

## INTERVENCIONES TECNOLÓGICAS ADAPTATIVAS PARA EL TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

MARIANO ALCAÑIZ<sup>1</sup>, LUNA MADDALON<sup>1</sup>, MARIA ELEONORA MINISSI<sup>1</sup>, MARIAN SIRERA<sup>2</sup>,  
LUIS ABAD<sup>2</sup>, IRENE A. CHICCHI GIGLIOLI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación e Innovación en Bioingeniería (i3B), Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, España,

<sup>2</sup>Centro de Desarrollo Cognitivo Red Cenit, Valencia, España

**Resumen** Los individuos con trastornos del espectro autista suelen describirse con deficiencias comunicativas, sociales, emocionales y de comportamiento. A menudo están aislados y son pasivos, con pocas oportunidades de interacción positiva y constructiva con el mundo exterior. Por otra parte, pueden mostrar comportamientos retraídos, estereotipados y disruptivos. Estas condiciones pueden dificultar seriamente sus habilidades adaptativas al ambiente, con consecuencias negativas en su calidad de vida. La heterogeneidad fenotípica y la manifestación, así como la gravedad de los síntomas, pueden variar considerablemente según el niño. Esos determinan la necesidad de intervenciones personalizadas y adaptivas según las necesidades específicas, incluyendo factores como la edad, las habilidades intelectuales y las áreas afectadas específicas. Una intervención temprana promovería las habilidades adaptativas, la autodeterminación y la autonomía hacia el entorno. No obstante, los tiempos de esperas y los costes no permiten una evaluación temprana y como consecuencia los tiempos de intervención se retrasan afectando la calidad de vida de los niños y de los padres. Además, los programas tradicionales de intervención dependen de la experiencia de los terapeutas. Una posible forma de superar este problema es el uso de tecnología adaptativa objetiva según las necesidades. El objetivo de este artículo es proporcionar una visión general de las pruebas empíricas disponible en los últimos siete años. En total, se seleccionaron 8 estudios, con 132 participantes que utilizaron 4 sistemas tecnológicos. Por último, se discuten las implicaciones tecnológicas, clínicas, psicológicas y rehabilitadoras de los hallazgos. Se esbozaron directrices prácticas dentro de esta área temática como perspectivas de investigación futuras.

**Palabras clave:** trastornos del espectro autista, intervención, adaptativo, tecnología, niños, personalizado

**Abstract** *Adaptive technological interventions for autism spectrum disorder: a literature review.* Individuals with autistic spectrum disorder are often described as having communication, social, emotional, and behavioral impairments. They are often isolated and passive, with few opportunities for positive and constructive interaction with the outside world. Moreover, they may exhibit withdrawn, stereotyped and disruptive behaviors. The aforementioned conditions can seriously hamper their ability to adapt to the environment, with negative consequences on their quality of life. Phenotypic heterogeneity and manifestation, as well as symptom severity, can vary greatly from child to child. These determine the need for individualized and adaptive interventions according to specific needs, including factors such as age, intellectual ability, and specific affected areas. Early intervention would promote adaptive skills, self-determination, and autonomy towards the environment. However, wait times and costs do not allow for early assessment, and therefore intervention times are delayed, affecting the quality of life of children and parents. In addition, traditional intervention programs depend on the expertise of the therapists. One possible way to overcome this problem is by using objective adaptive technologies based on needs. This article aims to provide an overview of the empirical evidence available over the past seven years. Overall, 8 studies were selected, with 132 participants using 4 technological systems. Finally, the technological, clinical, psychological, and rehabilitative implications of the findings are discussed. Practical guidelines within this topic area are outlined as future research perspectives.

**Key words:** autistic spectrum disorders, intervention, adaptive, technology, children, personalized

El Trastorno del Espectro Autista (TEA) es un trastorno del neurodesarrollo caracterizado por déficits que producen limitaciones en áreas específicas o limitaciones globales a nivel personal, social y académico<sup>1-7</sup>. Especí-

ficamente, estos individuos exhiben déficits persistentes en la interacción social (es decir, reciprocidad emocional, comunicación no verbal) y patrones de comportamiento restrictivos y repetitivos. Las personas con TEA pueden hiperreaccionar a los estímulos ambientales, por lo que pueden tender a aislarse o interesarse por lugares tranquilos<sup>8</sup>. Por el contrario, los individuos con TEA hiporreactivos tienen dificultades para interceptar los estímulos ambien-

tales. En ambos casos, tienen pocas oportunidades de interactuar de manera positiva, constructiva y educativa con el mundo exterior. Las conductas (retraídas, estereotipadas y disruptivas) asociadas a dificultades en el procesamiento e integración de la información sensorial dificultan su capacidad de adaptación al entorno, con consecuencias adversas para su calidad de vida y la vida de sus familiares. Lo anterior puede diferir de un caso a otro. Con un mismo criterio diagnóstico, existen diferentes expresiones fenotípicas: el TEA se manifiesta en diferentes formas clínicas al nivel de gravedad y capacidad afectada. Los tres niveles de clasificación se basan en la gravedad de los síntomas (deficiencias en la comunicación social y patrones de comportamiento restrictivo y repetitivo) y se dividen en que requieren apoyo, que requieren un apoyo sustancial y que requieren un apoyo muy sustancial<sup>5</sup>.

Teniendo en cuenta el amplio abanico de combinaciones de capacidad y gravedad y el hecho de que cada caso de TEA es diferente del otro, es evidente la gran necesidad de adoptar una intervención personalizada para cada individuo de acuerdo con sus necesidades específicas, incluyendo factores como la edad, capacidad intelectual y áreas específicas afectadas. La intervención temprana (alrededor de los 2-3 años) promovería la capacidad del niño de autonomía y adaptación al entorno. La intervención temprana apela a la plasticidad cerebral de los niños, lo que los lleva a desarrollar su potencial y lograr resultados exitosos. Sin embargo, los largos tiempos de espera y los altos costos médicos no permiten una evaluación temprana<sup>4</sup>. Debido a estos problemas, los tiempos de intervención a menudo se retrasan, lo que afecta negativamente las posibilidades de mejora y un camino efectivo que tiene como objetivo mejorar la calidad de vida del niño. Además, los programas de intervención tradicionales dependen de la experiencia de los terapeutas. Por ejemplo, los médicos de atención primaria, que en la mayoría de los casos representan el primer contacto diagnóstico, no tienen recursos o no están suficientemente capacitados en el trastorno para intervenir en detrimento de la intervención temprana<sup>6</sup>. Incluso en una etapa posterior, las habilidades de los terapeutas pueden retrasar el diagnóstico y el tratamiento del niño. La diversidad de sus antecedentes culturales y personales, su motivación, lenguaje y condición clínica, limitan la adaptabilidad del terapeuta a las características de los niños con TEA<sup>3</sup>.

Una forma posible de superar estas limitaciones es mediante el uso de tecnologías adaptativas objetivas basadas en las necesidades. Hoy en día, la incorporación de la tecnología a los enfoques terapéuticos se mueve hacia el "cómo" funciona, para "quién" y en qué "condiciones"<sup>7</sup>. Ya se han implementado varias tecnologías para mejorar las habilidades de comunicación social, el comportamiento y las habilidades cognitivas de los niños con TEA. La tecnología crea entornos en los que los niños pueden

entrenarse y gestionar las interacciones sociales de forma segura, predecible y agradable. La solución de adopción de tecnología adaptativa permite personalizar cada enfoque de tratamiento específico para niños. Una intervención adaptativa consiste en una secuencia de reglas de decisión clínica que orientan cómo y cuándo cambiar la dosis y el tipo de tratamiento en función de determinadas medidas<sup>2</sup>. Por lo tanto, en función de la variación en las variables medidas, la intervención se ajusta para que se adapte al niño. Además, algunos investigadores afirman que los sistemas de tecnología adaptativa son capaces de responder en tiempo real a comportamientos para el desarrollo de la comunicación social con una precisión más allá de la observación humana<sup>9, 10</sup>.

El objetivo principal de este artículo es proporcionar una visión general de la evidencia empírica, con respecto a las tecnologías adaptativas implementadas, disponible durante los últimos siete años (2014-2021). En general, se seleccionaron y discutieron ocho estudios de intervención de base tecnológica en las siguientes secciones. El último objetivo de este estado de la técnica es resaltar las fortalezas y debilidades de estos hallazgos.

## Materiales y métodos

Se realizó una primera búsqueda computarizada a través de la base de datos electrónica PubMed Central<sup>®</sup> utilizando las siguientes palabras clave: ("technological system" OR "technology") AND ("adaptive" OR "personalized" OR "customized" OR "individualized" OR "tailored") AND ("autistic spectrum disorder" OR "autism" OR "ASD") AND ("intervention" OR "training" OR "therapy" OR "clinical trial") AND ("toddler" OR "children" OR "infant"). Incluyendo los criterios referidos: a) artículos de investigación, b) participantes entre 2 y 10 años (o con un promedio de menos de 10 años), c) intervención de base tecnológica en TEA, yd) programa de intervención de base adaptativa. Los criterios de exclusión fueron: a) artículo de revisión sistemática, capítulo de libro y / o metaanálisis, b) artículo publicado en idiomas diferentes al inglés, c) artículos que no informaron el método de estudio y / o resultados, yd) estudios que implementaron tecnologías que no se ajustan a las necesidades de los niños.

En consecuencia, se incluyeron ocho estudios en la revisión, que involucraron a 147 participantes (de los cuales 15 eran niños con desarrollo típico) y cuatro tecnologías diferentes. Finalmente, los resultados de la evidencia disponible se han resumido e interpretado en la sección de "discusión". Los hallazgos se han categorizado en: tipo de artículo, habilidad investigada, modelo terapéutico adoptado, número de sesiones y tipo de tecnología implementada. Los datos se refieren al objetivo de investigación de este artículo.

## Resultados

Los sistemas adaptativos en el contexto de los TEA han ido ganando impulso en los últimos años, por lo que la bibliografía presente hasta la fecha no es sustancial. Como se informa en la Tabla 1, se identificaron y consideraron ocho artículos para este documento. Cinco artículos

TABLA 1

Article	Study type	Ability	Therapeutic model	N. Session	Technology
Ali et al. (2019)	Clinical trial	Social skills	Cognitive-Behavioral	16	Robot
Almirall et al. (2021)	Clinical trial	Social skills	Cognitive-Behavioral	7	Robot + Mobile
Alnajjar et al. (2021)	Clinical trial	Social skills	Cognitive-Behavioral	60	Mobile
Bekele et al. (2014)	Usability + Clinical trial	Social skills	Cognitive-Behavioral	1	Robot + Screen + Head-tracker
Khan et al. (2018)	Usability	Social skills	Cognitive-Behavioral	1	Mobile
Reis et al. (2021)	Usability	Learning	Cognitive-Behavioral + Parent training	1	Mobile
Rudovic et al. (2018)	Usability	Social skills	Cognitive-Behavioral	1	Robot
Zheng et al. (2016)	Usability	Social skills + Learning	Cognitive-Behavioral	1	Screen

tenían como objetivo presentar la tecnología a través de estudios de usabilidad, los tres restantes, en cambio, se centraron en aspectos de intervención relacionados con las habilidades sociales o las actividades diarias. Todos los artículos intervencionistas se refieren a un modelo cognitivo-conductual implementado mediante intervenciones que van desde 7 a 60 sesiones administradas en un máximo de 24 semanas. La tecnología implementada en los ensayos clínicos varió entre móvil, robot y *head-tracker*. Algunos de estos han sido compatibles con tecnologías accesorias como Kinect, EEG y dispositivos de generación de voz.

Los resultados demuestran que el uso de robots es un activo valioso para garantizar una buena interacción con los niños con TEA, lo que permite una intervención eficaz desde el punto de vista clínico y rehabilitador<sup>4</sup>. Aunque los robots reportan un gran potencial en intervenciones de atención e imitación conjunta<sup>1</sup>, compromiso y estado afectivo<sup>9</sup>, el uso de un *display* permite la administración de estímulos más complejos. Por ejemplo, en un estudio, se agregó un teléfono a un robot para mostrar señales emocionales y solicitar respuestas<sup>3</sup>. Asimismo, los dispositivos móviles se han implementado como herramienta de comunicación<sup>2</sup> para entrenar conductas positivas<sup>6</sup>, y en terapia ocupacional<sup>8</sup>. Otra forma de mostrar los estímulos es mediante pantallas. La pantalla permite un uso más inmersivo de la tecnología en comparación con los dispositivos móviles, pero ciertamente es más cara y físicamente no se puede utilizar más allá de una configuración ad-hoc. Esta tecnología ha demostrado ser capaz de administrar indicaciones de orientación social y de impulsar un desempeño correcto<sup>10</sup>. Finalmente, el sistema *head tracker* permite hacer inferencias sobre la dirección de la mirada y las áreas de interés social de atención. Este sistema de rastreo de bajo costo, no invasivo y altamente

tolerado para niños con TEA cumple con las limitaciones del uso de rastreo ocular<sup>4</sup>.

## Discusión

El objetivo de este artículo fue aportar evidencias sobre las tecnologías adaptativas disponibles en la literatura, con sus implicaciones técnicas y clínico-terapéuticas. Los artículos seleccionados mostraron que las intervenciones de tecnología adaptativa conducen a mejoras clínicas en áreas deterioradas típicas de los TEA. La posibilidad de adecuar la intervención según las necesidades y habilidades del niño es funcional a la creación de un camino personalizado en cada etapa en función de las mejoras relativas a los déficits de cada caso clínico. Es decir, un estudio mostró que a través de la intervención terapéutica adaptativa adoptada, hubo mejoras en las expresiones comunicativas habladas espontáneas y la atención conjunta<sup>2</sup>. La intervención adaptativa implicó clasificar al niño como respondedor o respondedor lento y una opción de entrenamiento (intensiva o no) basada en esta clasificación. Al final del tratamiento, los niños clasificados como mínimamente verbales obtuvieron ganancias significativas en los resultados. El déficit de atención conjunta a menudo se presenta en varios estudios, ya que es una construcción específica de un trastorno. Entre estas investigaciones, se creó un escenario adaptativo dinámico que cambia según el puntaje de atención del niño, y se reveló que tiene una precisión de 82, 4%<sup>3</sup>. El sistema utilizó escenarios de interacción que variaron según los puntajes de la evaluación del desempeño en tiempo real del niño. Además, las puntuaciones de las secciones se almacenaron individualmente y se usaron para actualizar o modificar escenarios para usar durante la próxima sesión. En otro ensayo clínico, en cambio, se utilizó la

atención conjunta como un medio de activación entre el robot y el niño para implementar una intervención de imitación motora adaptativa<sup>1</sup>. En este estudio, la intervención adaptativa de “señales de menor a mayor” se actuó solo cuando fue necesario, el robot asistió visual y verbalmente al niño solo si era esencial y no siguiendo un sistema en capas. Por tanto, cuando era relevante, el robot llamaba la atención y luego sugería movimientos a imitar: activaba al niño y lo impulsaba a través de estímulos de refuerzo hasta el límite máximo de intentos posibles. Los estudios de usabilidad se preocupan principalmente por verificar la viabilidad de las tecnologías implementadas, pero al mismo tiempo, aportan importantes conocimientos sobre las aplicaciones terapéuticas. De hecho, las tecnologías adaptativas tienen el potencial de permitir la personalización de la intervención en función de los estados afectivos, el rendimiento, la vida diaria e incluso la cultura de cada niño<sup>9, 10</sup>. Por ejemplo, algunos investigadores han diseñado un sistema que agrupa a los niños en función de sus datos demográficos (cultura y género), estimando los niveles de valencia, excitación y compromiso de cada niño para modular la interacción robot-niño en los siguientes pasos del proceso terapéutico<sup>9</sup>. En un estudio posterior, se ha desarrollado una arquitectura que captura información de atención en tiempo real para tomar decisiones sobre el envío de retroalimentación de refuerzo. Por tanto, si el niño no reaccionaba al estímulo propuesto en el monitor, el sistema enviaba un aviso según una secuencia jerárquica hasta conseguir la atención del niño. Un proyecto reciente de terapia ocupacional está desarrollando un sistema que tiene como objetivo adaptar las rutinas sensoriales a las necesidades individuales del niño. La aplicación almacena datos de la vida diaria del niño, sobre esta base el terapeuta personaliza y selecciona en el sistema las próximas estrategias de intervención<sup>8</sup>. A menudo, estas tecnologías actúan en tiempo real para ajustar su función en función del desempeño del niño, las respuestas conductuales, los intereses y las situaciones mentales<sup>4, 6, 10</sup>. La técnica en tiempo real permite variar los patrones de acción en respuesta a cualquier información mínima de entrada adquirida por el sistema tecnológico, ya sea un cambio de comportamiento o físico del niño, y devuelve instantáneamente una salida individualizada. Uno de estos estudios se centró en la adaptación del sistema.

La tecnología disponible en la literatura parece ser prometedora en el autocuidado y las dificultades psicosociales relacionadas con los trastornos del desarrollo de los niños<sup>7</sup>. El análisis de los artículos llevó a esbozar la contribución y el impacto positivo que tienen las tecnologías adaptativas en la intervención clínica. La aplicación de estos sistemas se puede aprovechar para proporcionar nuevas direcciones para la terapia, dadas las capacidades potenciales para hacer que los tratamientos sean altamente individualizados, intensivos y flexibles<sup>4</sup>. Un aspecto a

tener en cuenta es el costo y el tiempo que implicaría un enfoque adaptativo de la intervención. En una intervención tradicional, en la que el tratamiento se adapta al estado de desarrollo de los niños, los costos monetarios y de carga de casos del tratamiento son sustanciales<sup>2</sup>. La segunda gran contribución que aportan las tecnologías adaptativas es el apoyo a los terapeutas. La ventaja de estas tecnologías es que no se requiere un compromiso prolongado por parte del terapeuta, la terapia incluso se puede realizar en casa, y la intervención no se contamina por la interacción que implica la transmisión de información a través de la comunicación no verbal<sup>1, 3</sup>. La tecnología permite llenar esas brechas de atención, sesgos subjetivos y horas que son difíciles de satisfacer para los terapeutas humanos. Además, los sistemas tecnológicos permiten almacenar una gran cantidad de datos que los terapeutas pueden consultar para la toma de decisiones clínicas<sup>6</sup>. En este sentido, las tecnologías pueden ayudar y complementar el trabajo del terapeuta para orientarlo en la personalización de las estrategias de intervención y sus evaluaciones<sup>3, 10</sup>. Debido a la heterogeneidad de los síntomas de TEA, las estrategias de intervención que son válidas para un niño no pueden aplicarse fácilmente a otros. Por lo tanto, hacer la personalización es un desafío para los terapeutas<sup>3</sup>. Las intervenciones adaptativas proporcionan datos para un gran número de niños con TEA al orientar a los terapeutas sobre cómo aprovechar la heterogeneidad en la respuesta al tratamiento<sup>2</sup>. Los datos pueden ayudar al terapeuta a ver los patrones de comportamiento idiosincrásicos de un niño al interactuar y rastrear cómo varían en múltiples sesiones<sup>9</sup>. Dadas las limitaciones de los terapeutas humanos, los sistemas de tecnología adaptativa pueden ser prometedores en el futuro para complementar (pero no reemplazar) la atención individual basada en la evidencia<sup>10</sup>.

Con base en la literatura investigada y los resultados discutidos, parece que los sistemas de tecnología adaptativa son una solución intervencionista exitosa para usar con niños con TEA. La investigación futura debe centrarse en la creación de un sistema no invasivo que proporcione un entorno seguro, interactivo y terapéutico que promueva la participación en las experiencias de aprendizaje; finalmente, el diseño debe adaptarse a las necesidades del niño de manera que optimice la experiencia y la adaptación al entorno<sup>8</sup>. Teniendo en cuenta estos tipos de tecnologías altamente funcionales para una intervención personalizada, nuestra futura contribución al tema en cuestión se centrará en la creación de un sistema de tecnología adaptativa que pueda adaptarse a las habilidades y necesidades de los niños con TEA. Es decir, nuestra propuesta implica la creación de escenarios que se adapten durante las sesiones de terapia a la clasificación única de cada paciente en función de variables psicofisiológicas y biomarcadores conductuales. Como tal, esperamos que el sistema de tecnología implementado

y el aprendizaje de los niños con TEA puedan mejorarse mutuamente.

## Conclusiones

### Mensajes principales. Conocimiento actual

1. Los sistemas adaptativos permiten personalizar cada tratamiento específico del niño.
2. Estudios previos han demostrado que las intervenciones de tecnología adaptativa conducen a mejoras clínicas en áreas deterioradas típicas de TEA.
3. Los sistemas de tecnología adaptativa integran el trabajo del terapeuta en intervenciones individualizadas.

### Contribución del artículo

1. La contribución de este artículo es proporcionar una descripción general de la evidencia empírica disponible con respecto a las tecnologías adaptativas implementadas.
2. Se discutieron las implicaciones tecnológicas, clínicas, psicológicas y de rehabilitación de los hallazgos.
3. Las pautas prácticas dentro de esta área temática se han esbozado como perspectivas futuras.

**Conflicto de intereses:** Ninguno para declarar.

**Agradecimientos:** Este trabajo fue apoyado por el proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España "Sistema de RV adaptativo para intervenciones de TEA basado en biomarcadores implícitos" (PID2020-116422RB-C21).

## Bibliografía

1. Ali S, Mehmood F, Dancey D, et al. An adaptive multi-robot therapy for improving joint attention and imitation of ASD children. *IEEE Access* 2019; 7: 81808-25
2. Almirall D, DiStefano C, Chang Y-C, et al. Longitudinal effects of adaptive interventions with a speech-generating device in minimally verbal children with ASD. *J Clin Child Adolesc Psychol* 2016; 45: 442-56.
3. Alnajjar F, Cappuccio M, Renawi A, Mubin O, Loo CK. Personalized robot interventions for autistic children: An automated methodology for attention assessment. *Int J Soc Robot* 2021; 13: 67-82.
4. Bekele E, Crittendon JA, Swanson A, Sarkar N, Warren ZE. Pilot clinical application of an adaptive robotic system for young children with autism. *Autism* 2014; 18: 598-608.
5. Hoogenhout M, Malcolm-Smith S. Theory of mind predicts severity level in autism. *Autism* 2017; 21: 242-52.
6. Khan A, Li K, Madden J. Mobile aid to assist with care decisions in children with autism spectrum disorder (ASD). *J Healthc Eng* 2018; 2018:9703101. 10.1155/2018/9703101
7. Pontikas C-M, Tsoukalas E, Serdari A. A map of assistive technology educative instruments in neurodevelopmental disorders. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2020; 1-9. doi: 10.1080/17483107.2020.1839580.
8. Reis H, Eusébio I, Sousa M, et al. Regul-A: A technological application for sensory regulation of children with an autism spectrum disorder in the home context. *Int J Environ Res Public Health* 2021; 18(19):10452. doi: 10.3390/ijerph181910452
9. Rudovic O, Lee J, Dai M, Schuller B, Picard RW. Personalized machine learning for robot perception of affect and engagement in autism therapy. *Sci Robot* 2018; 3(19):eaao6760. doi: 10.1126/scirobotics.aao6760
10. Zheng Z, Warren Z, Weitlauf A, et al. Brief report: Evaluation of an intelligent learning environment for young children with autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord* 2016; 46: 3615-21.