

Análisis mediante inteligencia artificial de las emociones del alumnado autista en la interacción social con el robot NAO

Artificial intelligence analysis of the emotions of autistic students in social interaction with the NAO robot.

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

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

Ángel Rodríguez-Quevedo.
Universidad de Alicante. Alicante, España
arq6@gcloud.ua.es

Resumen

Actualmente, la tecnología es la herramienta más utilizada en el desarrollo de las actividades de la vida diaria. Cada vez es mayor, el número de campos de conocimiento que se benefician de su versatilidad y la aplicación en el desarrollo de sus actividades. En el entorno educativo, permite generar actividades adaptadas a las necesidades del alumnado. En los últimos años, la robótica y la inteligencia artificial son las que mayor difusión están teniendo. Las características de estas herramientas favorecen su aplicación con el alumnado con Trastorno del Espectro Autista. Por tanto, el objetivo de la investigación es explorar el uso integrado de la robótica y la IA para favorecer la comunicación e interacción social en el alumnado con autismo, analizando las emociones que manifiestan en las actividades diseñadas. Para ello, se implementó un estudio piloto con el robot NAO y cuatro niños autistas que desarrollaron actividades de imitación, juego e interacción social. Durante su realización se utilizó un sistema automático basado en redes neuronales convolucionales para detectar los estados de ánimo en el proceso de interacción. Los resultados muestran que tristeza, felicidad y enfado son las emociones que tiene una mayor probabilidad de producirse en los participantes. Por tanto, se concluye que el robot y el sistema de inteligencia artificial son un elemento fundamental para ayudar a expresar sus emociones en las interacciones sociales.

Palabras clave: redes neuronales, robótica, Autismo, emociones

Abstract

Currently, technology is the most widely used tool in the development of daily life activities. The number of fields of knowledge that benefit from its versatility and application in the development of their activities is increasing. In the educational environment, it allows the generation of activities adapted to the needs of students. In recent years, robotics and artificial intelligence are the most widespread. The characteristics of these tools favour their application with students with autism spectrum disorder. Therefore, the objective of the research is to explore the integrated use of robotics and AI to promote communication and social interaction in students with autism, analysing the emotions they show in the designed activities.

For this purpose, a pilot study was implemented with the NAO robot and four autistic children who developed imitation, game and social interaction activities. An automatic system based on convolutional neural networks was used to detect mood states in the interaction process. The results show that sadness, happiness and anger are the emotions most likely to occur in the participants. Therefore, it is concluded that the robot and the artificial intelligence system are a fundamental element to help express emotions in social interaction.

Key words: neural networks, robotics, autism, emotions

1. Introducción

En la actualidad existe numeroso alumnado que manifiesta diversas necesidades específicas de apoyo educativo (NEAE) durante sus procesos de aprendizaje y que deben ser atendidas por el profesorado. Una de las NEAE con un mayor diagnóstico en los últimos años es el autismo (Armijos et al., 2023). Desde el punto de vista mundial, la prevalencia del Trastorno del Espectro Autista (TEA) es de 1 por cada 100 niños (Organización Mundial de la Salud, 2023). Mientras que, a nivel nacional, la prevalencia es del 1.5% de la población infantil (Morales-Hidalgo et al., 2021). A este aumento ha contribuido, como ha indicado Alonso-Esteba y Alcantud-Marín (2022), el consenso internacional que se ha dado sobre los instrumentos ADOS (Lord et al., 2012) y ADI-R (Rutter et al., 2009), como los estándares de referencia para obtener un diagnóstico más precoz y seguro del alumnado autista.

En los entornos escolares, donde existe un gran componente social, el alumnado autista experimenta dificultades de interacción social y comunicación (O’Keeffe y McNally, 2023). Estos problemas son consecuencia de la ausencia de mecanismos que le permitan la comprensión de la información transmitida entre interlocutores por medio de lenguaje corporal, el habla, las expresiones faciales y los gestos (Gould, 2009). Asimismo, en la interacción social los niños autistas exhiben problemas para la comprensión de las relaciones de amistad, aceptación y pertenencia a un grupo, y sufren aislamiento y soledad (Dijkstra, 2015). De igual manera, los autistas tienen un reconocimiento deficiente de las emociones faciales debido a un deterioro en el procesamiento viso-perceptual de las caras, más que en el procesamiento emocional de las caras de perse (Yeung, 2022). Tomando como referencia las características del alumnado autista, cabe plantearse cuáles son las ventajas de aplicar la tecnología en su aprendizaje. La tecnología favorece la autonomía del alumnado autista (Carmona-Serrano et al., 2020) y reduce su ansiedad y crea oportunidades sociales (Brosnan et al., 2019). Además, los apoyos basados en tecnología suelen contribuir a un aumento de la motivación y el desarrollo del aprendizaje, en comparación con los métodos tradicionales (Goldsmith y Leblanc, 2004). Por lo tanto, la aplicación de la tecnología resulta adecuada al proporcionar entornos reales donde los estímulos pueden ser controlados en función de la situación social trabajada (Parsons, 2016).

Desde un enfoque educativo, la robótica es una herramienta que cada vez está teniendo un mayor uso debido sus posibilidades metodológicas e innovadoras para el aprendizaje (Bargagna et al., 2019). La robótica está disponible en diversas formas, como robots humanoides, animales/zoomórficos y diseños similares, y su aplicación como elemento de ayuda en los procesos de interacción social del alumnado autista ha recibido el nombre

de robótica de asistencia social (Syriopoulou-Deli y Gkiolnta, 2022). La robótica de asistencia social tiene como finalidad garantizar a los usuarios humanos la interacción social en diversos escenarios de asistencia, como, por ejemplo, una escuela, un supermercado o cualquier situación de la vida diaria (De Benedictis et al., 2023). De esta forma, se permite la adaptación a las diversas necesidades que presentan los usuarios (Sorrentino et al., 2022). Por lo tanto, se puede afirmar que en la robótica de asistencia social el robot se encarga de dos aspectos fundamentales: en primer lugar, ayudar a los alumnos con discapacidad a realizar las tareas y, en segundo lugar, a interactuar con ellos, proporcionándoles claves emocionales, cognitivas y sociales adecuadas, que dé lugar a un desarrollo del aprendizaje (Feil-Seifer y Mataric, 2005). De esta forma, la combinación de la de la robótica con las técnicas de inteligencia artificial va a permitir que el sistema sea capaz de manejar aplicaciones de alto muy sofisticadas cuya finalidad es el reconocimiento del estado de ánimo del interlocutor y la presencia de objetos en el entorno (Singh et al., 2023). De esta forma se consigue que el robot pueda adquirir cierta autonomía y tome sus propias decisiones para la ayuda del usuario en función de las experiencias previas en las que haya sido entrenado.

En el presente trabajo se ha llevado a cabo un estudio piloto en el marco del Proyecto del Ministerio de Ciencia e Innovación español, con referencia PID2020-112611RB-I00, titulado “La aplicación de la realidad virtual y la robótica en la comunicación e interacción social de alumnos con Trastorno del Espectro Autista”. El propósito ha sido examinar que el robot utilizado y las actividades diseñadas eran adecuadas para el alumnado participante de diferentes niveles de TEA. Para ello, se creó una experiencia de aprendizaje donde los participantes debían realizar una serie de actividades con el robot NAO en un entorno real para trabajar la comunicación e interacción social, identificándose los estados emocionales mediante el uso de una técnica de inteligencia artificial existente dentro del aprendizaje profundo (Deep Learning) que son las redes neuronales convolucionales. Asimismo, cabe destacar que no se han desarrollado previamente investigaciones donde se contemple la combinación de un robot y un sistema de inteligencia artificial que capture los estados de ánimo de los niños en tiempo real en contextos de interacción social y que el robot de realimentación verbal ante ellos. Las investigaciones previas con tecnología tenían, por un lado, como objetivo que el niño identificara una serie de emociones que el robot manifestaba. Por otro lado, otros estudios emplearon sistemas de inteligencia artificial que de manera aislada tenía que detectar las emociones del niño

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, el objetivo del estudio ha sido explorar el uso integrado de la robótica y la IA para favorecer la comunicación e interacción social en el alumnado con autismo, analizando las emociones que manifiestan en las actividades diseñadas. Para ello, se plantean las preguntas de investigación siguientes:

- 1.- ¿Cuáles son los estados emocionales que presentan las probabilidades medias más elevadas de aparición en la actividad de juego de imitación con el robot NAO?
- 2.- ¿Cuáles son los estados emocionales que presentan las probabilidades medias más elevadas de aparición en la actividad de juego de las pelotas con el robot NAO?
- 3.- ¿Cuáles son los estados emocionales que presentan las probabilidades medias más elevadas de aparición en la actividad de juego de preguntas y respuestas con el robot NAO?

2. Fundamentación teórica

A continuación, se procede a realizar una revisión teórica estructurada en cuatro bloques temáticos: el alumnado con Trastorno del Espectro Autista; la robótica en el alumnado con Trastorno del Espectro Autista; la inteligencia artificial en el alumnado con Trastorno del Espectro Autista; la aplicación combinada de la inteligencia artificial y la robótica en el alumnado con Trastorno del Espectro Autista.

2.1. El alumnado con Trastorno del Espectro Autista

2.1.1. Características del alumnado con Trastorno del Espectro Autista

El TEA es un trastorno neurológico que genera déficits en dos dominios centrales que conforman los criterios diagnósticos (APA, 2013). El primer dominio hace referencia a déficits en las capacidades sociales y de comunicación (Waizbard-Bartov *et al.*, 2023). Estos autores indican que dentro de este dominio se puede incluir la incapacidad de establecer contacto visual para iniciar una comunicación con los demás. El segundo dominio se refiere a la presencia de patrones de conducta e intereses restringidos o repetitivos (Waizbard-Bartov *et al.*, 2023). Estos autores exponen que este déficit se manifiesta con la realización de movimientos repetitivos, preocupación intensa por objetos o temas concretos. Asimismo, el alumnado con TEA manifiesta problemas en el procesamiento de la información (Horwitz *et al.*, 2020) y en la comprensión de las emociones y el estado mental de su interlocutor a través de las expresiones faciales o la entonación del habla (Talaat, 2023). También pueden tener problemas para anticiparse a las acciones de otras personas, analizando sus condiciones emocionales (Talaat, 2023). De esta forma, el alumnado con TEA tiene su capacidad para expresar emociones faciales comprometida, lo que provoca déficits sociales y dificultades para entablar relaciones (Trevisan *et al.*, 2018).

Además, cabe destacar que el alumnado con TEA manifiesta dificultades en el proceso de identificar señales sociales variables que aparecen en los distintos contextos (Moon y Ke, 2021) y en la generalización de los aprendizajes en los diferentes contextos (Hyman *et al.*, 2020). Esto puede verse influenciado por una modificación de las condiciones específicas del contexto (Brown y Bebko, 2012), el vocabulario receptivo adquirido por el alumno y sus habilidades de razonamiento analógico (De Marchena *et al.*, 2015). No obstante, este alumnado tiene una preferencia por el desarrollo de rutinas en las actividades de la vida diaria. Además, se caracterizan por presentar un aprendizaje visual y la utilización de un razonamiento lógico (Lorenzo *et al.*, 2016, Wilson *et al.*, 2017). De esta manera, son capaces de trabajar con sistemas altamente regulados, mientras que presentan dificultades con sistemas de gran variabilidad (Herrero y Lorenzo, 2020).

2.1.2. Las emociones en el alumnado con Trastorno del Espectro Autista

El Trastorno del espectro autista se asocia a distintas dificultades que afectan significativamente al funcionamiento emocional (Al-Saadi & Al-Tani, 2022). El alumnado autista presenta impedimentos en la comprensión, comunicación y regulación de las emociones, así como en la comprensión de los sentimientos y emociones de los demás y para mostrar empatía (Papoutsis *et al.*, 2018). De esta forma, y debido a los

problemas de alteración espontánea o intencionada de un estado emocional condicionados por la ausencia de regulación emocional, los alumnos con TEA pueden responder impulsivamente a los estímulos emocionales con comportamientos inadecuados (Mazefsky et al., 2013). Este aspecto también puede verse afectado por la tendencia que tienen estos estudiantes por fijarse en detalles de la cara y no en su globalidad (Walecka et al., 2022). Como consecuencia de lo expuesto, los autistas tienen emociones demasiado negativas y poco positivas desde una edad temprana (Jacques et al., 2022). Para estos autores, las expresiones faciales de los alumnos autistas se pueden considerar inusuales, como se refleja en los criterios utilizados para la identificación del autismo. En este sentido, existen dos aspectos para Jacques et al., (2022) que influyen en la expresión de emociones en el alumnado con TEA. En primer lugar, que los observadores no comprenden en muchos casos las expresiones que utilizan de manera habitual estos niños. Mientras que, en segundo lugar, las expresiones que manifiestan estos niños han sido evaluadas en contextos adaptados a personas sin TEA.

Asimismo, Brewer et al., (2015) añaden más factores que influyen en la representación atípica de la emoción por parte del alumnado con TEA. En primer lugar, los individuos con TEA pueden tener representaciones idiosincrásicas que varían entre los diversos individuos. En segundo lugar, pueden compartir representaciones comunes, pero atípicas, que varían entre los diversos individuos neurotípicos. En este caso, Brewer et al., (2015) concluyen que las personas con TEA son capaces de reconocer las expresiones faciales emocionales de otra persona con TEA, pero no de individuos con desarrollo típico. Cabe añadir que los alumnos con TEA tienen una menor conciencia sobre el valor comunicativo de las expresiones faciales y una motivación reducida para transferir información, lo que da lugar a las expresiones atípicas (Brewer et al., 2015). No obstante, destacan otros factores, como el deterioro de la información de retroalimentación relativa a los propios movimientos faciales, o la reducción de la capacidad para procesar esta información, que pueden conducir a la producción atípica de expresiones, pues, la salida motora se ajusta mal a las representaciones internas de la emoción, en lugar de deberse a representaciones atípicas en sí mismas.

2.2. La robótica en el alumnado con Trastorno del Espectro Autista

2.2.1. Aportaciones de la robótica al alumnado con Trastorno del Espectro Autista

El desarrollo tecnológico de los últimos años ha proporcionado numerosos avances a la sociedad (Maroto-Gómez *et al.*, 2023). Así, el desarrollo de robots autónomos que pueden operar sin la supervisión humana abre un amplio abanico de posibilidades. En este contexto, los robots pueden asistir a las personas e interactuar con ellos, por lo que es necesario dotar a estas máquinas de un comportamiento social (Maroto-Gómez *et al.*, 2023). Con el objetivo de conseguir esta interacción social, mediante la robótica se debe evocar en el usuario la riqueza física del tacto y su poder asociativo (Paterson, 2023). De la combinación de estas dos líneas nace un campo de trabajo que está teniendo una gran expansión en los últimos años, como es la robótica de asistencia social (Singh *et al.*, 2023). Son diversas las razones que justifican el uso de la robótica social en el alumnado con TEA. En primer lugar, los robots mejoran la atención colectiva del alumnado, incrementan el reconocimiento de las emociones y producen un desarrollo de la competencia social (Robins *et al.*, 2005). En este sentido, la robótica ayuda a que estos alumnos aprendan a percibir, comprender y expresar emociones (Cano *et al.*, 2023).

Además, las actividades de juego planteadas con el robot favorecen la generalización de los aprendizajes (So *et al.*, 2020).

Asimismo, los robots proporcionan una interacción más controlada y predecible que la interacción con humanos, debido a que los niños autistas se sienten más cómodos y pueden participar de manera más activa en el proceso de interacción social (Conti *et al.*, 2015, Sartorato *et al.*, 2017). Para Sartorato *et al.*, (2017), las actividades estructuradas que se diseñan con los robots proporcionan un refuerzo positivo mediante luces, sonidos o movimiento de las partes del cuerpo que posibilitan que el niño reciba información sobre las mejoras en las diversas habilidades entrenadas. Además, la posibilidad de que el robot desarrolle patrones repetitivos facilita que el alumnado pueda aprender de manera más sencilla su respuesta ante una determinada situación social (Costa *et al.*, 2018). A pesar de ello, el uso del robot no tiene como finalidad remplazar la interacción humano-humano, sino que debe actuar como un mediador entre el niño con TEA y los otros humanos (Amirova *et al.*, 2023).

2.2.2. Investigaciones previas sobre la robótica en el alumnado con Trastorno del Espectro Autista

En los últimos años se han desarrollado diversas investigaciones sobre el uso de la robótica en alumnado con Trastorno del Espectro Autista con diversos objetivos, entre los que destacan, la mejora de la comunicación e interacción social y la identificación de las emociones. En este sentido, no se han desarrollado investigaciones donde el robot sea capaz de identificar los estados emocionales del niño.

En investigaciones recientes sobre interacción social, Taheri *et al.*, (2018) trabajaron con tres parejas de niños con autismo un programa de 12 sesiones de juego asistido por robot. Los robots utilizados fueron NAO y Robokind. La finalidad de los juegos era el trabajo de la atención, la mirada y la comunicación verbal. Los juegos planteados fueron diversos, destacando el juego donde el robot enseña a los niños a imitar determinados movimientos en ejercicios y bailes de manera individual o en grupo Otro tipo de juego es el reconocer y señalar en las diferentes cestas de la pantalla diferentes animales, frutas, lugares y objetos para ello utilizan la Kinect de manera que se pueden captar los movimientos que realiza el niño durante el juego (en los modos Robot-Niño y Robot-Niño-Padres). Taheri *et al.*, (2018) concluyeron que el trabajo con el robot había dado lugar a mejoras en las habilidades verbales, un incremento de la atención y la participación en proceso de interacción social. En esta línea de mejora de la interacción social, Kim *et al.* (2021) utilizaron el robot NAO con seis niños con TEA, que fueron el grupo experimental, mientras que otros seis niños con TEA trabajaron sin el robot NAO. El objetivo era comprobar si las sonrisas que mostraban los niños al interactuar con el robot eran un indicador de comportamiento prosocial. Con esta finalidad utilizaron una cámara que se encargaba de grabar las interacciones con el robot de manera que posteriormente se llevaba a cabo su análisis por observadores externos. Para empezar, el robot era presentado por el terapeuta a cada niño, y el robot les saludaba moviendo los brazos y girando la cabeza para mirar a su alrededor. A continuación, se permitía al niño interactuar libremente con el robot. A mitad del proceso, intervenía el terapeuta para plantear al niño dos juegos con el robot, uno de ellos relacionado con el piedra, papel o tijera y el segundo centrado en el lanzamiento de objetos. En cada uno de los juegos si el robot perdía, entonces, miraba hacia abajo y movía la cabeza a los lados. Al finalizar los

juegos el robot se sentaba y empezaba la tercera actividad, donde el niño debía ayudar al robot a caminar. En el caso de que el niño ignorara al robot, el terapeuta intentaba explicarle lo que tenía que hacer. Finalmente, el terapeuta propuso la finalización de la sesión y el robot NAO se despidió del niño con la mano. Los resultados reflejaron que las sonrisas fueron un indicador de comportamientos prosociales voluntarios.

En referencia al uso de la robótica para que el niño autista identifique las emociones del robot, Marino et al., (2020) analizaron el papel del robot social NAO, asistido por humano, como mediador en la aplicación de un protocolo de comprensión socioemocional para niños con TEA. Concretamente, siete niños trabajaron con robótica y otros siete con metodologías tradicionales. La edad de los participantes oscilaba entre los 4 y los 8 años. Marino et al., (2020) plantearon cuatro actividades. La primera estaba centrada en habilidades de reconocimiento de emociones. La segunda abordaba la enseñanza de la asociación contexto-emoción. La tercera se centró en la discriminación entre pensamientos y emociones. Por último, la cuarta tenía como objetivo proporcionar estrategias básicas para producir y utilizar un repertorio de pensamientos útiles. A lo largo de todas las actividades era el terapeuta el que iba modificando el comportamiento del robot a partir de la información visual que iba recibiendo mediante una aplicación que tenía en el IPAD. De esta forma, el niño identificaba una emoción a partir de los comportamientos que desarrollaba el robot. Los resultados pusieron de manifiesto mejoras en el reconocimiento de las emociones con el uso del robot. Igualmente, en el trabajo de la identificación de las emociones, en el trabajo de Soleiman et al., (2023) se utilizaron dos robots con que tenían forma de loro con seis niños autistas. Los niños eran recibidos por lo robots que se encargaban de presentarle la actividad e invitarle a sentarse en una silla. A continuación, los robots con la ayuda de unas imágenes iban explicando una serie de emociones para que el niño las identificara. Los resultados mostraron que las habilidades de reconocimiento de emociones de los niños participantes mejoraron. Además, los resultados mostraron que los niños podían mantener y generalizar sus habilidades de reconocimiento de emociones después del periodo de intervención

2.3. La inteligencia artificial en el alumnado con Trastorno del Espectro Autista

2.3.1. La inteligencia artificial en los entornos de aprendizaje

El uso de la inteligencia artificial en el mundo educativo está aumentando rápidamente debido a sus múltiples posibilidades (Chu *et al.*, 2022). Esta herramienta puede adaptarse a la diversidad de alumnado (Verdú *et al.*, 2017) y proporciona retroalimentación rápida y personalizada (Dever *et al.*, 2020). Además, permite obtener una evolución de la evaluación del alumnado (Baykasoğlu *et al.*, 2018) y predecir su éxito académico (Çağataylı y Çelebi, 2022). En este sentido, se han desarrollado sistemas de tutoría inteligente que incorporan técnicas de inteligencia artificial en aplicaciones educativas (Van Seters *et al.*, 2012). El objetivo de estos sistemas es ayudar a los estudiantes a aprender, adaptándose las interfaces y los materiales de aprendizaje en función de las necesidades. Estos sistemas reciben el nombre de sistemas de aprendizaje adaptativos (Graf *et al.*, 2010). Asimismo, las técnicas de inteligencia artificial tendrán en cuenta las preferencias de los estudiantes, su nivel de aprendizaje, los factores personales, así como las características de los contenidos y entornos de aprendizaje para la creación de entornos de aprendizaje inteligentes (Hwang, 2014). Estos entornos, no sólo permiten a los alumnos acceder a los recursos digitales e interactuar con los sistemas de aprendizaje en

cualquier lugar, sino que también proporcionan activamente orientación, las pistas, las herramientas de apoyo y las sugerencias de aprendizaje necesarias en el lugar, el momento y la forma adecuada (Hwang, 2014). De este modo, un sistema de aprendizaje inteligente es un sistema mejorado por la tecnología, que asesora a los alumnos para que aprendan en el mundo real con acceso a los recursos del mundo digital (Hwang, 2014). Por tanto, estos sistemas de aprendizaje hacen posible el desarrollo de tareas que no pueden ser implementadas en entornos adaptativos y contextualizados (Zapata-Ros, 2018).

2.3.2. La inteligencia artificial y las redes neuronales

La IA proporciona a las máquinas la capacidad de realizar operaciones que normalmente requieren el intelecto humano, como el reconocimiento del habla, la comprensión del lenguaje natural y la toma de decisiones (Soori *et al.*, 2023). En la misma línea, Kaplan *et al.*, (2023) señalan que la IA mediante un software hace posible que las máquinas automáticas perciban su entorno y tomen decisiones de forma inteligente a partir de los datos disponibles. De este modo, la IA intenta resolver problemas complejos mediante la imitación de procesos biológicos, como la cognición y la lógica (Salehi y Burgueño, 2018). Dentro de la inteligencia artificial existe una rama de conocimiento llamada Machine Learning (ML), que utiliza algoritmos para dotar a los robots de la capacidad de aprender de los datos y mejorar con el tiempo (Vrontis *et al.*, 2022). Así, es posible programar robots para que realicen determinadas tareas como la planificación de trayectorias o la identificación de objetos. Concretamente, el ML integra métodos para realizar tareas mediante el reconocimiento automático de patrones en los datos, en lugar de programar explícitamente dichos algoritmos para que lleven a cabo las tareas mencionadas (Ullah *et al.*, 2020). Existe un tipo de ML que utiliza las redes neuronales artificiales para ayudar a los ordenadores a aprender de volúmenes masivos de datos, y que recibe el nombre de Deep learning (DL) (Howard, 2019). El DL ha sido particularmente útil en robótica para las tareas de reconocimiento de imágenes y del habla (Soori *et al.*, 2023). Tapeh & Naser (2023) añaden que el DL capitaliza el entrenamiento de redes neuronales con arquitecturas profundas y fluidas.

Cabe destacar que el DL se sustenta en redes neuronales. Una red neuronal es un modelo matemático computacional que tiene como objetivo un aprendizaje mediante experiencias, funcionando como las neuronas de un cerebro humano (Incio-Flores *et al.*, 2023). Para Incio-Flores *et al.*, (2023), una red neuronal está formada por: una estructura interna, determinada por los pesos o sinapsis, que tienen funciones inhibitoras o excitadoras; un sumador, que tiene como finalidad ponderar la suma de todas las entradas multiplicadas por la sinapsis; una función de activación, no línea; y un umbral de exterior. La unidad principal de una red neuronal es la neurona, dispositivo que, a partir de un conjunto de datos de entrada, puede generar una salida (Elman, 1991). Para este autor una neurona consta de un conjunto de entradas y pesos sinápticos o ponderaciones, una función de propagación, cuya finalidad es realizar la suma ponderada del producto escalar del vector de entrada y el vector de pesos sinápticos, y una función de activación de salida que se implementa de acuerdo con las características del problema.

A partir de la disposición que presentan las neuronas se pueden distinguir diferentes tipos de redes neuronales. La red neuronal más común es el perceptrón multicapa de alimentación hacia adelante (Nerea y Negro, 2022). La principal característica de esta red es que solo procesan información en una dirección y además suelen tener dos o más capas

ocultas de neuronas sigmoidales seguidas de una capa de salida de neuronas lineales (Demuth y Beale, 1992; Teslyuk et al., 2021). Otro tipo de red neuronal es la red en cascada hacia adelante, que recibe conexiones de las entradas originales de la red y de las unidades ocultas preexistentes (Qiao et al., 2016). Otra de las redes neuronales que tiene una gran difusión es la red neuronal de alimentación hacia adelante con retraso, que se caracteriza por una línea de retardo en el conjunto de datos de entrada con el objetivo de generar una dinámica en la estructura estática (Nerea y Negro, 2022). Por su parte, Marhon et al., (2013) definen las redes neuronales recurrentes como aquellas con bucles internos, que introducen dependencias de activación retardada entre las unidades de la red. La red neuronal más utilizada para reconocer y clasificar objetos, así como segmentar objetos en imágenes es la red neuronal convolucional basada en redes multicapas (Mustafa, 2023). Además, esta arquitectura puede aprender directamente del objeto de entrada sin la obligación de extracción de características humanas.

2.3.3. Investigaciones previas sobre la inteligencia artificial y las emociones en el alumnado con Trastorno del Espectro Autista

En campo de la aplicación de la inteligencia artificial para el reconocimiento de emociones en alumnado autista, cabe destacar algunas investigaciones ya realizadas. Guler et al., (2023) plantearon cinco situaciones sociales que los niños autistas debían visualizar en una pantalla. Para estas situaciones se examinaron seis expresiones básicas que podían mostrar los niños. Las expresiones que los niños iban mostrando se capturaban en una cámara web, que analizaba los rasgos faciales mediante un algoritmo de Machine learning, concretamente, una red neuronal convolucional. Para el estudio se escogieron 60 niños autistas, 60 niños neurotípicos y 60 niños de hermanos autistas. Los resultados constataron que el uso de Machine learning en una tarea validada de expresiones faciales puede medir las expresiones faciales espontáneas que realiza el alumnado y ser un apoyo para las metodologías.

Por su parte, Mayor-Torres et al. (2023) trabajaron con 48 participantes sin autismo y 40 participantes con autismo, a los que les mostraron 24 caras de niños con una determinada expresión y 24 que correspondían a adultos. Los usuarios etiquetaban la expresión que se mostraba, en función de si era feliz, triste, de enfado o de miedo. Las caras se mostraban de manera aleatoria. En el proceso, se utilizó una red neuronal convolucional que, en base a las señales cerebrales desarrolladas por los participantes en la realización de las actividades, evaluó que reacciones cerebrales han provocado las emociones observadas por los niños en las tareas en individuos diagnosticados con autismo y sin autismo. Los resultados pusieron de manifiesto que el algoritmo utilizado pudo obtener una serie de biomarcadores que puedan definir cuáles son las expresiones de las emociones por parte del alumnado autista y no autista cuando ven una determinada emoción.

2.4. La aplicación combinada de la inteligencia artificial y la robótica en el alumnado con Trastorno del Espectro Autista

Entre las primeras investigaciones donde se aplica la IA en la robótica para el alumnado con TEA, cabe destacar a Ramírez-Duque et al., (2019), que propusieron un sistema formado por una red de sensores RGB no estructurada y escalable, basada en ROS (Robot Operating system) y algoritmos de aprendizaje automático, basados en redes neuronales. Este sistema estaba integrado en un robot. A partir de ello, analizaron las emociones de

tres niños con desarrollo típico y tres autistas. Las diversas tareas que se desarrollaron pretendían dirigir la atención del niño hacia objetos situados en diversos lugares de la habitación, mediante estímulos generados, primero, por el terapeuta y después por el robot. Los resultados pusieron de manifiesto que el sistema basado en redes neuronales pudo detectar en todo momento las emociones, la posición y orientación de la cabeza. Además, los estímulos generados por el robot dieron un mayor interés por la interacción social frente a los estímulos producidos por el terapeuta que no influyeron en la interacción social del niño. Más recientemente, Al-Nafjan et al., (2023) han planteado el uso del robot NAO para asistir al alumnado autista en tareas sociales, combinado con redes neuronales convolucionales para medir el compromiso que tiene el niño en la realización de las actividades. La red neuronal diseñada se basó en tres pasos: la detección de la cara, la extracción de las características y la clasificación en función del nivel de compromiso de la actividad. La muestra estuvo conformada por 5 participantes, cuya edad estaba comprendida entre 5 y 10 años. En cuanto a las actividades, en primer lugar, se desarrolló una fase de identificación y familiarización con el robot. A continuación, el robot llamaba al niño por su nombre para conseguir captar su atención. Posteriormente, el robot estrechaba la mano al niño y levantaba la mano derecha. El robot pedía al niño que lo imitara. Los resultados mostraron la efectividad de la robótica como elemento de apoyo para la mejora de la comunicación e interacción social en el alumnado autista. Además, el sistema propuesto, basado en IA, pudo detectar con precisión el compromiso de los niños en la actividad.

Por su parte, Alban et al. (2023) trabajaron con 10 niños autistas distintas situaciones con estímulos, tanto inanimados, como animados, para predecir los comportamientos mediante redes neuronales convolucionales. Para ello, se utilizaron como variables predictoras los movimientos de las muñecas, la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca, el pulso y la actividad electrodérmica. En referencia a las actividades, en primer lugar, se presentaron diversos juguetes para que el niño escogiera su preferido. En segundo lugar, se eliminaron todos los estímulos anteriores y se incluyeron los robots de interacción social como NAO y Paro para que el niño interactuara con ellos, mientras el sistema iba capturando los datos emocionales del niño mediante las redes neuronales. En tercer lugar, se volvían a eliminar los estímulos previos, que eran substituidos por distintos tipos de trenes. En cuarto y último lugar, se presenta el juguete favorito del niño y se eliminan los trenes anteriores por un tren que es capaz de generar humo desde su chimenea cuando este encendido. A lo largo de los distintos experimentos, el niño dispone de un tiempo para poder jugar con los distintos juguetes. Los resultados pusieron de manifiesto que el niño, a pesar de tener una primera interacción inicial con miedo, con el paso del tiempo sentía un gran interés por el robot frente a los otros tipos de estímulos. Además, se identificaron emociones de alegría durante el proceso de interacción. Entre los diferentes tipos de redes neuronales que se utilizaron se pudo constatar que el modelo XGBoost es el que realizó con las variables indicadas una mejor predicción de los cambios de comportamiento de los niños.

También resulta oportuno destacar que Singh et al. (2023) utilizaron el robot “Tinku” que se inspiraba en el personaje de animación WALL-E, que aparece en la película del mismo nombre. Tinku tiene una pantalla en lugar de los ojos siendo esta herramienta el principal dispositivo de salida para todo tipo de comunicación visual. Además, dispone de dos motores de corriente continua montados en modo de accionamiento diferencial para el desplazamiento. Asimismo, “Tinku” incorporaba la IA para que los niños aprendieran a

lavarse los dientes. El proceso se dividió en módulos. Primero, se trabajó la identificación del cepillo, cogerlo y sujetarlo correctamente. Posteriormente, el enjuague del cepillo, aplicar la pasta e introducir el cepillo en la boca. A continuación, mover el cepillo en la boca 3 minutos, limpiando los dientes y evitando ingerir la espuma. Finalmente, colocar el cepillo en su sitio. Este sistema, basado en redes neuronales, fue probado con 16 niños autistas y el sistema de inteligencia artificial tenía como finalidad la detección de las emociones y los objetos cercanos. Además, el robot expresaba emociones en función de los sentimientos del niño. Los resultados pusieron de manifiesto la predisposición de los niños autistas a la interacción con el robot, así como la detección precisa de las emociones por parte del sistema.

3. Método

Se ha escogido una metodología de investigación cuantitativa, que permite describir numéricamente los fenómenos (Stockemer, 2019). Así, en el estudio se analiza el porcentaje de semejanza existente entre la imagen captada del rostro de los participantes y aquella con la que la red neuronal ha sido entrenada. También se ha calculado la probabilidad media de cada uno de los estados emocionales. Además, se ha adoptado un diseño cuasiexperimental, que es ampliamente utilizado en las ciencias sociales (Muse y Baldwin, 2021). Este diseño se caracteriza por la falta de aleatorización (Maciejewski, 2021) y permite tener un control notable sobre aquellos elementos que pueden influir en el desarrollo del objeto de estudio (Muse y Baldwin, 2021). Por último, se ha desarrollado un estudio de caso, que está encaminado a explorar un fenómeno dentro de un contexto determinado que tiene un carácter específico y peculiar a partir de diversas fuentes de datos y que proporciona información desde distintos puntos de vista para revelar múltiples facetas del fenómeno que es desconocido en la investigación educativa (Baxter & Jack, 2008, Stake, 2005). En base a ello, se ha llevado a cabo una exploración del suceso en tiempo real dentro del contexto natural, que determina el marco del fenómeno (Kaarbo & Beasley, 1999). En ningún caso tiene como finalidad la generalización de los resultados obtenidos. Para el desarrollo del caso de estudio se han seguido las fases establecidas por Pérez-Aguar (1999). Asimismo, los estudios de caso pueden emplear una gama de técnicas en la recogida y análisis de datos, tanto cualitativos, como cuantitativos (Cebreiro y Fernández, 2004). Además, cuando se trata de un estudio piloto se pueden utilizar aquellas metodologías que se adapten al objetivo del estudio (Díaz-Muñoz, 2020). En la presente investigación, es necesario realizar el cálculo numérico de la probabilidad de aparición cada una de las emociones de los niños, detectadas por el robot NAO, en su interacción. Por este motivo, resulta necesario el uso del enfoque cuantitativo

Además, se trata de un estudio piloto que tiene como objetivo evaluar la viabilidad de los métodos y procesos que se utilizarán en investigaciones de mayor escala (Díaz-Muñoz, 2020). Para poder maximizar las fortalezas del estudio piloto se escogieron participantes con características diversas y así poder comprobar que las tareas pueden ser diseñadas por una mayor diversidad de participantes y que el sistema puede actuar correctamente.

3.1. Participantes

Para realizar la investigación se escogieron cuatro participantes a través de una técnica de muestreo no probabilística intencional (Bussel, 2020). Los participantes estaban escolarizados en una unidad específica de un centro ordinario concertado de la Comunidad Valenciana, España. Existe disparidad de posturas en cuanto al tamaño adecuado de la muestra en un estudio piloto. Tickle-Degnen (2013) afirma que no se requiere un tamaño concreto para la realización de estudios piloto y la generalización de las conclusiones obtenidas. Por su parte, Moore et al., (2011) sostienen que el tamaño debe estar entre dos y diez participantes. Sin embargo, Nieswiadomy (2002) afirma que el tamaño de la muestra desde ser de diez participantes o del 10% del tamaño final de la muestra. Ante la ausencia de un criterio unitario sobre el tamaño que debe tener la muestra de un estudio piloto, junto con la dificultad que existe para la detección del alumnado autista y la aceptación de la participación en este tipo de estudios (Durkin et al., 2017), se ha considerado que cuatro participantes es un tamaño adecuado de muestra para implementar el estudio piloto. A continuación, se muestra en la tabla 1 las características de los participantes.

Tabla 1.
Características de los participantes.

Sujetos	Edad	Nivel de TEA	Género	Tipo de comunicación	Nivel de competencia curricular	Nivel cognitivo
Sujeto 1	12	2	Masculino	Verbal	1ºPrimaria	72 meses
Sujeto 2	9	3	Masculino	No verbal	2-3 años	26 meses
Sujeto 3	11	2	Masculino	Verbal	1ºPrimaria	74 meses
Sujeto 4	12	3	Masculino	Verbal	1ºPrimaria	29 meses

Sujeto 1. Presenta habilidades de comunicación expresiva, su discurso sin apoyo es desestructurado e inconexo, con tendencia a mantener soliloquios. Encuentra mayores dificultades en el uso del lenguaje, aunque mejora en la construcción oral de frases ordenadas sintácticamente con la ayuda de apoyos visuales. Responde muy bien a las tareas que tienen una mecánica estructurada y cerrada, como la ordenación de palabras y frases, pero se pierde en las que tiene que establecer criterios como en tareas de encontrar diferencias y semejanzas y en responder a preguntas que implican “cómo, qué, quién, dónde y cuándo”. Está mejorando su tendencia de hablar de sí mismo en tercera persona. En la interacción social se observa una bipolaridad claramente marcada por problemas graves de conducta adaptativa, modulada por su alto grado de ansiedad, intolerancia, pensamientos obsesivos y delirios.

Sujeto 2. No muestra comunicación verbal, se sirve de pictogramas. Muestra predilección por las tecnologías especialmente por la tableta. Presenta una gran capacidad de memoria selectiva. En el aula, el alumno expresa sus necesidades e intereses con el resto de los compañeros y el profesorado. Tiene un buen nivel de comprensión oral y en algunos casos necesita los pictogramas para poder aclarar algunos conceptos. Presenta habilidades de comunicación emocional en distintos conceptos.

Sujeto 3. Sus habilidades pragmáticas del lenguaje son satisfactorias en cuanto a la adecuación del uso del lenguaje con respecto al contexto y a la situación, pero no respecto al interlocutor, ya que están condicionadas por mutismo selectivo. Habla de manera fluida y espontánea en casa. Con sus iguales tiene una intención comunicativa ajustada (tanto

aula específica como ordinaria), no siendo así con los adultos, con los que modifica el tono de voz, aleja la mirada, contesta con monosílabos, con movimientos de cabeza o directamente no hace ninguna manifestación de comunicación (ni verbal ni no verbal). Con cierta frecuencia tiende a hablar en voz alta cuando cambia de actividad.

Sujeto 4. No presenta comunicación expresiva espontánea, aunque es capaz de responder a preguntas directas con si 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, presente hipersensibilidad ante algunos sonidos.

3.2. Instrumento

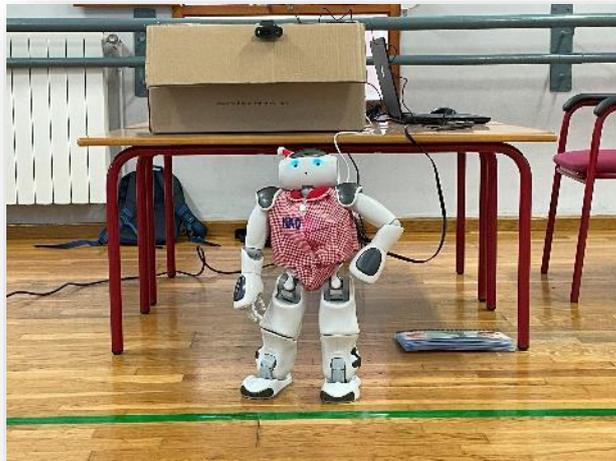
Seguidamente, se describen los instrumentos que se utilizaron para el desarrollo de las actividades y la captura de las emociones de los participantes.

3.2.1. El robot NAO

Los participantes interactuaron con el robot NAO. NAO es un robot bípedo de 58 centímetros de altura, que dispone de 25 grados de libertad, lo que le permite moverse y adaptarse al entorno. Además, tiene dos cámaras, siete sensores táctiles, cuatro micrófonos direccionales y cuatro altavoces para interactuar con los humanos y el entorno (Robaczewski et al., 2021). Estos autores añaden que NAO dispone de reconocimiento vocal y además es capaz de hablar en 20 idiomas distintos. En ese sentido, NAO dispone de elementos para llamar la atención del niño y favorecer la interacción social como por ejemplo la posibilidad de cambiar de color los ojos o realizar determinados comportamientos ya diseñados como bailar. Esto puede actuar como un refuerzo para mejorar la atención del niño. Asimismo, para humanizar al robot NAO y de esta forma los niños puedan verlo como un compañero más, se le ha puesto un babi y un sombrerito como se observa en la figura 1.

Figura 1

Robot NAO



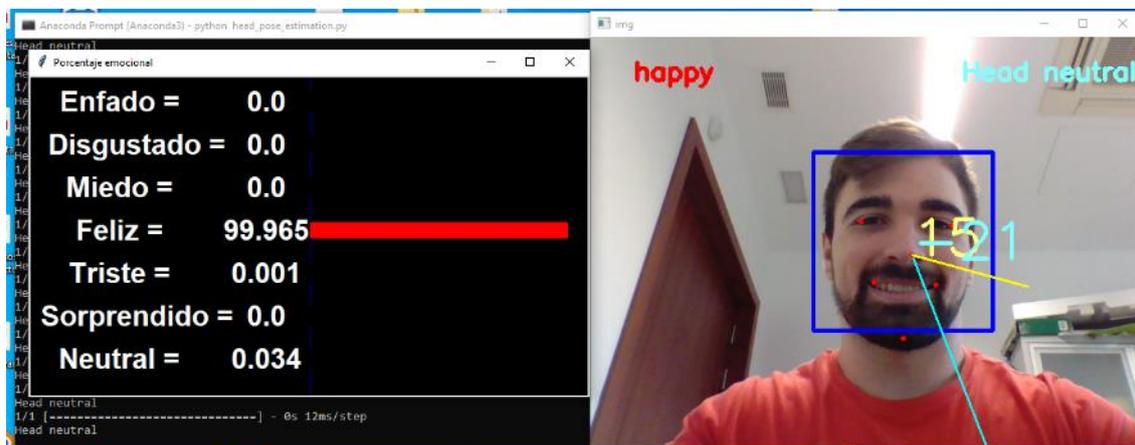
3.2.2. Sistema de inteligencia artificial para la detección de estados emocionales

La baja sensibilidad de las dos cámaras del robot NAO en la detección de las emociones, motivó el diseño de un sistema propio de reconocimiento de emociones llamado Emociones e Inteligencia Artificial (EMOIA). El robot detecta las emociones a partir de una cámara conectada al ordenador por USB. Una vez recibida la imagen, esta es tratada mediante un algoritmo de Deep Learning. Concretamente, se utiliza una red neuronal convolucional. Este algoritmo parte de diferentes imágenes previas de las emociones con las características que definen la cara del usuario y las compara con las nuevas imágenes, de manera que pueda tomar decisiones sobre la semejanza o probabilidad que presenta un estado ánimo (Chassagnon et al., 2020). Para ello, existen cuatro capas que componen la red neuronal convolucional (Mustafa, 2023). La capa convolucional se trata de un conjunto de filtros (o núcleos) que se aplican a los datos antes de utilizarlos. Según Mustafa (2023), la anchura, la altura y el peso de cada núcleo se utilizan para extraer características de los datos de entrada. Al principio, los pesos del núcleo se asignan al azar, pero poco a poco se van ajustando en función de los datos de entrenamiento. Es decir, el mapa de características se elabora combinando la imagen de entrada con estos filtros. Siguiendo con Mustafa (2023), otra de las capas es la de muestreo descendente, que se utiliza para reducir la dimensionalidad de los mapas de características, conservando los datos más importantes. Además, la capa de no linealidad sirve para restringir o sobresaturar la salida, asignando la entrada a la salida. Además, determina si se dispara o no una neurona en respuesta a una determinada entrada, generando la salida correspondiente. La última capa se llama capa totalmente conectada, donde las neuronas se organizan en grupos que recuerdan a las redes neuronales tradicionales (Mustafa, 2023). De esta forma, cualquier nodo de una capa está directamente conectado a cada nodo de la capa superior e inferior. El mayor inconveniente de una capa totalmente conectada es el gran número de parámetros, que requieren un cálculo laborioso en las muestras de entrenamiento. En consecuencia, se trató de minimizar el número de conexiones y nodos.

A continuación, en la figura 2 se muestra la interfaz del sistema de captura de datos basado en IA.

Figura 2

Sistema de inteligencia artificial calculando las emociones



Como clasificador para la detección de las caras se ha utilizado Haar Cascade que utiliza en lenguaje de programación Python y las emociones de enfado, disgusto, miedo, feliz, triste, sorprendido, neutral. Además, se ha utilizado OPEN CV que es una librería de visión artificial desarrollada por Intel y que soporta inteligencia artificial y Machine Learning. Asimismo, tras la detección de la cara, el estado de ánimo se etiqueta con el algoritmo DeepFace (Taigman et al., 2014). Esta herramienta está entrenada con un gran conjunto de datos de rostros procedentes de una población muy distinta de la utilizada para construir los parámetros de evaluación a los sistemas de evaluación (Taigman et al., 2014). Según estos autores, se genera una cara con una emoción determinada a partir de todas las imágenes de la base de datos. De esta forma la cara generada es comparada con la imagen que se obtiene a partir de la cámara conectada con USB. Las semejanzas entre la imagen original y la capturada indica la probabilidad de que un usuario tenga un determinado estado. El proceso de etiquetado de las emociones se llevó a cabo mediante el modelo Fer-2013 (GoodFellow et al., 2013).

3.3. Diseño de la intervención

Antes del comienzo de la intervención, se programaron unas actividades que los participantes debían realizar de manera individual, con el apoyo de la maestra de Pedagogía Terapéutica (PT) y la maestra de Audición y Lenguaje (AL). Las actividades tenían como propósito que los niños se familiarizaran con el robot NAO antes de la interacción con él. De este modo, las actividades se centraron en cuatro aspectos:

- Identificación del robot.

Figura 3

Ficha de identificación del robot.



- Reconocimiento del nombre del robot.

Figura 4

Ficha de reconocimiento del nombre del robot.



- Asociación del nombre del robot.

Figura 5

Fichas de asociación del nombre al robot.



- Identificación y manipulación de las partes del cuerpo del robot.

Figura 6

Ficha de manipulación de las partes del cuerpo del robot.



Tras estas actividades de presentación del robot NAO, se llevó a cabo la sesión donde los niños interactuaron físicamente con el robot, que tuvo la siguiente estructura:

- Exploración del robot NAO.

El investigador le muestra el robot real al niño para que lo explore y lo toque, si así lo desea. El robot está de pie y el niño se sienta enfrente de él. Durante la exploración, se realizaron preguntas al niño sobre el robot, tales como: ¿te gusta NAO?, ¿quieres conocer a NAO?, ¿quieres jugar con NAO?

Una vez finalizado el periodo de exploración y presentación del robot, se desarrollaron tres actividades de interacción, que fueron las siguientes:

- Actividad 1. Juego de imitación con NAO.

El robot NAO se presenta al niño diciéndole: “Hola, me llamo NAO y soy un robot amigo de los niños y de las niñas”. Posteriormente le pide al niño que le choque la mano. A continuación, NAO le explica al niño que cosas puede hacer diciendo: “Puedo hacer muchas cosas, yo hablo, yo miro, yo camino. Ahora repite conmigo lo que yo hago”. Seguidamente, el robot realiza una serie de movimientos, que el niño debe imitar. En primer lugar, NAO le pide que levante arriba el brazo izquierdo; en segundo lugar, que levante el brazo derecho; en tercer lugar, los dos brazos arriba; en cuarto lugar, el brazo izquierdo hacia adelante; en quinto lugar, el brazo derecho hacia adelante; en sexto lugar, los dos brazos hacia adelante. Continuando con los ejercicios de imitación, el robot NAO le dice al niño: “Ahora repite conmigo lo que yo hago”. Y NAO le pide que se siente y se levante, cómo él, y después que imite su movimiento de baile. En la figura 7, se puede observar a uno de los participantes imitando los movimientos de NAO.

Figura 7

Usuario escuchando a NAO antes de iniciar la imitación



- Actividad 2. Juego de las pelotas con NAO.

La actividad comienza cuando el robot NAO le pregunta al participante si quiere jugar a un juego. Cuando el niño le responde, NAO le contesta que le gusta mucho jugar con las pelotas de colores y le explica que van a realizar un juego donde le va a ir pidiendo pelotas de color. NAO las pondré después en la cesta que tiene a su lado. El juego se desarrolla con cuatro pelotas, cuyos colores son azul, negro, rojo y amarillo. En la figura 8 se observa al niño interactuando con NAO.

Figura 8

Usuario realizando el juego de las pelotas con NAO



- Actividad 3. Juego de preguntas y respuestas con NAO.

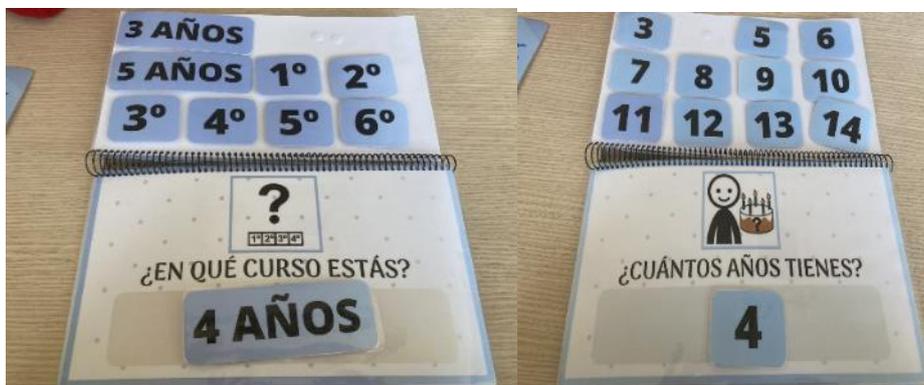
El robot NAO se encarga de realizar unas preguntas para interactuar con el niño: ¿cuál es tu nombre?, ¿cuántos años tienes?, ¿cuál es el nombre de tu colegio?, ¿cuál es el nombre de tu clase?, ¿quién es tu profesor/a?, ¿quiénes son tus amigos? A medida que el niño respondía a las preguntas, el robot decía una respuesta predeterminada diferente para cada una.

Para finalizar la sesión, el robot NAO se despidió de los niños, emplazándoles para verse la siguiente semana.

A continuación, en la figura 9 se muestran los libros de comunicación empleados para el alumnado participante que no tenía comunicación verbal.

Figura 9

Libros de comunicación



3.4. Procedimiento

Para llevar a cabo la intervención en el centro educativo se siguieron una serie de pasos. En primer lugar, se contactó telefónicamente con el centro para solicitar una reunión con el equipo directivo. En segundo lugar, se mantuvo una reunión con el equipo de directivo, en la cual se tuvo la oportunidad de exponer los objetivos del Proyecto y del estudio piloto. Tras obtener la aceptación del equipo directivo para participar, en tercer lugar, se mantuvo una reunión con la orientadora, las maestras de PT y AL y las familias de los niños. En esta reunión, se presentaron las actividades programadas y se consiguió información detallada de las características de los niños. Las maestras de PT y AL pudieron realizar las sugerencias que consideraron sobre las actividades planteadas. Previamente a la intervención, se obtuvo la aprobación del Comité de ética de la UA (EXP UA 2022 05 01) y se tuvo en cuenta la Declaración de Helsinki (Asociación Médica Mundial) para obtener el consentimiento informado de las familias.

La intervención se llevó a cabo en el aula de psicomotricidad, que era más espaciosa y permitía mayor control de los estímulos externos. Los participantes fueron traídos al aula uno a uno por las maestras de PT y AL. Con el objetivo de generar la menor modificación posible en la rutina del alumno, se escogió la misma hora y el mismo día que realizaron las actividades previas de presentación del robot NAO. Un miembro del equipo investigador se encargó de estar junto a los niños en el desarrollo de las actividades. Por su parte, el técnico del proyecto se encargó de supervisar el correcto funcionamiento del robot y del sistema de inteligencia artificial diseñado para la detección de estados emocionales. El resto del equipo investigador se encargó de registrar la sesión audiovisualmente y en un cuaderno de campo. En la intervención estuvieron presentes las maestras de PT y AL, atentas ante cualquier comportamiento disruptivo que pudieran tener los niños. También estuvo presente personal del centro para atender a cualquier necesidad organizativa, personal y material que surgiera. Una vez finalizadas las actividades, cada niño era acompañado por las maestras de PT y AL a su clase con los compañeros.

3.5. Análisis de datos

Teniendo presente el objeto del estudio, se ha calculado mediante una red neuronal convolucional el porcentaje de similitud existente entre la imagen del rostro que capta la cámara y la imagen previa con la que se había entrenado a la red neuronal. Debido a la existencia de siete estados emocionales y para evitar el crecimiento exponencial del análisis de los datos, se decidió despreciar los estados con una probabilidad de existencia menor o igual a 5%. Dado que el sistema tiene un muestreo discreto, la probabilidad de un determinado estado de ánimo se ha optado por calcular la probabilidad media de que se diera cada uno de los estados en los distintos sujetos. Además, con el objetivo de poder conocer con mayor detalle los estados de los participantes durante la realización de las actividades, se han representado, utilizando el programa Origin, la evolución de los tres estados emocionales que obtuvieron las tres densidades de probabilidad media más elevadas en cada actividad.

4. Resultados

A continuación, se presentan los resultados en función de las preguntas de investigación planteadas.

4.1. Probabilidad media de las emociones de los sujetos en la actividad de juego de imitación

Como se puede observar en la tabla 2, el sujeto 3 es el que tiene la probabilidad media más alta de disgusto, llegando a 22.05%. Por su parte, el sujeto 1 es el que tiene la probabilidad media más elevada de enfado (53.04%). Asimismo, las probabilidades medias más altas de felicidad corresponden al sujeto 4, con 50.52%, seguido del sujeto 2, con 39.90%. Además, el sujeto 1 tiene la probabilidad media más alta de miedo, con 36.75%, y el sujeto 4 la más alta de estado neutral, con 48.21%. Por último, se detecta la probabilidad media más elevada de sorpresa en el sujeto 1 (45.08%), mientras que el sujeto 4, con 65.09%, tiene la probabilidad media más alta de tristeza.

Tabla 2.

Probabilidad media de aparición de las emociones de cada sujeto en la actividad de imitación.

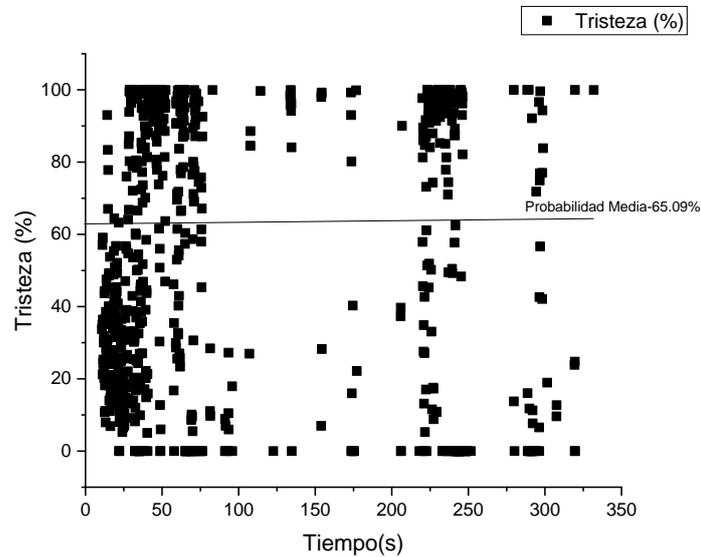
	Disgustado (%)	Enfadado (%)	Felicidad (%)	Miedo (%)	Neutral (%)	Sorpresa (%)	Tristeza (%)
Sujeto 1	18.90	53.09	37.43	36.75	37.27	45.08	25.55
Sujeto 2	10.00	33.43	39.90	26.95	48.16	35.80	32.97
Sujeto 3	22.05	43.06	16.83	29.01	35.27	23.77	49.77
Sujeto 4	0.00	40.88	50.52	24.79	48.21	22.06	65.09

Profundizando en los resultados, seguidamente se presentan las distribuciones de probabilidad de los tres estados emocionales que han obtenido las probabilidades medias más elevadas, tristeza, enfado y felicidad.

Por lo que respecta a la tristeza, tal como se constata en la figura 10, es mayor la densidad de puntos que existe por debajo de la probabilidad media. No obstante, en el periodo comprendido entre el segundo 0 y el segundo 25, se alcanzan valores de probabilidad de tristeza entre el 98 y el 100%. Este periodo se corresponde con el momento en el que se está cargando el programa del robot y este se levanta para presentarse. Entre los 200 y 250 segundos los valores de probabilidad oscilan entre el 95 y el 100%. Este periodo coincide con el momento en el que el robot le está diciendo que debe subir los dos brazos hacia arriba.

Figura 10

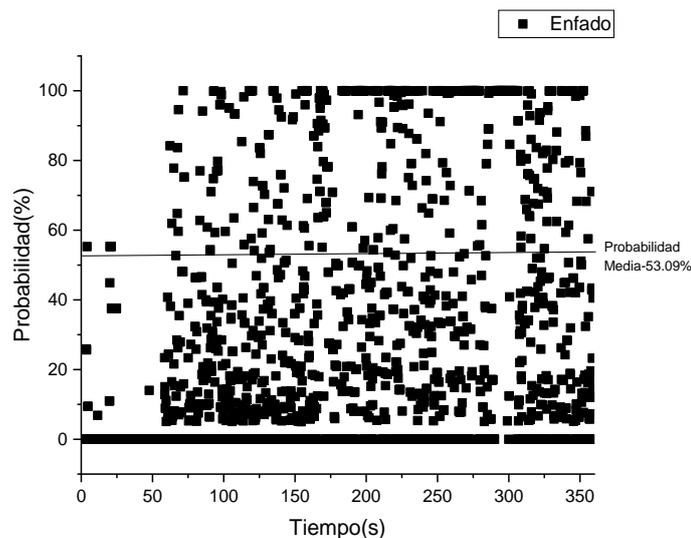
Distribución de probabilidad del estado tristeza del sujeto 4



En la figura 11 se puede observar que existe una densidad alta de puntos, debajo de la probabilidad media, en el intervalo comprendido entre los 50 y 360 segundos. No obstante, en el intervalo comprendido entre los 175 y 325 segundos, se alcanza un 100% de probabilidad de que el sujeto 1 esté enfadado. Este periodo se corresponde con el momento en el que el robot NAO se mueve y le pide al niño que lo imite, en primer lugar, al sentarse y levantarse, y, en segundo lugar, que baile como él, poniendo una canción que al niño le resulta estridente.

Figura 11

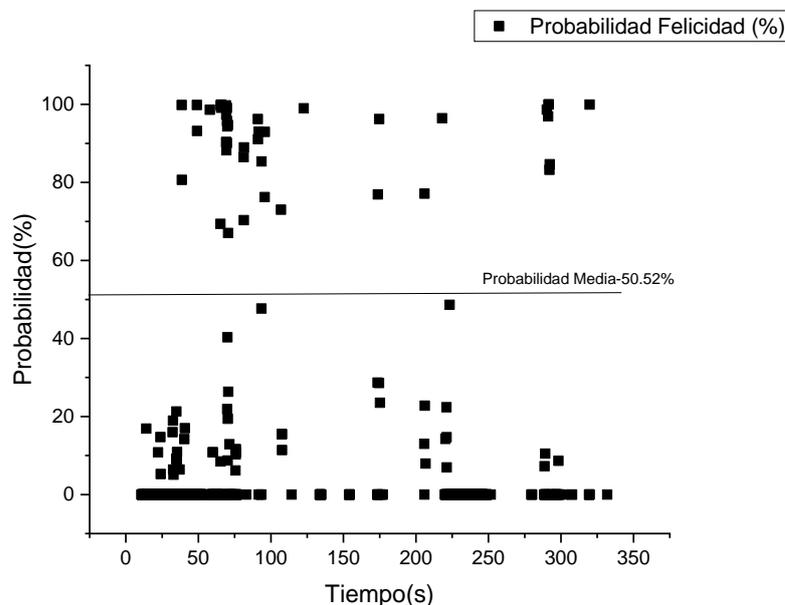
Distribución de probabilidad del estado enfadado del sujeto 1



A continuación, en la figura 12 se presenta la distribución del estado de felicidad del sujeto con la probabilidad media más alta.

Figura 12

Distribución de probabilidad del estado felicidad del sujeto 4



Como se puede observar, la distribución de la densidad de puntos es bastante similar arriba y debajo de la probabilidad media. Asimismo, cabe destacar que en el periodo comprendido entre los segundos 50 y 100, se detectan probabilidades de felicidad entre el 90 y el 100%, que coincide con el momento en que el robot NAO le choca la mano al niño y le explica todo lo que es capaz de hacer.

4.2. Probabilidad media de las emociones de los sujetos en la actividad de juego de pelotas

Los resultados presentados en la tabla 3 reflejan que la probabilidad media más elevada de tristeza se da en el sujeto 4, con 73.39%. En cuanto a la emoción de sorpresa, el sujeto 1 tiene el porcentaje medio más alto, con 47.57%, seguido del sujeto 2, con 34.70%. Además, la probabilidad media más alta de estado emocional neutral se detecta en el sujeto 2, con 51.20%. El sujeto 2 también tiene la probabilidad media más alta de felicidad, con 58.77%. Respecto al estado de miedo y enfado, el sujeto 1 tiene los porcentajes medios más elevados, con 52.34% y 54.98%, respectivamente. Por último, cabe destacar que la probabilidad media más alta de disgusto (27.22%) también está en el sujeto 1.

Tabla 3.

Probabilidad media de aparición de las emociones de cada sujeto en la actividad de juego de pelotas

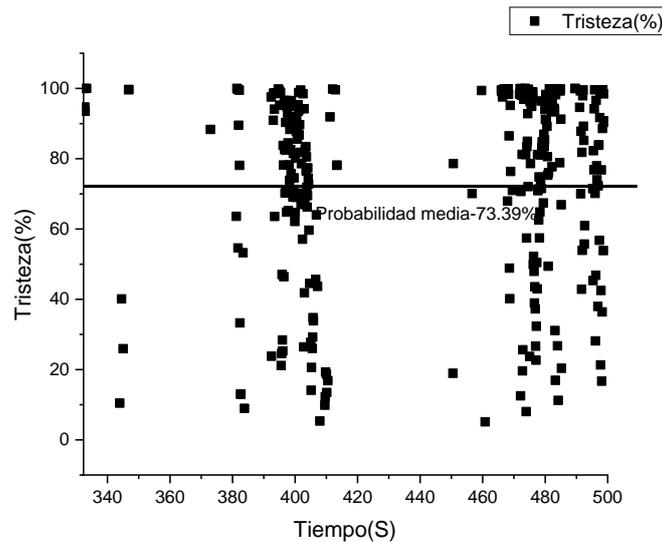
	Disgustado (%)	Enfadado (%)	Felicidad (%)	Miedo (%)	Neutral (%)	Sorpresa (%)	Tristeza (%)
Sujeto 1	27.22	54.98	39.54	52.34	27.44	47.57	27.38
Sujeto 2	19.28	28.71	58.77	27.65	51.20	34.70	38.08
Sujeto 3	7.34	39.03	24.54	21.06	21.77	0.00	59.11
Sujeto 4	0.00	41.07	41.18	21.21	26.75	21.96	73.39

Teniendo presente los resultados mostrados en la tabla 3, seguidamente, se presenta la distribución de probabilidad de los tres estados emocionales con probabilidades medias más altas, tristeza, felicidad y enfado.

En relación con el estado emocional de tristeza, como se puede observar en la figura 13, exista una mayor concentración de puntos por encima de la probabilidad media. Cabe mencionar que en el periodo comprendido entre 390 y 400 segundos se da una probabilidad de 80 a 100%. Este periodo corresponde al momento en el que el robot le pide la pelota amarilla y luego la pelota azul. También resulta destacable el periodo entre 470 y 490 segundos, donde la probabilidad llega a alcanzar el 100%. En este intervalo el robot NAO da por terminado el juego y le dice al niño que se lo ha pasado muy bien y se despide.

Figura 13

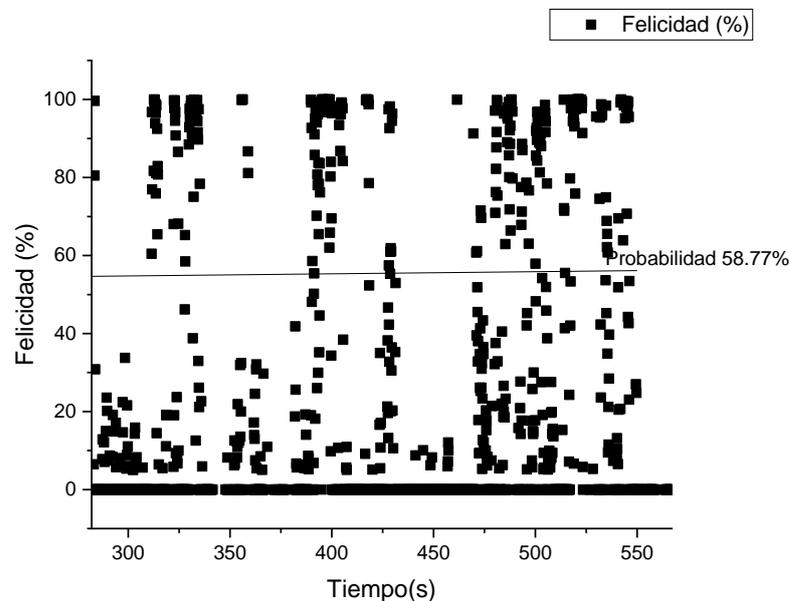
Distribución de probabilidad del estado tristeza en el sujeto 4.



Así, en la figura 14, se presentan los resultados relativos a la emoción de felicidad.

Figura 14

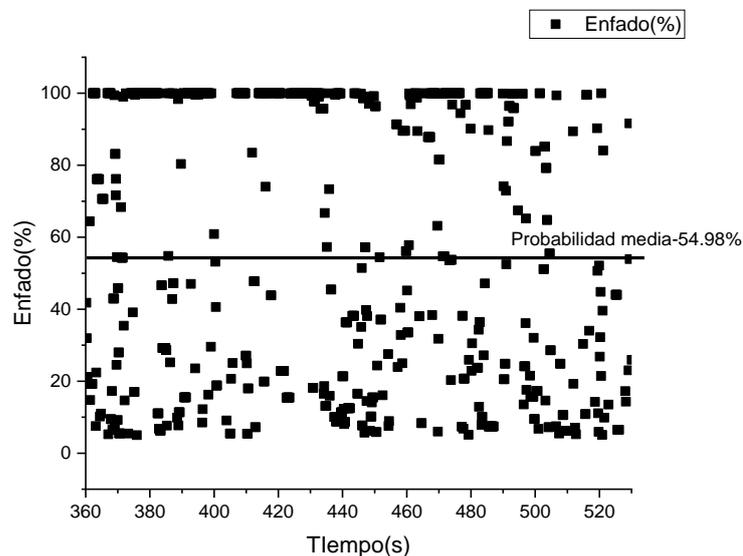
Distribución de probabilidad del estado felicidad en el sujeto 2



Tal como se puede constatar en la figura de arriba, existen tres períodos en los cuales el sujeto 2 alcanza probabilidades de felicidad entre el 90 y el 100%. El primer periodo (360-380 segundos) coincide con el momento en el que el robot se presenta y le explica que van a realizar un juego con unas pelotas de colores. El segundo periodo (382-400 segundos) se corresponde al momento en el que el robot le pide al niño la pelota de color azul. Y en el tercer periodo, a partir de 500 segundos, se llevan a cabo las dos últimas interacciones, el intercambio de la pelota amarilla y de la pelota negra entre el robot y el niño. Por lo que respecta a la emoción de enfado, se muestra la distribución de probabilidad en la figura 15.

Figura 15

Distribución de probabilidad del estado enfado en el sujeto 1



Se constata que en la distribución de probabilidad de enfado más del 50% de los puntos se encuentran por debajo de la probabilidad media. No obstante, existen periodos en los cuales el sujeto 1 muestra un estado emocional de enfado del 100%. Así, en primer lugar, cabe mencionar que en el intervalo comprendido entre los 360 y 400 segundos el robot lleva a cabo la presentación del juego. En segundo lugar, en el intervalo comprendido entre los segundos 405 y 440 el robot le pide al niño que le dé la pelota amarilla y luego la pelota azul. Por último, entre los segundos 460 y 480 el robot le pregunta al niño si le ha gustado el juego que ha realizado y se termina la actividad con una despedida.

4.3. Probabilidad media de las emociones de los sujetos en la actividad de preguntas y respuestas

La tabla 4 refleja que la probabilidad media de felicidad del sujeto 2 es la más elevada, con 64.22%, mientras que la más alta en el estado de miedo la tiene el sujeto 1 (49.15%). Además, es el sujeto 2 el que presenta el estado neutral con la probabilidad media más alta, con 58.64%. Las probabilidades medias más altas de tristeza y sorpresa corresponden al sujeto 4, con 87.32% y 52.63%, respectivamente. Por último, cabe mencionar que el sujeto 1 tiene las probabilidades medias más altas de disgusto (13.09%) y de enfado (63.37%).

Tabla 4.

Probabilidad media de aparición de las emociones de cada sujeto en la actividad de preguntas y respuestas

	Disgustado (%)	Enfadado (%)	Felicidad (%)	Miedo (%)	Neutral (%)	Sorpresa (%)	Tristeza (%)
Sujeto 1	13.09	63.37	24.71	49.15	42.45	51.77	18.58
Sujeto 2	14.5	26.26	64.22	30.83	58.64	51.31	52.20
Sujeto 3	10.99	41.20	5.075	23.81	26.71	12.43	57.10

Sujeto 4	0.00	32.68	40.30	37.73	46.97	52.63	87.32
----------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

A continuación, se presentan los resultados de las distribuciones de probabilidad de los tres estados emocionales que han obtenido las probabilidades medias más elevadas, tristeza, felicidad, enfado.

En cuanto al estado emocional de tristeza, los resultados reflejan, tal como se puede observar en la figura 16, una mayor distribución de puntos por encima de la probabilidad media. En el intervalo que va de 530 segundos a 545 se alcanzan probabilidades del 100%. Durante este intervalo, el robot le ha preguntado al niño para conocer el nombre de su colegio. Entre los 555 y 560 segundos también existen valores de tristeza que alcanzan valores en el intervalo del 90 al 100%. Este periodo se corresponde con la finalización de la actividad de preguntas y respuestas con NAO.

Figura 16

Distribución de probabilidad del estado tristeza en el sujeto 4.

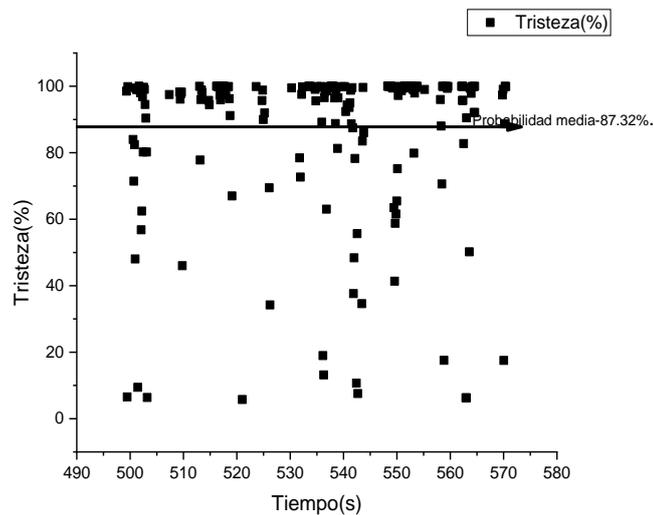
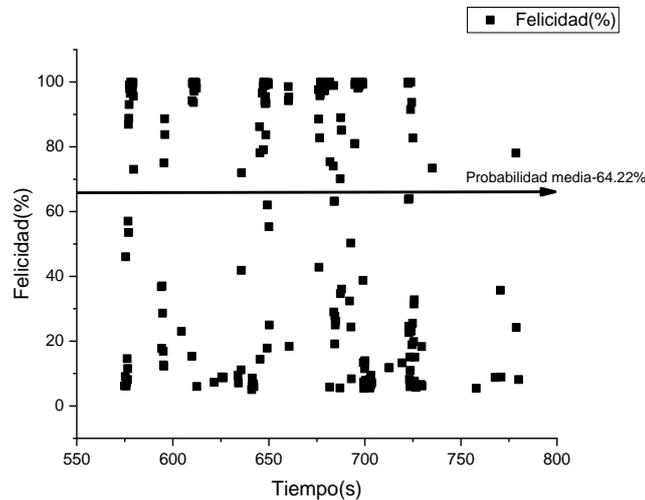


Figura 16. Distribución de probabilidad del estado tristeza en el sujeto 4.

Por lo que respecta al estado de felicidad, se presentan los resultados en la figura 17.

Figura 17

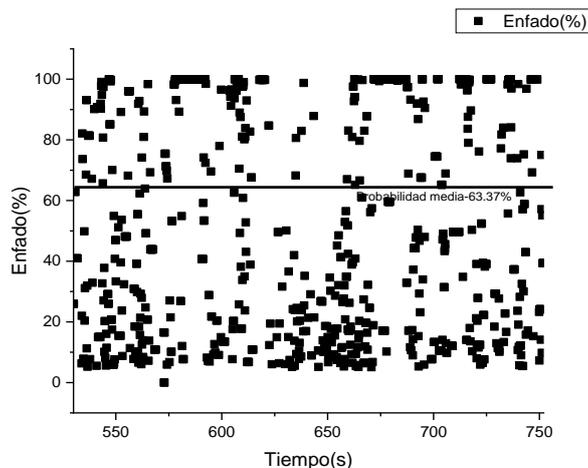
Distribución de probabilidad del estado enfadado en el sujeto 2.



En la figura 17 se constata que existe un mayor número de puntos por debajo de la probabilidad media. Asimismo, cabe destacar que hay varios intervalos en los cuales las probabilidades oscilan entre el 80 y el 100%. El intervalo que va del segundo 575 al 580 pertenece al momento en el que el robot le pregunta al niño por su nombre y este le responde con un pictograma y sonríe. Asimismo, en el intervalo que va del segundo 650 al 700, el robot pregunta al niño para que le diga cuál es su clase. El niño responde y también sonríe. En cuanto a la emoción de enfado, tal como se observa en la figura 18, existe mayoría de probabilidades por debajo de la probabilidad media. Pero cabe destacar dos intervalos en los que se alcanzan probabilidades cercanas al 100%. En el intervalo entre 575 y 600 segundos el robot NAO le pregunta al niño en que curso está y este le responde. Además, en el intervalo comprendido entre los segundos 675 y 700 el robot NAO le esta pregunta al niño cuáles son sus amigos.

Figura 18

Distribución de probabilidad del estado enfadado en el sujeto 1



5. Discusión

En relación con la primera pregunta de investigación, centrada en los estados emocionales de los participantes en la actividad de imitación con el robot NAO, cabe señalar que la tristeza tiene la probabilidad media más alta. Concretamente, alcanza el 100% en el momento que el programa del robot está cargando. Este hallazgo puede deberse a diversas razones. En primer lugar, cabe tener presente que la mayor severidad del autismo puede dar lugar a la ausencia de emociones positivas (García et al., 2022). Esto ocurre por ejemplo en el sujeto 4 que tiene un nivel cognitivo bajo y poca expresividad verbal. En segundo lugar, la existencia de un entorno que presente objetivos desconocidos, como el robot, puede provocar la ausencia de emociones positivas (Remington et al., 2019). En tercer lugar, cabe destacar que el retraso que en algunos casos presenta un robot para responder a las demandas del niño puede provocar emociones de tristeza (Sochanski et al., 2019). Los resultados de los autores del manuscrito van en línea con los obtenidos con Dawson & Adams (1984) quienes pudieron comprobar los problemas que presentaban los autistas en las actividades de imitación con objetos no conocidos que daban lugar a expresiones negativas como puede ser la tristeza o el enfado. El segundo estado emocional con una probabilidad media más alta es el enfado. De este modo, se alcanzan los porcentajes de probabilidad más altos de enfado durante el intervalo en que el robot se sienta y se levanta y luego pone la canción y baila. En este hecho ha podido influir la percepción de ruidos estridentes producidos por el robot al moverse y por poner una canción que provoque enfado (Sochanski et al., 2019). Además, la mirada directa a la morfología de la cara del robot puede provocar emociones de enfado en el niño (Macinska et al., 2023), debida a una excitación fisiológica demasiado alta (Kliemann et al., 2010). Los resultados de los autores de la investigación son opuestos a los de Bharatharaj et al., (2017, quienes con el uso de la del robot KiliRO a lo largo del desarrollo de las actividades pudieron comprobar como la felicidad iba aumentando a lo largo de las sesiones mientras que la probabilidad de enfado alcanzaba valores menores del 5%. Finalmente, cabe destacar que el tercer estado emocional con la probabilidad media más alta de aparición en un sujeto es la felicidad. Concretamente el porcentaje máximo se alcanza cuando el robot NAO le choca la mano al niño y posteriormente le presenta todo

lo que sabe hacer. El hallazgo puede deberse a que los niños con la imitación están realizando actividades de repetición, que se adecua a los intereses del autista (Snow et al., 1987). En esta línea, la posibilidad que tienen los robots de desarrollar patrones repetitivos facilita que el alumnado pueda aprender de manera sencilla y satisfactoria (Costa et al., 2018). Asimismo, los robots generan refuerzos positivos mediante luces, sonidos o movimientos del cuerpo, lo que puede generar que el niño tenga una mayor atención y exprese un sentimiento de felicidad al participar en la actividad (Sartorato et al., 2017). Los resultados de los autores del estudio van en línea con los obtenidos por Greczek et al., (2014) quienes con diversos niños autistas comprobaron como las actividades de imitación desarrollada con el robot NAO provocaron un incremento de la expresión de felicidad y una disminución de las emociones negativas como el enfado.

En referencia a la segunda pregunta de investigación, vinculada a la actividad de juego de pelotas, se ha constatado que la tristeza tiene la probabilidad media más alta. El porcentaje más elevado corresponde al momento del intercambio de las pelotas amarilla y azul y cuando termina de realizarse el juego. Este estado emocional ha podido generarse por la dificultad que presentan alumnos autistas para la toma de turnos y repartir cosas (Perzoli et al., 2023), que es la dinámica propia de la actividad llevada a cabo. También presentan dificultades para saber cuándo un juego ha terminado, lo que los lleva a expresar tristeza (Perzoli et al., 2023). Cabe destacar que el porcentaje de probabilidad más alto de tristeza aparece en el sujeto 4, que presenta una capacidad expresiva (verbal y no verbal) baja lo que provoca que tenga unas habilidades de juego bajas ya que, como indica Stone et al. (1997), existe una correlación entre capacidad expresiva, verbal y no verbal, del niño y las habilidades juego. Además, los alumnos con problemas en el juego presentan problemas de desarrollo (Bick et al., 2017). Los resultados de los autores del manuscrito son contrarios a los obtenidos por Pour et al. (2018) que pudieron comprobar como con una muestra de 15 niños autistas tras realizar varias tareas de interacción con el robot, la emoción que expresaban los niños de manera mayoritaria era la felicidad seguida del enfado y la tristeza. La siguiente emoción que tiene el porcentaje de probabilidad de aparición más alto es la felicidad, y, especialmente, en el sujeto 2. Este sujeto no tiene comunicación verbal pero una alta comunicación no verbal y su nivel cognitivo es el más bajo. Además, cabe considerar otras causas de este resultado. Las actividades de carácter manipulativo y que potencian los diversos canales de comunicación pueden favorecer la expresión de felicidad (Fernández-Alvarado and Onadia-Hinchado, 2022). Además, al tratarse de una tarea donde se debe escoger una opción entre varias, se fomenta que el niño pueda expresar emociones positivas (Cabibihan *et al.*, 2013). Cabe también tener en cuenta que la existencia de nuevos elementos de juego, como el robot, facilitan la expresión de felicidad (Amirova et al., 2023). En la misma línea que el hallazgo obtenido, Giannopulu & Pradel (2010) constataron emociones positivas del alumnado autista en el proceso de interacción con el robot, aunque fueron detectadas con un software de análisis de video. Asimismo, Huijnen et al. (2021) plantearon actividades de juego y detectaron emociones positivas del alumnado autista en su interacción con el robot. Por lo que respecta al enfado, la tercera emoción con la probabilidad media más alta de aparición, en momentos como la finalización del juego. Este valor se ha detectado en el sujeto 1, que es el de mayor edad. La edad es una variable para tener en cuenta, ya que condiciona la empatía. En este sentido, a medida que el alumnado autista adquiere más edad, muestran comportamientos menos empáticos, pudiéndose derivar un enfado (Scheef et al., 2002). Asimismo, Brewer et al. (2023) concluyen que los autistas presentan problemas de empatía cognitiva es decir

inferir los estados de ánimo de otros participantes ante una situación social. Esto se podría considerar como una falta de empatía y por tanto el usuario lo podría interpretar como un enfado. Además, la novedad de trabajar con el robot durante un juego también puede provocar situaciones de enfado iniciales como las encontradas por Robins et al., (2012). Los resultados presentados por los autores del documento coinciden con los planteados por Palestra et al. (2016) quienes plantearon diversas actividades de interacción con el robot donde al niño se le planteaban situaciones como mirar al robot cuando decía su nombre o expresar una emoción ante una determinada situación social. La expresión de enfado fue la más repetida y la que realizaban con mayor exactitud con respecto al modelo planteado.

Por último, en relación con la tercera pregunta de investigación, centrada en las emociones de los usuarios en la actividad de preguntas y respuestas con el robot NAO, se ha constatado que el estado emocional de tristeza tiene la probabilidad media de aparición más alta, detectada en el sujeto 4. Esto puede ser consecuencia de que alumnos con una menor comunicación verbal, como el sujeto 4, pueden verse poco comprometidos con el robot para realizar un proceso de interacción social de preguntas y respuestas, que es considerada como una actividad de alto nivel cognitivo (Zhanatkyzy et al., 2023), lo que puede generar emociones negativas. Además, este perfil de alumno suele tener dificultades para poder recordar las recompensas auditivas y visuales a qué comportamiento o momento de la interacción social corresponden (Tischida & Yerys, 2021). Los resultados expuestos por los autores del documento coinciden con los planteados por Leo et al., (2016) quienes mediante una serie de actividades desarrolladas con el robot comprobaron como la tristeza era la segunda de las emociones que mas expresaban los tres niños autistas con los que se realizó la intervención.

El siguiente porcentaje más alto detectado en un sujeto es la felicidad. Se alcanza en el sujeto 2.. Cabe señalar que el niño se pudo sentir feliz en el proceso de interacción social al encontrar expresiones estáticas aisladas y que disponen de elementos llamativos, como los LED o el tipo de ojos del robot (Macinska et al., 2023). La interacción con un recurso atractivo, como el robot, se complementó con un libro de comunicación con información de colores y elementos llamativos, que fomentan emociones positivas en el niño (Kim et al., 2003). Este hallazgo está en consonancia con Bharatharaj et al., (2017). Estos autores plantearon a 9 niños autistas actividades con el robot KiliRo para reconocer letras del alfabeto y números y detectaron felicidad en el proceso de interacción social. El enfado es la tercera emoción con una probabilidad más alta de aparición. Se ha detectado el porcentaje más alto cuando el robot le pregunta al sujeto 1 en qué curso está y cuáles son sus amigos. Cabe considerar que ante las preguntas y respuestas el usuario puede tener una reacción aversiva por percibir una amenaza directa del robot por su voz o por los movimientos realizados (Pichon et al., 2009). También en determinados contextos y situaciones los niños autistas pueden presentar episodios de enfado influenciados por estados emocionales internos y por experiencias previas que hayan sufrido (Jahromi et al., 2012). En este caso, el sujeto 1 que es el que presenta el enfado puede ser debido a su situación personal ya que tiene una educación muy rígida con unas normas por parte de sus padres muy estrictas. Los resultados de los autores son contrarios a las investigaciones de Kozima et al. (2007) quien desarrollo un estudio longitudinal con un robot a lo largo de 3 años con un grupo de niños autistas. Se plantearon actividades de juego e interacción diádica y triádica combinada con atención conjunto y seguimiento de

determinados estímulos. Los resultados pusieron de manifiesto la mejora social de los niños y la expresión mayoritaria de felicidad por parte de los participantes.

6. Conclusiones

Con la realización del presente estudio se ha puesto de manifiesto que el uso de la robótica ha generado una interacción social en los niños, que han expresado diferentes estados emocionales detectados por el sistema de inteligencia artificial diseñado. Tomando en consideración los resultados del estudio y las preguntas de investigación planteadas, se indican las conclusiones siguientes:

- La tristeza y el enfado, seguida de la felicidad son los estados emocionales con mayor probabilidad de aparición en la actividad de juego de imitación con el robot NAO.
- La tristeza y la felicidad, seguida del enfado son los estados emocionales con mayor probabilidad de aparición en la actividad de juego de pelotas con el robot NAO.
- La tristeza y la felicidad, seguida del enfado son los estados emocionales con mayor probabilidad de aparición en la actividad de preguntas y respuestas con el robot NAO.

Los hallazgos reflejan que el robot NAO, combinado con la inteligencia artificial, ha permitido obtener información sobre las expresiones emocionales de los niños autistas en procesos de interacción social. A pesar de haber trabajado solo con cuatro alumnos, estos manifestaron un patrón de comportamiento muy diferente lo que ha provocado que tengan gran diversidad de formas de manifestar las emociones. Por tanto, el sistema de inteligencia artificial ha detectado distintas emociones cuando el alumno manifestó un estado de ánimo específico. Partiendo de esta variabilidad, con la detección de las emociones, se puede desarrollar un proceso más preciso de diseño y adaptación de las actividades y del comportamiento del robot a las necesidades que presente el alumnado autista.

La detección de los estados emocionales con el sistema de registro automático aplicado no está exenta de limitaciones. Así, se ha producido pérdida de información cuando el niño no está de cara a la cámara. También cabe destacar como limitación el desfase existente entre el momento que comienza la captura de datos el sistema de inteligencia artificial y cuando el robot se pone en funcionamiento a partir del momento que se le ha cargado el programa en memoria. No obstante, el estudio supone un punto de referencia ineludible para los estudios que abandonen los sesgos de los observadores en la detección de las emociones y se propongan seguir desarrollando sistemas de inteligencia artificial para incorporar una mayor cantidad de datos para el sistema de IA adaptando los parámetros de la red neuronal de manera que se puede detectar la emoción del niño con un mayor precisión alcanzando valores del 100% de probabilidad y que el resto de los estados tenga un valor del 0%. Asimismo, a partir de la información facial y con la IA se podría determinar si el alumno presenta rasgos faciales de autismo o no.

En el ámbito de las implicaciones prácticas, tras la implementación del estudio piloto, y para las intervenciones futuras que se puedan realizar con robótica con IA para el

alumnado autista, se considera oportuno destacar una serie de recomendaciones. En primer lugar, es necesario dotar a los centros escolares de los recursos y la formación necesarios para el desarrollo de estas experiencias en las aulas. En segundo lugar, es recomendable en las intervenciones incorporar varias cámaras que permitan disminuir los ángulos ciegos donde el robot no puede recibir información sobre los estados de ánimo de los niños. En tercer lugar, cabe avanzar en la progresiva aplicación de sistemas de IA que, además de la detección de los estados de ánimo, sean capaces de dotar al robot de autonomía en los entornos escolares. En cuarto lugar, la inclusión de la robótica y la IA como herramientas para trabajar las competencias del currículum, requiere de una previsión en el horario y el funcionamiento de los centros. En quinto lugar, es recomendable incorporar a las familias en este proceso, para que colaboren y aporten más información sobre los alumnos para conseguir una mejor adaptabilidad de las actividades.

Agradecimientos

Se desea agradecer la colaboración de las familias, sin ellas no hubiera sido posible realizar el estudio. También se quiere agradecer el buen hacer y la amabilidad de la dirección del centro y del equipo educativo, que siempre estuvieron dispuestos a colaborar y a enriquecer el trabajo desarrollado.

Presentación del artículo: 11 de octubre de 2023

Fecha de aprobación: 6 de diciembre de 2023

Fecha de publicación: 30 de mayo de 2024

Lorenzo Lledó, G., Lorenzo-Lledó, A., y Rodríguez-Quevedo, A. (2024). Análisis mediante inteligencia artificial de las emociones del alumnado autista en la interacción social con el robot NAO. <i>RED. Revista de Educación a Distancia</i> , 24(78). http://dx.doi.org/10.6018/red.588091
--

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. PID2020-112611RB-I00/AEI/10.13039/501100011033 y la Agencia estatal de investigación. 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”.

Declaración de los autores sobre el uso de LLM

Este artículo no ha utilizado textos provenientes (o generados) de un LLM (ChatGPT u otros) para su redacción.

Referencias

- Alban, A., Alhaddad, A., Al-Ali, A., Wing-Chee, S., Connor, O., Ayesh, M., Qidwai, U. & Cabibihan, J. (2023). Heart Rate as a Predictor of Challenging Behaviours among Children with Autism from Wearable Sensors in Social Robot Interactions. *Robotics*, 12(2), 1-13. <https://doi.org/10.3390/robotics12020055>
- Alonso-Esteban, Y. & Alcantud-Marín, F. (2022). Screening, Diagnosis and Early Intervention in Autism Spectrum Disorders. *Children*, 9(2), 1-5. <https://doi.org/10.3390/children9020153>
- Al-Nafjan, A., Alhakbani, N. & Alabdulkareem, A. (2023). Measuring Engagement in Robot-Assisted Therapy for Autistic Children. *Behavioral Science*, 13(8),1-16 <https://doi.org/10.3390/bs13080618>
- Al-Saadi, M. & Al-Thani, D. (2023). Mobile Application to identify and recognize emotions for children with autism: A systematic review. *Frontiers in Child and Adolescent Psychiatry*, 2(1),1-10. <https://doi.org/10.3389/frcha.2023.1118665>
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders(5th ed.)*. Arlington, VA: American Psychiatric Publishing.
- Amirova, A., Rakhymbayeva, R., Zhanatkyzy, A., Telisheva, Z. & Sandygulova, A. (2023). Effects of Parental Involvement in Robot-Assisted Autism Therapy. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 53 (1), 438-455. <https://doi.org/10.1007/s10803-022-05429-x>
- Armijos, J., Quinto, E., Álvarez, L., Morocho, R. & Llerena, J. (2023). Técnicas de intervención en el trastorno del espectro autista: una revisión sistemática. *Universidad y Sociedad*, 15(4), 192-203.
- Bargagna, S., Castro, E., Cecchi, F., Cioni, G., Dario, P., Dell’Omo, M., Di Lieto, M. C., Inguaggiato, E., Martinelli, A., Pecini, C., & Sgandurra, G. (2019). Educational robotics in down syndrome: A feasibility study. *Technology, Knowledge and Learning*, 24(2), 315–323. <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9366-z>
- Baxter P. & Jack S. (2008). Qualitative case study methodology: Study design and implementation for novice researchers. *The Qualitative Report*, 13(1), 544–559. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2008.1573>
- Baykasoğlu, A., Özbel, B. K., Dudaklı, N., Subulan, K., & Şenol, M. E. (2018). Process mining based approach to performance evaluation in computer-aided examinations. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(5), 1841–1861. <https://doi.org/10.1002/cae.21971>
- Bharatharaj, J., Huang, L., Mohan, R., Al-Jumaily, A. & Krägeloh, C. (2017). Robot-Assisted Therapy for Learning and Social Interaction of Children with Autism Spectrum Disorder, *Robotics*, 6(1),1-11 <https://doi.org/10.3390/robotics6010004>
- Bick, J., Fox, N., Zeanah, C. & Nelson C. (2017). Early deprivation, atypical brain development and internalizing symptoms in late childhood. *Neuroscience*, 07(342), 153. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2015.09.026>
- Brewer, R., Biotti, F., Catmur, C., Press, C., Happé, F., Cook, R. & Bird, G. (2016). Can Neurotypical Individuals Read Autistic Facial Expressions? Atypical Production of

- Emotional Facial Expressions in Autism Spectrum Disorders. *Autism Research*, 9(2), 262-271. <https://doi.org/10.1002/aur.1508>
- Brewer, N., Georgopoulus, M., Lucas, C. & Young, R. (2023). Autistic adults' perspectives on appropriate empathic responses to others' emotions. *Autism Research*, 16(8), 1573-1585. <https://doi.org/10.1002/aur.2965>
- Brosnan, M., Good, J., Parsons, S. & Yuill, N. (2019). Look up! Digital technologies for autistic people to support interaction and embodiment in the real world. *Res. Autism Spectr. Disord.* 58 (1), 52–53. 10.1016/j.rasd.2018.11.010
- Brown, S. & Bebko, J. (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>
- Bussell, J. (2020). Shadowing as a Tool for Studying Political Elites. *Political Analysis*, 28(4), 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1017/pan.2020.14>
- Cabibihan, J., Javed, H., Ang, M., & Aljunied, S. (2013). Why Robots? A Survey on the Roles and Benefits of Social Robots in the Therapy of Children with Autism. *International Journal of Social Robotics*, 5(3), 593-618. <https://doi.org/10.1007/s12369-013-0202-2>
- Çağataylı, M., & Çelebi, E. (2022). Estimating academic success in higher education using big five personality traits, a machine learning approach. *Arab Journal Scientific Engineering*, 47, 1289–1298. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05873-4>
- Cano, S., Díaz-Arancibia, J., Arango-López, J., Libreros, J. & García, M. (2023). Design Path for a Social Robot for Emotional Communication for Children with Autism Spectrum Disorder (ASD). *Sensors*, 23(11), 1-24. <https://doi.org/10.3390/s23115291>
- Carmona-Serrano, N., López-Belmonte, J., Cuesta-Gómez, J. & Moreno-Guerrero, A. (2020). Documentary Analysis of the Scientific Literature on Autism and Technology in Web of Science. *Brain Science*, 10(12), 1-17. <https://doi.org/10.3390/brainsci10120985>
- Cebreiro, B. & Fernández, C. (2004). *Estudio de Caso*. En F. Salvador, J. L. Rodríguez y A. Bolívar, *Diccionario Enciclopédico de didáctica*. Málaga: Aljibe.
- Chassagnon, G., Vakalopolou, M., Paragios, N. & Revel, N. (2020). Deep learning: definition and perspectives for thoracic imaging. *European Radiology*, 30(1), 2021-2030. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06564-3>
- Chu, H., Tu, Y., & Yang, K. (2022). Roles and research trends of artificial intelligence in higher education: A systematic review of the top 50 most-cited articles. *Australasian Journal of Educational Technology*, 38(3), 22–42. <https://doi.org/10.14742/ajet.7526>
- Costa, A., Charpiot, L., Lera, F., Ziafati, P., Nazarikhorrám, A., Van der Torre, L. & Steffgen, G. (2018). More attention and less repetitive and stereotyped behaviors using a robot with children with autism. In *27th IEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, (pp. 534-539), IEEE:USA.
- Conti, D., Di Nuovo, S., Trubia, G. & Di Nuovo, A. (2015). A use of robotics to stimulate imitation in children with autism spectrum disorder: a pilot study in a Clinical Setting. In *Proceedings of the 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, (pp. 1-6). IEEE: USA.

- Dawson, G., & Adams, A. (1984). Imitation and social responsiveness in autistic children. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *12*, 209-226.
- De Benedictis, R., Umbrico, A., Fracasso, F., Cortellesa, G., Orlandini, A. & Cesta, A. (2023). A dichotomic approach to adaptive interaction for socially assistive robots. *User Model User-Adap Inter* *33*, 293–331. <https://doi.org/10.1007/s11257-022-09347-6>
- De Marchena, A., Eigsti, I. & Yerys, B.E (2015). Brief Report: Generalization Weaknesses in Verbally Fluent Children and Adolescents with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders* ,*45* (1), 3370–3376. <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2478-6>
- Demuth, H. & Beale, M. (1992). *Neural Network Toolbox*. Natick Massachusetts: USA.
- Dever, D. A., Azevedo, R., Cloude, E. B., & Wiedbusch, M. (2020). The impact of autonomy and types of informational text presentations in game-based environments on learning: Converging multi-channel processes data and learning outcomes. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, *30*(4), 581–615. <https://doi.org/10.1007/s40593-020-00215-1>
- Dijkstra, J. (2015). Social exchange: Relations and networks. *Social Network Analysis and Mining*, *5*(1), 60. <https://doi.org/10.1007/s13278-015-0301-1>
- Durkin, M., Maenner, M., Baio, J., Christensen, D., Daniel, J., Fitzgerald, R., Imm, P., Li-Ching, L., Schieve, L., Van-Naardem, K., Wingate, M., & 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. DOI: 10.2105/AJPH.2017.304032
- Elman, J. L. (1991). Distributed representations, simple recurrent networks, and grammatical structure. *Machine Learning*, *7*(2), 195-225. <https://doi.org/10.1007/BF00114844>
- Fernández-Alvarado, P. & Onandia-Hinchado, I. (2022). Perfil cognitivo del trastorno del espectro autista en población infantojuvenil. una revisión sistemática. *Revista de Psicología Clínica con Niños y Adolescentes*, *9*(3),1-14 doi: 10.21134/rpcna.2022.09.3.3
- Feil-Seifer, D., & Mataric, M. (2005). Defining socially assistive robotics. In: *9th International Conference on Rehabilitation Robotics, ICORR 2005*, pp. 465–468. IEEE: USA. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2005.1501143>
- García, R., Irarrázavala, M., López, I., Rieslea, S., Cabezas, M., Moyano, A., Garrido, G., Valdez, D., Paulac, C., Rosalic, A., Cukierc, S., Montiel-Navac, C. & Rattazzic, A. (2022). Encuesta para Cuidadores de Personas del Espectro Autista en Chile. Acceso a Servicios de Salud y Educación, Satisfacción, Calidad de Vida y Estigma. *Revista Chilena de Pediatría*. *93* (1), 351-360. DOI: 10.32641/andespediatr.v93i3.3994
- Giannopulu I., & Pradel, G. (2010). Multimodal interactions in free game play of children with autism and a mobile robot. *NeuroRehabilitation*, *27*(1), 305-311. DOI: 10.3233/NRE-2010-0613

- Graf, S. & Kinshuk, Ives, C. (2010). A flexible mechanism for providing adaptivity based on learning styles in learning management systems. In *proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning technologies (ICALT 2010)*, pp.30-34. IEEE Computer Society: USA.
- Greczek J, Kaszubski E, et al (2014) Graded cueing feedback in robot-mediated imitation practice for children with autism spectrum disorders. In *Proceedings of 23rd IEEE international symposium on robot and human interactive communication*, (pp. 561–566). IEEE: USA
- Goldsmith, T. & LeBlanc, L. (2004). Use of technology in interventions for children with autism. *J. Early Intensive Behav. Interv. 1*, 166. <https://doi.org/10.1037/h0100287>
- Goodfellow, I., Erhan, D., Carrier, P., Courville, A., Mirza, M., Hammer, B., Cukierski, W., Tang, Y., Thaler, D., Lee, D., Zhou, Y., Ramaiah, C., Feng, F., Li, R., Wang, X., Athanasakis, D., Shawe-Taylor, J., Milakov, M., Park, J., Ionescu, R. & Bengio, Y. (2014). Challenges in representation learning: A report on three machine learning contests. *Neural Networks*, 64(1), 59-63. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.09.005>
- Gould, J. (2009). There is more to communication than tongue placement and ‘show and tell’: Discussing communication from a speech pathology perspective. *Australian Journal of Linguistics*, 29(1), 59–73. <https://doi.org/10.1080/07268600802516384>
- Herrero, J. & 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>
- Horwitz, E., Schoevers, R., Greaves-Lord, K., de Bildt, A. & Hartman, C. (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.
- Howard, J. (2019). Artificial intelligence: Implications for the future of work. *American Journal of Industrial Medicine*, 62(11), 917-926. <https://doi.org/10.1002/ajim.23037>
- Huijnen, C., Verreussel, Willen, H., Lexis, M. & Witte, L. (2021). Robot kaspar as mediator in making contact with children with autism: a pilot study. *Int J Soc Robot 13*(2), 237–249. <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00633-0>
- 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
- Hwang, G. (2014). Definition, framework, and research issues of smart learning environments- a context-aware ubiquitous learning perspective. *Smart Learning Environments*, 1(4), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s40561-014-0004-5>
- Incio-Flores, F., Campuñay-Sánchez, D. & Estela-Urbina, R. (2023). Modelo de red neuronal artificial para predecir resultados académicos en la asignatura Matemática II. *Revista Electrónica Educare*, 27(1), 1-19. <https://doi.org/10.15359/ree.27-1.14516>
- Jacques, C., Courchesne, V., Mineau, S., Dawson, M. & Mottron, L. (2022). Positive, negative, neutral—or unknown? The perceived valence of emotions expressed by

- young autistic children in a novel context suited to autism. *Autism*, 26(7), 1833-1848. <https://doi.org/10.1177/13623613211068221>
- Jahromi, L., Meek, S. & Ober-Reynolds, S. (2012). Emotion regulation in the context of frustration in children with high functioning autism and their typical peers. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 53(12), 1250-1258. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2012.02560.x>
- Kaplan, A., Kessler, T., Brill, J. & Hancock, P. (2023). Trust in Artificial Intelligence: Meta-Analytic Findings. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 65(2), 337-359. <https://doi.org/10.1177/00187208211013988>
- Kaarbo J. & Beasley R. (1999). A practical guide to the comparative case study method in political psychology. *Political Psychology*, 20, 369–391.
- Kim, A., Vaughn, S., Elbaum, B., Hughes, M., Morris, C. & Srihdar, D. (2003). Effects of Toys or Group Composition for Children With Disabilities: A Synthesis. *Journal of Early Intervention*, 25(3), 161-227. <https://doi.org/10.1177/105381510302500304>
- Kim, S., Hirokawa, M., Matsuda, S., Funahashi, A. & Suzuki, K. (2021). Smiles as a signal of prosocial behaviours toward the robot in the therapeutic settings for children with Autism spectrum disorders. *Frontiers in robotics and Artificial Intelligence*, 8 (1), 1-16. <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.599755>
- Kliemann, D., Dziobek, I., Hatri, A., Steimke, R., & Heekeren, H. R. (2010). Atypical reflexive gaze patterns on emotional faces in Autism Spectrum Disorders. *Journal of Neuroscience*, 30(37), 12281–12287. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0688-10.2010>.
- Kozima, H., Nakagawa, C. & Yasuda, Y. (2007). Children–robot interaction: a pilot study in autism therapy. *Progress in Brain Research*, 164 (1), 385-400. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(07\)64021-7](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(07)64021-7)
- Leo, M., Del Coco, M., Carcagni, P., Distanto, C., Bernava, M., Pioggia, G. & Palestra, G. (2016). Automatic emotion recognition in Robot-Children interaction for ASD treatment. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2015* (pp.537-545). IEEE: USA.
- Lord, C., Rutter, M., DiLavore, P., Risi, S., Gotham, K. & Bishop, S. (2012). *Autism Diagnostic Observation Schedule*. 2nd ed. Western Psychological Services: Los Angeles (USA).
- 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>
- Maciejewski (2020). Quasi-experimental design. *Biostatistics & Epidemiology*, 4(1), 38-47. <https://doi.org/10.1080/24709360.2018.1477468>
- Macinska, S., Lindsay, S. & Jellema, T. (2023) Visual Attention to Dynamic Emotional Faces in Adults on the Autism Spectrum. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. <https://doi.org/10.1007/s10803-023-05979-8>

- Marhon, S., Cameron, C. & Kremer, S. (2013). Recurrent Neural Network. En M. Bianchini, M. Maggini, L.C. Jain (Eds.), *Handbook on Neural Information Processing*, (pp.29-65). Springer: Alemania.
- Marino, F., Chila, P., Trusso, S., Carrozza, C., Crimi, I., Failla, C., Busá, M., Bernava, G., Tartarisco, G., Vagni, D., Ruta, L. & Pioggia, G. (2020). Outcomes of a Robot-Assisted Social-Emotional Understanding Intervention for Young Children with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 50(1), 1973-1987. <https://doi.org/10.1007/s10803-019-03953-x>
- Maroto-Gómez, M., Alonso-Martín, F., Malfaz, M., Castro-González, A., Castillo, J. & Salich, M. (2023). A systematic Literature Review of Decision-Making and Control Systems for Autonomous and Social Robots. *International Journal of Social Robotics*, 15(1), 745-789. <https://doi.org/10.1007/s12369-023-00977-3>
- Mayor-Torres, J., Medina-DeVilliers, S., Clarkson, T., Lerner, D. & Riccardi, G. (2023). Evaluation of interpretability of deep learning algorithms in EEG emotion recognition : A case study in Autism. *Artificial Intelligence in Medicine*, 143(1), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102545>
- Mazefsky, C., Herrington, J., Siegel, M., Scarpa, A., Maddox, B., Scahill, L. & White, S. (2013). The role of emotion regulation in autism spectrum disorder. *The Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 52(7), 679-88. doi: 10.1016/j.jaac.2013.05.006
- Moon, J. & Ke, F. (2021). Exploring the treatment integrity of virtual reality-based social skills training for children with high functioning autism. *Interactive Learning Environments*, 29(6), 939-953. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1613665>
- Moore, C., Carter, R., Nietert, P., & 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>
- Muse, A., & Baldwin, J. (2021). Quasi-experimental research design. In J. Barnes (eds.), D. Forde (eds). *The Encyclopedia of Research Methods in Criminology and Criminal Justice* (pp.307-310). John Wiley & Sons: USA.
- Mustafa, M. (2023). Theoretical Understanding of Convolutional Neural Network: Concepts, Architectures, Applications, Future Directions. *Computation*, 11(3), 1-23 <https://doi.org/10.3390/computation11030052>
- Nerea, J. & Negro, V. (2022). Review of the application of Artificial Neural Networks in ocean Engineering. *Ocean Engineering*, 259(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111947>
- Organización Mundial de la Salud. (2023). *Autismo*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorder>

- O’Keeffe, C. & McNally, S. (2023). A Systematic Review of Play-Based Interventions Targeting the Social Communication Skills of Children with Autism Spectrum Disorder in Educational Contexts. *Rev J Autism Dev Disord* 10, (1) 51–81 <https://doi.org/10.1007/s40489-021-00286-3>
- Palestra, G., Varni, G., Chetouani, M. & Esposito, F. (2016). A multimodal and multilevel system for robotics treatment of autism in children. En DAA '16: Proceedings of the International Workshop on Social Learning and Multimodal Interaction for Designing Artificial Agents (pp. 1-6). ACM: Digital Library: USA
- Papoutsis C, Drigas A & Skianis C.(2018). Mobile applications to improve emotional intelligence in autism-a review. *Int J Interact Mob Technol*. 12(6), 47–61. doi: 10.3991/ijim.v12i6.9073
- Parsons, S. (2016). Authenticity in virtual reality for assessment and intervention in autism: A conceptual review. *Educational Research Review*, 19, 138– 157. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.08.001>.
- Paterson, M. (2023). Social robots and the futures of affective Touch. *The sense and society*, 18(2), 110-125. <https://doi.org/10.1080/17458927.2023.2179231>
- Pérez-Aguilar, W. (1999). El estudio de casos. En F. J., Sarabia (Ed), *Metodología para la investigación en marketing y dirección de empresas* (pp. 108-110). Pirámide: España.
- Perzolli, S., Bentenuto, A., Bertamini, G. & Venuti, P. (2023). Play with Me: How Fathers and Mothers Play with Their Preschoolers with Autism. *Brain Sciences*, 13(1),1-12. <https://doi.org/10.3390/brainsci13010120>
- Pichon, S., De Gelder, B. & Grezes, J. (2009). Two different faces of threat. Comparing the neutral system for recognizing fear and anger in dynamic body expressions. *Neuroimage*, 47(4), 1873-1883. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.03.084>
- Pour, A., Taheri, A., Alemi, M. & Meghdari, A. (2018). Human-Robot Facial Expression reciprocal interaction platform: case studies on children with Autism. *International Journal of Social Robotics*, 10(1), 179-198. <https://doi.org/10.1007/s12369-017-0461-4>
- Qiao, J., Li, F., Han, H. & Li, W. (2016). Constructive algorithm for fully connected cascade feedforward neural networks. *Neurocomputing*, 182 (1), 154-164. [10.1016/j.neucom.2015.12.003](https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.12.003)
- Ramírez-Duque, A., Frizera-Neto, A. & Bastos, T.F. (2019). Robot-Assisted Autism Spectrum Disorder Diagnostic Based on Artificial Reasoning. *Journal of intelligent and robotic systems*, 96(1), 267-281. <https://doi.org/10.1007/s10846-018-00975-y>
- Remington, A., Hanley, M., O’Brien, S., Riby, D. & Swettenham, J. (2019). Implications of capacity in the classroom: Simplifying tasks for autistic children may not be the answer. *Research in Developmental Disabilities*, 85(1), 197-204. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.12.006>
- Robaczewski, A., Bouchard, J., Bouchard, K. & Gaboury, S. (2021). Socially assistive robots: The Specific case of the NAO. *International Journal of Social Robotics*, 13(1), 795-831. <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00664-7>

- Robins, B., Dautenhahn, K., Boekhorst, R. & Billard, A. (2005). Robotic assistants in therapy and education of children with autism. Can a small humanoid robot help encourage social interaction skills? *Universal Access in the information Society*, 4(1), 105-120. <https://doi.org/10.1007/s10209-005-0116-3>
- Robins, B., Dautenhahn, K. & Dickerson, P. (2012). Embodiment and Cognitive Learning – Can a Humanoid Robot Help Children with Autism to Learn about Tactile Social Behaviour? En *International Conference on Social Robotics* (pp. 66-75). Springer: Alemania.
- Rutter, M., Le Couter, A. & Lord, C. (2009). *Autism Diagnostic Interview Revised*. Autism Genetic Resource Exchange: Los Angeles (USA)
- Salehi, H. & Burgueño, R. (2018). *Emerging artificial intelligence methods in structural engineering*. Elsevier, Amsterdam
- Sartorato, F., Przybylowski, L. & Sarko, D. (2017). Improving therapeutic outcomes in autism spectrum disorders: Enhancing social communication and sensory processing through the use of interactive robots. *Journal of Psychiatric Research*, 90(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2017.02.004>
- Scheef, M., Pinto, J., Rahardja, K., Snibbe, S. & Tow, R. (2002). Experiences with Sparky, a social robot. In *Socially Intelligent Agents*, (pp. 173-180). Springer: USA.
- Singh, A., Raj, K., Kumar, T., Verma, S. & Roy, A. (2023). Deep Learning-Based Cost-Effective and Responsive Robot for Autism Treatment. *Drones*, 7(2), 81-99. <https://doi.org/10.3390/drones7020081>
- Stake. R. (2005). *Investigación con estudio de Casos*. Madrid: Morata.
- Stone, W., Ousley, O. & Littleford, C. (1997). Motor Imitation in Young Children with Autism: What's the Object?. *J Abnorm Child Psychol* 25, (1), 475–485. <https://doi.org/10.1023/A:1022685731726>
- Snow, M., Hertzog, M. & Shapiro, T. (1987). Expression of emotion in young autistic children. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 26(1), 836-838,
- So, W., Cheng, C., Lam, W. Huang, Y., Ng, K., Tung, H. & Wong, W. (2020). A Robot-Based Play-Drama Intervention May Improve the Joint Attention and Functional Play Behaviors of Chinese-Speaking Preschoolers with Autism Spectrum Disorder: A Pilot Study. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 50(1), 467-481. <https://doi.org/10.1007/s10803-019-04270-z>
- Soleiman, P., Moradi, H., Mehralizadeh, B., Ameri, H., Arriaga, R., Pouretamad, H., Bagbanzadeh, N. & Kashani, L. (2023). Fully robotic social environment for teaching and practicing affective interaction: Case of teaching emotion recognition skills to children with autism spectrum disorder, a pilot study. *Frontiers in Robotics and Artificial Intelligence*, 10(1), 1-15. <https://doi.org/10.3389/frobt.2023.1088582>
- Soori, M., Arezoo, B. & Dastres, R. (2023). Artificial intelligence, machine learning and deep learning in advanced robotics, a review. *Cognitive robotics*, 3(1), 54-70. <https://doi.org/10.1016/j.cogr.2023.04.001>

- Sorrentino, A., Fiorini, L., Mancioffi, G., Cavallo, F., Umbrico, A., Cesta, A. & Orlandini, A. (2022). Personalizing care through robotic assistance and clinical supervision. *Front. Robot. AI* 9(1), 1-12. <https://doi.org/10.3389/frobt.2022.883814>
- Stockemer, D. (2019). *Quantitative Methods for the Social Sciences A Practical Introduction with Examples in SPSS and Stata*. Springer: Canada.
- Stone, W., Ousley, O., & Littleford, C. (1997). Motor imitation in young children with autism: What's the object? *Journal of Abnormal Child Psychology*, 25, 475–485. <https://doi.org/10.1023/A:1022685731726>
- Syriopoulou-Delli, C. K. & Gkiolnta, E. 2022. Review of assistive technology in the training of children with autism spectrum disorders. *International Journal of Developmental Disabilities*, 68, 73–85. <https://doi.org/10.1080/20473869.2019.1706333>
- Taheri, A., Meghdari, A., Alemi, M. & Pouretamad, H. (2018). Human-robot interaction in Autism Treatment: A case study on three pairs of Autistic children as Twins, siblings, and Classmates. *International Journal of Social Robotics*, 10 (1), 93-113. <https://doi.org/10.1007/s12369-017-0433-8>
- Taigman, Y., Yang, M., Ranzato, M. & Wolf, L. (2014). DeepFace: Closing the gap to human-level performance in face verification. En *2014 IEEE Conference on Computer vision and Pattern Recognition* (pp.1701-1708). IEEE: USA.
- Talaat, F. (2023). Real-time facial emotion recognition system among children with autism based on deep learning and IoT. *Neural Comput & Applic* 35, 12717–12728 <https://doi.org/10.1007/s00521-023-08372-9>
- Tapeh, A. & Naser, M. (2023). Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning in Structural Engineering: A Scientometrics Review of Trends and Best Practices. *Arch Computat Methods Eng*, 30 (1), 115–159 <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09793-w>
- Teslyuk, V., Kazarian, A., Kryvinska, N. & Tsmots, I. (2021). Optimal artificial neural network type selection method for usage in smart house systems. *Sensors*, 21(2), 1-14. <https://doi.org/10.3390/s21010047>
- 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>
- Tschida, J. & Yerys, B. (2021). A Systematic Review of the Positive Valence System in Autism Spectrum Disorder. *Neuropsychol Rev*, 31 (1), 58–88 <https://doi.org/10.1007/s11065-020-09459-z>
- Trevisan, D. A., Hoskyn, M., & Birmingham, E. (2018). Facial expression production in autism: A meta-analysis. *Autism Research*, 11(12), 1586–1601. <https://doi.org/10.1002/aur.2037>
- Turan, B., Algedik, P., Yildirim, E., Gulsen, M., Cubukcu, H., Guler, M., Alarslan, H., Egemen, A. & Burak, O. (2023). Toward the detection of reduced emotion expression intensity: an autism sibling study. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 45(3), 219-229. <https://doi.org/10.1080/13803395.2023.2225234>

- Tschida, J. & Yerys, B. (2021). A Systematic Review of the Positive Valence System in Autism Spectrum Disorder. *Neuropsychol Rev* 31, 58–88 <https://doi.org/10.1007/s11065-020-09459-z>
- Ullah Z, Al-Turjman F, Mostarda L & Gagliardi R (2020) Applications of artificial intelligence and machine learning in smart cities. *Comput Commun*, 154(15), 313-323. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.069>
- Van Seters, J., Ossevoort, M., Tramper, J. & Goedhart, M. (2012). The influence of student characteristics on the use of adaptive e-learning material. *Computers and Education*, 58(1), 942-952. [10.1016/j.compedu.2011.11.002](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.11.002)
- Verdú, E., Regueras, L. M., Gal, E., et al. (2017). Integration of an intelligent tutoring system in a course of computer network design. *Educational Technology Research and Development*, 65, 653–677. <https://doi.org/10.1007/s11423-016-9503-0>
- Vrontis, D., Cristofi, M., Pereira, V., Tarba, S. & Trichina, E. (2022). Artificial intelligence, robotics, advanced technologies, and human resource management: a systematic review. *The International Journal of Human Resource Management*, 33(6), 1237-1266. <https://doi.org/10.1080/09585192.2020.1871398>
- Waizbard-Bartov, E., Fein, D., Lord, C. & Amaral, D. (2023). Autism severity and its relationship to disability. *Autism Research*, 16 (4), 685-696. <https://doi.org/10.1002/aur.2898>
- Walęcka, M., Wojciechowska, K. & Wichniak, A. (2022). Central coherence in adults with a high-functioning autism spectrum disorder. In a search for a non-self-reporting screening tool. *Applied Neuropsychology: Adult*, 29(4), 677-683. <https://doi.org/10.1080/23279095.2020.1804908>
- Wilson, C., Brereton, M., Ploderer, B., Sitbon, L., & Sagers, B. (2017). Digital strategies for supporting strengths- and interests-based learning with children with autism. In *Proceedings of the 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS'17)*, ACM, New York, NY, USA (pp. 52–61). <https://doi.org/10.1145/3132525.3132553>
- Wijayasinghe, I., Ranatunga, I., Balakrishnan, N., Bugnariu, N. & Popa, O (2016). Human robot gesture analysis for objective assessment of autism spectrum disorder. *International Journal of Social Robotics*, 8(5), 695-707. DOI:10.1007/s12369-016-0379-2
- Yin, R. (2002). *Case study research: Design and methods*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Yeung, M. (2022). A systematic review and meta-analysis of facial emotion recognition in autism spectrum disorder: The specificity of deficits and the role of task characteristics. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 133(1), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.104518>
- Zapata-Ros, M. (2018). The smart university. The transition from Learning Management Systems (LMS) to Smart Learning Systems (SLS) in Higher Education. *Revista de Educación a Distancia*, 57(10), 1-43. <http://dx.doi.org/10.6018/red/57/10>
- Zhanatkyzy, A., Telisheva, Z., Amirova, A., Rakhymbayeva, N. & Sandygulova, A. (2023). Multi-Purposeful activities for Robot-Assisted Autism therapy: What works best for children’s social outcomes? In *HRI '23: Proceedings of the 2023 ACM/IEEE*

International Conference on Human-Robot Interaction (pp. 34-43). ACM Digital Library: USA.