

ISSN: 0210-1696

DOI: <https://doi.org/10.14201/scero202354128535>

TOLERANCIA A ENTORNOS VIRTUALES INMERSIVOS MULTISENSORIALES Y MEDIDA ELECTRODERMAL RATIO COMO IDENTIFICADOR DE POBLACIÓN TEA

Tolerance to Multisensory Immersive Virtual Environments and Electrodermal Ratio Measurement as an Identifier of ASD Population

Elena OLMOS-RAYA

*Universidad Politécnica de Valencia. Instituto de Investigación e Innovación en Bioingeniería
(I3B). España*

eor1980@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9508-4531>

Antonia CASCALES-MARTÍNEZ

Universidad de Murcia. España

<https://orcid.org/0000-0002-8966-2558>

Manuel CONTERO GONZÁLEZ

*Universidad Politécnica de Valencia. Instituto de Investigación e Innovación en Bioingeniería
(I3B). España*

<https://orcid.org/0000-0002-6081-9988>

Recepción: 22 de febrero de 2022

Aceptación: 26 de abril de 2022

RESUMEN: Encontrar indicadores cuantificables para caracterizar a la población con Trastorno del Espectro Autista (TEA) es una prioridad para avanzar en el conocimiento de la afección. Por ello, medidas como la Actividad Electrodermal (EDA) en Entornos Virtuales Inmersivos (EVI) pueden reportar medidas objetivas obtenidas en contextos con la capacidad de obtener una respuesta similar a la de la realidad. El objetivo de este estudio fue estudiar la usabilidad de un EVI y una pulsera EDA y qué fases de la misma tienen capacidad de detectar a la población TEA en un contexto estimular multisensorial. Se llevó a cabo un diseño experimental mixto con un factor intersujetos

y un factor intrasujetos. Para ello se contó con una muestra de 46 participantes TEA y 40 normotípicos. Los resultados mostraron una elevada adaptabilidad de uso del *EVI* y de la pulsera de medición *EDA*. Además, la componente electrodermal Ratio fue la que obtuvo la capacidad de diferenciar el comportamiento fisiológico entre grupos. Por ello dichos dispositivos son susceptibles en su generalización clínica, mientras que la medida Ratio apunta hacia una mayor percepción de los olores por parte de la población TEA, lo que puede estudiarse como un indicador de la afección.

PALABRAS CLAVE: Actividad electrodermal; entornos virtuales inmersivos; trastorno del espectro autista; realidad virtual.

ABSTRACT: Finding quantifiable indicators to characterize the population with Autistic Disorder (ASD) is a priority to advance knowledge of the condition. For this reason, measures such as Electrodermal Activity (EDA) in Immersive Virtual Environments (EVI) can report objective measures obtained in contexts with the ability to obtain a response similar to that of reality. The objective of this study was to study the usability of an EVI and an EDA bracelet and which phases of it have the capacity to detect the ASD population in a multisensory stimulation context. A mixed experimental design was carried out with a between-subjects factor and a within-subjects factor. For this, there was a sample of 46 ASD participants and 40 normotypical. The results show a high adaptability of use of the EVI and the EDA measurement bracelet. In addition, the Ratio measure was the one that obtained the ability to differentiate the physiological behavior between groups. Therefore, these devices are susceptible in their clinical generalization, while the Ratio measure points to a greater perception of odors by the ASD population, which can be studied as an indicator of the condition.

KEYWORDS: Autism spectrum disorder; electrodermal activity; immersive virtual environments; virtual reality.

1. Introducción

El Trastorno del Espectro Autista (TEA) es una afección compleja (Georgiades *et al.*, 2013), cuya definición ha ido cambiando y evolucionando con el tiempo. Actualmente, después de décadas de estudios, se ha llegado a un consenso científico en cuanto al núcleo sintomatológico, centrándolo en las interacciones sociales, la capacidad comunicativa, la imaginación y la presencia de comportamientos repetitivos o estereotipados (Wing y Gould, 1979), además de la presencia de desregulación de los canales sensoriales (O'Neill y Jones, 1997).

Con la publicación de la 5ª. edición del Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-V) en 2013, se produjo un avance en cuanto a niveles de gravedad sintomatológica, ayudando a los profesionales del TEA a tener una guía para especificar el apoyo necesario para cada persona (American Psychiatric Association, 2013). En contrapartida, la comunidad científica encuentra estrecha la clasificación, ya que corre el riesgo de excluir a personas en cuanto a recursos para su diagnóstico e intervención (Hodges *et al.*, 2020). A pesar de ello, es una visión

alineada con los preceptos de la Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, basada en clasificar a la población TEA según el nivel de apoyo que necesitan (Autism Europe, 2019).

En la actualidad, la prevalencia varía a nivel mundial, situándose en 65/10000, con una proporción media entre hombres y mujeres situada en un 4,2 %. Dicho aumento es producto de una mayor conciencia social, avances en los sistemas de detección y una mayor definición sintomatológica (Zeidan *et al.*, 2022).

A pesar de las elevadas cifras, la ciencia no ha podido brindar diagnósticos cuantitativos individualizados ni tratamientos eficaces que dejen de lado los criterios observacionales terapéuticos, permitiendo adecuar las intervenciones a las necesidades de cada sujeto.

Las herramientas diagnósticas más empleadas, como la Escala de Observación Clínica Estructurada para el Diagnóstico del Autismo (*ADOS-2*) (Lord, Luyster *et al.*, 2015; Lord, Rutter *et al.*, 2015) o la Entrevista para el Diagnóstico del Autismo Revisada (*ADI-R*) (Rutter *et al.*, 2003), a pesar de su elevada validez científica, no han ido más allá de la información observacional proporcionada tanto por los niños y niñas como por su entorno familiar o escolar más inmediato (Alcañiz *et al.*, 2022; Francis, 2005). En ellas, la reacción proporcionada puede ser muy dispar a la respuesta que proporcionarían las personas en un contexto real, además de no tener en cuenta las necesidades específicas de cada una de ellas (Gillberg y Rasmussen, 1994). Por esa razón, una contribución de especial relevancia para la investigación en el diagnóstico e intervención terapéutica del TEA debe centrarse en las llamadas medidas fisiológicas de carácter cuantitativo o implícito. Estas pueden proporcionarnos información sobre las respuestas personales de cada sujeto ante la presencia de una determinada condición estimular (Alcañiz *et al.*, 2019). Se trata de una respuesta que las personas no pueden controlar conscientemente. Su estudio es lo que en el futuro puede derivar en marcadores fisiológicos, capaces de superar las limitaciones existentes en las baterías diagnósticas tradicionales (Lieberman, 2010).

Las mediciones implícitas más estudiadas en el ámbito del TEA han sido los patrones de la actividad electrodermal (*EDA*). El *EDA*, también conocido como *Galvanic Skin Response* (*GSR*), es la respuesta electrodérmica inconsciente de nuestro cuerpo en forma de sudoración producida por las variaciones eléctricas de la piel cuando nos hallamos ante un estado emocional o estímulo (Benedek y Kaernbach, 2010).

La medida *EDA* cuenta con dos componentes: Tónica y Fásica. La primera es lenta y no está asociada con un estímulo externo, indica el grado de excitación general de un sujeto (*SCL*). La segunda es más rápida, está asociada con un estímulo externo e indica si este produce una mayor o menor agitación (*SCR*) (Venables y Christie, 1980). Otra medición electrodermal es la denominada *Ratio*, entendida como el promedio de referencia entre los valores en *SCR* y los de la línea de base (*LB*) o estado de reposo previo. Cuando su resultado es mayor que 1, apunta a un aumento en la medida de *SCR* con respecto al estado de reposo, lo que sugiere un aumento en la excitación. Si, por el contrario, el resultado es inferior a 1, apunta a una disminución (Trujillo *et al.*, 2016).

De dichos componentes electrodermales, el más estudiado en población TEA fue SCR (Chang *et al.*, 2012), pero existen estudios que han analizado la fase SCL (Schoen *et al.*, 2009). En relación a la sintomatología del TEA, es el componente SCL el que ha logrado resultados prometedores (McCormick *et al.*, 2014; Prince *et al.*, 2017), no habiendo investigaciones sobre la medida Ratio. Si bien sí se ha estudiado en el contexto del TEA la relación entre el *EDA* y el procesamiento sensorial (Van Engeland, 1984), pocos estudios han incorporado el sentido del olfato (Boudjarane *et al.*, 2017; Legiša *et al.*, 2013; Wicker *et al.*, 2016).

A pesar de la investigación sobre dicha medida fisiológica en la población objeto de estudio, toda ella se ha desarrollado en contextos reales o en pantalla de computadora. En el primero de los contextos, se produce una pérdida del control experimental en cuanto a los estímulos presentados. En el segundo, a pesar de la evolución de la calidad gráfica de los estímulos, distan de la realidad circundante (Loomis *et al.*, 1999). A ello cabe añadir que no existe un consenso sobre cuál de los componentes electrodermales cuenta con mayor efectividad para evaluar la afeción o demostrar una eficacia tras la intervención (Lydon *et al.*, 2014).

Es la tecnología como la Realidad Virtual (RV) la que puede superar dichas limitaciones, ya que permite la interacción de forma natural con un mundo artificial, pero muy similar a la realidad física, obteniendo respuestas de elevada validez ecológica o similar al mundo real. Además, permite el control de los canales sensoriales a estimular, adaptándolos a las necesidades de cada niño o niña durante la intervención (Loomis *et al.*, 1999). Por tanto, puede ser una herramienta de evaluación y entrenamiento para las personas TEA, ya que su componente visual lo convierte en un contexto atractivo (García Guillén *et al.*, 2017; Parsons *et al.*, 2000), además de predecible. Es por eso que puede generar seguridad en cuanto a su utilización (Gómez y Álvarez, 2008), teniendo la capacidad de reproducir todo tipo de contextos (Li *et al.*, 2019).

Su aplicabilidad ha sido ampliamente estudiada como contexto de entrenamiento desde los años 90 (Golestan *et al.*, 2018) ya que, con ella, se podía reproducir el mundo real, obteniendo una respuesta similar a la que obtendríamos en el mundo físico (Slater y Usoh, 1994). Es además un contexto seguro y reproducible, lo que derivaría en su uso no solamente al entrenamiento, sino también a la evaluación, obteniendo respuestas similares a las de la vida diaria, pero con elevada predictibilidad, importante factor para las personas TEA (Lozano-Martínez *et al.*, 2011).

No obstante, su uso está indisolublemente ligado a la evolución de los dispositivos, dado el rechazo de las personas TEA a usar visores (Kern *et al.*, 2006). Por este motivo, la mayor parte de la investigación científica se ha centrado en el uso de la denominada RV *Desktop*, que utiliza gráficos de elevada calidad, pero mostrados en pantallas de PC, interactuando con el entorno a través de elementos externos como ratón, teclado o joystick.

Con el avance tecnológico, surgieron los denominados *CAVE* (Cave Automatic Virtual Environment), salas inmersivas en las que se proyectaban entornos en sus paredes de elevada calidad gráfica. En ellas, las respuestas fueron más similares a

las del mundo real, ya que podían interaccionar con el entorno, pero mediante el uso de gafas de estereoscopia (Blascovich *et al.*, 2002). Su desventaja radica, además del elevado coste económico, en la misma que en los visores RV: el rechazo a utilizar las gafas de visión estereoscópica, por resultarles invasivos.

La evolución de los *CAVE* derivó en los denominados *EVI*. En ellos, los gráficos se proyectaban en las paredes, pero sin posibilidad de interacción con el entorno. Con la aparición de los *EVI*, a pesar de producirse una pérdida en cuanto a la inmersión y la capacidad de interacción con el mismo, por la supresión de las gafas estereoscópicas, se mejoró en confortabilidad. Independientemente del soporte tecnológico utilizado, la literatura concluye que estas son herramientas validadas para el entrenamiento de las áreas afectadas en el TEA, pero no contemplan esta tecnología como un método para evaluar cuantitativamente la afección (Parsons, 2016).

A partir de dichas limitaciones observadas en la práctica clínica con personas TEA, la presente investigación plantea explorar cómo el uso de los *EVI*, combinados con mediciones cuantitativas como el *EDA*, pueden ser contextos seguros utilizados por la población que nos ocupa. Asimismo, indagar qué componente electrodermal (SCL, SCR o Ratio) tiene capacidad de identificar a la población de estudio frente a la normotípica en un contexto de estimulación visual, auditiva y olfativa.

2. Método

2.1. *Diseño experimental*

Se empleó un diseño experimental mixto que incluyó como factor intersujetos la condición TEA (grupo TEA y grupo normotípico o DT) y un factor intrasujetos asociado al tipo de estimulación [se aplicaron tres niveles de estimulación: visual (V), visual y auditiva (VA) y visual, auditiva y olfativa (VAO)]. Como variables dependientes se utilizaron los componentes *EDA* que se detallan en la Tabla 1.

2.2. *Participantes*

La investigación contó con un total de 86 participantes en edades comprendidas entre los tres y siete años de edad divididos en dos grupos: 46 participantes contaban con un diagnóstico en TEA ($M = 5.17$ y $DT = 1.56$) y 40 con desarrollo típico ($M = 4.80$ y $DT = 1.15$).

La evaluación de los participantes TEA se había llevado a cabo mediante la escala *ADOS-2*, *ADI-R* y fue aportada por las familias y obtenida de su hospital o centro de referencia. Se calcularon los promedios de las áreas evaluadas, así como la desviación típica. Tal como muestra la Tabla 2, el grupo TEA fue heterogéneo, lo que vino condicionado por la accesibilidad de la muestra.

Los criterios de exclusión se fijaron en la edad, en la presencia de la intolerancia a llevar la pulsera de medición de *EDA* y en el hecho de no contar con un diagnóstico

TABLA 1. Medidas electrodermales, significado y características definitorias			
Medida EDA	Equivalencia español	Abreviatura	Característica
<i>Skin Conductance Level</i> (Fase Fásica)	Nivel general de conductancia de la piel	SCL	Rápida Nivel de excitación general del sujeto
<i>Skin Conductance Response</i> (Fase Tónica)	Respuesta de conductancia de la piel a un estímulo	SCR	Lenta Nivel de excitación frente a un estímulo
Línea de base	Nivel de SCR en estado de reposo	LB	Estado de relajación Se obtiene a partir de la medida SCR, pero con el sujeto en estado de reposo
Ratio	Ratio	Ratio	Resultado de la división SCR entre la línea de base (SCR/LB). Grado de incremento de la excitación con respecto al estado de reposo previo

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 2. Puntuaciones de participantes ADOS-2 y ADI-R					
	Puntuaciones				
	Área	M	DT	Máximo	Mínimo
ADOS-2	Comunicación	2.75	1.43	14	3
	Interacción social	7.89	3.39	20	5
	Total, afectación social	10.64	4.43	20	5
	Comportamiento restringido y repetitivo	2.75	1.71	8	1
	Puntuación global	13.39	4.89	22	7
ADI-R	Interacción social	12.18	5.44	23	3
	Comunicación social	9.32	4.06	21	6
	Patrones de conducta restringidos, repetitivos y estereotipados	2.96	2.13	10	5
	Anormalidades en el desarrollo antes de los 36 meses	3.84	1.21	5	2

en TEA. En el caso de los participantes normotípicos (grupo DT) quedaron excluidos si padecían sintomatología asociada a un Trastorno del Neurodesarrollo. En ambos grupos de participantes, quedaron excluidos todos aquellos que contaron con discapacidad de carácter visual.

2.3. Técnicas de recogida de información

La actividad fisiológica proporcionada por la actividad electrodermal se registró mediante un dispositivo con forma de pulsera comercializado con el nombre de *Empática E4* (www.empatica.com). Dicho dispositivo ha obtenido la misma fiabilidad de resultados que con instrumentos de medición de carácter clínico (McCarthy *et al.*, 2016). Como se puede observar en la Figura 1, es un dispositivo inalámbrico portátil, diseñado para la adquisición continua y en tiempo real de los niveles *EDA* en contextos reales.



2.4. Estructura del Sistema del EVI

La estructura del contexto estimular fue la de un *EVI*, situado físicamente en una habitación con paredes en blanco con unas dimensiones de 4 x 4 x 3 metros, que contaba con tres proyectores *Full HD Optoma*, ubicados y anclados en un soporte metálico en la parte superior. Ello permitió exponer a los participantes a proyecio-

nes 3D proyectadas en 3 de las 4 caras de la habitación, generando de ese modo un contexto virtual inmersivo.

El contenido 3D que lanzaban los proyectores estaba controlado por un sistema central, el cual, mediante una conexión vía wifi, permitió controlar la emisión de olores dentro del *EVI*. Dicha emisión se realizó utilizando el sistema *Olorama Technology* (véase Figura 2), un dispensador de olores inalámbrico que permite el uso de una paleta de hasta 70 olores distintos, capaces de cubrir una superficie de hasta 12 m², controlando la intensidad y duración de la fragancia.

FIGURA 2. Dispensador de fragancias Olorama Technology



2.5. Contenido estimular

El contenido presentado dentro del *EVI*, tal como muestra la Tabla 3, tuvo una duración de 9,08 minutos y se dividió en 3 fases, con una duración cada una de 50,1 segundos. Se situó en un bosque al atardecer, con árboles y flores.

En la primera fase, en la cual se llevó a cabo únicamente una estimulación de carácter visual, un avatar aparecía desde el lado izquierdo del *EVI*, posicionándose en el centro desde donde saludó al participante en tres ocasiones, para posteriormente marcharse por el lado izquierdo (véase Figura 3).

TABLA 3. Condiciones experimentales, estímulos presentados, abreviatura, tiempo de exposición y medidas EDA				
Condición experimental	Estímulo presentado	Abreviatura	Tiempo de exposición	Medidas EDA
Cuenta atrás inicio experiencia			10 segundos	
Línea de base visual	Imágenes de un bosque con música relajante	LB_V	125 segundos	SCR
Estímulo visual (1.ª Fase)	Imágenes de un bosque en silencio con avatar saludando	SCL_V SCR_V RATIO_V	50,01 segundos	SCL SCR RATIO = SCR/LB
Línea de base visual y auditiva	Imágenes de un bosque con música relajante	LB_VA	125 segundos	SCR
Estímulo visual y auditivo (2.ª Fase)	Imágenes de un bosque con avatar saludando y sonidos de tormenta y lluvia	SCL_VA SCR_VA RATIO_VA	50,01 segundos	SCL SCR RATIO = SCR/LB
Línea de base visual, auditiva y olfativa	Imágenes de un bosque con música relajante	LB_VAO	125 segundos	SCR
Estímulo visual, auditivo y olfativo (3.ª Fase)	Imágenes de un bosque con avatar saludando, sonidos de tormenta y lluvia y olor a hierba fresca	SCL_VA SCR_VA RATIO_VA	50,01 segundos	SCL SCR RATIO = SCR/LB
Cuenta atrás final experiencia			10 segundos	
Tiempo de exposición total			548 segundos (9,08 minutos)	

En la segunda fase, se añadió el sentido del oído. Para ello, el avatar siguió el mismo recorrido y realizó las mismas acciones, pero acompañadas de sonido de tormenta y lluvia.

En la última de las fases, añadimos la estimulación olfativa. Para ello, se añadió la emisión de olor a hierba recién cortada. La elección del olor se realizó con el fin de proporcionar coherencia a todos los estímulos presentados a los participantes.

FIGURA 3. Imágenes proyectadas en el EVI en la Condición Visual (1.ª Fase)

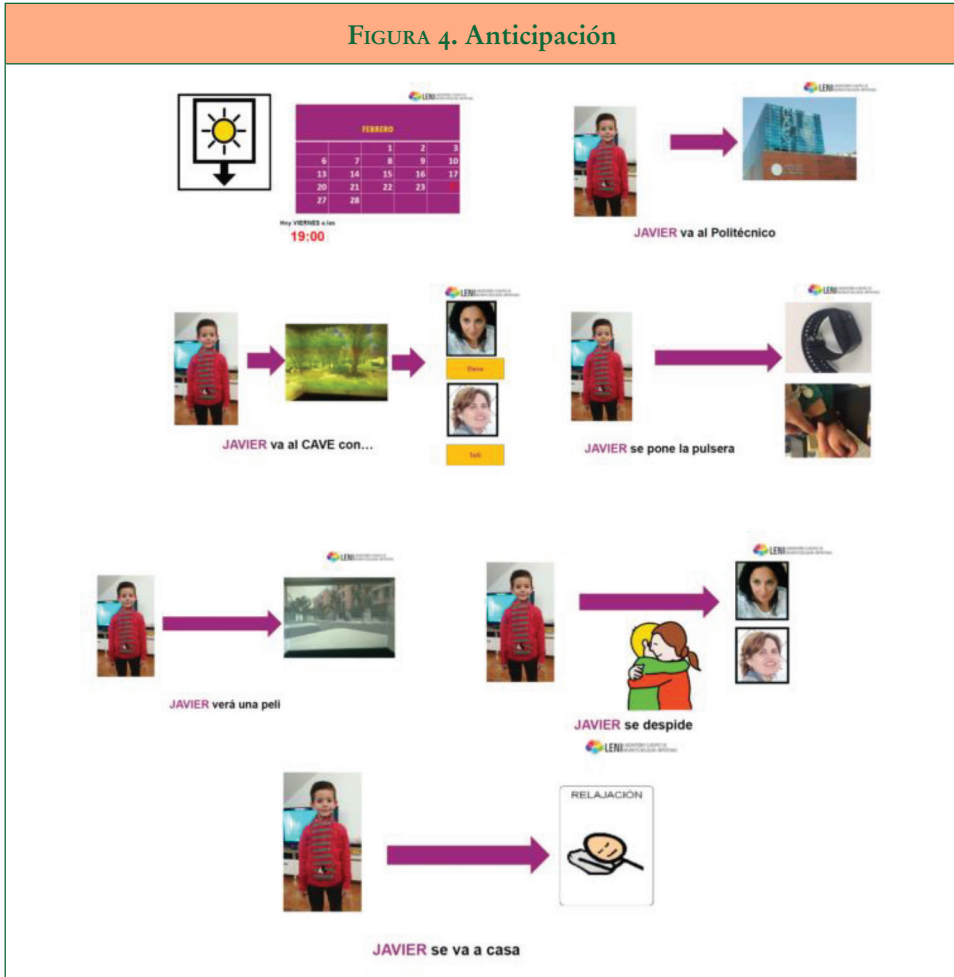


Respecto a las condiciones de líneas de base previas a las condiciones experimentales, el entorno contó con imágenes del mismo bosque, pero con música de carácter relajante y sin la presencia de distractores en forma de avatares, sonidos estimulares u olores.

2.6. *Procedimiento*

Las familias de los participantes fueron informadas sobre los objetivos de la investigación, las medidas y la ubicación del dispositivo, respetando los criterios éticos establecidos para la experimentación con seres humanos, tal como queda recogido en el Informe Belmont. En el consentimiento informado se plasmó que la presente experimentación formaba parte de un proyecto general sobre el uso de medidas fisiológicas y realidad virtual para la evaluación y el entrenamiento del TEA. Para trabajar la anticipación de la experiencia, aquellas familias que accedieron a participar enviaron a los investigadores una fotografía del participante o bien una imagen de su dibujo animado favorito. En dicha anticipación y de forma pictográfica, se les explicó dónde iban, con quién se iban a encontrar, en qué consistía la actividad y que debían colocarse una pulsera. Una vez personalizada la anticipación

pictográfica, los investigadores la hicieron llegar a las familias mediante mensajería automática para teléfonos móviles. Cabe señalar que la anticipación se realizó tanto para el grupo TEA como para los participantes del grupo con desarrollo típico (véase Figura 4).



Una vez concertada la cita, a su llegada, las familias leyeron la información proporcionada por los investigadores, donde quedaba especificada la experiencia y a la que iba adjunto el consentimiento informado.

Tras la firma del mismo, el investigador mostró tanto el *EVI* como la pulsera de medición *EDA* a los participantes. Con el objetivo de medir la tolerancia a los mismos, se anotó en la hoja de registro de los participantes si aceptó la colocación y

entrada al contexto estimular. Se consideró que toleraron el dispositivo y el contexto si, tras la muestra del *EVI* y colocación de la pulsera, el sujeto permaneció hasta el final de la experiencia sin salir del entorno y sin retirarse la pulsera.

2.7. Análisis de datos

Para el análisis de los datos usamos el programa estadístico de *IBM SPSS Statistics 22.0*, llevando a cabo estadística inferencial no paramétrica, dado que la prueba de *Kolmogorov-Smirnov* mostró que el conjunto de los datos no contó con una distribución normal ($p < .05$). Se aplicó la prueba *U de Mann-Whitney* para analizar las diferencias entre los grupos, con el objetivo de analizar las medidas proporcionadas por el *EDA* (LB, SCL, SCR y Ratio), las variables estimulares donde se produjo una respuesta al saludo (V, VA y VAO) y el grado de adaptación al *EVI* y la pulsera de medición *EDA*.

Asimismo, para la estadística inferencial se ha establecido un nivel de significación de $p < .05$, el cual representa la probabilidad de error que se asume (Bisquerra Alzina y Vilá Baños, 2014).

3. Resultados

Los resultados obtenidos tras aplicar la prueba no paramétrica *U de Mann-Whitney* mostraron que no se dieron diferencias significativas en cuanto a tolerancia al uso del *EVI* entre el grupo TEA y DT ($z = -1.441$, $p < .05$). Los resultados apuntan a un grado de confortabilidad elevado en sujetos TEA en cuanto a utilizar un *EVI* como contexto terapéutico. En cuanto a la tolerancia del dispositivo *EDA*, el análisis no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($z = -1.733$, $p < .05$). Los resultados apuntan a un elevado grado de tolerancia al uso al dispositivo de medición *EDA* en toda la población estudiada (véase Figura 5).

En lo que respecta a la respuesta en estado de reposo o LB o la activación electrodermal en los componentes SCL y SCR, el test *U de Mann-Whitney* indicó que no se dieron diferencias estadísticamente significativas entre los mismos en ninguna de las condiciones estimulares y en ninguna de las mediciones electrodermales, a excepción de la medida Ratio. En ella, los resultados hallaron diferencias estadísticamente significativas en la condición Ratio_VAO ($z = -2.260$, $p < .05$), siendo más elevada en el grupo TEA que en el grupo con desarrollo típico. Con ello, los sujetos TEA mostraron un mayor grado de incremento electrodermal con respecto a la línea de base cuando se introdujo el sentido del olfato, coincidiendo con el final de la experiencia, comportándose de forma similar en el resto de medidas electrodermales (véase Figura 6).

FIGURA 5. Tolerancia del dispositivo EDA

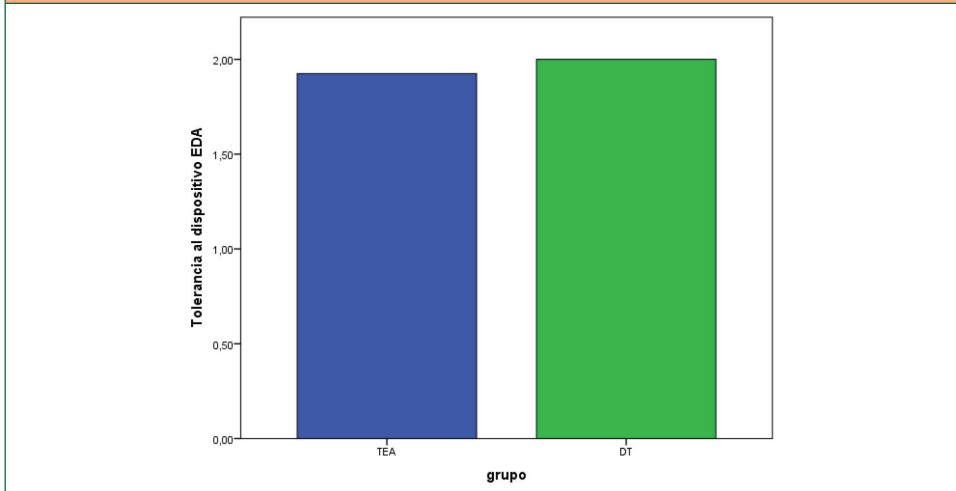
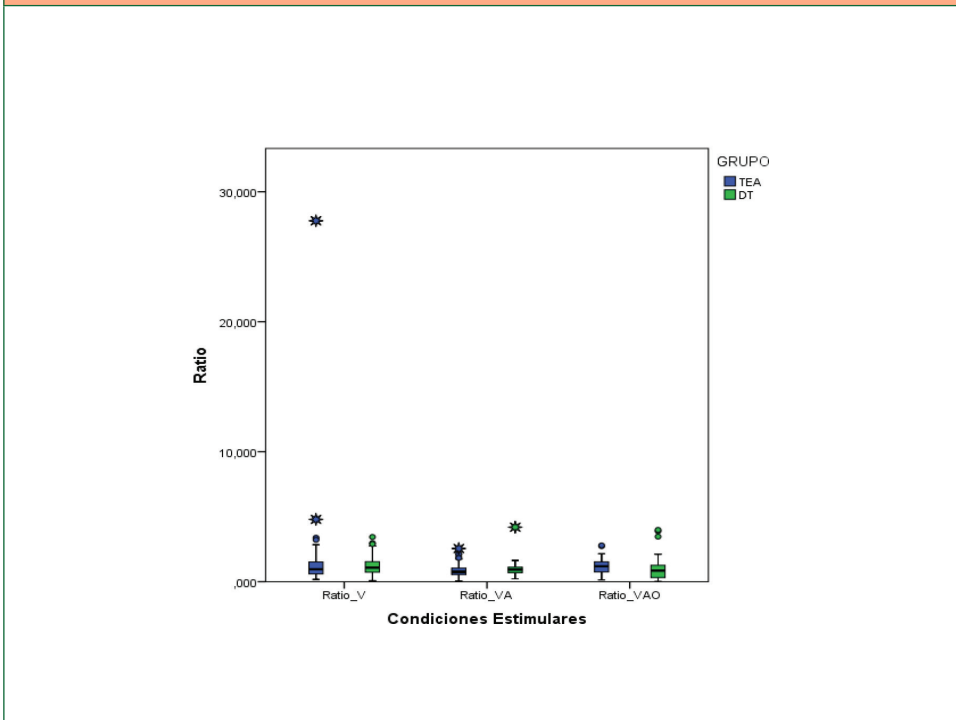


FIGURA 6. Activación Ratio grupo DT y grupo TEA a lo largo de las condiciones estimulatorias



4. Discusión y conclusiones

En general se halló que el uso de dispositivos electrodermales, así como permanecer en el interior de un *EVI*, no supuso un inconveniente para los participantes, con independencia de su grupo.

Dicha valoración puede relacionarse con la afinidad natural que existe entre la población TEA y el uso de la tecnología y por la capacidad adaptativa a las necesidades personales de cada sujeto (García Guillén *et al.*, 2017), siendo entornos predecibles que proporcionan mayor seguridad a la población con la afección que nos ocupa (Lozano-Martínez *et al.*, 2011). Ello apunta a que los *EVI* pueden considerarse contextos en los que la población estudiada puede ser estimulada de forma multisensorial sin que rechacen el contexto, por lo que su uso podría generalizarse para realizar una intervención de situaciones cotidianas sin tener que hacer uso de cascos RV que resultan más invasivos.

Por otra parte, el uso de la pulsera de medición *EDA* obtuvo un elevado grado de aceptación por los participantes del grupo TEA, lo que apunta a que se trata de un dispositivo que no genera molestias en cuanto a su uso. Por ello, la investigación puede incorporarlo como una herramienta que la población TEA percibe como no invasiva y que puede proporcionar datos sobre su comportamiento fisiológico.

El estudio de los componentes electrodermales de línea de base, SCL y SCR, arrojó resultados igualitarios entre los grupos a investigar. En esta línea se encuentran los hallazgos de Van Engeland (1984), quien no halló diferencias en el estado de reposo previo a una estimulación de carácter auditivo. Dicha similar activación también podría relacionarse con la anticipación que se llevó a cabo con la población TEA previa a la experiencia, que pudo derivar en niveles *EDA* en LB similares a los de sus pares normotípicos. Dicha afirmación podría estar en consonancia con la importancia y efectividad de llevar a cabo tareas anticipatorias para sujetos TEA ante contextos desconocidos, dada su capacidad para generar mayor seguridad y, por tanto, regular los niveles de excitación (Gómez y Álvarez, 2008).

El encontrar una reactividad igualitaria entre los grupos guarda relación con el resultado de McCormick *et al.* (2014) y de Schoen *et al.* (2009), cuyos trabajos también hicieron uso del componente *EDA* SCL, no reportando diferencias entre los grupos experimentales ante estímulos visuales, auditivos, olfativos y táctiles en un contexto experimental real. El estudio de la revisión de Lydon *et al.* (2014) muestra que, en general, el componente SCL ha sido el que menos aplicabilidad ha tenido en el ámbito del TEA.

La inexistencia de diferencias significativas entre los grupos en el componente SCR se encuentra en consonancia con la línea del trabajo de McCormick *et al.* (2014) y de Shalom *et al.* (2006), quienes, usando imágenes con contenido emocional y avatares con ojos cerrados y abiertos, no hallaron diferencias en el componente SCR entre grupo experimental y normotipo. Dicha carencia de significatividad pudo darse por la heterogeneidad de la población TEA. A ello cabe añadir que los informes aportados habían sido realizados tiempo atrás, por lo que el proceso de maduración y la intervención terapéutica pudo ser un condicionante para nuestros resultados.

Por último, los resultados en referencia a la medida denominada Ratio mostraron que el incremento electrodermal con respecto al estado de reposo previo fue mayor en participantes TEA con desarrollo típico en la condición olfativa (Ratio_VAO). Wicker *et al.* (2016) no hallaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ante olores agradables y sí que lo hicieron ante olores desagradables, donde los sujetos TEA los perciben con menor intensidad. Si tenemos en cuenta el contexto experimental del presente estudio, la conjunción de un bosque al aire libre y el olor a hierba fresca pudo provocar en ellos sensaciones placenteras.

En este sentido, Li *et al.* (2019) realizaron una investigación sobre los beneficios de la naturaleza en sujetos TEA. Los resultados, aunque reportados por las familias, encontraron que la exposición a entornos naturales fueron experiencias agradables y beneficiosas. En general, la intensidad del olfato ha sido poco estudiada, ya que los estudios se han centrado en la identificación (Boudjarane *et al.*, 2017), pero no utilizando en ninguno de los casos la unión y la coherencia entre el canal visual, auditivo y olfativo, la cual podría reportar resultados sobre el procesamiento olfativo en condiciones similares a la realidad. Uno de los pocos estudios que sí que hace uso de la medición *EDA* es el llevado a cabo por Legiša *et al.* (2013), quienes estudiaron la respuesta ante olores agradables y desagradables, obteniendo sutiles diferencias entre los grupos, concretamente hubo una mayor activación electrodermal en sujetos TEA ante el olor a hierba que en sujetos normotípicos. Este hallazgo puede apuntar a la importancia de profundizar más en el estudio del procesamiento olfativo en el contexto del autismo, ya que puede proporcionar información que la caracterice frente a población normotípica, pudiendo ser un área afectada.

Cabe señalar que el uso de la medida Ratio en la investigación de TEA no ha sido generalizado, sino que ha servido para evaluar el grado de activación electrodermal en adultos ante la visita a un centro médico, con respecto al estado de reposo previo a la experiencia (Trujillo *et al.*, 2016). Con el fin de esclarecer si dicha medida podría ser valiosa, se procedió a su análisis, entendiéndola como un dato que proporcionaba en qué medida había incrementado la excitación frente a un estímulo concreto, en este caso la visita a un centro médico, con respecto al estado de reposo anterior a la misma. Dichos hallazgos deberían ser replicados por la investigación futura con el objetivo de estudiar si es una medida válida.

5. Limitaciones

En lo que respecta a las limitaciones, las métricas electrodermales del dispositivo Empática E4 no siempre fueron de calidad, por lo que algunos participantes no pudieron incluirse. En cuanto a la muestra, encontramos un número limitado de participantes TEA dispuestos a participar, lo que no permitió parcelarla por rangos de edad o grado de afectación. Por ello, trabajos futuros deberían profundizar en diferentes tipos de dispositivos, para el estudio de la calidad de los mismos, y au-

mentar el número de participantes, para parcelarlos por rangos de edad y grado de afectación, pudiendo hallar conclusiones más robustas.

Financiación

El proyecto de Investigación “T Room: Evaluación y entrenamiento del Trastorno del Espectro Autista mediante entornos virtuales inmersivos” fue concedido por el Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial al Instituto de Investigación e Innovación en Bioingeniería (i3B) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y al Centro de Desarrollo Cognitivo CEDECO Red Cenit.

6. Referencias bibliográficas

- ALCAÑIZ, M., MADDALON, L., MINISSI, M. E., SIRERA, M. Y ABAD, L. (2022). Adaptive technological interventions for Autism Spectrum Disorder: a literature review. *Medicina*, 82, 54-58. Recuperado de <https://europepmc.org/article/med/35171809>
- ALCAÑIZ, M. L., OLMOS-RAYA, E. Y ABAD, L. (2019). Uso de entornos virtuales para trastornos del neurodesarrollo: una revisión del estado del arte y agenda futura. *Medicina*, 79, 77-81. Recuperado de <https://www.medicinabuenosaires.com/PMID/30776285.pdf>
- AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). American Psychiatric Association.
- AUTISM EUROPE. (2019). *Diagnostic criteria*. <https://www.autismeurope.org/about-autism/diagnostic-criteria/>
- BENEDEK, M. Y KAERNBACH, C. (2010). A continuous measure of phasic electrodermal activity. *Journal of Neuroscience Methods*, 190(1), 80-91. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2010.04.028>
- BISQUERRA ALZINA, R. Y VILÁ BAÑOS, R. (2014). El análisis cuantitativo de los datos. En R. BISQUERRA (COOF.), *Metodología de la investigación educativa* (pp. 260-271). La Muralla.
- BLASCOVICH, J., LOOMIS, J., BEALL, A. C., SWINTH, K. R., HOYT, C. L. Y BAILENSON, J. N. (2002). Immersive virtual environment technology as a methodological tool for social psychology. *Psychological Inquiry*, 13(2), 103-124. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1302_01
- BOUDJARANE, M. A., GRANDGEORGE, M., MARIANOWSKI, R., MISERY, L. Y LEMONNIER, É. (2017). Perception of odors and tastes in Autism Spectrum Disorders: a systematic review of assessments. *Autism Research*, 10, 1045-1057. <https://doi.org/10.1002/aur.1760>
- CHANG, M. C., PARHAM, L. D., BLANCHE, E. I., SCHELL, A., CHOU, C. P., DAWSON, M. Y CLARK, F. (2012). Autonomic and behavioural responses of children with autism to auditory stimuli. *American Journal of Occupational Therapy*, 66(5), 567-576. <https://doi.org/10.5014/ajot.2012.004242>
- FRANCIS, K. (2005). Autism interventions: a critical update. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 47(7), 493-499. <https://doi.org/doi:10.1017/S0012162205000952>
- GARCÍA GUILLÉN, S., GARROTE ROJAS, D. Y JIMÉNEZ FERNÁNDEZ, S. (2017). Uso de las TIC en el Trastorno de Espectro Autista: aplicaciones. *EDMETIC*, 5(2), 134. <https://doi.org/10.21071/edmetic.v5i2.5780>

- GEORGIADIS, S., SZATMARI, P., BOYLE, M., HANNA, S., DUKU, E., ZWAIENBAUM, L., BRYSON, S., FOMBONNE, E., VOLDEN, J., MIRENDA, P., SMITH, I., ROBERTS, W., VAILLANCOURT, T., WADDELL, C., BENNETT, T. Y THOMPSON, A. (2013). Investigating phenotypic heterogeneity in children with Autism Spectrum Disorder: a factor mixture modeling approach. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 54(2), 206-215. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2012.02588.x>
- GILBERG, C. Y RASMUSSEN, P. (1994). Four case histories and a literature review of Williams syndrome and autistic behaviour. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 24(3), 381-393. <https://doi.org/10.1007/BF02172235>
- GOLESTAN, S., SOLEIMAN, P. Y MORADI, H. (2018). A comprehensive review of technologies used for screening, assessment, and rehabilitation of Autism Spectrum Disorder. Recuperado de <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1807/1807.10986.pdf>
- GÓMEZ, S. L. Y ÁLVAREZ, C. G. (2008). La conducta socio-afectiva en el trastorno autista: descripción e intervención psicoeducativa. *Pensamiento Psicológico*, 4(10), 111-121. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2792701.pdf>
- HODGES, H., FEALCO, C. Y SOARES, N. (2020). Autism Spectrum Disorder: definition, epidemiology, causes, and clinical evaluation. *Translational Pediatrics*, 9(Suppl. 1), S55-S65. <https://doi.org/10.21037/tp.2019.09.09>
- KERN, J. K., TRIVEDI, M. H., GARVER, C. R., GRANNEMANN, B. D., ANDREWS, A. A., SAVLA, J. S., JOHNSON D. G., MEHTA, J. A., JENNIFER L. Y SCHROEDER, J. L. (2006). The pattern of sensory processing abnormalities in autism. *Autism*, 10(5), 480-494. <https://doi.org/10.1177/13623613060066564>
- LEGIŠA, J., MESSINGER, D. S., KERMOL, E. Y MARLIER, L. (2013). Emotional responses to odors in children with high-functioning autism: autonomic arousal, facial behaviour and self-report. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(4), 869-879. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1629-2>
- LI, D., LARSEN, L., YANG, Y., WANG, L., ZHAI, Y. Y SULLIVAN, W. C. (2019). Exposure to nature for children with Autism Spectrum Disorder: benefits, caveats, and barriers. *Health and Place*, 55, 71-79. <https://doi:10.1016/j.healthplace.2018.11.005>
- LIEBERMAN, M. D. (2010). Social cognitive neuroscience (5.ª. ed.). En S. T. FISKE, D. T. GILBERT y G. LINDZEY (Eds.), *Handbook of Social Psychology* (pp. 143-193). John Wiley and Sons. Recuperado de <https://static1.squarespace.com/static/57265384b09f951c90d0fed2/t/59f897200846655cecec7e02/1509463842500/Lieberman-Hanbook-2010+%281%29.pdf>
- LOOMIS, J. M., BLASCOVICH, J. J. Y BEALL, A. C. (1999). Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology. *Behaviour Research Methods, Instruments, and Computers*, 31(4), 557-564. <https://doi.org/10.3758/BF03200735>
- LORD, C., LUYSER, R. J., GOTHAM, K. Y GUTHRIE, W. (2015). *Escala de Observación para el Diagnóstico del Autismo-2*. Manual (Parte II): Módulo T. (T. Luque, Trad.) TEA Ediciones.
- LORD, C., RUTTER, M., DILAVORE, P. C., RISI, S., GOTHAM, K. Y BISHOP, S. L. (2015). ADOS-2. *Escala de Observación para el Diagnóstico del Autismo - 2. Manual (Parte I)*: Módulos 1-4. (T. Luque, Trad.) TEA Ediciones.
- LOZANO-MARTÍNEZ, J., BALLESTA-PAGÁN, F. J. Y ALCARAZ-GARCÍA, S. (2011). Software for teaching emotions to students with Autism Spectrum Disorder. *Revista Comunicar*, 18(36), 139-148. <https://doi.org/10.3916/C36-2011-03-05>
- LYDON, S., HEALY, O., REED, P., MULHERN, T., HUGHES, B. M. Y GOODWIN, M. S. (2014). A systematic review of physiological reactivity to stimuli in autism. *Developmental Neurorehabilitation*, 19(6), 335-355. <https://doi.org/10.3109/17518423.2014.971975>

- MCCARTHY, C., PRADHAN, N., REDPATH, C. Y ADLER, A. (2016, mayo 29-31). *Validation of the Empatica E4 wristband*. EEE EMBS International Student Conference (ISC) (pp. 1-4). <https://doi.org/10.1109/EMBSISC.2016.7508621>
- MCCORMICK, C., HESSL, D., MACARI, S. L., OZONOFF, S., GREEN, C. Y ROGERS, S. J. (2014). Electrodermal and behavioural responses of children with Autism Spectrum Disorders to sensory and repetitive stimuli. *Autism Research*, 7(4), 468-480. <https://doi.org/10.1002/aur.1382>
- O'NEILL, M. Y JONES, R. S. (1997). Sensory-perceptual abnormalities in autism: a case for more research? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 27(3), 283-293. <https://doi.org/10.1023/A:1025850431170>
- 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>
- PARSONS, S., BEARDON, L., NEALE, H. R., REYNARD, G., EASTGATE, R., WILSON, J. R., COBB, S. C. G., BENFORD, S. D., MITCHELL, P. Y HOPKINS, E. (2000, septiembre). *Development of social skills amongst adults with Asperger's Syndrome using virtual environments: the 'AS Interactive' project*. Proceeding The 3rd International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies (ICDVRA). Alghero, Italy (pp. 23-25). Recuperado de <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.112.2969>
- PRINCE, E. B., KIM, E. S., WALL, C. A., GISIN, E., GOODWIN, M. S., SIMMONS, E. S., CHAWARSKA, K. Y SHIC, F. (2017). The relationship between autism symptoms and arousal level in toddlers with Autism Spectrum Disorder, as measured by electrodermal activity. *Autism*, 21(4), 504-508. <https://doi.org/10.1177/1362361316648816>
- RUTTER, M., LE COUTEUR, A. Y LORD, C. (2003). *Autism diagnostic interview-revised*. Services, Western Psychological.
- SCHOEN, S. A., MILLER, L. J., BRETT-GREEN, B. A. Y NIELSEN, D. M. (2009). Physiological and behavioral differences in sensory processing: a comparison of children with Autism Spectrum Disorder and sensory modulation disorder. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 3(9). <https://doi.org/10.3389/neuro.07.029.2009>
- SHALOM, D. B., MOSTOFKY, S. H., HAZLETT, R. L., GOLDBERG, M. C., LANDA, R. J., FARAN MCLEOD D. R. Y HOEHN-SARIC, R. (2006). Normal physiological emotions but differences in expression of conscious feelings in children with high-functioning autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(3), 395-400. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0077-2>
- SLATER, M. Y USOH, M. (1994). Body centred interaction in immersive virtual environments. En N. MAGNENAT-THALMANN Y D. THALMANN, *Artificial life and virtual reality* (pp. 125-148). Recuperado de <https://www.cise.ufl.edu/research/lok/teaching/ve-s07/papers/bci.pdf>
- TRUJILLO, J. H., MORENO, C. T., DE JUAN RIPOLL, C., PROVINCIALE, J. G. Y RAYA, M. A. (2016). Estrés percibido por los pacientes de centros de salud. Un estudio mediante GSR y HRV como medidas complementarias al cuestionario. En *CASEIB 2016 XXXIV Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica: Libro de actas* (pp. 101-104). Editorial Universitat Politècnica de València.
- VAN ENGELAND, H. (1984). The electrodermal orienting response to auditive stimuli in autistic children, normal children, mentally retarded children, and child psychiatric patients. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 14(3), 261-279. <https://doi.org/10.1007/BF02409578>
- VENABLES, P. H. Y CHRISTIE, M. J. (1980). Electrodermal activity. En P. H. MARTIN e I. VENABLES (Eds.), *Techniques in Psychophysiology* (pp. 3-67). Wiley & So.

- WICKER, B., MONFARDINI, E. Y ROYET, J. P. (2016). Olfactory processing in adults with Autism Spectrum Disorders. *Molecular Autism*, 7(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13229-016-0070-3>
- WING, L. Y GOULD, J. (1979). Severe impairments of social interaction and associated abnormalities in children: epidemiology and classification. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 9(1), 11-29. <https://doi.org/10.1007/BF01531288>
- ZEIDAN, J., FOMBONNE, E., SCORAH, J., IBRAHIM, A., DURKIN, M. S., SAXENA, S., YUSUF, A., SHIH, A. Y ELSABBAGH, M. (2022). Global prevalence of autism: a systematic review update. *Autism Research*. <https://doi.org/10.1002/aur.2696>