista.

Las **mecánicas de juego principales** giran en torno a la simulación de escalada, donde los jugadores deben agarrar salientes, calcular sus movimientos cuidadosamente y gestionar su resistencia para evitar caídas mortales. La realidad virtual añade un nivel de inmersión y tensión al juego, ya que los jugadores deben mirar a su alrededor, alcanzar físicamente con sus manos (controladores) y balancear su cuerpo para agarrar los puntos de agarre. Además, el juego incluye desafíos como rutas cronometradas y competiciones en línea, incentivando a los jugadores a mejorar sus habilidades y tiempos.



Figura 12. Juego The Climb (41).

Una **característica única** de *The Climb* es su impresionante representación visual y detallada de entornos naturales, que aprovecha al máximo el motor gráfico CryEngine. Esto, combinado con la experiencia de realidad virtual, hace que la escalada virtual sea sorprendentemente realista y, en ocasiones, vertiginosa. Los jugadores pueden experimentar la sensación de altura y profundidad, aumentando el nivel de adrenalina y la satisfacción al alcanzar la cima.

Cada entorno ofrece su propia historia implícita, desde la exploración de una antigua civilización en una selva tropical hasta la conquista de una montaña nevada en el Ártico, proporcionando una rica atmósfera y contexto para la aventura de escalada (41).

## Anexo XI. Gafas de realidad virtual Oculus Rift

La siguiente información se ha obtenido de la página web “Mundo Virtual” (42):

Oculus Rift son unas gafas de realidad virtual capaces de recrear imágenes en 3D y mostrar diferentes perspectivas en función de los movimientos de tu cabeza, por lo que ofrece un seguimiento personalizado a 360 grados y una experiencia muy intuitiva.

El nuevo diseño presenta unas gafas de realidad virtual con tiras ajustables para la cabeza, todo en color negro con una estética más cuidada y funcional que en los prototipos. El interior está forrado con tela resistente muy cómodo al tacto, además en esta versión el recubrimiento no deja ver los puntos de seguimiento que aparecían en los kits de desarrolladores ya que tapa estos puntos de luz infrarroja. Se ha mejorado el diseño para poder utilizarlo cómodamente si el usuario lleva gafas (algo que resultaba incomodo en las versiones anteriores) y se ha incorporado un dial para ajustar la separación que hay entre los ojos, consiguiendo que se adapte a las diferentes fisionomías de los usuarios.



*Figura 13. Gafas RV Oculus Rift (42).*

En cuanto a la parte puramente funcional, y lo que se verá a través de estas gafas de realidad virtual, se ha mejorado el movimiento 360° y su configuración previa, ahora los movimientos son más rápidos y fluidos. La segunda gran novedad es que incluye unos auriculares incorporados en el casco, aunque estos pueden ser reemplazados por el usuario si prefiere utilizar otros. Por último, se ha mejorado la resolución de la imagen: ahora el nuevo Rift ofrece una resolución de 2160×1200 píxeles y cuenta con un par de pantallas OLED que trabajan a 233 millones de píxeles por segundo y una tasa de refresco de 90 Hz. Rift ofrece una experiencia completa y enormemente inmersiva.

¿Que incluye el pack de Oculus Rift?:

En el pack de compra de Oculus Rift se incluyen los siguientes accesorios:

- Casco VR Oculus Rift con cables de alimentación, HDMI y USB para su funcionamiento.
- Sensores de movimiento. Rift viene con un sensor de IR que leerá los movimientos de los puntos de IR situados en el casco y en algunos de los accesorios. Tan solo con colocarlo justo en frente del usuario ya estará todo hecho y el sensor le reconocerá tanto de pie como sentado. El sensor se puede colocar sobre una mesa o puede adaptarse a la mayoría de trípodes por su diseño estándar.



*Figura 14. Sensor de IR (42).*

- Remote, mando a distancia para navegación en dispositivo. Es un pequeño mando con controles de home, back, select y regulador de volumen. Permitirá un control de nuestras actividades con Rift (navegación por menús, web, tienda Oculus, reproducción multimedia 360°...).



*Figura 15. Mando a distancia (control remoto) (42).*

- Auriculares incluidos en la estructura de las gafas, y gracias a la nueva tecnología HRTF de audio espacial 3D genera un sonido muchísimo más envolvente. Este sonido envolvente incrementa aún más la sensación de realidad que nos ofrece Rift.

Aspectos y características técnicas:

- Pantalla OLED 2160×1200 px.
- Tasa de refresco de 90 fps.
- Angulo de visión: 110°.
- Área de seguimiento: 1,5 x 3,3 m.
- Sensores de funcionamiento: Acelerómetro, giroscopio, magnetómetro y sistema posicional 360 grados.
- Peso: 470g

Para poder utilizar Oculus Rift necesitaremos en primer lugar un PC, con la condición de que éste no puede ser MAC, ya que, de momento, no son compatibles, porque las especificaciones que necesita Oculus Rift para su funcionamiento son bastante elevadas (procesador i5, gráfica de 970 GTX, etc.), que van más en la línea de los ordenadores orientados a gamers que el espectro general de consumidores para el que Apple trabaja.

Requisitos Oculus Rift:

Oculus ha facilitado ya los requisitos recomendados para disfrutar al máximo la experiencia VR en nuestro PC:

- Tarjeta gráfica: NVIDIA GTX 970 / AMD R9 290 equivalente o superior
- Procesador: Intel i5-4590 equivalente o superior
- Memoria: 8GB+ RAM
- Salida: Salida compatible HDMI 1.3
- Entrada: 3 puertos USB 3.0 más 1 puerto USB 2.0
- Sistema operativo: Windows 7 SP1 64 bit o superior

Controladores y mandos para Oculus Rift:

Oculus Rift tendrá diferentes controladores para disfrutar de las experiencias VR. En primer lugar tenemos **Oculus Touch** que son los mandos específicos de Oculus Rift y están destinados a una experiencia de realidad virtual más completa e intuitiva. Este mando se caracteriza por ser **fácil de coger y utilizar** pese a tener los ojos tapados, los **gatillos incluidos** en él hacen que manejarlo sea muy intuitivo, esto lo convierte en la mejor opción de mando para Oculus VR. Se atan a la muñeca con una correa, de forma similar que un mando de Wii, y son los controladores más avanzados que hay para este tipo de dispositivos.

El mando dispone en la parte superior de un stick analógico con el que además se puede clicar y un par de botones (A y B) que se manejan con el pulgar, también dispone de un gatillo que manejaremos con el dedo índice y un botón en el lateral para los restantes 3 dedos. La combinación de estos botones y gatillos permite realizar fácilmente un montón de acciones como agarrar objetos, disparar, seleccionar, etc.



*Figura 16. Mandos Oculus Rift (42).*



*Figura 17. Mandos Oculus Rift (42).*