

Creación de un entorno de realidad virtual inmersiva para la comunicación e interacción social: estudio piloto en alumnado con trastorno del espectro autista

Creation of an immersive virtual reality environment for communication and social interaction: a pilot study in students with autism spectrum disorders.

Gonzalo Lorenzo Lledó
Universidad de Alicante. Alicante, España
glledo@ua.es

Alejandro Lorenzo-Lledó
Universidad de Alicante. Alicante, España
alejandro.lorenzo@ua.es

Asunción Lledó Carreres
Universidad de Alicante. Alicante, España
asuncion.lledo@ua.es

Elena Pérez-Vázquez
Universidad de Alicante. Alicante, España
elena.pv@ua.es

Resumen

En la actualidad, la tecnología ocupa un lugar preminente en los diferentes ámbitos sociales. En el mundo educativo, la realidad virtual puede contribuir a dar respuesta a la diversidad de alumnado presente en las aulas. En esta línea, el objetivo del presente estudio es explorar la aplicación de la realidad virtual inmersiva para favorecer la comunicación e interacción social en alumnado con TEA. Para ello, se ha diseñado el entorno de realidad virtual inmersiva (RVI) de una clase, en el cual se presentan diferentes situaciones de aprendizaje a los usuarios. La muestra la conformaron tres participantes, con los cuales se desarrolló un estudio piloto con actividades de comunicación e interacción social con la maestra y el robot NAO virtuales. Para la recogida de datos se utilizaron las gafas de RVI y se diseñó *ad hoc* un cuestionario, que fue cumplimentado por un observador. Los resultados reflejan la captación de la atención del alumnado hacía los elementos que conforman el entorno de RVI. Asimismo, se ha constatado una buena aceptación del dispositivo de RVI y unas interacciones satisfactorias. A modo de conclusión, cabe afirmar que el entorno de RVI ha proporcionado un realismo y unas posibilidades notables de interacción.

Palabras clave: realidad virtual inmersiva, trastorno del espectro autista, atención, comunicación e interacción social, aceptación.

Abstract

Today, technology plays an essential role in different social spheres. In the educational world, virtual reality can contribute to respond to the diversity of students present in the classroom. In this line, the aim of this study is to explore the application of immersive virtual reality to promote communication and social interaction in students with ASD. For this purpose, an immersive virtual reality (IVR) classroom environment was designed, in which different learning situations were presented to the users. The sample consisted of three participants, with whom a pilot study was developed with communication and social interaction activities with the virtual teacher and the virtual NAO robot. The IVR glasses were used for

data collection and a questionnaire was designed ad hoc and completed by an observer. The results show that the students' attention was attracted to the elements that make up the IVR environment. Likewise, a good acceptance of the IVR device and satisfactory interactions have been observed. In conclusion, it can be stated that the IVR environment has provided realism and remarkable possibilities for interaction.

Key words: immersive virtual reality, autism spectrum disorder, attention, communication and social interaction, acceptance.

1.-Introducción

En las aulas de los centros escolares existe cada vez más una diversidad de alumnado que manifiesta necesidades específicas de apoyo educativo (NEAE) en los procesos de aprendizaje y para los cuáles el profesorado debe dar respuesta. Los Trastornos del Espectro Autista (TEA) son una de las NEAE cuyo diagnóstico ha aumentado más en los últimos años (Aresti-Bartolomé y García-Zapirain, 2014). A nivel mundial se ha estimado que uno de cada 44 niños de 8 años tenía TEA (CDC, 2021). En España la prevalencia del TEA es del 1.5% de la población infantil (Morales-Hidalgo *et al.*, 2021). Este aumento podría ser consecuencia de la mayor conciencia y reconocimiento del diagnóstico del TEA (Schieve *et al.*, 2011). Una de las principales características que presentan los alumnos con TEA es la resistencia al cambio (Wheelwright y Baron-Cohen, 2011). Esto es consecuencia de las dificultades que tienen ante sistemas que presentan una gran variabilidad, como pueden ser las situaciones sociales o la comprensión de la mente de la persona con la que hablan (Herrero y Lorenzo, 2020). Además, el alumnado con TEA manifiesta problemas para entender la comunicación no verbal en los entornos sociales (Watkins *et al.*, 2017). En esta línea, se ha podido constatar que los estudiantes con TEA realizan mejor las actividades que vienen acompañadas de una información visual, frente a las que priman la información auditiva (Quill, 1997).

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) han permitido que el diagnóstico de los alumnos con TEA sea más efectivo y consistente (Matsuda *et al.*, 2017). Además, se han convertido en una herramienta de apoyo para la intervención y la educación de estos alumnos, de manera que se ha generado una mejora en la calidad de vida de estas personas (Grynszpan *et al.*, 2014). Específicamente, las TIC pueden mejorar la atención y reducir la frustración causada por cometer errores (Ingersoll y Wainer, 2013). Asimismo, las TIC hacen posible el desarrollo del autocontrol y el trabajo autónomo (Pérez-Vázquez *et al.*, 2020). Las TIC son altamente motivadoras y permiten un refuerzo positivo cuando el alumno realiza la actividad correctamente (Takeo *et al.*, 2007). De igual modo, las TIC van a permitir que la intervención en los alumnos con TEA se base en la individualización, potenciando el desarrollo en todas las áreas de la vida cotidiana y secuenciando las actividades en función de su dificultad y la edad del alumno (Mesibov y Shea 2010). Entre las TIC que mayor difusión están teniendo en los últimos años, se encuentra la realidad virtual (RV) (McGill *et al.*, 2016). Esta se define como una experiencia simulada que imita algunas de las características del mundo real o a su totalidad (Cavusoglu *et al.*, 2019). Su gran difusión se debe en gran medida a las experiencias de realidad virtual inmersiva (RVI), con renderizado de alta calidad, que consiguen crear un gran realismo, y a diversos periféricos, que permiten la libertad de movimiento, como los dispositivos Head Mounted Display (HMD) (Parong *et al.*, 2020).

Los HMD son dispositivos portátiles con una pantalla en cada uno de los ojos del usuario, que va a permitir ver el mundo virtual en estereovisión, es decir, en 3D (Mascret *et al.*, 2022). En este sentido, los HMD hacen posible que los usuarios perciban experiencias más inmersivas debido a que utilizan técnicas de renderización de imágenes de alta calidad (Parong *et al.*, 2020). Además, esta herramienta permite la libertad de movimiento del usuario en su interacción con el entorno, ya que dispone de cámaras insertadas en el hardware para determinar la posición del participante de manera que la escena se actualiza en tiempo real (Monica y Aleotti, 2022).

El estudio desarrollado forma parte del Proyecto del Ministerio de Ciencia e Innovación de España, con referencia PID2020-112611RB-I00, y título “La aplicación de la realidad virtual y la robótica en la comunicación e interacción social de alumnado con trastorno del espectro autista”. Como paso previo a la intervención en los centros educativos, se ha llevado a cabo un estudio piloto para poder detectar los posibles fallos o problemas en el entorno diseñado. Los estudios piloto son útiles para probar la eficacia de los instrumentos que se utilizarán en el estudio principal y estimar aquellos parámetros que se usarán para análisis posteriores (Díaz-Muñoz, 2020). Se escogieron participantes que tuvieran características diversas para testear el sistema ante diferentes casos y comprobar que las actividades pueden ser realizadas por un espectro lo más amplio posible. Además, cabe indicar que esta investigación forma parte del primer bloque del proyecto, donde el usuario trabaja las habilidades sociales en entornos de RVI. Tras esta intervención, en el segundo bloque, se pasará a utilizar la robótica para evitar los posibles problemas de generalización en entornos reales. La investigación desarrollada se enmarca en el ámbito de la creación de espacios de trabajo tridimensionales o virtuales enfocados a la educación, es decir, en el campo de la realidad virtual y el aprendizaje, pues, se aborda una experiencia de aprendizaje en la que se utiliza la RVI, llevando a cabo un control y análisis de algunas variables que pueden determinar la efectividad del recurso, como la atención, la aceptación del dispositivo tecnológico y la comunicación e interacción social con los elementos virtuales. Por lo tanto, se trata de aportar conocimiento sobre la aplicación de la realidad virtual para el desarrollo de aprendizajes, partiendo de la creación de un entorno de RVI.

A partir de lo expuesto, el presente estudio tiene como objetivo explorar la aplicación de la realidad virtual inmersiva para favorecer la comunicación e interacción social en alumnado con TEA. Del mencionado propósito, se derivan las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿En qué elementos del entorno de realidad virtual inmersiva fija su atención el alumnado con TEA?
2. ¿El alumnado con TEA manifiesta aceptación en el uso del dispositivo de realidad virtual inmersiva?
3. ¿La realidad virtual inmersiva ha generado en el alumnado con TEA signos de comunicación e interacción social?

2.- Fundamentación teórica

2.1.- Características del alumnado con Trastornos del Espectro Autista

El TEA es un trastorno neurológico de la comunicación y las interacciones sociales, incluyendo comportamientos restrictivos y estereotipados (APA, 2013). En este sentido, el alumnado con TEA se ve afectado en la forma que se relaciona con el entorno a través de la percepción, la comunicación y la interacción (Newbutt *et al.*, 2020). Este alumnado tiene predilección por las rutinas de la vida diaria, pero muestran problemas con los sistemas de procesamiento de la información (Horwitz *et al.*, 2020). Además, tienen dificultades para el reconocimiento de las señales verbales y no verbales que se producen durante los procesos de interacción social, lo que provoca que no den la respuesta social adecuada para el contexto en el que están (Lee *et al.*, 2018). De esta manera, presentan problemas en el reconocimiento de las emociones que se expresan en un contexto (Fletcher-Watson y Bird, 2020).

Las dificultades del alumnado con TEA también se manifiestan en mayor o menor medida en la generalización de sus comportamientos a diferentes contextos (Hyman *et al.*, 2020). Existen aspectos relacionados con el contexto que pueden dificultar la generalización. En este sentido, un cambio mínimo en las condiciones específicas que provocan la respuesta específica del alumno puede dar lugar a la ausencia de generalización (Brown y Bebko, 2012). Así, estos autores sostienen que, si los niños asocian la respuesta aprendida sólo con los materiales originales en lugar de con condiciones ambientales más amplias o materiales similares, se puede originar una dificultad en la generalización. No obstante, cabe destacar que la respuesta desarrollada por el alumnado con TEA es diversa en función sus características específicas. De este modo, aquellos alumnos con TEA que presentan un mejor vocabulario receptivo, razonamiento verbal y habilidades de razonamiento analógico desarrollan una mejor generalización de las habilidades aprendidas en diferentes contextos (De Marchena *et al.*, 2015). Asimismo, aquellos estudiantes con TEA que manifiesten hiperselectividad de estímulos podrían inhibir la generalización en función del grado de atención que presten a estímulos irrelevantes y la frecuencia de aparición de detalles intrascendentes (Lovaas *et al.*, 1979). Por su parte, los estudiantes que han recibido una intervención en edades más tempranas presentan una mejor generalización de habilidades (Zwaigenbaum *et al.*, 2015). Además, aquellos estudiantes que tienen un nivel más alto de juego simbólico y social desarrollan una alta generalización de las habilidades adquiridas (Wolfberg, 2015).

No obstante, cabe destacar los dos rasgos fundamentales de este alumnado, que son el eje principal de los diseños de actividades para la mejora de sus habilidades. Por un lado, el alumnado con TEA se caracteriza por ser grandes aprendices visuales y utilizar un razonamiento lógico de pensamiento (Lorenzo *et al.*, 2016). Por otro lado, expresan un talento especial para desarrollar tareas sistematizadas (Baron-Cohen, 2006).

2.2.- La realidad virtual y el diseño de entornos inmersivos

Teniendo presente las características del alumnado con TEA, la aplicación de la tecnología como recurso de apoyo ha recibido una atención notable, ya que por sus

características y posibilidades se adapta a las necesidades de este alumnado, destacándose la realidad virtual (Grynszpan *et al.*, 2014). La realidad virtual es un sistema de simulación de la realidad, construido mediante la combinación de sistemas de hardware y software (Biocca y Delaney, 1995). Los mundos virtuales tienen como objetivo promover la percepción de presencia, telepresencia e inmersión de los usuarios (Miller y Bugnariu 2016). En este sentido, Gibson (2014) indica que la RV facilita la interacción al proporcionar información visual, auditiva y táctil, que es percibida por los participantes, que se pueden mover continuamente dentro de un entorno global e interactivo. En función del nivel de inmersión proporcionado por el equipo, existe la RVI y la realidad virtual no inmersiva o de escritorio (Radianti *et al.*, 2020). Por un lado, en la RVI los usuarios están sumergidos en un entorno virtual donde las diferentes formas de interacción guardan muchas similitudes con los entornos reales (Luo y Du, 2022). Además, se produce una actualización del punto de vista del usuario en tiempo real en función de su posición en el entorno tridimensional (Lorenzo *et al.*, 2016). Asimismo, la percepción de estar presente en el entorno es muy elevada, debido a su gran realismo (Wallace *et al.*, 2016). Existen diversos dispositivos de RVI, como los Head Mounted Display y los entornos virtuales automáticos de Cueva (Newbutt *et al.*, 2020; Lorenzo *et al.*, 2016). Por otro lado, la realidad virtual no inmersiva o de escritorio se caracteriza por la interacción a través de la pantalla de un ordenador personal y de aplicaciones informativas similares, con las que se puede iniciar una comunicación utilizando dispositivos comunes, como un teclado y un ratón (Lee y Wong, 2014).

Para el diseño de los entornos virtuales inmersivos resulta necesario trabajar sobre diferentes elementos. Carreño-León *et al.*, (2019) señalan que el primer aspecto para tener en cuenta es la facilidad con la que el usuario puede interactuar con el software. Así, si el software es difícil de utilizar el usuario se equivocará y no podrá conseguir los objetivos. Otros aspectos para considerar son las necesidades del usuario, la tarea a completar y las características del entorno. Como elemento final en el diseño de entornos de RVI es relevante la creación y análisis de los escenarios a partir de las necesidades del usuario y del tipo de tarea que se desea crear (Carreño-León *et al.*, 2019). Por su parte, Pressman (2010) considera relevante, en primer lugar, facilitar la interacción a medida que aumenta la habilidad y permitir la personalización. De esta manera, se debe proporcionar un amplio margen de control al usuario. También se podría llevar a cabo una interacción directa con los objetos del entorno de RVI sin utilizar ningún tipo de dispositivo. En segundo lugar, se debe conseguir que de un modo progresivo se vaya revelando la información, evitando que el usuario memorice las actividades a realizar y no las entienda. En tercer lugar, cabe realizar una correcta organización de la información que aparece en las distintas pantallas, de manera que se obtenga una interfaz consistente. Estas son condiciones que resulta adecuado cumplir para el diseño de entornos de RVI que sean adaptables a las necesidades del alumnado con TEA.

2.3.- Aportaciones de la realidad virtual al alumnado con TEA y la combinación con la robótica

Son numerosas las mejoras que puede proporcionar la realidad virtual al aprendizaje del alumnado con TEA que justifican su utilización. Schmidt *et al.*, (2021) constataron que los alumnos con TEA encuentran esta tecnología aceptable, atractiva y altamente motivadora. La RV permite la creación de espacios seguros e individualizados que

posibilitan un control preciso sobre los diferentes estímulos y ensayar situaciones en función del contexto de manera repetitiva, asociando una habilidad a una determinada situación (Bradley y Newbutt, 2018; Parsons y Cobb, 2011; Strickland, 1997). En esta línea, la RV ofrece experiencias que no se puede desarrollar mediante los métodos típicos de enseñanza, como el texto (instrucciones escritas) o los videos (Bailenson *et al.*, 2008). Asimismo, suministra información en tiempo real sobre cómo responde, interpreta e interactúa el usuario con el mundo que le rodea (Lorenzo *et al.*, 2016). Otra de las aportaciones de la RV es permitir al usuario desarrollar situaciones que serían peligrosas, imposibles o muy costosas de implementar si se llevaran a cabo en el mundo real (Bailenson, 2018). Bailenson (2018) afirma que la RVI tiene como ventaja que el usuario se sienta más inmerso dentro del mundo virtual, lo que da lugar a una mejor conexión entre los contextos de formación y el mundo real. Además, cabe mencionar su facilidad de uso y bajo coste (Glaser *et al.*, 2022). Así, la transferencia de los aprendizajes de los entornos virtuales a los entornos reales suele resultar eficaz (Parsons, 2016).

Con la finalidad potenciar la atención y la interacción del alumnado con TEA en el entorno de RVI, se puede plantear la incorporación de un robot como elemento de apoyo y asistencia en las interacciones sociales. Esto se conoce como robótica social (Feil-Seifer y Mataric 2005). Son diversas las razones que fundamentan la utilización de la robótica social en el alumnado con TEA. Diehl *et al.*, (2012) exponen que estos estudiantes tienen mucha afinidad con los robots, proporcionándoles un gran nivel de motivación en las actividades. Asimismo, los niños al interactuar con un robot se sienten menos ansiosos debido a que sus comportamientos son sencillos y predecibles (Boucenna *et al.*, 2014). En la misma línea, Kim *et al.*, (2013) han constatado que los estudiantes con TEA desarrollan la interacción social y mayores niveles de atención hacia los adultos con la presencia de un robot. Por lo tanto, resulta oportuno combinar un entorno predecible y controlado, como es la RVI, con un mediador social, el robot, por el que el alumnado con TEA siente afinidad y que potencia sus habilidades de interacción social. De este modo, al finalizar las actividades de RVI, la robótica en entornos reales puede ser el elemento que contribuya a solucionar los problemas de generalización, que, según Lorenzo *et al.*, (2016) presenta la realidad virtual.

2.4.- Investigaciones previas sobre la aplicación de la realidad virtual en alumnado con TEA

La mayor disponibilidad y asequibilidad de los dispositivos HDM está contribuyendo a un crecimiento de las investigaciones sobre la aplicación de la RVI en alumnado con TEA (Bradley y Newbutt, 2018). En este sentido, una de las líneas de investigación desarrolladas es la referida a la aceptación de los sistemas de RVI por parte del alumnado con TEA. La aceptación de la RVI cabe entenderla como el esfuerzo mental y la actitud que presenta el usuario ante el sistema, además de su posible implantación en entornos reales (Bevan *et al.*, 1991). Strickland (1996, 1997) analizó la aceptación que tenía el equipo de RVI en el alumnado con TEA y sus posibles efectos en el aprendizaje. Se constató que los usuarios estaban contentos de utilizar la RVI y no mostraban impedimentos en el manejo. De este modo, la RVI contribuía al desarrollo de los aprendizajes, generando una buena aceptación. Posteriormente, Bozgeyikli, *et al.*, (2017) han implementado los pasos que se deben seguir para el diseño de un sistema de RVI para

los estudiantes con TEA. Los resultados también mostraron una buena aceptación por parte de los alumnos con TEA y el desarrollo de las habilidades entrenadas, que fueron la gestión del dinero, la organización de una estantería, la conciencia medioambiental, las habilidades sociales y la carga de un camión. Además, se constató que el sistema puede ser una herramienta eficaz para descubrir rápidamente las características y habilidades de un participante y adaptarse a ellas. Asimismo, Bozgeyikli, *et al.*, (2018) exploraron, a través de un sistema de RVI, los efectos en el alumnado con TEA de diversos atributos de las interfaces de usuario para la aceptación de este instrumento, como la fidelidad visual que guarda el entorno virtual con respecto al real, los métodos de instrucción, el zoom de la vista, el desorden y el movimiento. Se llegó a la conclusión que es más conveniente utilizar instrucciones animadas, evitar las instrucciones verbales, utilizar una baja fidelidad visual y un zoom de vista normal, y no utilizar desorden, ni movimiento.

En investigaciones más recientes, Schmidt *et al.*, (2021) tuvieron como objetivo diseñar un sistema de RVI basado en video esférico, implementándolo y evaluándolo en alumnado con TEA con una edad cognitiva de 4 años a 18 años. Durante el proceso de diseño, los autores pidieron a expertos en la temática utilizar el entorno para realizar una serie de tareas. A continuación, en una entrevista se les pidió responder a una serie de preguntas, y, por último, completaron la Escala de Usabilidad del Sistema (EUS, Bangor *et al.*, 2008). La usabilidad se corresponde con los atributos ergonómicos que presenta el producto, es decir, su eficiencia, lo seguro que es trabajar con él y las dificultades que plantea su uso (Bevan *et al.*, 1991). El objetivo era poder incorporar mejoras a la aplicación. Posteriormente, el alumnado con TEA debía realizar una serie de actividades. Al finalizar también debían responder a la Escala de Usabilidad del Sistema (EUS, Bangor *et al.*, 2008) y a una entrevista. A través de estos instrumentos, los participantes expresaron su aceptación del sistema, teniendo presente su experiencia en la usabilidad. Entre los resultados destacables, se comprobó que los usuarios entendieron y asimilaron el funcionamiento del sistema de RVI en un periodo de tiempo relativamente corto. Asimismo, el diseño de la interfaz no resultó ni molesto, ni complejo. Por su parte, Schmidt y Glaser (2021) han planteado el diseño de un sistema de RVI para la mejora de las habilidades adaptativas en el uso del transporte público. La información recogida en las entrevistas puso de manifiesto que el sistema tenía una alta usabilidad, lo que dio lugar a una aceptación del sistema, pues, los usuarios aprendieron su funcionamiento en pocas sesiones.

Además de la aceptación de los entornos de RVI, también se han desarrollado investigaciones en áreas de interacción social, como el reconocimiento y la comprensión de las emociones a partir del método de juego de rol de perspectiva en tercera persona (Tsai *et al.*, 2021). El sistema creado por estos autores produjo mejoras en la capacidad para reconocer expresiones faciales propias y ajenas. De igual manera, el sistema permitió al usuario reconocer e interpretar el lenguaje corporal de su contraparte. Las actividades fueron desarrolladas en el aula ordinaria con el resto de los compañeros con la intervención de un terapeuta. Asimismo, Lorenzo *et al.*, (2016) se propusieron diseñar y aplicar un sistema de realidad virtual inmersiva para mejorar y entrenar las habilidades emocionales de alumnos con TEA. Una de las grandes novedades de esta investigación es el uso de un sistema de visión por ordenador para determinar automáticamente el estado emocional del niño de manera que el entorno de RVI pueda actualizar la situación

social según la emoción del niño. Los resultados reflejaron una mejora significativa en las competencias emocionales de los niños, en comparación con los resultados obtenidos hasta ahora utilizando sistemas de realidad virtual de escritorio. Asimismo, Lorenzo *et al.*, (2013) diseñó un sistema de RVI que permitió la mejora de las funciones ejecutivas y las habilidades sociales. Para ello, desarrollaron 32 tareas de apoyo sobre cómo desenvolverse en tareas escolares y diferentes situaciones sociales. A lo largo de estas actividades los usuarios recibieron instrucciones de cuales debían ser los pasos para seguir en los diferentes contextos. También diseñaron el protocolo PIAV, que analiza el comportamiento de los alumnos durante la realización de las tareas del protocolo TEVISA, utilizando para ello un sistema de cámaras y el sensor de la Kinect. Se trabajaron cinco bloques de variables: control de la coordinación corporal, control de la voz, control de ojos, control de atención y control de la empatía. Los resultados fueron favorables, poniendo de manifiesto el incremento de las funciones ejecutivas y sociales.

La atención del alumnado con TEA es otra área trabajada con la RVI. La atención se define como un proceso cognitivo complejo que implica e influye en la percepción, la memoria y la toma de decisiones para seleccionar aspectos de la información con los que interactuar (Vortmann, 2019). Ip *et al.*, (2017) comparó la recepción de estímulos en dos dimensiones (2D) mediante un monitor de ordenador y los estímulos recibidos por unas gafas de RVI. En ambos casos, los usuarios no trabajaban con entornos sociales, sino con los programas Bubble Poking y Ballon Poking. Los participantes realizaban una elevación del brazo para reventar los estímulos burbuja/globo tan pronto como llegaran a la línea negra de la pantalla. Se eligió un patrón de movimiento simple (elevación del brazo por encima de la cabeza) para minimizar posibles variables de confusión como la torpeza motora, la mala planificación motora y la resistencia física inadecuada. En cuanto al rendimiento visoespacial o atención, se empleó la tasa de precisión (la capacidad de reventar el estímulo objetivo) y el tiempo empleado (mseg). Los resultados pusieron de manifiesto un incremento en la atención a medida que se iban desarrollando las diferentes actividades de la intervención. Por su parte, Herrero y Lorenzo (2020) utilizaron un entorno de RVI diseñado en Unity, en el cual, si el usuario pasaba dos segundos mirando un avatar, se activaba el comportamiento asociado. A partir del uso de esta herramienta, Herrero y Lorenzo (2020) constataron al final de las sesiones desarrolladas que los usuarios prestaron atención a los diferentes tipos de avatares. Naranjo *et al.*, (2017) plantearon la creación de un entorno virtual inmersivo relacionado con un robot humano para mejorar la atención y la comunicación del niño con TEA. En este sentido, los movimientos que el usuario realizaba en el robot real se veían reflejados en el entorno virtual. En las tareas se planteó al usuario relacionar el objeto con diversas características como eran el nombre, el sonido y el color. El nivel de atención del usuario fue medido tomando como referencia parámetros como el número de objetos a manipular o la capacidad del usuario para reconocer un objeto y asociarlo con el nombre de este. Los hallazgos reflejaron que la RVI es una herramienta aceptada por el alumnado con TEA y que genera una mejora en la atención de los estudiantes para reconocer objetos.

Más recientemente, Shahab *et al.*, (2022) analizaron la viabilidad de llevar a cabo programas virtuales de educación musical con sistemas de evaluación automática para niños con TEA, midiendo diversas variables. En este sentido, se desarrollaron diversos entornos de RVI para mejorar la atención conjunta, la imitación y las habilidades sociales

y se comparó el pretest y el posttest de la cinemática de los usuarios a partir de las posiciones y orientaciones de estos a lo largo del desarrollo de las actividades. Las tareas estuvieron centradas en el desarrollo de diversas melodías que los usuarios debían aprender. Los hallazgos constataron que a medida que el alumnado tenía una mejora en la atención se producía una mayor puntuación en sus habilidades de interacción social.

3.- Método

La investigación se ha desarrollado desde un enfoque metodológico cuantitativo con un diseño cuasiexperimental (Little *et al.*, 2019) y de estudio de caso (Yin, 1989). La investigación se ha desarrollado desde un enfoque metodológico cuantitativo. El enfoque cuantitativo tiene como características la medición numérica de las variables, el conteo de los eventos y la utilización de la estadística para poder fijar patrones de comportamiento (Vega-Malagón *et al.*, 2014). En esta línea, en primer lugar, para medir qué objetos está mirando el usuario en el entorno virtual, se ha partido de la información numérica proporcionada por el sistema de medición del dispositivo de realidad virtual inmersiva sobre las coordenadas en X, Y, Z de la cabeza y su orientación. Así, se toma como referencia la cinemática de la cabeza del usuario para medir la atención, es decir, el tiempo en una determinada posición y orientación y el objeto que está mirando. Los tres ángulos que se pueden utilizar para describir la orientación de un cuerpo rígido reciben el nombre de ángulos de Euler (Bai *et al.*, 2022). Estos ángulos representan tres rotaciones compuestas que mueven el marco de referencia solidario a la cabeza de la persona con respecto a un punto fijo. En segundo lugar, se ha utilizado el enfoque cuantitativo para medir el comportamiento del usuario a partir de la aparición de determinadas conductas previamente establecidas. De esta manera, el conteo de la presencia de conductas determinadas ofrece datos sobre el comportamiento específico de los sujetos.

Asimismo, se ha aplicado un diseño cuasiexperimental, en el cual se investiga a partir de grupos previamente establecidos sin el uso del azar (Little *et al.*, 2019). En este sentido, el estudio se llevó a cabo con una intervención en un grupo de participantes de una misma aula específica con alumnado con TEA de diferentes grados. Además, según Pinilla *et al.*, (2022), este diseño se propone obtener el mayor control posible de los estímulos que pueden influir en el desarrollo del objeto de estudio. De este modo, se presentó un entorno controlado de realidad virtual inmersiva y se midieron una serie de variables. En el entorno virtual se crearon situaciones sociales naturales y adaptadas a las características del alumnado, se controlaron los ruidos que pudieran influir en la atención de los sujetos y los avatares incluidos estaban en situación de reposo, salvo que el usuario los mirara.

Por último, se ha llevado cabo un estudio de caso, que pretende investigar un fenómeno en su contexto real (Yin, 1989). El estudio de caso puede ser muy útil en campos donde la investigación y la teoría se hallan en sus fases preliminares (Bonoma, 1985). De este modo, el estudio de caso se ajusta al análisis de la aplicación de la RVI en alumnado con TEA, ya que aún no existen líneas definitivas sobre qué características debe tener la tecnología que mejor se adapte a la diversidad de estudiantes del espectro autista (Parsons, 2016). Para el desarrollo del estudio de caso se tomaron como referencia a Lavarda y Balbastre (2009) y Pérez-Aguilar (1999). En la primera fase se definió el objetivo y las

preguntas de investigación. En la segunda fase se llevó a cabo una revisión de la literatura científica para establecer el marco teórico y empírico de la investigación. En la tercera fase se definieron las unidades de análisis o variables para medir. En la cuarta fase se seleccionaron los casos objeto de estudio del aula específica, teniendo presente para ello la premisa de escoger alumnado con características diversas para que pudieran participar en la intervención. En la quinta fase se estableció el protocolo de actuación en base al entrono de RVI creado y el alumnado seleccionado. Por último, se crearon los instrumentos no automáticos para la recogida de datos y se fijaron las pautas para la recogida de información y los encargados de ello.

3.1.- Participantes

El estudio piloto se llevó a cabo con tres participantes que se escogieron a partir de un muestreo no probabilístico intencional (Hernández y Carpio, 2019). Este muestreo permite la elección de los participantes para reunir las características de interés del investigador, seleccionando intencionalmente a los individuos de la población (Hernández y Carpio, 2019). Existe una disparidad de perspectivas en cuanto al tamaño adecuado de la muestra de un estudio piloto. Tickle-Degnen (2013) afirma que los estudios piloto no requieren de un tamaño de muestra determinado. Contrariamente, Fernández-Sánchez *et al.*, (2020) sostienen que el tamaño de la muestra en un estudio piloto debe ser lo más grande posible. En una posición intermedia se encuentran Moore *et al.*, (2011), que afirman que el tamaño ideal de muestra debe ser entre dos y diez participantes. Por lo tanto, ante la ausencia de un criterio absoluto para determinar el tamaño adecuado de la muestra, junto con la problemática existente en la detección del TEA y las barreras sistemáticas que conducen a la marginación de este colectivo, además de la variación subyacente en la etiología biológica y ambiental de este trastorno (Durkin *et al.*, 2017; Hewit *et al.*, 2016), se ha considerado que tres participantes es una muestra suficiente para la realización de la intervención del presente estudio piloto.

Para la investigación el grupo de participantes estuvo formado por dos niños y una niña. La edad media de los participantes era de 11.33 años y una desviación típica de 2.51. Todos los participantes están escolarizados en una unidad específica de un centro ordinario concertado de la Comunidad Valenciana. El desarrollo cognitivo medio de los estudiantes es de 42.66 meses y una desviación típica de 18.14. En cuanto al grado de TEA, dos participantes eran de nivel 2 y uno de nivel 3. En relación con el tipo de comunicación, dos participantes tenían comunicación verbal y uno de ellos no. A continuación, en la tabla 1, se presenta de manera más detallada la información sobre los participantes.

Tabla 1
Características de las participantes

Participante	Edad	Género	Grado de TEA	Nivel de Competencia Curricular	Tipo de comunicación	Desarrollo cognitivo
1	9	Masculino	2	2º Primaria	Verbal	40 meses
2	14	Femenino	2	6º Primaria	Verbal	62 meses
3	11	Masculino	3	Infantil (2ºCiclo)	No verbal	26 meses

Fuente: Elaboración propia.

En relación con la comunicación e interacción social de los participantes en las tareas del aula, seguidamente, se exponen los comportamientos más destacados:

-Participante 1. Presenta habilidades de comunicación expresiva. No obstante, muestra dificultades al iniciar interacciones sociales con sus compañeros y con el profesorado. Asimismo, realiza preguntas de manera espontánea en base a sus intereses. En este sentido, el alumno expresa en el aula sus intereses y necesidades. Además, muestra predilección por las tecnologías, especialmente, por la tableta, con la cual muestra autonomía en la realización de las actividades de clase. A menudo tiene una atención focalizada durante la realización de actividades. Presenta una gran capacidad de memoria selectiva en su día a día y sigue las instrucciones verbales de los docentes, aunque en ciertas ocasiones precisa de apoyos visuales para esclarecer algunos términos.

-Participante 2. Presenta habilidades de comunicación expresiva, pero no de manera espontánea. Ante preguntas responde con frases cortas y palabras monosílabas. Normalmente, presenta ecolalias y comportamientos restrictivos y repetitivos que afectan a sus interacciones sociales. No muestra habilidad de iniciar conversaciones, salvo para satisfacer una necesidad. Además, en muchas ocasiones no muestra respuestas a determinadas situaciones emocionales que se producen a su alrededor. Presenta predilección por las actividades que se estructuran en secuencias de pasos. Asimismo, sigue las rutinas del día a día y los cambios inesperados pueden despertar frustración en ella. Su memoria selectiva a largo plazo está muy desarrollada.

-Participante 3. No presenta comunicación expresiva espontánea, aunque es capaz de responder a preguntas directas con sí o no. Su vocabulario lo componen unas 20 palabras monosílabas. No inicia interacciones comunicativas, aunque mantiene la mirada durante unos segundos cuando alguien se dirige a él. Asimismo, su acercamiento social a los compañeros es inusual durante el juego. Es capaz de seguir instrucciones verbales básicas, pero no muestra habilidades de atención conjunta durante las actividades de clase. Asimismo, presenta hipersensibilidad frente a algunos sonidos.

Todos los participantes suelen tener en clase conductas emocionales inesperadas

3.2.- Instrumento

Para realizar la intervención se utilizaron las gafas Oculus Quest 2 como dispositivo para la interacción en los entornos de realidad virtual inmersiva. Esta herramienta dispone de una resolución de 1832x1890 píxeles por ojo, pretendiéndose que las interacciones diseñadas presenten un mayor realismo. Asimismo, las gafas están compuestas por una pantalla de Cristal Líquido (PCL) de cambio rápido y una frecuencia de actualización modificable de 60, 72 y 90 Hercios (Hz). Además, se integra un sistema de audio posicional que permite al usuario escuchar todo lo que le rodea. Con el propósito de dotar de un mayor realismo y facilidad de interacción se incluyó un sistema de seis grados de libertad para el seguimiento de los movimientos, tanto de la cabeza como del cuerpo. En este sentido, se consigue una actualización del punto de vista del usuario cada vez que fija su mirada en un punto del entorno virtual. Durante el proceso de manipulación de los objetos se dispone de un sistema de controladores Touch para la utilización de unas manos virtuales que van a ser localizadas mediante el sistema de tracking interno que incluye las gafas. A diferencia de otros dispositivos, las gafas Oculus Quest 2 presentan un sistema de RV llamado de todo en uno, para que solo se utilicen las gafas y los controladores y no sea necesario la carga del programa mediante un ordenador. Para completar su funcionamiento, las gafas llevan incorporado el sistema guardián, de manera que el diseñador puede fijar un límite virtual alrededor de un espacio físico, evitando interferencias entre las realidades. Dentro del límite virtual, se permite que el usuario pueda mover los brazos y coger objetos en el entorno virtual. El dispositivo de hardware utilizado se puede ver en la figura 1.



Figura 1. Gafas Oculus Quest 2 y accesorios.

Nota. Obtenida de la dirección web <https://alehandorovr.com/oculus-quest-2-y-accesorios/>

Las gafas Oculus Quest 2 fueron utilizadas como instrumento para realizar la captura de la posición y orientación del alumno al interactuar con el entorno de RVI. En este sentido, se midió el tiempo de mantenimiento en una determinada posición y orientación, logrando información sobre la atención que el usuario está prestando. Para poder conseguir estos datos a través de Unity se asoció el VR Eye Raycaster a la cámara virtual. A cada avatar/objeto se le asocia un componente llamado 'Sphere Collider' y en el momento que este elemento y el Eye Raycaster que sale de los ojos del usuario coinciden se empieza a almacenar la posición, la orientación y el tiempo del usuario en esta configuración. De este modo, cualquier cambio brusco en la orientación y posición del alumno podrá interpretarse como una alteración en la atención que se está prestando.

Asimismo, se diseñó *ad hoc* para la investigación un cuestionario para obtener información sobre el comportamiento de los participantes en el uso de las gafas y la comunicación e interacción social en el entorno, destinado a ser cumplimentado por el observador-investigador. Para ello, se tomaron como referencia, por un lado, la Escala de Usabilidad del Sistema (EUS Bangor *et al.*, 2008), y, por otro lado, los cuestionarios diseñados por Lorenzo *et al.*, (2013) y Lorenzo *et al.*, (2016) para medir la comunicación e interacción social en la RV. El cuestionario se estructuró en dos partes, ocupándose la primera de ellas de datos demográficos y del informe sociopsicopedagógico de los participantes. La segunda parte incluye una serie de ítems divididos en dos dimensiones: la aceptación del dispositivo de RV por parte del alumnado con TEA, y la utilización de la RV para el desarrollo de las habilidades de interacción y comunicación social. En este sentido, se contemplaron siete ítems en cada dimensión para medir con un tipo de respuesta dicotómica la ocurrencia de determinados comportamientos. Asimismo, se contempló una pregunta abierta en cada dimensión para registrar las observaciones complementarias sobre los hechos acontecidos durante el estudio piloto.

3.3.- Modelo pedagógico en la RVI

Para la presente investigación se siguió un modelo pedagógico adaptado del propuesto por Ovalles *et al.* (2018). El modelo desarrollado tiene como primer principio que el alumno es el centro del aprendizaje, construyendo de manera activa su conocimiento mediante la exploración, la prueba y el error. En esta línea, se plantea una participación a través de avatares interactivos, espacios de exploración y situaciones de interacción social. Esto es acorde con el hecho de que la RVI genera un mayor interés y atención en el alumnado (Lorenzo *et al.*, 2019). Además, con RVI se favorece el aprendizaje debido al control que se realiza de los estímulos en el entorno. El segundo principio del modelo aplicado es la sistematización. En base a ello, se diseñan tareas secuenciadas y estructuradas, contemplándose diferentes niveles de dificultad. Por un lado, las tareas secuenciadas tienen como objetivo establecer una ordenación de los contenidos de enseñanza que asegure el enlace entre los objetivos educativos y las actividades de aprendizaje de los alumnos, de tal manera que la organización del trabajo formativo dé garantías de la consecución de las intenciones formativas del alumnado (Zapata, 2005). Por otro lado, las tareas estructuradas se caracterizan por la existencia de procedimientos o instrucciones que van paso a paso (Stoner *et al.*, 1996). Además, este tipo de tarea estructurada incluye reglas, permite la aplicación de un procedimiento, establece

objetivos claros y posibilita el desarrollo de habilidades o destrezas específicas (Mesurado, 2009). Por tanto, cabe indicar que la secuenciación informa sobre los objetivos, procedimientos y habilidades que se adquieren al desarrollar cada una de las actividades. Mientras que la estructuración divide las tareas complejas en tareas sencillas. Por todo ello, se pueden satisfacer mejor las necesidades del alumnado con TEA que aprende gracias a la RVI y la robótica. El tercer principio del modelo es la naturaleza visual. Con ello, se facilita que el alumnado con TEA pueda interactuar en una situación social a partir de referencias visuales. El modelo adoptado se refuerza al favorecer el uso de la RVI la motivación (Ip *et al.*, 2018), la atención (Ip *et al.*, 2017) y la comunicación (Herrero y Lorenzo, 2020).

Se tomó también como referencia el modelo de Ovalles *et al.*, (2018) porque se ajusta adecuadamente al currículo escolar a través de los siguientes componentes: objetivos de aprendizaje, competencias, áreas de aprendizaje, recursos y evaluación. En este sentido, el modelo se desarrolla de la siguiente forma:

1.- Objetivos de aprendizaje. Son principios de procedimiento del proceso didáctico que conducen a la consecución de un resultado peculiar por parte de cada alumno, de acuerdo con las bases implícitas en cada sujeto y su proceso de aprendizaje (Antúnez *et al.*, 1999). El Real Decreto 95/2022, de 1 de febrero y el Real Decreto 157/2022, de 1 marzo, definen los objetivos como logros que se espera que el alumnado haya alcanzado al finalizar la etapa y cuya consecución está vinculada a la adquisición de las competencias clave. A modo de ejemplo, se indican dos objetivos de aprendizaje considerados para el estudio piloto:

- Tomar contacto con el escenario virtual inmersivo estructurado y visual.
- Conocer los avatares y el robot NAO presentes en el entorno de RVI.
- Mostrar conductas de exploración del entorno inmersivo a través de la mirada, posición del cuerpo y orientación.
- Prestar atención (mirando o escuchando) a las instrucciones dadas por la profesora en el entorno de RVI
- Prestar atención (mirando o escuchando) al robot NAO en las actuaciones que realiza.
- Interactuar con el robot NAO respondiendo a las preguntas que realiza.
- Mostrar actitud de participación en las actuaciones realizadas.
- Mostrar gusto y estado emocional de contento y feliz con las actividades realizadas en el entorno RVI.

2.- Competencias. Es la capacidad o habilidad ante diferentes contextos de poner en marcha actitudes, habilidades y conocimientos en el mismo momento y que actúen de manera interrelacionada entre ellas (Zabala y Arnau, 2008). Tanto el Real Decreto 95/2022, de 1 de febrero, como el Real Decreto 157/2022, de 1 marzo definen las competencias clave como aquellas que tienen como objetivo el desarrollo de desempeños que se consideran imprescindibles para que el alumnado pueda progresar con garantías de éxito en su itinerario formativo y afrontar los principales retos y desafíos globales. En el estudio piloto se han trabajado varias competencias clave. En primer lugar, la competencia en comunicación lingüística, con la interacción verbal con el robot que se

plantea al participante. En segundo lugar, se ha trabajado la competencia personal, social y de aprender a aprender. En este sentido, a partir de intervención programada de la maestra y el robot, el alumno debe atender e interactuar en un entorno social. En tercer lugar, se ha escogido la competencia digital. Esta competencia se trabaja con el uso del dispositivo de RVI y en el proceso de interacción y comprensión del entorno virtual.

3.- Áreas de aprendizaje. El Real Decreto 95/2022, de 1 de febrero, define las áreas como ámbitos de experiencia intrínsecamente relacionados entre sí, por lo que se requerirá un planteamiento educativo que promueva la configuración de situaciones de aprendizaje globales, significativas y estimulantes que ayuden a establecer relaciones entre todos los elementos que las conforman. Para el alumnado participante de Educación Infantil se escogieron varias de las áreas establecidas por el Real Decreto de esta etapa. El área de descubrimiento y exploración del entorno se trabajó a través de la exploración y la intervención en el aula virtual. El área de comunicación y representación de la realidad se trabajó con la comunicación que se entabla con el robot, mediante preguntas y respuestas. Para el alumnado participante de Educación Primaria, tomando como referencia el Real Decreto de Educación Primaria, se escogió, en primer lugar, el área de Lengua Castellana y Literatura. En segundo lugar, el área de conocimiento del medio natural, social y cultural. Y, en tercer lugar, el área de Educación Física, ya que se pide al usuario que realice una serie de movimientos de imitación.

4.- Recursos. El uso de la realidad virtual determinó los recursos adecuados para el modelo aplicado. Para la visualización se utilizaron las gafas Oculus Quest 2, mientras que para el diseño de los entornos se empleó Unity. Unity es un motor de juegos de calidad profesional cuya finalidad es la creación de videojuegos en diferentes plataformas (Hocking, 2022). Unity a diferencia de otros motores va a dotar al usuario de una gran interacción. Asimismo, proporciona un flujo de trabajo visual extremadamente productivo y un alto grado de compatibilidad entre plataformas (Hocking, 2022). En el entorno hay avatares, que son realistas tanto en su comportamiento como en su representación física (Roth *et al.*, 2016). De esta manera se puede conseguir una mejor transferencia de los conocimientos de entornos virtuales a entornos reales.

A continuación, en la figura 2, se muestra uno de los avatares del entorno.



Figura 2. Avatar de la maestra.

Asimismo, se utilizó la aplicación ARASAAC (Centro Aragonés de Comunicación Aumentativa y Alternativa) para la inclusión de los pictogramas que los usuarios deben emplear dentro del entorno de realidad virtual creado. Acorde con las características del modelo pedagógico aplicado, las acciones diseñadas incorporan apoyos visuales para que puedan adaptarse mejor al aprendizaje del alumnado con TEA. Otro de los recursos que se ha incorporado ha sido el robot NAO, como asistente personal. La apariencia de este robot facilita que las habilidades adquiridas sean transferidas a entornos reales (Sani-Bozkurt y Bozkus-Genc, 2021). Para estos autores la capacidad de interacción verbal y no verbal del robot NAO hace que los alumnos con TEA mantengan el interés por el entorno social. En esta línea, las similitudes que presenta con la apariencia física de un niño pequeño hacen que sea muy atractivo para este alumnado (Shamsuddin, *et al.*, 2011). Además, el gran número de grados de libertad de este robot le proporciona un gran realismo en el proceso de comunicación.

5.- Evaluación. Tanto el Real Decreto 95/2022, de 1 de febrero, como el Real Decreto 157/2022, de 1 marzo, establecen que los criterios de evaluación son los referentes que indican los niveles de desempeño esperados en el alumnado en las situaciones o actividades a las que se refieren las competencias específicas de cada área en un momento determinado de su proceso de aprendizaje. A partir de los criterios de evaluación que se determinaron, se elaboraron unos ítems de evaluación, que forman parte del cuestionario utilizado. Para la evaluación de estos comportamientos se aplicó una observación directa y sistemática. Asimismo, la atención prestada por los participantes fue evaluada a través del sistema de orientaciones y posicionamiento que fue programado en el entorno de Unity.

3.4.- Diseño del entorno de realidad virtual

A partir de los fundamentos pedagógicos establecidos se creó el escenario de la clase con los siguientes pasos:

1.- Mediante las líneas de código correspondientes en Unity se llevó a cabo la inserción de las mesas, los posters y el mobiliario que configuraron la clase, que se pueden ver en la figura 3. Estos objetos fueron obtenidos de diversas webs, como Google Sketchup, Thingiverse, Thangs y Pinshape, donde el usuario dispone de modelos reales en tres dimensiones de elementos que se pueden incluir en un entorno de realidad virtual.



Figura 3. Entorno del aula.

2.- Se procede a la selección y animación de los avatares de manera que guarden la mayor adecuación posible con los componentes de un aula. En la figura 4 se pueden observar las herramientas para la animación de un avatar en el entorno de Unity. Como programa de apoyo en la modificación de los personajes se trabajó con MakeHuman.

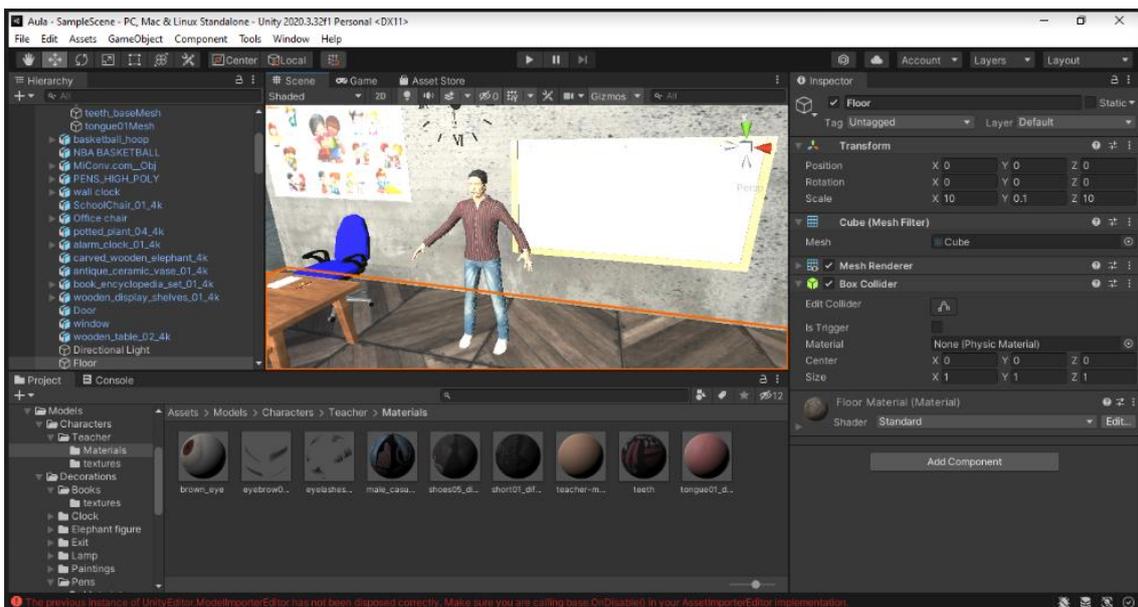


Figura 4. Animación de un avatar.

3.- Como elemento de apoyo en la realización de las tareas, se incorpora el robot NAO, que fue diseñado para explicarle y preguntarle al usuario. Se añadieron los audios para el robot NAO en base a la voz del robot real y para la maestra se grabó un audio real para conseguir un mayor realismo. A medida que el usuario respondía a una pregunta planteada por el robot NAO, se ponía en marcha la siguiente mediante una tecla. Toda esta situación fue incluida mediante el código de Unity. Se puede ver en la figura 5 la presencia del robot en el entorno.



Figura 5. El robot NAO en el entorno de RV.

4.- En la mesa del alumno y en la pared se incorporaron pictogramas como recurso de ayuda en la realización de las actividades planteadas. La figura 6 muestra pictogramas a disposición del alumnado.



Figura 6. Pictogramas en la pared para el alumnado.

5.- Para el control del entorno se posee sistema de referencia con las posibles rotaciones que puede realizar el usuario explorando. Esto se puede ver en la figura 7.



Figura 7. Entorno de RV en Unity y el sistema de posicionamiento y orientación.

3.5.- Intervención del estudio piloto

El estudio piloto se llevó a cabo a lo largo de una sesión. Se inició la sesión presentando individualmente a los participantes las gafas que iban a utilizar y exponiendo que iban a acceder a una clase virtual para realizar una actividad. Posteriormente, la sesión se dividió en cuatro partes:

1.- La exploración del entorno, determinada por el tiempo que el programa tarda en cargar la secuencia del estudio piloto. En este momento el sistema de RVI almacena información sobre las posiciones y orientaciones de la cabeza del sujeto. En la figura 8 se muestra la imagen del aula que explora el usuario.



Figura 8. Entorno de IVR a explorar.

2.- Presentación de la sesión por parte de la maestra, en la que se menciona al robot NAO. La maestra dice: *Buenos días a todos, hoy tendremos una sesión con nuestro amigo NAO ¿Me podéis decir que hora es?* En la figura 9 se puede ver a la maestra en el aula virtual.



Figura 9. La maestra realizando la presentación de la sesión.

3.- Presentación del robot NAO, cuyo movimiento es activado mediante una tecla. En la figura 10 se puede ver al robot NAO interviniendo en la sesión.

El robot NAO se dirige al usuario con las siguientes frases:

Hola, me llamo NAO y soy el robot amigo de los niños y de las niñas. Puedo hacer muchas cosas. Repite conmigo los movimientos. Yo hablo, yo miro, yo camino, yo me siento, yo bailo.

Desde este modo, el robot realiza sucesivamente las acciones y el usuario las debe imitar.



Figura 10 El robot NAO durante la sesión.

4.- Preguntas del robot NAO. El robot NAO plantea una serie de preguntas para tratar de entablar una conversación:

¿Cuál es tu nombre? En el momento que el estudiante contesta, el robot NAO está programado para afirmar: ¡Qué nombre tan bonito!

¿Cuántos años tienes? Después de la respuesta del usuario, el robot NAO dice: *Tengo 8 años*

¿Cómo se llama tu colegio? Tras la contestación, el robot se encarga de decir: *El nombre hace juego con lo bonito que es.*

¿En qué curso estas? Posteriormente, el robot NAO dice: *Lo importante es aprender. No seas como yo, que mis chips muchas veces no funcionan.*

La sesión finaliza con el robot NAO diciendo: *Encantado de poder hablar contigo. Me quedará aquí al lado tuyo.*

3.6.- Procedimiento para la realización de la intervención

Durante la primera fase de implementación del proyecto de investigación del Ministerio de Ciencia e Innovación del cual deriva el presente trabajo, se realizaron reuniones con centros educativos para presentarles los objetivos perseguidos y conocer su voluntad de colaborar. También se recogieron datos del alumnado que pudiera ser objeto de intervención.

Para la realización del estudio piloto, se tuvo, en primer lugar, una reunión con la dirección del centro escogido y se obtuvo la aprobación para la participación del centro. Posteriormente, se organizó una reunión conjunta con la orientadora y las maestras de pedagogía terapéutica y las familias para informarles de la sesión que se iba a realizar y obtener los pertinentes consentimientos. Asimismo, individualmente, se llevó a cabo una entrevista con las maestras de pedagogía terapéutica para conocer más detalles del alumnado y que pudieran exponer sus sugerencias para el entorno virtual. Se optó por una unidad específica por el número reducido de alumnado y el mayor apoyo existente de los profesionales especialistas. En este proceso se siguieron los principios de la Declaración de Helsinki (World Medical Association, 2013), obteniéndose las debidas autorizaciones y consentimientos informados. Para ello, se utilizó el formato de la documentación aprobado por el comité de ética de la UA, referencia EXP UA 2022 05 01.

La intervención se llevó a cabo con la presencia del director del centro, la orientadora, las maestras de pedagogía terapéutica y las educadoras. Un miembro del equipo investigador interactuó con el alumnado en la realización de la sesión, apoyado por el técnico del proyecto. Simultáneamente, dos observadores se encargaron de efectuar el registro de los comportamientos. El director del centro estuvo presente para dar respuesta a cualquier necesidad material u organizativa que tuviese el equipo del proyecto. La orientadora del centro se encargó de proporcionar información del desarrollo cognitivo de los participantes necesaria para el éxito de la intervención. Las maestras de pedagogía terapéutica estuvieron apoyando y reconfortando al alumno durante la intervención e hicieron sugerencias para una mayor receptividad de los participantes en el desarrollo de la sesión. Asimismo, las educadoras del centro se ocuparon de realizar el acompañamiento y traslado del alumnado hasta el aula de intervención y controlar que no tuvieran comportamientos disruptivos.

3.7.- Análisis de datos

En el presente estudio se llevaron a cabo dos tipos de análisis en función del instrumento utilizado y la variable medida. En primer lugar, para la recogida de datos a través del sistema de RVI se establecieron cuatro periodos en función de la estructura de la intervención planteada. La primera toma de datos, dedicada a la exploración del entorno, fue de 7 segundos, que es el tiempo que tarda el sistema en cargarse. La segunda toma tuvo una duración de 5 segundos, que es el tiempo que la profesora habla. La tercera toma de datos duró 44 segundos, que es lo que tarda el robot en llevar a cabo su presentación, y la cuarta toma de datos fue de 60 segundos, tiempo destinado a la interacción entre el robot y el participante. Se desarrolló un módulo con código en el programa Unity para analizar el tiempo que el usuario mantenía una determinada orientación hacia un objeto. Además, se utilizó el parámetro alfa, que consiste en la rotación en grados que experimenta la cabeza con respecto al eje de coordenadas X. El parámetro beta se define como la rotación con respecto al eje de coordenadas Y. Mientras que gamma representa la rotación de la cabeza según el eje de coordenadas Z. En segundo lugar, se analizaron los estadísticos descriptivos de los datos recogidos a través del cuestionario diseñado. Por un lado, se midió la frecuencia para averiguar el número de veces que se daba cada uno de los comportamientos contemplados, estableciéndose 1 si había presencia y 0 para la ausencia. Por otro lado, se analizaron los porcentajes para identificar la proporción de participantes que había realizado cada comportamiento. Para el análisis de los datos se utilizó el programa SPSS en versión 28.

4. Resultados

A continuación, se presentan los resultados organizados según las variables seleccionadas y los análisis efectuados.

4.1. Resultados relativos a la atención de los usuarios en el entorno de RVI

El presente apartado se divide en cuatro subapartados atendiendo a los momentos en que se tomaron datos sobre la atención de los sujetos con el sistema de RVI en base a la intervención implementada.

4.1.1. Resultados relativos a la atención durante la exploración del entorno

En las figuras 11, 12 y 13 se presentan los cambios de orientación de la cabeza de los sujetos participantes durante el periodo de exploración del entorno.

Respecto al sujeto 1 (figura 11), este mira durante 2.5 segundos a la orientación 12.3-13.8, 353,2.3-2.7. A pesar de las variaciones tanto en la coordenada Alfa, como en la Gamma, en ambas orientaciones el sujeto está mirando a su mesa. Después, durante dos segundos vuelve a adquirir una orientación estable (8-16.2, 330-347, 350-359). Estos cambios con respecto a las coordenadas anteriores muestran que el usuario comienza mirando su mesa para luego pasar a mirar a la mesa de la maestra.

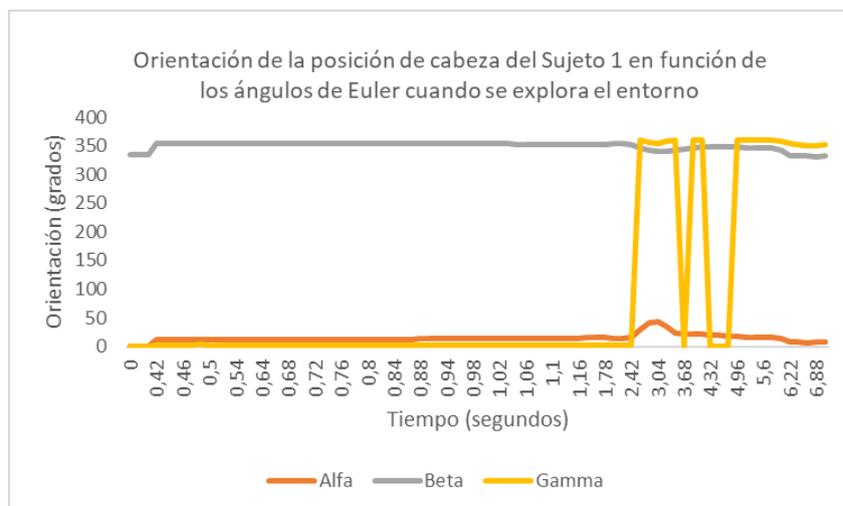


Figura 11. Evolución de la orientación en el periodo de exploración del sujeto 1.

En relación con el sujeto 2, como se puede observar en la figura 12, las variaciones en las orientaciones son muy pequeñas durante el intervalo 0-0.64 segundos y están situadas en torno a la orientación (359,356,355), lo que indica que el usuario está mirando a la alumna de delante. En cuanto al periodo 0.64-0.92, la variación de coordenadas es (0-2,358-0, 358-359), siendo de nuevo, como en el intervalo anterior, el objeto de atención la alumna sentada delante. En el periodo 0.92-1.96 la orientación es (2-6.96, 0.69-3.3, 0.1-3), lo que refleja que el sujeto 2 comienza mirando a la alumna sentada delante para terminar mirando, al final del intervalo, a la maestra. Asimismo, desde el segundo 3.12 hasta el final, las coordenadas de la orientación de la cabeza en grados son (6.13, 12.78, 13.05), lo que muestra que el sujeto 2 mira a la maestra.

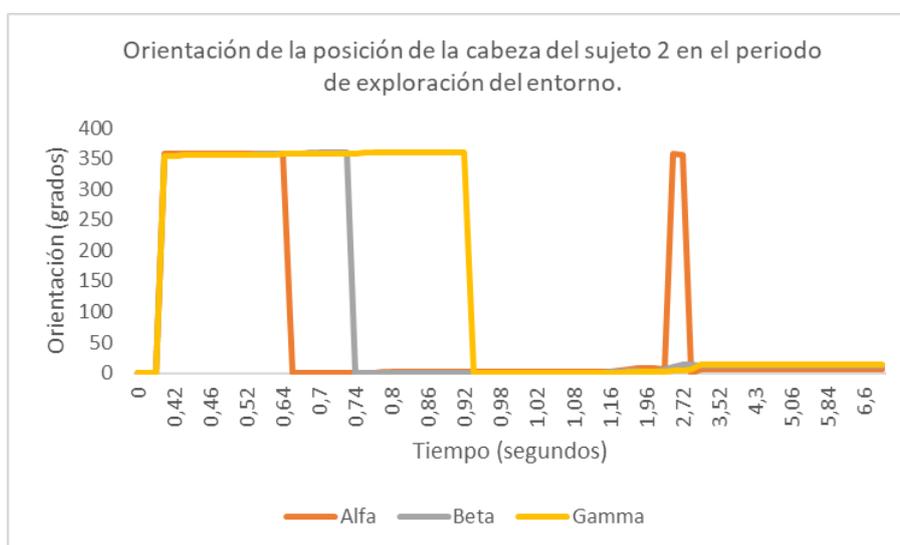


Figura 12. Evolución de la orientación en el periodo de exploración del sujeto 2.

Por lo que respecta al sujeto 3, en la figura 13 se muestra que desde el segundo 0.42 al 1.96 existen pequeñas variaciones, cambiando la orientación de la cabeza dentro del intervalo (28-33, 78-120, 3.5-8). En este intervalo el usuario mira primero a la silla del compañero de al lado para después mirar a la mesa del compañero. Durante el intervalo

que va desde el segundo 5.12 hasta el final, la orientación final es (25-35, 8.66-22, 353-358), lo que indica que el sujeto 2 está dirigiendo la mirada a su mesa. También se observan variaciones en las otras coordenadas, como en la coordenada Gamma, que sufre un cambio brusco desde el segundo 4.92 al 5.12, pasando de (31.6, 23.7, 0.35) a (31.2, 15.2, 358.12). A pesar del cambio en la coordenada Gamma, el sujeto 3 mira la mesa donde está sentado.

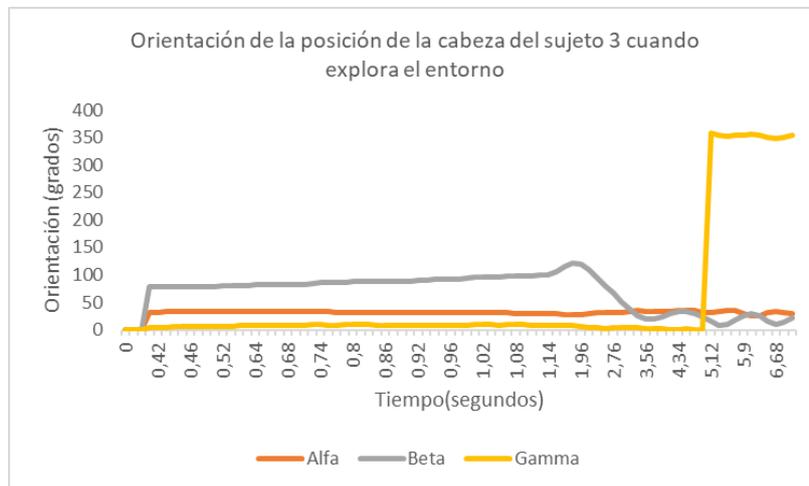


Figura 13. Evolución de la orientación en el periodo de exploración del sujeto 3.

4.1.2. Resultados relativos a la atención durante la presentación de la maestra

En la figura 14 se muestra la orientación de la cabeza del sujeto 1 cuando la maestra realiza la presentación.

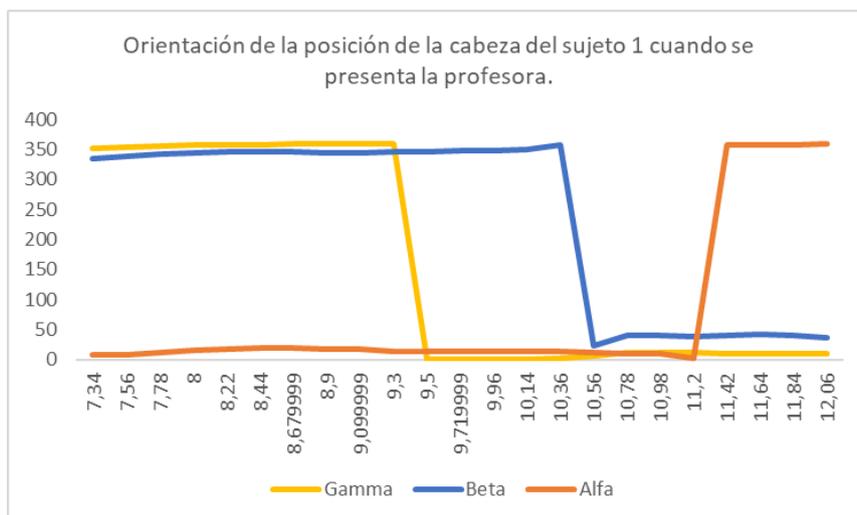


Figura 14. Evolución de la orientación del sujeto 1 cuando se presenta la profesora.

En el intervalo 7.34-9.3 la oscilación de la orientación es de (8.33-18.5, 334-345, 352-359), lo que manifiesta que el sujeto 1 cambia su mirada desde la silla de la maestra a la

mesa de la alumna de delante. Asimismo, desde el segundo 9.5 al 10.36 la orientación que se obtiene es (12.9-14.5, 344-349, 0.35-2). Por tanto, el sujeto 1 cambia su mirada de la mesa de la maestra a la mesa de la alumna de delante. Además, desde el segundo 11.42 hasta el final la orientación es (352-358, 27.44-40, 6.72-15.93), mirando el sujeto 1 al robot NAO. Como se puede observar, existen diversos cambios, como en la coordenada Gamma, que entre los 9.3-9.5 segundos pasa de (14.6, 345.74, 359.62) a (12.9, 346.95, 0.35), lo que implica que está mirando la mesa de la alumna que tiene delante.

En la figura 15 se pone de manifiesto que el sujeto 2 tiene la misma orientación durante todo el intervalo. La orientación de la cabeza del niño en grados fue de (6.13,12.78,13.05), lo que indica que está mirando a la maestra mientras esta realiza la presentación.

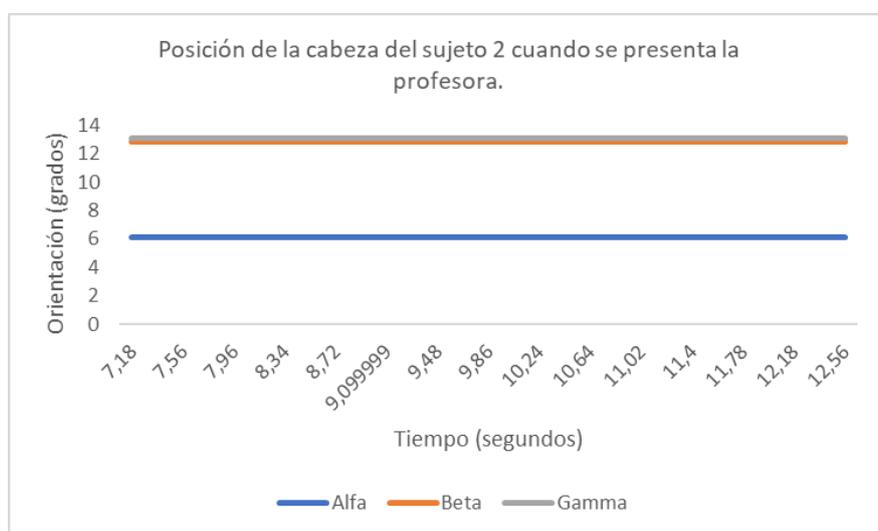


Figura 15. Evolución de la orientación del sujeto 2 cuando se presenta la profesora.

En la figura 16, que se ocupa del sujeto 3, se puede observar que el cambio más relevante se produce en el intervalo 10.4-10.6, donde se pasa de la orientación (33.6, 41.6, 358.63 a (40.7, 42.2, 4.01). Esto supone que el usuario está mirando a la mesa situada a su lado. Desde el segundo 10.6 hasta el final la variación es de (40.7-45, 28.9-45, 4-12), lo que pone de manifiesto que el sujeto 3 mira primero a la silla situada a su lado para posteriormente mirar a su mesa.

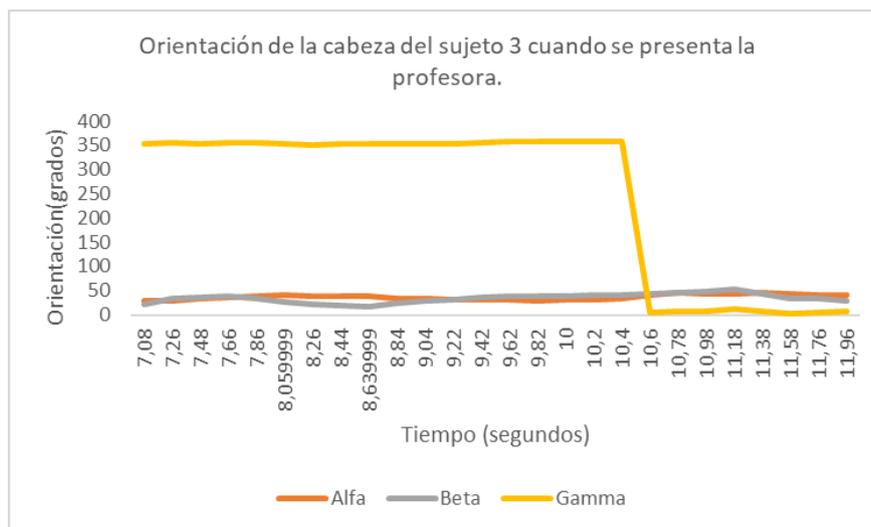


Figura 16. Evolución de la orientación del sujeto 3 cuando se presenta la profesora.

4.1.3. Resultados relativos a la atención durante la presentación del robot NAO

En la figura 17 se muestra la evolución del sujeto 1.

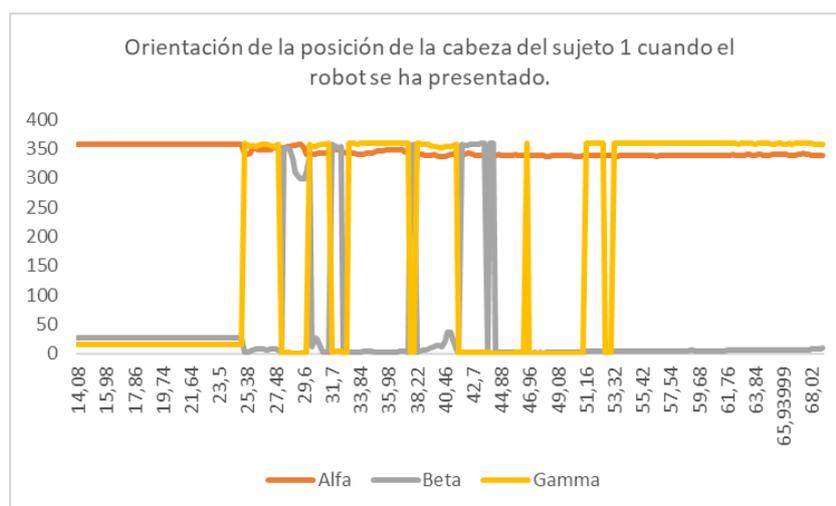


Figura 17. Evolución de la orientación del sujeto 1 cuando se presenta el robot.

Pese a una pequeña variación de la coordenada Alfa que se mantiene entre 340-355 grados se manifiesta un mantenimiento de la atención. Desde el segundo 14 hasta el segundo 25, se mantiene una orientación constante en grados (357,27.44, 27.93). Esta orientación indica que el sujeto 1 está mirando a la maestra. Desde el segundo 53 hasta el final su orientación es de (338-341, 3-9, 358), mirando frontalmente. A partir de este momento, la coordenada Beta, excepto en el periodo 28-30 segundos, donde su coordenada es de 330-350 grados, sigue constante hasta el final del periodo entre 0-10 grados. La coordenada Gamma presenta dos oscilaciones, una entre 350-355 grados y otra entre 0-5 grados.

Por su parte, el sujeto 2 (figura 18) mantiene la orientación (6.13, 12.78, 13.05), lo que refleja que mira a la maestra desde el segundo 14 al 21. Durante intervalo 45-56 segundos el cambio en la orientación es de (0.7-24.4, 0.6-26, 3.6-9), poniéndose de manifiesto que el usuario mira primero a la alumna de delante y luego al robot NAO.

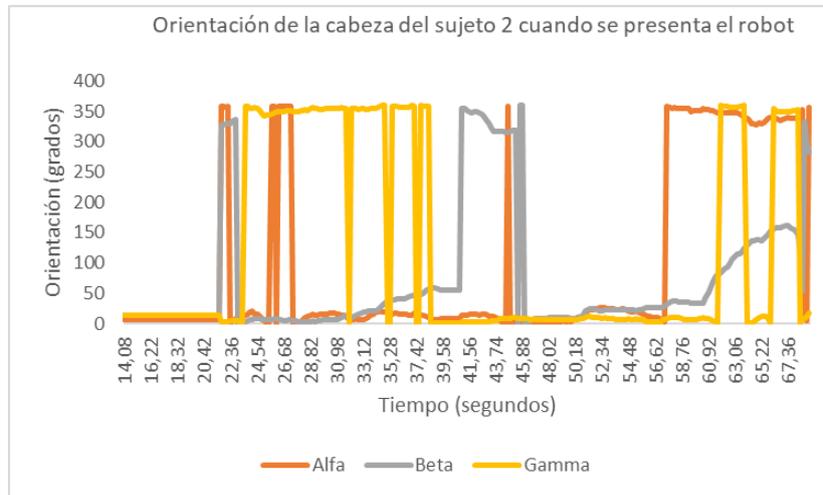


Figura 18. Evolución de la orientación del sujeto 2 cuando se presenta el robot.

Seguidamente, en la figura 19 se presentan los resultados relativos al sujeto 3.

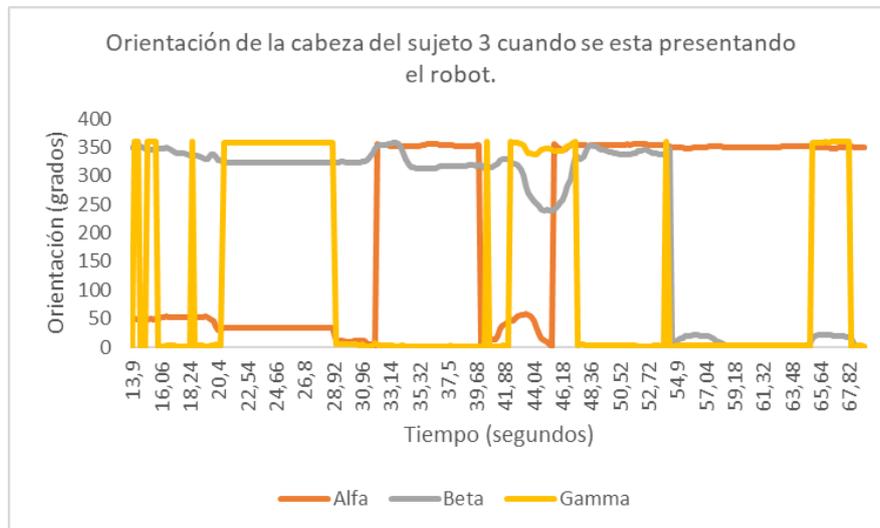


Figura 19. Evolución de la orientación del sujeto 3 cuando se presenta el robot.

En el intervalo 14-20 segundos la orientación oscila levemente entre (46-53, 337-348, 0-3, 20-29), lo que indica que el sujeto 3 está mirando a su mesa. Asimismo, en el periodo 32-40 segundos su orientación es (351-357, 314-330, 0-2). En ambos extremos del intervalo (351-357, 314-330, 0-2) el sujeto 3 está mirando a la pared de la izquierda.

4.1.4. Resultados relativos a la atención cuando el robot NAO realiza preguntas

En la figura 20 se presentan los resultados relativos al sujeto 1.

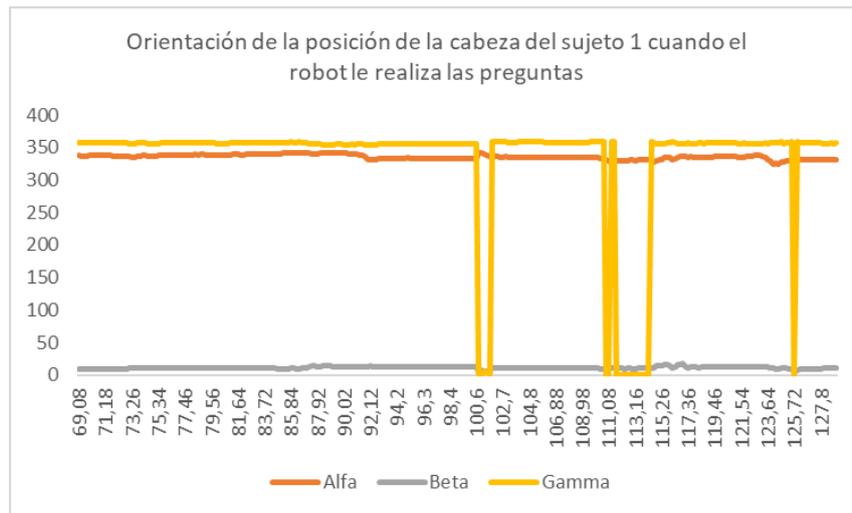


Figura 20. Evolución de la orientación del sujeto 1 cuando el robot realiza las preguntas.

Durante el intervalo 69-101 segundos la orientación de la cabeza del sujeto 1 es (330-340, 9-15, 350-357), lo que pone de manifiesto que un extremo del intervalo mira al techo y después en el otro extremo a la pared de enfrente. En el caso de Gamma, en el intervalo 100-101 segundos, la orientación cambia de (333,11.8, 355.75) a (341, 5.82, 1.3), lo que muestra que el usuario pasa de mirar al techo a mirar a la pared de enfrente. Asimismo, desde el segundo 114 hasta el final la orientación es (325-338, 9.6-15.6, 356-359), mirando primero a la pared y después a la pared de enfrente como ocurría previamente.

En la figura 21 se presentan los cambios y permanencias de orientación del sujeto 2.

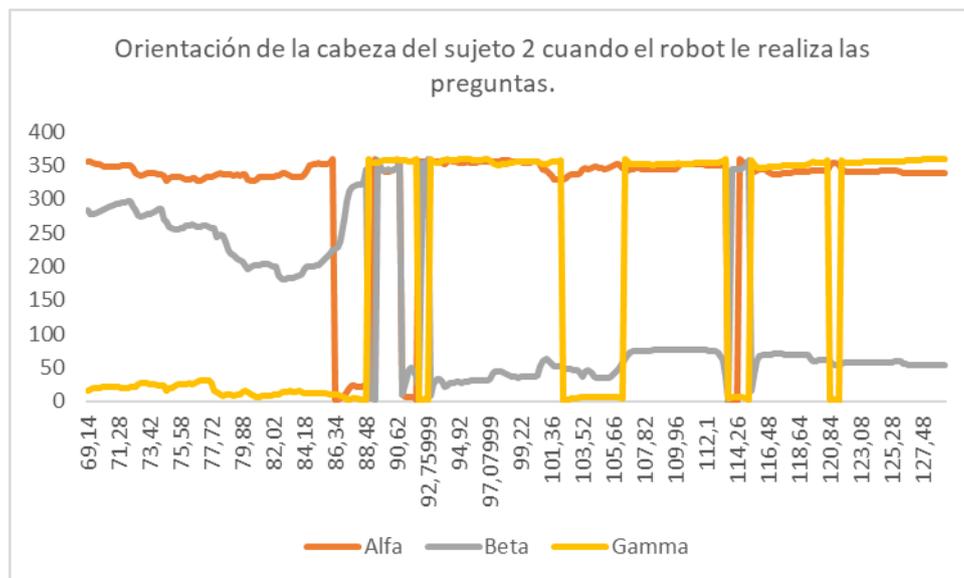


Figura 21. Evolución de la orientación del sujeto 2 cuando el robot realiza las preguntas.

En el lapso que transcurre entre el segundo 69 y el 86 la orientación de la cabeza del sujeto 2 es (350-359, 180-290, 8-16.5). De esta forma, el sujeto 2 mira primero al cartel que hay encima de la mesa de la maestra y luego mira a los carteles que hay encima del mapa del mundo. Asimismo, en el intervalo 92-101 segundos la orientación de la cabeza es (328-356, 8-52, 351-357), teniendo el usuario la mirada puesta en el techo y después en el mapa. En el intervalo 106-114 segundos la orientación de la cabeza oscila entre (346.54-354, 36.55-68, 351-359), mirando usuario primero al robot NAO y después al mapa del mundo.

Con respecto al sujeto 3, tal como se puede observar en figura 22, se detectan numerosos cambios en la orientación de su cabeza. Así, en el intervalo 71-75 segundos la orientación del usuario es (350-358, 29-34, 358-359), mirando de este modo al robot NAO. No obstante, entre los segundos 77 y 78, la orientación del sujeto 3 pasa de (355, 8.52, 359.61) a (356, 5.45, 0.75). Esto muestra que está mirando a la maestra. Asimismo, en el intervalo 88-89 segundos se pasa de las coordenadas (10.2, 0.5, 359.08) a (13.6, 352, 0.12), mirando, en primer lugar, a la alumna de delante y después a la propia mesa. Seguidamente, en el intervalo 110-120 segundos la orientación es (326-342, 327-338, 0-5), mirando primero al techo y luego a la frase que hay escrita en la pared “La unión hace la fuerza”.

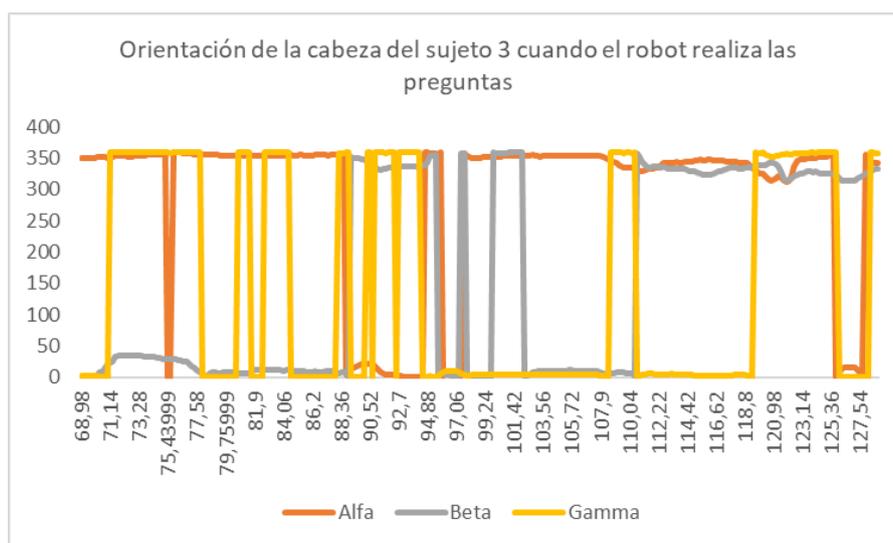


Figura 22. Evolución de la orientación del sujeto 3 cuando el robot realiza las preguntas.

4.2. Resultados relativos a la aceptación del dispositivo de RVI

Seguidamente, en la tabla 2, se presentan los resultados sobre la aceptación de las gafas de RVI de cada uno de los sujetos para cada ítem y de manera global.

Tabla 2
Aceptación del dispositivo d RVI

Ítems	Sujeto 1		Sujeto 2		Sujeto 3		Sí (f)		No (f)		Sí (%)		No (%)	
	1	0	1	0	1	0	1	2	34	66	66	34		
1. Expresa que quiere jugar con las gafas.														
2. Manifiesta entender las explicaciones sobre el uso de la RV.	1		1		1		3	0	100	0				
3. Se acerca al dispositivo de RV y muestra interés.	1		1		0		2	1	66	34				
4. Se deja colocar las gafas de RV.	1		1		1		3	0	100	0				
5. Manifiesta comodidad al ponerle las gafas de RV.	1		1		1		3	0	100	0				
6. Acepta seguir con las gafas de RV.	1		1		1		3	0	100	0				
7. Expresa que quiere volver a utilizar las gafas.	1		1		0		2	1	66	34				
	Sí (f)	No (f)	Sí (%)	No (%)	Sí (f)	No (f)	Sí (%)	No (%)	Sí (f)	No (f)	Sí (%)	No (%)		
	7	0	100	0	6	1	85	15	4	3	57	43		

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, el sujeto 1 ha sido capaz de llevar a cabo el 100% de los comportamientos asociados a la aceptación de la RVI. De manera complementaria, a través de la respuesta abierta del cuestionario, se registró que el sujeto 1 al ponerse las gafas reaccionó con asombro, exclamando ¡Oh! Asimismo, verbalizó que le gustaban las gafas y el entorno virtual que observaba. Y se mostró cómodo en todo momento y no manifestó signos de agotamiento. En el caso del sujeto 2 se consigue una aceptación del 85%. Se registró que en un primer momento no se mostró muy receptiva y le costó orientarse en el entorno, pero rápidamente se mostró más cómoda, habiéndose dejado poner las gafas y no mostrando disgusto con ellas. El sujeto 3 es el que manifiesta menor aceptación de la RVI con la realización del 57% de los comportamientos. En este sentido, no realizó los comportamientos asociados a los ítems 1,3,7. Estos ítems hacían referencia en primer lugar a expresar que quiere jugar con las gafas. El segundo se centra en acercarse al dispositivo de RV mostrando interés. Mientras que el tercero evalúa la expresión del sujeto que quiere volver a utilizar las gafas. De este sujeto también se registró que reconoció el entorno, pero a veces no distinguía que es realidad virtual y trataba de interactuar como si tuviera los elementos físicos delante, haciendo el gesto de tocarlos y agarrarlos. No obstante, al sacarle las gafas, se marchó rápidamente.

A nivel global, el ítem con menor aceptación por parte de los sujetos es el 1, con un 34% de realización. En contraste, el ítem 2, manifestar entender las explicaciones sobre la RVI, lo realizaron el 100% de los participantes. Lo mismo ocurre con los ítems 4, 5, 6 que hacen referencia a dejarse colocar las gafas, manifestar comodidad al ponerse las gafas y

aceptar seguir con las gafas de RV. El resto de los ítems tienen una aceptación del 66%, como, por ejemplo, el ítem 7, que evalúa si el sujeto quiere volver a utilizar las gafas, o el ítem 3, si el sujeto se acerca al dispositivo de RVI mostrando interés.

4.3. Resultados relativos al uso de la RVI para el fomento de la comunicación e interacción social

En la tabla 3 se presentan los resultados de los comportamientos de los tres sujetos en relación con las interacciones propuestas con los avatares del entorno de RVI diseñado.

Tabla 3

Uso de la RV para el desarrollo de la comunicación e interacción social.

Ítem	Sujeto 1		Sujeto 2		Sujeto 3		Si		No		Si		No			
	(f)	(%)	(f)	(%)	(f)	(%)	(f)	(%)	(f)	(%)	(f)	(%)	(f)	(%)		
1. Imita al robot cuando se sienta	1		1		1		3	100	0	0						
2. Imita al robot cuando baila.	0		1		1		2	66	1	34						
3. Responde diciendo su nombre cuando el robot le pregunta	1		1		1		3	100	0	0						
4. Responde diciendo su edad cuando el robot le pregunta.	1		1		0		2	66	1	34						
5. Responde diciendo el nombre de su colegio cuando el robot le pregunta	1		1		0		2	66	1	34						
6. Responde diciendo el curso al que pertenece cuando el robot le pregunta.	1		1		0		2	66	1	34						
7. Responde a la maestra virtual cuando le pregunta.	1		0		0		1	34	2	66						
	Si (f)	No (f)	Si (%)	No (%)	Si (f)	No (f)	Si (%)	No (%)	Si (f)	No (f)	Si (%)	No (%)	Si (f)	No (f)	Si (%)	No (%)
	6	1	85	15	6	1	85	15	3	4	43	57				

Fuente: Elaboración propia.

El sujeto 1 ha desarrollado el 85% de los comportamientos que recogen los ítems, no realizando el ítem 2, que mide si es capaz de imitar al robot cuando baila. Además, se registró a través de la pregunta abierta del cuestionario que el sujeto 1, al ponerse las gafas, reconoció rápidamente los elementos del entorno, aunque se desorientó cuando fue a buscar alguno de ellos.

La interacción ha sido satisfactoria, pero en algún momento ha necesitado que le repitieran la información. Manifestó que tenía ganas de conocer físicamente al robot. Por lo que respecta al sujeto 2, llevó a cabo el 85% de los comportamientos contemplados, no realizando la interacción con la maestra recogida en el ítem 7. Cabe añadir que se registró que en un primer momento no reconoció los elementos del entorno y se le tuvo que orientar con indicaciones adicionales. Tras las interacciones planteadas mostro interés por conocer más sobre el entorno, centrándose en un mapa colgado en la pared. Si se atiende al sujeto 3, este es el usuario que logró menos comportamientos (43%). Así, realizó los ítems 1, 2, 3. Los dos primeros se centran en la capacidad de imitar al robot cuando se sienta y cuando baila. Mientras que el último evalúa que el sujeto es capaz de decir su nombre. De este sujeto se registró que necesitó que le repitieran las preguntas y que había preguntas que no entendía. Reconoció con el dedo la localización del robot NAO en el entorno. Manifestó que le gustó la experiencia, pero inmediatamente se levantó y se marchó.

Con respecto a la evaluación global de los ítems, se ha podido observar como el ítem 1,3 lo han desarrollado el 100% de los participantes, siendo el más problemático el ítem 7 donde solo el 34% de los participantes han sido capaces de desarrollar el comportamiento. El resto de los ítems fueron conseguidos por el 66% de los participantes. Destacando el 5,6 que tienen en común que deben responder las preguntas que les formula el avatar del robot.

5. Discusión

El estudio llevado a cabo se ha planteado en la primera pregunta de investigación identificar los elementos sobre los cuales el alumnado con TEA fija su atención en el entorno de RVI. Se ha constatado una gran variabilidad en el comportamiento de los tres sujetos. Este hecho puede ser consecuencia de las diferencias interindividuales existentes en el ámbito de la interacción social, la atención y las habilidades de comunicación (Chevalier *et al.*, 2017), que deben ser tenidas en cuenta para el diseño y la evaluación de cualquier tipo de intervención en el alumnado con TEA.

Si se atiende al primer periodo de exploración del entorno de RVI, los tres sujetos miraron a objetos inanimados en la mayoría de los intervalos de tiempo, como la propia mesa, la mesa de la maestra o la mesa del compañero. Este hecho puede deberse a la preferencia que tiene el alumnado con TEA por los objetos no sociales, ya que son predecibles, simples y fáciles de comprender (Kumazaki *et al.*, 2018). Asimismo, estos resultados están en línea con los de Baron-Cohen (2006), que constató que los niños con TEA no son capaces a enfrentarse a sistemas que presentan alta variabilidad, como los entornos reales. Por ello, este alumnado presenta predilección por entornos altamente jerarquizados, como la RVI o la robótica (Lorenzo *et al.*, 2016). Únicamente el sujeto 2 miró a la maestra y lo hizo durante un intervalo de dos segundos. Esto puede ser consecuencia de que la expresión facial y la mirada de las personas no pueden reproducirse con total realismo en el entorno virtual, de tal manera que los alumnos presentan problemas para prestar atención a los avatares (Roth *et al.*, 2016). En este sentido, estos autores, añaden que debe aclararse el cómo y en qué contexto estas características que no presentan los avatares podrán influir en la percepción de los

usuarios. No obstante, cabe indicar que si en el periodo de exploración hubo un sujeto que sí fue capaz de mirar a la maestra y otros no, refleja que en algunas ocasiones los usuarios realizan una unión fuerte entre el avatar virtual y el entorno real, mientras que otras veces lo rechazan (Parsons, 2016). Otro factor para tener en cuenta son las características del avatar, que influyen en el sentimiento de presencia del usuario y, por tanto, en su comportamiento tanto dentro como fuera del entorno (Blascovich *et al.*, 2002). Además, la RVI se puede adaptar a los diferentes niveles cognitivos de los usuarios (Zhang *et al.*, 2017). Así, resulta coherente que haya sido el sujeto 2, que tiene el nivel de competencia curricular más elevado, el que prestara atención al avatar.

Por lo que respecta al segundo periodo de medición, cuando la maestra realiza la presentación a la clase, dos de los tres participantes no le prestaron atención. Esto puede deberse al tipo de actividad, ya que la atención disminuye en actividades sociales más pasivas, que no son iniciadas por el individuo, o en interacciones que pueden estar excesivamente guionizadas sin fomentar la espontaneidad de la comunicación natural en entornos de RVI (Didehbani *et al.*, 2016). En sintonía, Tzanavari *et al.*, (2015) constataron que los niños con TEA realizan más satisfactoriamente actividades dinámicas, como aprender a cruzar un paso de cebra en un entorno virtual, generándose una correcta transmisión al entorno real. El sujeto 1, pese a que no ha mirado a la maestra, sí dedica tres segundos a mirar al robot que tiene a su lado. Esto puede ser debido a que entre los diversos roles que puede desempeñar el robot en los procesos de socialización, este sea percibido como un juguete nuevo (Scassellati *et al.*, 2012). Este comportamiento identificado es acorde con los resultados de Feli-Seifer y Mataric (2009), que confirmaron que los niños con TEA muestran interés hacia los robots, porque son percibidos como elementos para iniciar actividades de juego y aprendizaje. No obstante, cabe destacar que el sujeto 2 mantiene durante todo el periodo de presentación de la profesora la vista puesta en su avatar, a diferencia de lo que ocurre con los otros participantes. Esto puede atribuirse a la denominada saliencia perceptiva visual, que define la percepción que tiene el sujeto sobre lo llamativo que le puede resultar un objeto (Pruden *et al.*, 2006). En este sentido, Parish-Morris *et al.*, (2007) constataron que una alta saliencia perceptiva visual puede determinar en el alumnado con TEA la percepción sobre la importancia de un objeto. Por tanto, si al alumno con TEA le resulta llamativo la maestra, que es un objeto animado, mantendrá la mirada en ella.

En cuanto al tercer periodo de medición, cuando el robot se presenta, cabe mencionar que el sujeto 1 miró a la maestra durante unos segundos, ignorando la presencia del robot. Esto puede ser consecuencia, según Kumazaki *et al.*, (2018), a que exista cierta ausencia de realismo en la representación del robot, dificultando la atención a elementos de interacción social como la mirada. El sujeto 2 es el que más atención presta a la situación planteada, mirando primero a la maestra y después atendiendo al robot NAO. Este resultado puede deberse, siguiendo a Scassellati *et al.*, (2012), por dos razones. En primer lugar, los robots, incluso sin ninguna interacción, ya atraen la atención de los niños. En segundo lugar, los robots al estar animados y parecer autónomos, despiertan el interés, a diferencia de lo que ocurre con los juguetes tradicionales. Asimismo, este hallazgo está en sintonía con Duquette *et al.*, (2008), que pudieron comprobar que la utilización del robot favorecía las habilidades de imitación y de atención del alumnado con TEA. No obstante, el sujeto 3 no mira en ningún momento al robot NAO en su presentación. A esto

ha podido contribuir algunas limitaciones propias del robot NAO, como la incapacidad que presenta para girar los ojos, lo que le aleja de la apariencia de un agente humano, generando obstáculos para captar la atención del alumnado con TEA (Bekele *et al.*, 2014). Además, cabe añadir que Anzalone *et al.*, (2014) constataron que en las actividades que plantearon con el robot NAO los niños con TEA y los de desarrollo típico consiguieron los mismos niveles de atención. De este modo, llegaron a la conclusión de que el robot no fue el único elemento para la mejora de la atención.

En lo que se refiere al cuarto periodo de toma de datos, cabe mencionar que el sujeto 1 no presta atención en la interacción con el robot, pese a que durante la presentación de la maestra sí había prestado atención al robot. Esto puede deberse a que pertenezca al grupo de alumnos con TEA que en situaciones sociales presta atención a elementos de los objetos que no son susceptibles de la interacción social y, consecuentemente, no mira de manera directa al robot (McPartland *et al.*, 2011). En esta línea, Speer *et al.*, (2007) también constataron que el alumnado con TEA tiene dificultades para el procesamiento de estímulos dinámicos de los objetos. No obstante, el sujeto 2 y el sujeto 3 prestan atención a las preguntas que el robot les está planteando. Este comportamiento puede deberse al hecho de que los robots son capaces de atraer la atención y mantener el interés a través de movimientos debidamente sincronizados, peticiones sociales y comportamientos deseables por el alumnado con TEA (Scassellati *et al.*, 2012). Asimismo, cabe tener en consideración la preferencia de este alumnado por los objetos que carecen de estímulos sociales, como es el caso de los robots (Baron-Cohen *et al.*, 2006). Es especialmente destacable la atención que el sujeto 3 presta en el robot, que se muestra como un elemento estimulante por su simplicidad y su funcionamiento intuitivo. Esto motiva para el inicio de la interacción social (Scassellati *et al.*, 2012). Asimismo, las instrucciones que el robot proporciona en los procesos de interacción son mucho más sencillas de retener y procesar por el niño, fomentándole, si así se requiere, a buscar información sobre el juego social planteado (Breazeal *et al.*, 2016).

Por lo que respecta a la segunda pregunta de investigación, dedicada a la aceptación del dispositivo tecnológico de RVI, se ha constatado el hecho de que mayoritariamente los participantes manifestaron querer volver a utilizar las gafas. Esto es reflejo de la adecuación de la RVI al perfil del alumnado con TEA, ya que permite el control de los estímulos, diseñar una tarea adaptada a las características del usuario y la posibilidad de trabajar con dispositivos de entrada de hardware que dotan de un mayor realismo a la interacción (Parsons, 2016). En base ello, los usuarios suelen mostrar su deseo de volver a trabajar con la RVI, pues, disminuye el estrés generado en los entornos reales (Newbutt *et al.*, 2020). Pese a ello, cabe destacar que el sujeto 3 no quiso volver a ponerse la gafas. Este alumno tiene un perfil de mayores problemas de comunicación que, según APA (2013), es una de las áreas de mayor dificultad de las personas con TEA. En este ámbito de dificultades, resulta oportuno tener en consideración lo indicado por Maloney *et al.*, (2020), que han constatado las carencias en la representación realista de los entornos de RVI para los supuestos de interacción a través de comportamientos no verbales. Los mencionados autores añaden que la ausencia de objetos reales contribuye a dificultar la interacción del alumnado que carece de comunicación no verbal. Por lo tanto, lo expuesto influye en la menor aceptación de la RVI mostrada por el sujeto 3.

Entre los comportamientos realizados por todos los participantes, cabe mencionar la aceptación mostrada para dejarse colocar las gafas. Esta conducta es acorde con el interés constatado del alumnado con TEA por los dispositivos tecnológicos (Lorenzo *et al.*, 2013). También cabe destacar la aceptación de los sujetos al comprender las explicaciones sobre el uso de la RV y su deseo de seguir con las gafas puestas. Estos resultados son consecuentes con el hecho de que la RVI es un dispositivo de uso fácil, que provoca una disminución de la carga cognitiva necesaria para que el usuario desarrolle su aprendizaje (Schmidt *et al.*, 2021). Además, cabe tener presente para la valoración, la predilección que tiene el alumnado con TEA por la RVI, debido a sus características realistas y atractivas (Patsadu *et al.*, 2019). De este modo, el nivel de inmersión provoca un mayor impacto en el aprendizaje (Miller y Bugnariu, 2016). Esto lleva, en suma, a la alta aceptación por parte de los usuarios con TEA. Los hallazgos están en línea con los de Junaidi *et al.*, (2022), que comprobaron que el alumnado no experimentó problemas de comprensión y utilización del sistema, registrando una buena aceptación. Asimismo, la aceptación constatada en el mencionado estudio contribuyó a una mayor motivación del alumnado para la realización de las actividades que se propusieron

En referencia a la tercera pregunta de investigación, relativa a la comunicación e interacción en las situaciones propuestas, dos de los tres participantes imitaron al robot cuando baila. Cabe considerar que el alumno que no realizó dicho comportamiento se ha debido a una menor frecuencia y precisión en la imitación, que es una característica propia de determinados alumnos con TEA (Nadel, 2002). No obstante, dos de los tres participantes consiguieron el 85% de los comportamientos en la interacción con el robot. En este hallazgo resulta adecuado considerar la inclinación del alumnado con TEA a atender más a los robots (Kim *et al.*, 2013). Del mismo modo, la simplicidad de los comportamientos de los robots ayuda a la comprensión y el aprendizaje en contraposición con los complejos comportamientos humanos (Short *et al.*, 2017). Asimismo, la RVI estimula al usuario a tener una presencia social, percibiendo que está interactuando con otro ser humano real (Wallace *et al.*, 2016). El realismo representacional y conductual de los avatares, entendido como el grado en que los avatares y objetos se comportan como lo harían en el mundo real (Blascovich *et al.*, 2002), despiertan la iniciativa para la comunicación social del alumnado, tal como se ha constatado. La consecución de estos comportamientos está en consonancia con los resultados de Matsuda *et al.*, (2017), que obtuvieron mejoras significativas en la comunicación y atención social con la participación de un robot.

De manera concreta, los sujetos 1 y 2 respondieron satisfactoriamente a las preguntas que formuló el robot sobre el nombre propio, la edad, el nombre del colegio y el curso al que pertenecen, mientras que solo uno de ellos respondió a la pregunta formulada por la maestra. Esto puede ser consecuencia de que un robot de las características del robot puede facilitar que los niños con TEA tiendan a la comunicación social y al desarrollo progresivo del lenguaje y de conceptos más abstractos. (Scassellati *et al.*, 2012). Los hallazgos del estudio coinciden con los de Ingersoll (2010), que constató que el papel mediador del robot favorecía comunicación e interacción social en comparación con la asistencia de un humano. En el caso del sujeto 3, a pesar de tener mayores problemas de comunicación y no comunicarse de manera verbal, fue capaz también de responder a la pregunta del robot sobre su nombre, pues, como indica García (2002), el alumnado con

este perfil empieza con el trabajo de pictogramas y realizan tareas de emparejamientos perceptivos, identificando los nombres. De esta forma, son capaces de saber su nombre y el de los compañeros. En contraste, no fue capaz de responder al resto de preguntas que el robot planteó el robot, para lo cual cabe tener presente que este alumnado tiene más dificultades de comprensión ante conceptos más abstractos o simbólicos (Gándara, 2007), como puede ser la edad, la pertenencia a un colegio o a un curso. Asimismo, el sujeto 3 no fue capaz de contestar a la pregunta que formuló el avatar de la maestra. Esto puede deberse a que en la RVI aún se constatan carencias en la forma de implementar la comunicación no verbal en los contextos a los que se enfrenta este alumnado de manera diaria (Maloney *et al.*, 2020). En este sentido, Maloney *et al.*, (2020) añaden que la información no verbal influye de manera significativa en la interacción que realizan los usuarios en los entornos de RVI. En la misma línea, Fabri *et al.*, (1999) abordaron el efecto de la información no verbal en el uso de la VR, confirmando que en la RVI la incorporación de la información no verbal a los entornos aún no está lo suficientemente desarrollada.

6. Conclusiones

Con el estudio llevado a cabo se ha podido constatar que el alumnado con TEA manifiesta afinidad por las actividades desarrolladas en entornos de RVI. En este sentido, teniendo presente los resultados de la investigación y el objetivo y las preguntas de investigación planteadas, se indican las siguientes conclusiones:

1. Los elementos de interacción social como los avatares de la maestra y el robot captan la atención del alumnado con TEA, aunque en menor medida que los objetos inanimados.
2. El alumnado con TEA manifiesta una buena aceptación del dispositivo de la RVI, expresando el deseo de volver a utilizarlo.
3. El alumnado con TEA responde favorablemente a la mayoría de las interacciones en el entorno RVI, a pesar de identificarse diferencias según los niveles de comunicación de los sujetos.

De los hallazgos proporcionados por la investigación, cabe concluir que el entorno de RVI diseñado ha proporcionado un realismo y unas posibilidades de interacción notables, que pueden servir de base para la intervención posterior más extensa y la futura generalización en entornos reales. De igual manera, la combinación con la robótica plantea una línea de investigación relevante para contribuir a la mejora en la transferencia de habilidades del alumnado a entornos reales. Como futura línea de investigación, se plantea la posibilidad de realizar estudios incorporando el análisis del discurso para obtener información de carácter más social, que complementen los hallazgos de índole cuantitativa.

Para la intervención posterior prevista en el marco del Proyecto [referencia. PID2020-112611RB-I00] que se implementa, cabe tener presente, en primer lugar, la selección de una muestra lo más amplia posible que recoja en la medida de lo posible las diferentes características del alumnado con TEA. En segundo lugar, se plantea la posibilidad de

añadir inteligencia artificial al sistema de RVI de manera que pudiera ofrecer el estímulo más adecuado al usuario en función de sus características, tratando de responder a la variabilidad del TEA. Por ejemplo, este rasgo del sistema ayudaría a que el participante pudiera recibir actividades adaptadas en tiempo real. Asimismo, la inteligencia artificial haría posible establecer diversos niveles de dificultad en las tareas planteadas. En tercer lugar, cabe añadir un módulo que habilite la posibilidad de llevar a cabo la manipulación de objetos para conseguir más realismo e incorporar un cable a las gafas con una extensión que permita dotar al niño de una mayor movilidad en el entorno. En cuarto lugar, con el objetivo de poder solucionar los problemas de realismo ocasionados por los avatares, existe la oportunidad de añadir fragmentos de situaciones reales con videos inmersivos de 360 grados. De esta forma, se podría incorporar también la gran cantidad de información no verbal presente en las interacciones sociales. En quinto lugar, resulta necesario llevar a cabo una intervención con una previsión temporal que permita la adecuada inclusión de las sesiones con RVI dentro de las actividades curriculares del alumnado. En este estudio piloto, el estudio se llevó a cabo durante periodos libres que tenían los estudiantes en su horario. En sexto lugar, se considera necesario incluir otro módulo en el sistema de RVI que no fue desarrollado en el piloto para obtener información sobre los periodos de tiempo que el participante ha estado manipulando los diversos objetos del entorno. En séptimo lugar, se podría apostar por la creación de entornos relacionados con las diferentes situaciones sociales que debe superar el alumnado en su agenda escolar. De esta forma al inicio de la sesión el maestro podría configurar el entorno como si fuera un juego y seleccionar que tipo de habilidades y contexto desea trabajar el niño. Toda esta información sería configurable a partir de las características del usuario. Con esto se podría solucionar uno de los problemas que persisten en la aplicación de esta herramienta que es la gran variabilidad en las características del alumnado y la diversidad de rasgos de las herramientas utilizadas. Por último, el maestro en función del tipo de comunicación que presentara el usuario determinaría el tipo de pregunta que se le va a realizar a lo largo de las actividades.

Agradecimientos

A las familias, los tutores y al centro que ha permitido el desarrollo de la investigación.

Presentación del artículo: 18 de septiembre de 2022.

Fecha de aprobación: 16 de noviembre de 2022

Fecha de publicación: 31 de enero de 2023

Lorenzo, G., Lorenzo-Lledó, A., Lledó, A., & Pérez-Vázquez, A. (2023). Creación de un entorno de realidad virtual inmersiva para la comunicación e interacción social: estudio piloto en alumnado con trastorno del espectro autista. <i>RED. Revista de Educación a Distancia</i> , 23(73). http://dx.doi.org/10.6018/red.539141

Financiación

Los autores declaran haber recibido el siguiente apoyo financiero para la investigación, la autoría y/o la publicación de este artículo: Este artículo fue apoyado por el Programa Estatal de I+D+i Orientado a los Retos de la Sociedad del Ministerio de Ciencia e Innovación Español [referencia. PID2020-112611RB-I00]. Título del proyecto “La aplicación de la realidad virtual y la robótica en la comunicación e interacción social de alumnado con trastorno del espectro autista”.

Referencias

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.)*. Arlington, VA: American Psychiatric Publishing.
- Antúnez, S., Del Carmen, L., Imbernón, F. & Parcerisa, A. (1999). Del Proyecto Educativo a la Programación del Aula. El que, el cuándo y el cómo de los instrumentos de la planificación didáctica. Editorial Grao: Barcelona.
- Anzalone, S., Tilmont, E., Bouncenna, S., Xavier, J., Jouen, A., Boudeau, N., Maharatna, K., Chetouani, M. & Cohen, D. (2014). How children with autism spectrum disorder behave and explore the 4-dimensional (spatial 3D + time) environment during a joint attention induction task with a robot. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 8(7), 814-826. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2014.03.002>
- Aresti-Bartolome, N., & Garcia-Zapirain, B. (2014). Technologies as support tools for persons with autistic spectrum disorder: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11, 7767–7802. doi: 10.3390/ijerph110807767.
- Bai, Q., Shehata, M. & Nada, A. (2022). Review study of using Euler angles and Euler parameters in multibody modeling of spatial holonomic and non-holonomic systems. *Int. J. Dynam. Control* 10, 1707–1725. <https://doi.org/10.1007/s40435-022-00913-9>
- Bailenson, J., Yee, N., Blascovich, J., Beall, A., Lunblad, N. & Jin, M. (2008). The Use of Immersive Virtual Reality in the Learning Sciences: Digital Transformations of Teachers, Students, and Social Context. *The Journal of the learning sciences*, 17(1), 102-141. DOI: 10.1080/10508400701793141
- Bailenson, J (2018). *Experience on demand: what virtual reality is, how it works, and what it can do*. W. W. Norton & Company, New York
- Bangor, A., Kortum, P. & Miller, J. T. (2008). An empirical evaluation of the system usability scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574–594. <https://doi.org/10.1080/10447310802205776>
- Baron-Cohen, S. (2006). The hyper-systemizing, assortative mating theory of autism. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 30(5), 865–872. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2006.01.010>.
- Bekele, E., Crittendon, J., Swanson, A., Sarkar, N. & Warren, Z. (2014). Pilot clinical application of an adaptative robotic system for young children with autism. *Autism*, 18 (1), 598-608. DOI: 10.1177/1362361313479454

- Bevan, N., Kirakowski, J. & Maissel, J. (1991). What is usability?. In *Proceedings of the 4th International Conference on HCI* (pp. 1-5). Elsevier. Stuttgart.
- Biocca, F. & Delaney, B. (1995). Immersive virtual reality technology. *Communication in the Age of Virtual Reality*, 15(32), 10–5555.
- Blascovich, J., Loomis, J., Beall, A., Swinth, K., Hoyt, C. & Bailenson, J. (2002). Immersive virtual environment technology as a methodological tool for social psychology. *Psychological Inquiry*, 13, 103–124.
- Bradley, R. & Newbutt, N. (2018). Autism and virtual reality head-mounted displays: A state of the art systematic review. *Journal of Enabling Technologies*, 12(3), 101–113. <https://doi.org/10.1108/JET-01-2018-0004>
- Breazeal, C., Harris, P., DeSteno, D., Westlund, J., Dickens, L. & Jeong, S. (2016). Young children treat robots as informants. *Top. Cogn. Sci.*, 8(1), 481-491. <https://doi.org/10.1111/tops.12192>
- Brown, S. M., & Bebko, J. M. (2012). Generalization, overselectivity, and discrimination in the autism phenotype: A review. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 6(2), 733–740. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2011.10.012>
- Bonoma, T. (1985). Case Research in Marketing: opportunities, Problems, and a Process. *Journal of Marketing Research*, 22(2), 199-208. <https://doi.org/10.2307/3151365>
- Boucenna, S., Narzisi, A., Tilmont, E., Muratori, F., Pioggia, G., Cohen, D., et al. (2014). Interactive technologies for autistic children: A review. *Cognitive Computation*, 6(4), 722–740. <https://doi.org/10.1007/s12559-014-9276-x>
- Bozgeyikli, L., Bozgeyikli, E., Raij, A., Alqasemi, R., Katkooi, S. & Dubey, R. (2017). Vocational Rehabilitation of Individuals with Autism Spectrum Disorder with Virtual Reality. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 10 (2), 1-27. <https://doi.org/10.1145/3046786>
- Bozgeyikli, L., Raij, A., Katkooi, S., & Alqasemi, R. (2018). Effects of Virtual Reality Properties on User Experience of Individuals with Autism. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 11(4), 1-27. <https://doi.org/10.1145/3267340>
- Carreño-León, M., Leyva-Carrillo, A., Carreño, M. & Sandoval, A. (2019). Consideraciones para el diseño de interfaces de usuario en aplicaciones para niños con autismo. In F. Álvarez, M. Carreño-León, y J. Sandoval (Eds.), *Avances sobre reflexiones, aplicaciones y tecnologías inclusivas* (pp. 70–76). Conaic.
- Cavusoglu, H., Denis, A. & Parsons, J. (2019). Immersive Systems. *Journal of Manag. Inf. Systems*, 36 (3), 680-682. 10.1080/07421222.2019.1628874
- Centers for disease control and prevention (2021). *Autism Prevalence Higher in CDC's ADDM Network*. CDC. Recuperado el 23 de Octubre de 2022. <https://www.cdc.gov/media/releases/2021/p1202-autism.html>
- Chevalier, P., Martin, JC., Isableu, B. et al. (2017) Impact of sensory preferences of individuals with autism on the recognition of emotions expressed by two robots, an avatar, and a human. *Auton Robot*, 41 (1), 613–635 <https://doi.org/10.1007/s10514-016-9575-z>

- De Marchena, A.B., Eigsti, IM. & Yerys, B.E (2015). Brief Report: Generalization Weaknesses in Verbally Fluent Children and Adolescents with Autism Spectrum Disorder. *J Autism Dev Disord* **45**, 3370–3376. <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2478-6>
- Díaz-Muñoz, G. (2020). Metodología del estudio piloto. *Revista chilena de radiología*, *26*(3), 100-104.
- Didehbani, N., Allen, T., Kandalaf, M., Krawczyk, D. & Chapman, S. (2016). Virtual Reality Social Cognition Training for children with high functioning autism. *Computers in Human Behaviour* *62*(1), 703-711. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.04.033>
- Diehl, J. J., Schmitt, L. M., Villano, M., & Crowell, C. R. (2012). The clinical use of robots for individuals with autism spectrum disorders: A critical review. *Research in Autism Spectrum Disorders*, *6*(1), 249–262. DOI: 10.1016/j.rasd.2011.05.006
- Duquette, A., Michaud, F. & Mercier, H. (2008). Exploring the use of mobile robot as an imitation agent with children with low-functioning autism. *Autonomous. Robot*, *24*(1), 147-157. <https://doi.org/10.1007/s10514-007-9056-5>
- Durkin, M. S., Maenner, M. J., Baio, J., Christensen, D., Daniels, J., Fitzgerald, R., Imm, P., Lee, L. C., Schieve, L. A., van Naarden Braun, K., Wingate, M. S., & Yeargin-Allsopp, M. (2017). Autism spectrum disorder among US children (2002–2010): Socioeconomic, racial, and ethnic disparities. *American Journal of Public Health*, *107*(11), 1818–1826.
- Fabri, M., Moore, D. & Hobbs, D. (1999). The emotional avatar: Non-Verbal communication between inhabitants of collaborative virtual environments. En A. Braffot, R. Gherbi, S. Gibet, D. Teeil, J. Richardson (eds). *Gesture-Based communication in Human Computer Interaction. Lecture Notes in Computer Science* (pp. 269-273). Springer: Suiza
- Feil-Seifer, D., & Mataric, M. J. (2005). Defining socially assistive robotics. In *Proceedings of the 2005 IEEE 9th international conference on rehabilitation robotics* (pp. 465–468). IEEE: USA
- Feil-Seifer D & Matarić, M. (2009). Toward socially assistive robotics for augmenting interventions for children with autism spectrum disorders. *Exp. Robot. Springer Tracts Adv. Robot.* *54* (1), 201–210. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00196-3_24
- Fernández-Sánchez, H., Guzman-Facundo, F., Herrera-Medina, D. & Sidani, S. (2022). Importancia del Estudio Piloto en un Proyecto de Intervención. *Index de enfermería*, 12860.
- Fletcher-Watson, S., & Bird, G. (2020). Autism and empathy: What are the real link? *Autism*, *24*(1), 3–6. <https://doi.org/10.1177/1362361319883506>
- Gándara, C. (2007). Principios y estrategias de intervención educativa en comunicación para personas con autismo: TEACCH. *Revista de Logopedia, Foniatría y Audiología*, *27*(4), 173-186. DOI: 10.1016/S0214-4603(07)70086-4
- García, M. (2002). *Trastornos de la comunicación en el autismo*. Universidad de la Coruña.

- Glaser, N., Newbutt, N., Palmer, H., Schmidt, M. (2022). Video-Based Virtual Reality Technology for Autistic Users: An Emerging Technology Report. *Technology, Knowledge and Learning*. <https://doi.org/10.1007/s10758-022-09594-x>
- Grynszpan, O., Weiss, P. L., Pérez-Díaz, F., & Gal, E. (2014). Innovative technology-based interventions for autism spectrum disorders: A meta-analysis. *Autism, 18*(4), 346–361. DOI: 10.1177/1362361313476767
- Gibson, J. (2014). *The ecological approach to visual perception: classic edition*. Psychology Press, Hove
- Hernández, C. & Carpio, N. (2019). Introducción a los tipos de muestro. *Revista Alerta, 2*(1), 1-5.
- Herrero, J.F. & Lorenzo, G. (2020). An immersive virtual reality educational intervention on people with autism spectrum disorders (ASD) for the development of communication skills and problem solving. *Education and Information Technologies, 25* (1) 1689–1722 <https://doi.org/10.1007/s10639-019-10050-0>
- Hewitt, A., Hall-Lande, J., Hamre, K., Esler, A. N., Punyko, J., Reichle, J., & Gulaid, A. A. (2016). Autism spectrum disorder (ASD) prevalence in Somali and non-Somali children. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 46*(8), 2599–2608. <https://doi.org/10.1007/s10803-016-2793-6>
- Hocking, J. (2022). *Unity in Action: Multiplatform game development in C*. Manning Publications: USA.
- Horwitz, E.H., Schoevers, R.A., Greaves-Lord, K., de Bildt, A. & Hartman, C.A. (2020). Adult manifestation of milder forms of autism spectrum disorder; autistic and non-autistic psychopathology. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 50*(8). 2973-2986.doi: 10.1007/s10803-020- 04403-9.
- Hyman, S., Levy, S. & Myers, S. (2020). Identification, Evaluation, and Management of Children with Autism Spectrum Disorder. *Pediatrics, 145*(1), e20193447.doi: 10.1542/peds.2019-3447.
- Ip, H., Lai, C., Wong, S., Tsui, J., Li, R., Lau, S. & Chan, D. (2017). Visuospatial attention in children with autism spectrum disorder: A comparison between 2-D and 3-D environments. *Cogent Education, 4*(1), 1-14. DOI: 10.1080/2331186X.2017.1307709
- Ip, H., Wong, S., Chan, D., Byrne, J., Li, C., Yuan, V., Lau, K., & Wong, J. (2018). Enhance emotional and social adaptation skills for children with autism spectrum disorder: A virtual reality enabled approach. *Computers & Education, 117*(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.09.010>
- Ingersoll, B. (2010). Brief report: pilot randomized controlled trial of reciprocal imitation training for teaching elicited and spontaneous imitation to children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 40* (9), 1154-1160. doi: 10.1007/s10803-010-0966-2
- Ingersoll, B. & Wainer, A. (2013). Initial efficacy of project ImPACT: A parent-mediated social communication intervention for young children with ASD. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 43*(12), 2943–2952. DOI: 10.1007/s10803-013-1840-9

- Junaidi, A., Irvan, M., Yuwono, H., Arif, D., Alamsyah, Y. & Wagis, N. (2022). Usability testing of developed virtual reality environment to enhance communication skills for children with low functioning autism spectrum disorder. In *2nd International Conference on Information Technology and Education* (pp. 339-346). IEEE: USA
- Kim, E. S., Berkovits, L. D., Bernier, E. P., Leyzberg, D., Shic, F., Paul, R., et al. (2013). Social robots as embedded reinforcers of social behavior in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43, 1038–1049. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1645-2>.
- Kumazaki, H., Yoshikawa, Y., Yoshimura, Y. et al. (2018). The impact of robotic intervention on joint attention in children with autism spectrum disorders. *Molecular Autism* 9, 46 (1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s13229-018-0230-8>
- Lavarda, R., & Balbastre, F. (2009). Modelo de diseño del estudio de caso en una investigación sobre el proceso estratégico. En *Proceedings of 6th International Meeting of the Iberoamerican Academy of Management*.
- Lee, I., Chen, C., Wang, C., & Chung, C. (2018). Augmented Reality plus concept map technique to teach children with ASD to use social cues when meeting and greeting. *Asia-Pacific Educational Researcher*, 27(3), 227-243. <https://doi.org/10.1007/s40299-018-0382-5>
- Lee, E. & Wong, K. (2014). Learning with desktop virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected. *Computers & Education*, 79, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.07.010>
- Little, T., Chang, R., Gorrall, B., Waggenspack, L., Fukuda, E., Allen, P., & Noam, G. (2019). The retrospective pretest-posttest design redux: On its validity as an alternative to traditional pretest-posttest measurement. *International Journal of Behavioral Development*, 1–9
- Loovas, O., Koegel, R., Schreibman, L. (1979). Stimulus overselectivity in autism: A review of research. *Psychological Bulletin* 86(6), 1236-1254. DOI:10.1037/0033-2909.86.6.1236
- Lorenzo, G., Pomares, J. & Lledó (2013). Inclusion of immersive virtual learning environments and visual control systems to support the learning of students with Asperger Syndrome. *Computers & Education*, 62(11), 88-101. [10.1016/j.compedu.2012.10.028](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.028)
- Lorenzo, G., Lledó, A., Pomares, J. & Roig-Vila, R. (2016). Design and application of an immersive virtual reality system to enhance emotional skills for children with autism spectrum disorders. *Computers and Education*, 98 (1), 192-205. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.018>
- Lorenzo, G., Lledó, A., Arráez-Vera, G. & Lorenzo-Lledó, A. (2019). The application of immersive virtual reality for students with ASD: A review between 1990–2017. *Education and Information Technologies*, 24(1), 127–151. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9766-7>
- Luo, Y. & Du, H. (2022). Learning with desktop virtual reality: changes and interrelationship of self-efficacy, goal orientation, technology acceptance and learning

- behavior. *Smart Learning Environments*. 9, (22), 1-22. <https://doi.org/10.1186/s40561-022-00203-z>
- Maloney, D., Freeman, G. & Wohn, D. (2020). Talking without a voice: understanding non-verbal communication in Social Virtual Reality. En *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* (pp.1-25). ACM Digital Library: USA.
- Mascret, N., Montagne, G., Devrièse-Sence, A., Vu, A. & Kulpa, R. (2022). Acceptance by athletes of a virtual reality head-mounted display intended to enhance sport performance. *Psychology of Sport and Exercise*, 61(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2022.102201>
- Matsuda, S., Nunez, E., Hirokawa, M., Yamamoto, J. & Suzuki, K. (2017). Facilitating social play for children with PDDs: Effects of paired robotic devices. *Frontiers in Psychology*, 8, 1029. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01029>.
- McGill, M., Williamson, J. & Brewster, S. (2016). Examining the role of smart TVs and VR HMDs in synchronous at-a-distance media consumption. *ACM Trans. Comp.-Hum. Interaction*, 23(5), 1-57. <https://doi.org/10.1145/2983530>
- McPartland, J.C., Webb, S.J., Keehn, B. & Dawson, G. (2011). Patterns of Visual Attention to Faces and Objects in Autism Spectrum Disorder. *J Autism Dev Disord*, 41 (1), 148–157. <https://doi.org/10.1007/s10803-010-1033-8>
- Mesibov, G. & Shea, V. (2010). The TEACCH program in the era of evidence-based practice. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(5), 570–579. <https://doi.org/10.1007/s10803-009-0901-6>.
- Mesurado, B. (2009). Actividad estructurada vs. actividad desestructurada, realizadas en solitario vs. en compañía de otros y la experiencia óptima. *Anales de Psicología*, 25 (2), 308-315.
- Miller, H. & Bugnariu, N. (2016). Level of immersion in virtual environments impacts the ability to assess and teach social skills in autism spectrum disorder. *Cyberpsychology Behav Soc Netw* 19(4), 246–256. doi: 10.1089/cyber.2014.0682
- Monica, R., Aleotti, J. (2022). Evaluation of the Oculus Rift S tracking system in room scale virtual reality. *Virtual Reality* 26, 1335–1345 <https://doi.org/10.1007/s10055-022-00637-3>
- Moore, C., Carter, R., Nietert, P. and Stewart P. (2011). Recommendations for Planning Pilot Studies in Clinical and Translational Research. *Clin Transl Sci*, 4 (5), 332-3377. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1752-8062.2011.00347.x>.
- Morales-Hidalgo, P., Voltas, N., Canals, J. (2021). Autism spectrum disorder prevalence and associated sociodemographic factors in the school population: EPINED study. *Autism*, 25(7), 1999-2011. <https://doi.org/10.1177/13623613211007717>
- Nadel, J. (2002). Imitation and imitation recognition: Functional use in preverbal infants and nonverbal children with autism. In A. Meltzoff y W. Prinz (Eds.), *The Imitative Mind*. England: Cambridge University Press.
- Naranjo, C., Ortíz, J., Álvarez, V., Sánchez, J., Tamayo, V., Acosta, F., Proaño, L. & Andaluz, V. (2017). Teaching Process for Children with Autism in Virtual Reality

- Environments. En *ICETC 2017: Proceedings of the 2017 9th International Conference on Education Technology and Computers* (pp.41-45). ACM Library: USA.
- Newbutt, N., Bradley, R. & Conley, I. (2020). Using virtual reality head-mounted displays in schools with autistic children: Views, experiences, and future directions. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 23 (1), 23-33. DOI: 10.1089/cyber.2019.0206
- Ovalles, A., Luna, R., & Pérez, K. (2018). Pedagogical model with educational robotics as didactic support in primary mathematics teaching. *Educación Superior*, 25(1), 11–29.
- Parish-Morris, J., Hennon, E., Hirsh-Pasek, K., Michnick R. & Tager-Flusberg, H. (2007). Children with Autism Illuminate the role of social intention in Word Learning, *Child Development*, 78(4), 1265-1287. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01065.x>
- Parong, J., Pollard, K., Files, B., Oiknine, A., Sinatra, A., Moss, J., Passaron, A. & Khooshabeh, P (2020). The mediating role of presence differs across types of spatial learning in immersive technologies. *Computers in Human Behaviour*, 107(1), 1-10. [10.1016/j.chb.2020.106290](https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106290)
- Parsons, S. & Cobb, S. (2011). State-of-the-art of virtual reality technologies for children on the autism spectrum. *European Journal of Special Needs Education*, 26(3), 355–366. <https://doi.org/10.1080/08856257.2011.593831>
- Parsons, S. (2016) Authenticity in virtual reality for assessment and intervention in autism: a conceptual review. *Educational Research Review*, 19(1), 138-157. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.08.001>
- Patsadu, O., Muchchimwong, Y. & Narudkun, N. (2019). The development of game to develop the cognitive skill for autistic children via virtual reality. *Information Technology Journal*, 15 (2), 12-22.
- Pérez-Vázquez, E., Lorenzo, G., Lledó, A. & Lorenzo-Lledó, A. (2020). Evolution and Identification from a Bibliometric Perspective of the Use of Robots in the Intervention of Children with ASD. *Technology, Knowledge, and Learning*, 25(1) , 83–114 <https://doi.org/10.1007/s10758-019-09415-8>
- Pérez-Aguilar, W. (1999). El estudio de casos. En F. J., Sarabia (Ed), *Metodología para la investigación em marketing y dirección de empresas* (pp. 108-110). Pirámide: España.
- Pinilla, N., Gamboa, M. & Morales, M. (2022). Evaluación de la formación integral escolar a través de un diseño cuasiexperimental: contribuciones desde la Educación Física Evaluation of holistic education school through a quasi-experimental design: contributions from Physical Education. *Retos*, 43(1), 690-698. <https://doi.org/10.47197/retos.v43i0.88742>
- Pressman, R. (2010). *Ingeniería del software*. 7ª Edición. McGraw Hill.
- Pruden, S. M., Hirsh-Pasek, K., Golinkoff, R. M. & Hennon, E. A. (2006). The birth of words: Ten-month-olds learn words through perceptual salience. *Child Development*, 77(2), 266–280. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00869.x>

- Quill, K. (1997). Instructional considerations for young children with autism: the rationale for visually cued instruction. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 27 (4), 697-714. <https://doi.org/10.1023/A:1025806900162>
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Real Decreto 95/2022, de 1 de Febrero, por el que se establece la ordenación y enseñanzas mínimas de la Educación Infantil. *Boletín Oficial del Estado*, 2 de Febrero de 2022. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/02/01/95/con>
- Real Decreto 157/2022, de 1 de Marzo, por el que se establece la ordenación y enseñanzas mínimas de la Educación Primaria. *Boletín Oficial del Estado*, 3 de Marzo de 2022. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/01/157/con>
- Roth, D., Lugrin, J., Galakhov, D., Hoffman, A., Bente, G., Latoschik, M. & Fuhrmann, A. (2016). Avatar realism and social interaction quality in virtual reality. In *2016 IEEE Virtual Reality* (pp.277-278). IEE: USA.
- Sani-Bozkurt, S. & Bozkus-Genc, G. (2021). Social Robots for Joint Attention Development in Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review. *International Journal of Disability, Development and Education*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/1034912X.2021.1905153>
- Scassellati, B., Admoni, H. & Mataric, M. (2012). Robots for use in autism research. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 14, 275–294. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071811-150036>
- Schmidt, M. & Glaser, N. (2021) Investigating the usability and learner experience of a virtual reality adaptive skills intervention for adults with autism spectrum disorder. *Education Tech Research Dev* 69, 1665–1699 <https://doi.org/10.1007/s11423-021-10005-8>
- Schmidt, M., Schmidt, C., Glaser, N., Beck, D., Lim, M. & Palmer, H. (2021) Evaluation of a spherical video-based virtual reality intervention designed to teach adaptive skills for adults with autism: A preliminary report. *Interact Learn Environ.*, 29(3), 345-364. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1579236>
- Shahab, M., Taheri, A., Mokhtari, M., Shariati, A., Heidari, R., Meghdari, A. & Alemi, M. (2022). Utilizing social virtual reality robot (V2R) for music education to children with high-functioning autism. *Education and Information Technologies*, 27 (1), 819-843. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10392-0>
- Shamsuddin S., Ismail, L., Yussof, H., Zahari, N., Bahari, S., Hashim, H. y Jaffar, A. (2011) Humanoid robot NAO: review of control and motion exploration. En: *2011 IEEE international conference on control system, computing and engineering (ICCSCE)*, IEEE, (pp 511–516). IEE: Malaysia.
- Short, E. S., Deng, E. C., Feil-Seifer, D., & Mataric, M. J. (2017). Understanding agency in interactions between children with autism and socially assistive robots. *Journal of Human-Robot Interaction*, 6(3), 21–47.

- Schieve, L., Rice, C., Devine, O., Maenner, M. Lee, L. Fitzgerald, R., et al. (2011). Have secular changes in perinatal risk factors contributed to the recent autism prevalence increase? Development and application of a mathematical assessment model. *Annals of Epidemiology*, 21(12), 930–945. doi: 10.1016/j.annepidem.2011.08.009
- Speer, L. L., Cook, A. E., McMahon, W. M., & Clark, E. (2007). Face processing in children with autism: Effects of stimulus contents and type. *Autism*, 11(3), 265–277. DOI: 10.1177/1362361307076925
- Stoner, J., Freeman, R. & Gilbert, Jr. (1996). *Administración*. México: Pearson Educación.
- Strickland, D. (1996). A virtual reality application with autistic children. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 5(3), 319–329. <https://doi.org/10.1162/pres.1996.5.3.319>
- Strickland, D. (1997) Virtual reality for the treatment of autism. *Stud Health Technol Inf*, 44(1), 81–86
- Takeo, T., Toshitaka, N., & Daisuke, N. (2007). Development application software on PDA for autistic disorder children. *IPSJ SIG technical report*, 12(1), 31-38.
- Tickle-Degnen, L. (2013). Nuts and Bolts of Conducting Feasibility Studies. *The American Journal of Occupational Therapy*, 67(2), 171-176. <https://doi.org/10.5014/ajot.2013.006270>
- Tsai, W. Lee, I & Chen, C. (2021). Inclusion of third-person perspective in CAVE-like immersive 3D virtual reality role-playing games for social reciprocity training of children with an autism spectrum disorder. *Univ Access Inf Soc* 20 (1), 375–389 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10209-020-00724-9>
- Tzanavari, A., Charalambous-Darden, N., Herakleous, K. & Poullis, C. (2015). Effectiveness of an Immersive Virtual Environment (CAVE) for teaching Pedestrian Crossing to children with PDD-NOS. In 2015 *IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 423-427). IEEE: USA.
- Vega-Malagón, G., Ávila-Morales, J., Vega-Malagón, A., Camacho-Calderón, N., Becerril-Santos, A., Leo-Amador, G. (2014). Paradigmas en la investigación. Enfoque cuantitativo y cualitativo. *European Scientific Journal*, 10 (15), 523-528. 10.19044/esj.2014.v10n15p%p
- Vortmann, L. (2019). Attention-driven interaction systems for augmented reality. En *ICMI '19: 2019 International Conference on Multimodal Interaction* (pp.482-486). ACM. Digital Library: USA.
- Wallace, S., Parsons, S., & Bailey, A. (2016). Self-reported sense of presence and responses to social stimuli by adolescents with autism spectrum disorder in a collaborative virtual reality environment. *Journal of Intellectual & Developmental Disability*, 42(2), 1–11. <https://doi.org/10.3109/13668250.2016.1234032>.
- Watkins, L., Kuhn, M., Ledbetter-Cho, K., Gevarter, C., & O'Reilly, M. (2017). Evidence-based social communication interventions for children with autism spectrum disorder. *The Indian Journal of Pediatrics*, 84(1), 68–75. <https://doi.org/10.1007/s12098-015-1938-5>.

- Wheelwright, S., & Baron-Cohen, S. (2011). *Systemizing and empathizing*. En E. Fein (Ed.), *The neuropsychology of autism* (pp. 317–337). New York: Oxford University Press.
- Wolfberg, P., DeWitt, M., Young, G. & Nguyen, T. (2015). Integrated Play Groups: Promoting Symbolic Play and Social Engagement with Typical Peers in Children with ASD Across Settings. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(1), 830-845. <https://doi.org/10.1007/s10803-014-2245-0>
- World Medical Association (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>.
- Yin, R. (1989). *Case Study Research: design and Methods, Applied social research Methods Series*, Newbury Park CA: Sage.
- Zabala, A. & Arnau, L. (2008). *11 Ideas clave: como aprender y enseñar competencias*. Barcelona España: Ed. Graó, 4ª reimpresión.
- Zapata, M. (2005). Secuenciación de contenidos y objetos de aprendizaje. *RED. Revista de Educación a Distancia*, número monográfico II, 1-39. <https://doi.org/10.6018/red>
- Zhang, L., Wade, J., Bian, D., Fan, J., Swanson, A., Weitlauf, A., Warren, Z., Sarkar, N. & (2017). Cognitive load measurement in a Virtual Reality-Based driving system for autism Intervention. *IEEE Transaction on affective computing*, 8(2), 176-189. doi: 10.1109/TAFFC.2016.2582490.
- Zwaigenbaum L, Bauman ML, Choueiri R, Kasari C, Carter A, Granpeesheh D, et al. Early intervention for children with autism spectrum disorder under 3 years of age: recommendations for practice and research. *Pediatrics*, 136(1) ,Suppl 1:S60–81