

Rendimiento de los estímulos visuales en el diagnóstico del TEA por Eye Tracking: Revisión Sistemática

Diego Gómez Fernández¹ y Manuela Martínez-Lorca²

Recibido 4 de octubre de 2022 / Primera revisión 3 de noviembre de 2022 / Aceptado 15 de noviembre de 2022

Resumen. El eye-tracking es una herramienta diagnóstica que tiene como fin el estudio del comportamiento de la mirada a través del escaneo de ojos para observar el seguimiento ocular, cómo se distribuye la mirada y la precisión de los movimientos oculares. Este sistema se ha utilizado con niños/as del Trastorno del Espectro Autista. El objetivo de esta revisión sistemática ha sido analizar el rendimiento de los estímulos visuales en el diagnóstico del TEA por método eye tracking. Para ello, se siguió la metodología PRISMA, realizando una búsqueda en las bases de datos PubMed, Science Direct y Scopus, así como, Research Gate. Se seleccionaron 22 artículos que cumplieran los criterios de inclusión con experimentos unifactoriales, experimentales factoriales y cuasiexperimentales. Todos los experimentos han tenido un grupo control compuesto de muestra con participantes con desarrollo normotípico y de un grupo de caso compuesto de muestra con participantes TEA. Esta revisión sintetiza en tres categorías en base a las características del estímulo usado en el diagnóstico (estímulos sociales, no sociales y por confrontación), el análisis del rendimiento de los estímulos visuales, de manera que los estímulos sociales y los estímulos por confrontación van a ser eficaces para establecer un diagnóstico preciso de TEA puesto que permiten realizar un cribado de ambos grupos y establecer un riesgo temprano del trastorno.

Palabras clave: Diagnóstico; Eye Tracking; Trastorno del Espectro Autista.

[en] Performance of visual stimuli in the diagnosis of ASD by Eye Tracking: A Systematic Review

Abstract. Eye-tracking is defined as a diagnostic tool that aims to study gaze behavior through eye scanning. This system has been used with children with ASD, and that is why by means of the eye-tracking system, the evaluators can observe how the person tracks their eyes, how they distribute their gaze, and see precisely how they and see precisely the activity in terms of their eye movements. The main objective of this review has been to analyze the performance of visual stimuli in the diagnosis of ASD by eye tracking method. In order to carry out this review different sources of information were established, such as databases, including PubMed, Science Direct and Scopus, as well as other platforms such as Research Gate. After applying exclusion and inclusion criteria, 22 articles were selected. These articles describe research describing experiments with unifactorial designs, factorial experimental and quasi-experimental designs. All the experiments had a control group and a case group, composed of a sample of normotypically developing participants and a group composed of a sample of participants with ASD.

Discussion: an analysis of the performance of visual stimuli in the diagnosis by means of the eye tracking system in the diagnostic using the eye tracking system on the basis of the characteristics of the stimulus used in the diagnosis, the main results found and finally the main conclusions found.

Conclusions: social stimuli and confrontational stimuli will be effective in establishing an accurate diagnosis of ASD. To establish an accurate diagnosis of presenting ASD since they allow to screen both groups and to establish an early risk of ASD.

Keywords: diagnosis, Eye Tracking, Autism Spectrum Disorder.

Sumario: Introducción. Metodología. Estrategia de búsqueda. Criterios de inclusión y de exclusión. Análisis de la calidad científica. Resultados. Discusión. Conclusiones. Bibliografía.

Cómo citar: Gómez Fernández, D. y Martínez-Lorca, M. (2023). Rendimiento de los estímulos visuales en el diagnóstico del TEA por Eye Tracking: Revisión Sistemática. *Revista de Investigación en Logopedia* 13(1), e83937. <https://dx.doi.org/10.5209/rlog.83937>

Introducción

Según el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-5) (American Psychiatric Association, 2013) el Autismo comprende una serie de trastornos que están caracterizados por presentar deficiencias en

¹ Centro de atención temprana de la asociación Integrandes. Madrid, España

² manuela.martinez@ucm.es

Departamento de Psicología. Universidad de Castilla-La Mancha. España

la comunicación y en la social interacción en diversos contextos. Dichos trastornos están dentro de la categoría de Trastornos del Espectro Autista (TEA) ya que están formados por un grupo de trastornos que presentan múltiples características desde su etiología como en su manifestación clínica (Seldas, 2012; Siegel & Beaulieu, 2012).

Dentro de los síntomas que comprenden los TEA se encuentran los déficits en la comunicación e interacción social y la aparición de actividades e intereses restringidos y repetitivos. En cuanto a las deficiencias que presentan los TEA, se encuentran dificultades en algunas funciones psicológicas superiores que son fundamentales para el desarrollo de la comunicación humana como son: compartir foco de atención, uso del lenguaje para mostrar, enseñar o compartir como fin declarativo, inicio de la actividad simbólica, el uso de la imitación para aprender y para identificarse con otras personas y por último desarrollar la conciencia de ser y sentirse humano (Fortea et al. 2013; Seldas, 2012).

En las etapas iniciales del desarrollo humano normotípico, los bebés tienen preferencia por mantener el contacto visual con sus padres, lo que hace que su atención se centre en la voz humana y en los estímulos sociales relevantes para ellos. A partir de los 6-9 meses de edad los bebés centran su atención en la región de la boca, lo que conlleva a que se puedan especializar en el lenguaje y a crear su sistema fonológico. Posteriormente, a los 12 y 15 meses se centran en la región de los ojos para aprender las claves del aprendizaje social (Camero et al., 2021; Tenenbaum et al., 2015). Sin embargo, los niños/as con TEA muestran un patrón de atención a las áreas de la cara diferente, ya que no analizan los gestos y la información social de los demás. Así, esa dificultad en la atención social se ha destacado como un importante biomarcador del diagnóstico de TEA antes de cumplir el año de edad (Camero et al., 2021; Chawarska et al., 2013; Chita-Tenmarg et al., 2015; Howard et al. 2019). Así mismo, existen otras dificultades en el comportamiento de la mirada de los niños con TEA que resultan diferentes de los de niños con desarrollo normotípico como son los procesos de focalización de la mirada ya que existen diferencias en el cambio de foco atencional, en la latencia de cambio de foco y en la dirección de la mirada (Klin et al., 2015, Klin et al., 2018).

El eye-tracking es una herramienta diagnóstica, que tiene como fin el estudio de los movimientos oculares y las reacciones a estímulos verbales y/o visuales a través del escaneo de ojos. Por medio de esta técnica, se investiga como son procesados los estímulos por una persona a través de su sistema visual (Boraston & Blakemore, 2007; Duchowski, 2017). La metodología del eye-tracking permite medir y objetivar las zonas dónde la persona dirige su atención cuando desarrolla una determinada tarea y/o cuando la persona fija su mirada en un objeto determinado, de manera que la imagen de dicho objeto aparece en la fóvea, que es la parte del ojo especializada en la formación del proceso visual (Camero et al., 2021; Chita-Tenmarg et al., 2015; Murias et al., 2018).

Este sistema se ha utilizado para el diagnóstico precoz con niños/as con TEA al observar cómo realizan el seguimiento ocular, cómo distribuyen la mirada y ver con precisión la actividad en cuanto a sus movimientos oculares. Para ver la actividad de la mirada en bebés y niños/as pequeños con TEA, se recurre al método por reflexión corneal que está caracterizado por evaluar el seguimiento ocular a través de la estimación de la fijación de la mirada con alta precisión. Este método está basado en como la luz se refleja en un infrarrojo cercano a la córnea y a la pupila. El análisis diagnóstico se realiza por medio de algoritmos informáticos que son procesados por medio de cálculos en cuanto a la posición de la mirada del sujeto evaluado. Todo esto, se realiza mediante un equipo de grabación de video compuesto por cámaras remotas que son situadas frente al evaluador (Chevalier et al., 2015; Falck-Ytter et al., 2013; Lynch, 2018).

El eye-tracking puede utilizar diferentes estímulos en la evaluación. Así, por ejemplo, los estímulos son clasificados según su capacidad de movimiento dando lugar a estímulos estáticos (fotografías, juguetes etc.) o estímulos dinámicos en el que aparecen imágenes visuales o personas reales realizando interacción en movimiento por lo que estarán en formato de vídeo. Además, se establece otra clasificación según el tipo de diseño del estímulo para la evaluación como estímulos sociales y no sociales. Se entiende el estímulo social como aquél que muestra imágenes de rostros y personajes humanos que tienen expresiones faciales o emociones. Los estímulos no sociales se definen por aquellos que no presentan personajes humanos e incluyen otras categorías como objetos y figuras geométricas. Y también se pueden presentar estímulos por confrontación, en el que se muestran dos imágenes distintas a la vez para que la persona que es evaluada tenga que comparar entre ellas (Duchowski, 2017; Mastergeorge et al. 2021; Sasson & Elison, 2012; Shi et al., 2015).

En consecuencia, surge como objetivo de esta revisión analizar el rendimiento de los estímulos visuales en el diagnóstico del TEA, mediante la metodología eye tracking para determinar que estímulos visuales pueden permitir el diagnóstico temprano del TEA.

Metodología

Estrategia de búsqueda

La propuesta define como fase inicial la estructura y realización de una revisión documental que siguió los criterios establecidos en el método Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA), como estrategia de recolección de información referente al objetivo de esta revisión.

Además, para el desarrollo de la presente revisión se partió de la pregunta PICO que nos va a permitir estructurar de manera óptima la revisión bibliográfica de la literatura. La pregunta de investigación fue ¿existe evidencia científica que avale el rendimiento de los estímulos visuales en la evaluación diagnóstica por sistema eye tracking del TEA? De manera que P (pacientes): pacientes diagnosticados de TEA; I (intervención): análisis del rendimiento de los estímulos visuales en el diagnóstico por eye tracking del TEA; C (comparación): pacientes diagnosticados de TEA y pacientes con desarrollo normotípico; O (outcomes/ resultados): evidencia científica de los estímulos visuales relacionada con el diagnóstico temprano del TEA por sistema eye tracking, diferencias entre los distintos tipos de estímulos visuales y análisis del grado de efectividad de los estímulos visuales.

Para la revisión, se utilizaron a conveniencia los motores de búsqueda PubMed, Science Direct y Scopus, así como otras plataformas como Reseach Gate donde diferentes investigadores comparten publicaciones e interactúan entre ellos. Se consideraron todos aquellos artículos originales o de revisión documental que aportaran información al tema central de la búsqueda.

En la búsqueda se establecieron como palabras clave “eye tracking” y “autism spectrum disorder”. En la primera búsqueda se procedió a buscar en las bases de datos mencionadas mediante el marcador booleano “AND” la siguiente fórmula de búsqueda: “eye tracking” AND “autism spectrum disorder”. En la plataforma PubMed mediante esta fórmula de búsqueda se encontraron 39 documentos, en la plataforma Science Direct se encontraron 1032 documentos y en la plataforma Scopus 713 documentos.

Al arrojar los resultados de búsqueda cifras altas se procedió a realizar una segunda búsqueda que eliminase aquellas palabras que no eran necesarias para este trabajo como “adults”. Para ello se introdujo la siguiente fórmula de búsqueda mediante el marcador booleano “NOT”: “eye tracking” AND “autism spectrum disorder” NOT “adults”. Este proceso de búsqueda redujo considerablemente los resultados encontrados pasando a 35 documentos en la plataforma PubMed, 256 documentos en la plataforma de Science Direct y a 162 en la plataforma Scopus.

Posteriormente se realizó una tercera búsqueda de forma manual en la que se utilizaron artículos de revisiones sistemáticas encontradas en la plataforma PubMed de los que se consultó la bibliografía para obtener otro tipo de artículos relacionados con la temática, así mismo se realizó una consulta en la plataforma Reseach Gate donde se seleccionaron publicaciones que no estaban recogidas en ninguna base de datos consultada.

Todo el desarrollo de la presente revisión y búsqueda de información tuvo lugar en noviembre de 2021.

Criterios de inclusión y de exclusión

Una vez establecidos los hallazgos, se fundamentaron procesos para la selección de documentos que cumplieran con los siguientes criterios:

- Artículos cuya fecha de publicación sea posterior al año 2010 hasta la actualidad.
- Artículos que contengan información relacionada con el rendimiento de los estímulos visuales en el diagnóstico por sistema eye tracking del TEA.
- Artículos que analicen experimentos con muestras superiores a veinte personas.
- Artículos que describan las características de la evaluación del sistema eye tracking en población con TEA.

Por el contrario, con respecto a los criterios de exclusión se encuentran los siguientes:

- Artículos que hayan sido publicados antes del año 2010.
- Artículos que no estén relacionados con la temática a tratar porque se centren en aspectos de intervención en TEA.
- Artículos que no hayan utilizado eye tracking.
- Artículos que analicen experimentos con muestras inferiores a veinte personas.
- Artículos que no contengan la temática de este trabajo en su título.
- Artículos realizados exclusivamente en población diferente al TEA.
- Artículos que sean de opinión o que no tengan estudios de carácter experimental.
- Las revisiones bibliográficas relacionadas con la temática, en las que sólo se ha utilizado para seleccionar otro tipo de artículos relevantes de su bibliografía en los que se pueda realizar un posterior análisis.

Por tanto, tras la puesta en marcha de los criterios de inclusión y exclusión se procedió a seleccionar de las principales bases de datos consultadas quedando la búsqueda con un total de 2 artículos de 35 de la plataforma Pubmed, con 3 artículos de 256 de la plataforma Science Direct y con 3 artículos de 162 de la plataforma Scopus.

Por otro lado, al realizar la búsqueda manual de documentos se seleccionaron un total de 8 artículos encontrados en la bibliografía de las revisiones sistemáticas encontradas en la plataforma PubMed y un total de 6 artículos encontrados en la plataforma Reseach Gate. Finalmente, el número total de artículos que cumplen con los criterios de inclusión y exclusión establecidos en esta revisión ha sido de 22 artículos (ver figura 1).

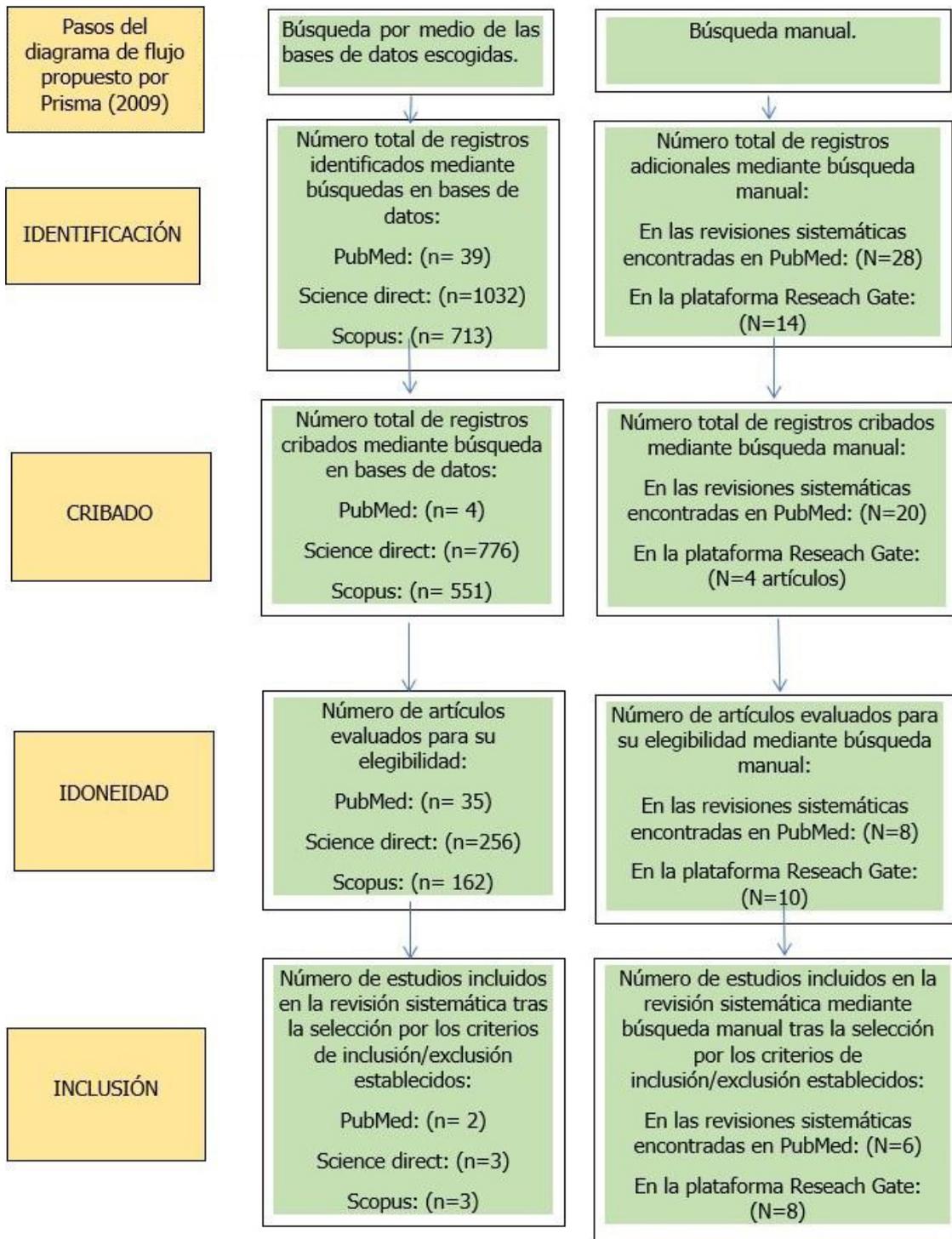


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA

Análisis de la calidad científica

Para conocer el nivel de calidad científica de los 22 artículos escogidos, se ha utilizado la escala del Scottish Intercollegiate Guidelines Network (SIGN) para la comprobación del nivel de calidad de la evidencia y el grado de recomendación de los estudios incluidos en la presente revisión (ver tabla 1). Según el baremo que utiliza esta escala se observa que los estudios con un nivel 1+ de evidencia científica corresponde a estudios de casos y controles que están bien realizados y con pocos riesgos de sesgos. Esto corresponde a un grado de recomendación científica de tipo B. Por otro lado, los estudios con un 2+ son estudios de casos y controles que están bien realizados, tienen bajo riesgo de sesgos y una moderada probabilidad de establecer relación causal. Estos estudios son correspondidos a un grado de recomendación científica de tipo C. Por último, los estudios con un 2- son estudios de casos y controles con alto riesgo de sesgo y riesgo significativo de que la relación no sea causal, obteniendo un grado de recomendación de tipo D.

Tabla 1. Nivel de evidencia y grado de recomendación de los artículos según la escala SIGN

Estudio	Nivel de evidencia	Grado de recomendación
Vargas-Cuentas et al. (2017)	2+	C
Vargas-Cuentas et al. (2016)	2+	C
Bradshaw, et al. (2019)	1+	B
Solovyoya et al. (2020)	2-	D
Wan et al. (2018)	1+	B
Billeci et al. (2016)	1+	B
Bacon et al. (2019)	2+	C
Banire et al. (2020)	2+	C
Pierce et al. (2015)	2+	C
Yurkovic et al. (2021)	2-	D
Bataineh et al. (2018)	2+	C
Tang et al. (2021)	2+	C
Oliveira et al. (2021)	1+	B
Cilia et al. (2021)	1+	B
Sahuquillo-Leal, et al. (2021)	1+	B
Sadria et al. (2019)	1+	B
Kwon, et al. (2018)	1+	B
Frazier et al. (2016)	2+	C
Elison et al. (2011)	1+	B
Frazier et al. (2018)	2+	C
Cardoso et al. (2021)	2+	C
Sabatos-DeVito et al. (2016)	1+	B

Resultados

Los resultados representan los hallazgos de los 22 artículos seleccionados y pueden verse en la tabla 2. Dichos artículos describen investigaciones que narran experimentos con diseños unifactoriales, experimentales factoriales y cuasiexperimentales. Todos los experimentos han tenido un grupo control compuesto con participantes de desarrollo normotípico y de un grupo de caso compuesto con participantes con TEA.

Los diseños unifactoriales han analizado una sola variable independiente en el experimento siendo desarrollados por dos grupos con medidas postratamiento tras la evaluación por sistema eye tracking. Estos corresponden a los artículos de Vargas-Cuentas et al. (2017), Vargas Cuentas, et al. (2016), Solovyoya et al. (2020), Wan et al. (2018), Bacon et al. (2019), Banire et al. (2020), Pierce et al. (2015), Bataineh et al. (2018), Tang et al. (2021), Frazier et al. (2016), Frazier et al. (2018) y Cardoso et al. (2021).

Los diseños experimentales factoriales han analizado múltiples variables independientes siendo de tipo intra sujetos porque los grupos experimentales se componen de los mismos participantes y pasan por todas las condiciones experimentales. Los diseños experimentales factoriales corresponden a los artículos de Bradshaw, et al. (2019), Billeci et al. (2016), Oliveira et al. (2021), Cilia et al. (2021), Sahuquillo-Leal et al. (2021), Sadria et al. (2019), Kwon et al. (2018), Elison et al. (2011) y Sabatos-DeVito et al. (2016).

Los diseños cuasiexperimentales se han correspondido con un experimento de tipo naturalista en el que no hay una intervención estructurada. Este diseño es el de los investigadores del artículo de Yurkovic et al. (2021).

Tabla 2. Resumen de los artículos seleccionados

Autores	Objetivo del estudio	Participantes	Características del estímulo	Resultados	Conclusiones
Vargas- Cuentas, et al. (2017)	Diseñar un algoritmo simple de seguimiento ocular para validar un instrumento de cribado potencial de TEA.	N= 31 (Grupo TEA= 8 Grupo DT= 23 Edad= 2 a los 6 años) - Diagnóstico previo de TEA	Estímulo por confrontación. Vídeo de escena social en lado izquierdo y escena abstracta en derecho de 50 segundos de duración.	- El algoritmo diferencia correctamente la preferencia visual del lado izquierdo o derecho de la pantalla. - Identifica las distracciones. - El error del algoritmo fue del 1,52%.	- El algoritmo de preferencia del seguimiento de la mirada puede estimar la preferencia de la mirada en niños con TEA o sin TEA. - No requiere calibración. - Puede utilizarse en entornos de bajos recursos económicos.
Vargas-Cuentas, et al. (2016)	Detectar el Trastorno del Espectro Autismo en niños en fase preclínica.	N= 31 (Grupo TEA= 8 Grupo DT= 23 Edad= 18 meses a los 7 años.) - Diagnóstico hiperprecoz de TEA.	Estímulo por confrontación. Vídeo con dos imágenes una de tipo social en la izquierda y objetos coloridos en movimiento en derecha de un minuto de duración.	- Un gran porcentaje del grupo control y de caso pudieron realizar la tarea de evaluación. - Los factores de perturbación de la evaluación son el aburrimiento y las distracciones producidas por personas desconocidas.	- El estímulo puede cuantificar el porcentaje de tiempo que el niño mira cada escena.
Bradshaw, et al. (2019)	Investigar el uso del seguimiento ocular como biomarcador de respuesta al tratamiento.	N= 51 (Grupo TEA= 28 Grupo DT= 23 Edad= 18 meses a los 4 años) - Diagnóstico hiperprecoz de TEA.	Estímulo por confrontación. Seis vídeos con escena social dinámica de niños moviéndose a un lado y en el otro lado objeto geométrico animado de 5 segundos de duración.	- El paradigma de preferencia social diferenciaba a los niños con TEA de los de DT. - La atención durante el escaneo de rostros se asoció con habilidades de lenguaje y comunicación adaptativa. - Importancia de examinar biomarcadores específicos que miden aspectos únicos del funcionamiento del niño.	- Distinción entre los biomarcadores de diagnóstico y los biomarcadores que miden respuesta al tratamiento. - El proxy que se diseñó proporcionó un biomarcador de diagnóstico de TEA en relación a la preferencia social. - Importancia de incorporar otras muestras no relacionadas con el TEA como pueden ser Trastorno del Lenguaje o el TDAH.
Solovyova et al. (2020)	Obtener datos de la mirada de niños con TEA en comparación a patrones de comportamiento de mirada de niños con DT.	N= ---- (Grupo TEA= -- Grupo DT= -- Edad= 3 a los 10 años). - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulo social. Vídeo con rostros de actores y fotos de miembros de la familia de cada niño. Percepción de rostros conocidos por el niño.	- Diferencias en el comportamiento de mirada en ambos grupos. - Duración diferente en la fijación visual de la cara del actor en el grupo con TEA. - El grupo con TEA prestó más atención a los objetos fuera de la zona de la cara. - Los puntos de mirada en la boca y los ojos son muy cortos en el grupo con TEA.	- En el diagnóstico clínico del TEA es fundamental comprender el comportamiento de la mirada de los niños. - Los niños con TEA tienden a evitar la mirada directa a la cara del interlocutor. - Los niños con TEA muestran dificultades para captar la información social y emocional de la persona que dan los ojos y la boca. - Los niños con TEA tienen las mismas dificultades con los rostros de los miembros de su familia.
Wan et al. (2018)	Desarrollar un sistema de seguimiento ocular para identificar el Trastorno del Espectro Autismo.	N= 74 (Grupo TEA= 37 Grupo DT= 37 Edad= entre los 4 y 6 años) - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulo social. Se mostró a los participantes un vídeo de una joven pronunciando el alfabeto en inglés durante 10 segundos.	- Los tiempos de fijación en ojos, boca, nariz y cuerpo fueron menores en el grupo con TEA en comparación al grupo DT. - El análisis discriminante mostró que puede discriminar significativamente el TEA del DT. - La precisión de la discriminación fue del 85,1% y la sensibilidad del 86,5%.	- Los niños con TEA mostraron reducciones significativas en el tiempo de fijación en seis áreas de interés. - Este estudio sugiere que un vídeo corto puede proporcionar información suficiente para distinguir niños con TEA del DT.

Autores	Objetivo del estudio	Participantes	Características del estímulo	Resultados	Conclusiones
Billeci et al. (2016)	Describir las diferencias en los patrones visuales de niños con TEA y niños con DT.	N= 32 (Grupo TEA= 17 Grupo DT= 15 Edad= 18 meses y 3 años) - Diagnóstico hipoprecoz de TEA.	Estímulo por confrontación. Un vídeo donde un coche se mueve hasta otro coche mientras al otro lado un modelo mantiene un expresión facial neutra y mirada directa a la cámara.	<ul style="list-style-type: none"> - Los dos grupos no fueron diferentes en la precisión del seguimiento de la mirada. - El número de transiciones de la cara al objeto objetivo no fueron diferentes en ambos grupos. - Las transiciones entre objetos fueron mayores en el grupo DT que en el TEA. - En la tarea de iniciación el grupo con TEA mostró mayor número de transiciones tanto al objeto como a la cara. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los niños con TEA y DT muestran diferentes patrones visuales cuando se espera que inicien la atención conjunta pero no cuando responden a la atención conjunta. - Las diferencias en las transiciones y fijaciones están relacionadas con el TEA en la desvinculación de la cara, exploración global de la escena y en la capacidad de anticipar la acción al objeto.
Bacon et al. (2019)	Medir la preferencia de imágenes sociales frente a las no sociales.	N= ----- (Grupo TEA= --- Grupo DT= --- Edad= 6-12 años) - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulo por confrontación. Se presentan dos imágenes dinámicas presentadas una al lado de la otra. A un lado se presentaba un estímulo social de niños bailando y en el otro lado figuras geométricas en movimiento durante un minuto de duración.	<ul style="list-style-type: none"> - Los niños pequeños con mayor preferencia por figuras geométricas demostraron mayor gravedad de los síntomas y menos desplazamientos de miradas. - En general los niños demostraron mayor porcentaje de duración de la fijación para las imágenes geométricas a edades más avanzadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - La prueba GeoPref usada en el estudio es prometedora como herramienta de pronóstico de la gravedad de los síntomas. - El desarrollo de paradigmas de seguimiento ocular puede mejorar el pronóstico y ser valioso para validar el progreso de tratamiento.
Banire et al. (2020)	Explorar el efecto de los estímulos visuales sociales y no sociales en la atención de los niños.	N= 46 (Grupo TEA= 20 Grupo DT= 26 Edad= 7-11 años) - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulo no social. Los participantes tenían que clicar cuando aparecía la letra X e ignorar otras letras. La puntuación de rendimiento perfecta era de 40.	<ul style="list-style-type: none"> - Los estímulos sociales y no sociales no afectan a la atención de los niños con TEA y DT. - Los niños con DT muestran una atención significativamente mayor a los estímulos objetivos que los niños con TEA. 	<ul style="list-style-type: none"> - Este estudio puede guiar a estudios posteriores en el uso de tecnología de Realidad Virtual en las medidas de mirada para evaluar la atención en niños con TEA.
Pierce et al. (2015)	Revelar la preferencia visual por imágenes geométricas como biomarcador del TEA.	N=334 (Grupo TEA= 135 Grupo DT= 219 Edad= desde 10 meses a los 4 años) - Diagnóstico hipoprecoz de TEA.	Estímulo por confrontación. Un vídeo de dos escenas simultáneas: una escena social a un lado de la pantalla y una escena con figuras geométricas en el otro lado de un minuto de duración.	<ul style="list-style-type: none"> - Un subconjunto de niños con TEA se fijó en imágenes geométricas el 69% de las veces. - La sensibilidad del TEA fue del 21% la especificidad del 98% y el valor predictivo positivo del 86 %. - Los niños pequeños con TEA que preferían más las imágenes geométricas tenían peores habilidades cognitivas, lingüísticas y sociales en comparación con otros niños que preferían imágenes sociales. - El examen de los efectos de la edad sugirió que esta prueba no puede ser apropiada con niños de menos de 4 años. 	<ul style="list-style-type: none"> - La preferencia visual por repetición geométrica puede ser un biomarcador de TEA con síntomas más graves. - El seguimiento ocular revela una preferencia visual por las imágenes geométricas que se asocia a una mayor gravedad de los síntomas.
Yurkovic et al. (2021)	Investigar la atención visual, la acción manual y la coordinación multimodal (mano-ojo) en un juego natural.	N= 29 (Grupo TEA= 14 Grupo DT= 15 Edad= 3 años) - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulo no social. Se equipó tanto a niños como a padres con un rastreador ocular montado en la cabeza. Se entrenó a los padres para jugar con sus hijos con los juguetes como lo harían en casa. Se repartieron un total de 24 juguetes.	<ul style="list-style-type: none"> - No hay diferencias en la cantidad de tiempo dedicado a mirar los juguetes entre ambos grupos. - Los niños de ambos grupos generaron muchas miradas cortas al cambiar de juguetes a lo largo de la sesión de juego. - No hay diferencias entre los dos grupos en número de juguetes vistos en total. - No hubo diferencia en la cantidad de tiempo que los dos grupos pasaron manipulando los juguetes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estos resultados sugieren la ausencia de una diferencia grupal en la forma en que los niños con TEA y DT manipularon los juguetes.

Autores	Objetivo del estudio	Participantes	Características del estímulo	Resultados	Conclusiones
Bataineh et al. (2018)	Analizar el patrón de la mirada y el comportamiento visual de niños con TEA al ver imágenes sociales.	N= 65 (Grupo TEA= 34 Grupo DT= 31 Edad= 8 años.) - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulo social. Cuatro imágenes fijas compuestas por rostros humanos y de interacción social entre adultos y entre los adultos y los niños.	- El grupo con DT tuvo más actividad visual en los ojos y en los rostros humanos en comparación con el grupo TEA. - El grupo TD realizó en promedio más fijaciones en rostros humanos en comparación con el grupo TEA.	- Los niños con TEA demuestran un comportamiento visual en el que no hay interés en la información que proyectan los ojos. - Los niños con TEA pasan más tiempo mirando la región de la boca.
Tang et al. (2021)	Examinar los efectos de la narración de cuentos con o sin información contextual.	N= 52 (Grupo TEA= 26 Grupo DT= 26 Edad= 8 años) - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulo social. Se contaron historias que incorporaban información contextual social y habilidades interpersonales. En un grupo: se incluyeron expresiones como mirar a los demás o mirada directa y en el otro no. Las historias del primer grupo estaban recogidas dentro de la categoría habilidades interpersonales y las del segundo grupo bajo la categoría en la comunidad.	- La duración total de la mirada en fotos eran mayores en el grupo DT que en grupo el TEA. - La duración total de la fijación de la mirada era mayor en el grupo DT que en el grupo TEA.	- La narración de historias con información social contextual mejoraba la mirada de los participantes a los ojos/caras en la información estática de las imágenes en el grupo de DT, pero no en el grupo TEA.
Oliveira et al. (2021)	Identificar fotogramas de interés cuando se utilizan videos como estímulos.	N= 106 (Grupo TEA= 76 Grupo DT= 30 Edad= desde los 3 a los 18 años) - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulo por confrontación. Varios videos compuestos de dos imágenes: en un lado interacciones sociales de niños entre sí y en el otro lado movimientos geométricos con 6 segundos de duración.	- El grupo TEA tenía mayor enfoque en el centro de la imagen, incluso cuando no había nada.	- Este modelo no es invasivo. - Se puede realizar en individuos edades y niveles funcionales diferentes.
Cilia et al. (2021)	Utilizar el seguimiento ocular como parte integrada de la evaluación de cribado en el TEA.	N= 59 (Grupo TEA= 29 Grupo DT= 30 Edad= 8 años) - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulo social. Un video de un actor con rostro neutro que mira un objeto y se desplaza hacia él.	- Los resultados experimentales demostraron que la representación visual podía simplificar la tarea de diagnóstico y también alcanzó una gran precisión. - Este sugiere en gran medida que las visualizaciones pueden codificar con éxito la información del movimiento de la mirada y su dinámica subyacente.	- Para concluir, la combinación de seguimiento ocular puede tener un potencial considerable para el desarrollo de una herramienta objetiva para ayudar al diagnóstico del TEA. 2. Estos resultados pueden ser utilizados y los nuevos datos analizados para crear una herramienta de cribado para los profesionales de la salud.
Sahuquillo- Leal, et al. (2021)	Examinar los sesgos de procesamiento atencional de los participantes	N= 52 (Grupo TEA= 27 Grupo DT= 25 Edad= entre los 11 y los 15 años) - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulo social. 80 escenas estáticas que tenían componentes emocionales que los niños podían percibir como amenazantes, calmadas, alegres o tristes.	- Los niños con TEA mostraron un sesgo inicial de orientación hacia los estímulos amenazantes; - Los niños con DT demostraron un compromiso atencional y un sesgo de mantenimiento hacia la amenaza, mientras que los niños con TEA no lo hicieron. - En los niños con TEA, los problemas atencionales y las quejas somáticas se asociaron con una mayor orientación inicial y con un mayor mantenimiento de la atención hacia la amenaza, respectivamente.	1. Estos resultados sugieren que una amenaza percibida induce una respuesta temprana respuesta abrumadora en el autismo, dando lugar a una conducta de evitación. 2. Los resultados respaldan de procesamiento de la información afectiva y arrojan luz sobre los mecanismos que subyacen a las sociales en el TEA.

Autores	Objetivo del estudio	Participantes	Características del estímulo	Resultados	Conclusiones
Sadria et al. (2019)	Identificar un enfoque analítico que pueda revelar las diferencias entre los patrones de miradas faciales de niños con TEA y DT.	N=40 (Grupo TEA= 17 Grupo DT= 23 Edad: entre 4 y 6 años). - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulo social. Se mostraron 44 fotografías consecutivas de hombres y mujeres con expresión neutra mostradas aleatoriamente.	- No hay diferencia significativa en el tiempo de fijación entre ambos grupos excepto en la región de la boca donde el grupo TEA se centró en más tiempo. - En la región de la nariz y de la cara el grado de centralidad es similar en ambos grupos. - El grupo DT pasó un 15% de tiempo más mirando el ojo derecho.	- Los resultados sugieren que la centralidad de proximidad es el enfoque de análisis de red para distinguir patrones de mirada.
Kwon, et al. (2018)	Medir los niveles de fijación de la región ocular en un estudio de cohorte grande.	Experimento 1 N= 385 (Grupo TEA= 143 Grupo DT= 242 Edad= 11 meses a los 4 años) - Diagnóstico hiperprecoz de TEA. Experimento 2 N= 231 (Grupo TEA= 74 Grupo DT= 157 Edad= 12 meses a los 4 años) - Diagnóstico hiperprecoz de TEA.	Experimento 1 Estímulo social. Un video de una actriz que hablaba con gestos de la mano en fondo liso. Experimento 2 Estímulo por confrontación. El mismo video, pero con distractores geométricos incrustados en la escena.	- En ambos experimentos y en las muestras transversales y longitudinales, la duración de la fijación ocular no difiere entre los niños pequeños con y sin TEA. - La fijación hacia la región de la cara en general se redujo en los niños con TEA. - La reducción hacia la zona de la cara fue más evidente con la presencia de distractores geométricos.	- La puntuación de preferencia geométrica se asoció con la gravedad del TEA
Frazier et al. (2016)	Crear un índice de riesgo de TEA objetivo basado en el seguimiento ocular.	N= 45 (Grupo TEA= 25 Grupo DT= 20 Edad: de 3 a 18 años) - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulos por confrontación. Se usaron estímulos dinámicos de atención conjunta y bromas infantiles que aparecían a la vez en la pantalla. Los estímulos no sociales se usaron como distractores.	- El índice de riesgo de autismo tuvo una alta precisión diagnóstica 91%. - El tiempo total de seguimiento de la pantalla no difirió significativamente entre los pacientes TEA y los pacientes sin TEA.	- El índice de riesgo de autismo puede ser una medida cuantitativa y objetiva útil. - Se necesitan más investigaciones en muestras grandes para validar estos hallazgos. - Esta medida ofrece en un uso clínico una herramienta de medida para el diagnóstico de TEA.
Elison et al. (2011)	Examinar los efectos transversales de la edad en los patrones de atención visual a la información social y no social.	N=94 (Grupo TEA= 51 Grupo DT= 43 Edad= de 2 a 18 años) - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulos sociales. Estímulos no sociales. Estímulos por confrontación. Imágenes de personas con objetos. Imágenes de objetos de alta y baja preferencia para el TEA. Imágenes sociales que se emparejaban con objetos a la vez.	- Fuerte aumento de la exploración visual con la edad para ambos grupos. - Es mayor para los niños con DT en comparación a los TEA. - Los TEA tuvieron mayor atención en los estímulos no sociales desde edades tempranas. - La atención visual desproporcionada a los objetos no sociales es considerada como característica temprana del TEA.	- El aumento de la edad se asocia a incrementos mayores de exploración visual en niños con DT en comparación al TEA. - La capacidad de explorar un conjunto complejo de información visual aumenta con la edad en el DT que en el TEA. - El bajo rendimiento en el comportamiento visual se inicia muy temprano en el TEA, persiste y aumenta con la edad.

Autores	Objetivo del estudio	Participantes	Características del estímulo	Resultados	Conclusiones
Frazier et al. (2018)	Validar medidas basadas en el seguimiento ocular para estimar el riesgo de TEA.	N= 201 (Grupo TEA= 91 Grupo DT= 110 Edad= Desde los 6 a los 7 años) - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulos por confrontación. Se presentaron 44 estímulos que consentían en imágenes de actividad humana e interacción social mezclados con estímulos no sociales de figuras en movimiento de formas abstractas.	- La mayoría de los niños completaron una evaluación válida de seguimiento ocular. - El índice de riesgo de autismo tuvo una alta precisión para el diagnóstico de TEA. - La validez no se atenúo tras el ajuste por lenguaje, capacidad cognitiva no verbal u otros síntomas.	- Las medidas de seguimiento ocular parecen ser medidas cuantitativas y objetivas útiles en el riesgo de TEA y en sus síntomas. - Si se replican de forma independiente en uso clínico se podrían utilizar para informar del juicio clínico con respecto a la identificación del TEA.
Cardoso et al. (2021)	Proponer un modelo capaz de extraer las características de un vídeo para diagnosticar individuos por TEA o por DT.	N= 86 (Grupo TEA= 56 Grupo DT= 30 Edad= desde los 5 a los 18 años) - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulo social. Es un vídeo donde aparece una persona haciendo una interacción. Se investiga si la persona mira la cara, mira la mano o si mira a un objeto que aparece en el vídeo.	- Se define una técnica llamada ROI flotante para seguir un objeto en los vídeos. - Los ROIS que abarcan la región de los ojos son más capaces de distinguir a los individuos de ambos grupos. - Los ROIS que abarcan la región de las manos de la persona obtuvieron buenos resultados en la distinción de individuos de ambos grupos.	- El enfoque propuesto tiene potencial para ser aplicado en el diagnóstico de TEA. - Se basa en el análisis de la trayectoria de la mira del individuo hacia la observación del estímulo. - La técnica del ROI flotante ofrece un buen rendimiento en este modelo. - Este enfoque se puede aplicar a cualquier estímulo dinámico siempre que se especifique el cuadro inicial y final de cada ROI.
Sabatos- DeVito et al. (2016)	Examinar el impacto de las propiedades sensoriales y movimiento de los distractores en la capacidad de desconectar y orientar la atención en niños con TEA.	N= 50 (Grupo TEA= 19 Grupo DT= 31 Edad= entre los 4 y los 13 años) - Diagnóstico previo de TEA.	Estímulo no social. Seis objetos no sociales con cualidades visuales y auditivas interesantes. (globo que se gira y se ilumina, bola multicolor que vibra y se mueve, tubo con burbujas rosas y azules, etc.)	- Todos los participantes tenían tasas igualmente altas de fijación exitosa al estímulo central al inicio de cada ensayo. - Los niños con TEA tuvieron peores resultados en la desvinculación de la mirada que el grupo con DT. - Los estímulos estáticos se asociaron con una desvinculación de la mirada más rápida que los estímulos dinámicos.	- Los patrones sensoriales de los niños con TEA y DT están asociados de forma diferencial de la atención. - El trabajo futuro debería considerar la atención y la orientación como una posible medida de resultado.

Discusión

El objetivo de esta revisión sistemática fue indagar documentalmente sobre el rendimiento de los estímulos visuales en el diagnóstico del TEA, mediante la metodología eye tracking para determinar que estímulos visuales pueden permitir el diagnóstico temprano del mismo. A partir de estos datos, en esta revisión se han clasificado las evidencias en función del estímulo escogido pudiendo ser estímulos sociales, estímulos no sociales y estímulos por confrontación.

En primer lugar, los estímulos sociales diseñados han sido principalmente fotografías de rostros humanos en interacción social como en los que describen los artículos de Solovyoya et al. (2020), Bataineh et al. (2018), Cilia et al. (2021), Sahuquillo-leal et al. (2021), Sadria et al. (2019) y Elison et al. (2011), si bien también se han usado estímulos de tipo dinámico como vídeos de personas realizando interacción social como los encontrados en los artículos de Wan et al. (2018), Cilia et al. (2021), Kwon et al. (2018) y Cardoso et al. (2021). Por último, hay que mencionar un estímulo social que ha sido diseñado con un gran componente sensorial a través de la audición, como es la narración de historias sociales acompañadas de cuentos con y sin información contextual adicional como el propuesto por Tang et al. (2021).

Los resultados que se han obtenido tras la aplicación de los estímulos sociales en el sistema eye tracking para establecer el diagnóstico de TEA han sido muy similares entre los distintos estudios siendo el principal que los niños/as con TEA tienen diferencias en el comportamiento de la mirada en comparación con niños/as con desarrollo normotípico (Bataineh et al., 2018; Elison et al., 2011; Sahuquillo-Leal et al., 2021; Solovyoya et al., 2020; Wan et al., 2018). Sin embargo, otros autores no han encontrado diferencias significativas respecto al comportamiento de la mirada de los niños/as TEA y niños/as con desarrollo normotípico como los encontrados en los artículos de Sadria et al. (2019) y Kwon et al. (2018).

A pesar de estas discrepancias, existe consenso al afirmar que el sistema eye-tracking que utiliza estímulos sociales puede ser una herramienta de cribado diagnóstico del TEA que pueden utilizar los profesionales encargados de la detección temprana de este trastorno (Cardoso et al., 2021; Cilia et al., 2021; Wan et al., 2018) ya que es fundamental comprender el comportamiento de la mirada de los niños/as con TEA al tender a evitar la mirada directa a la cara del interlocutor y al mostrar dificultades para captar la información social que proporcionan los ojos y las bocas de tanto personas conocidas como personas desconocidas por ellos (Solovyoya et al., 2020). Además, el estudio de Wan et al. (2018) encontró como los niños/as con TEA mostraron reducciones significativas en el tiempo de fijación de la mirada en las áreas de interés social medidas por el sistema eye-tracking; Bataineh et al. (2018) concluye que los niños/as con TEA realizan un comportamiento visual en el que no hay interés en la información que proyectan los ojos de las personas mostradas en los estímulos sociales y pasan más tiempo mirando la región de la boca; y Elison et al. (2011) incide en la conclusión de que el bajo rendimiento en el comportamiento visual se inicia desde muy temprano en el TEA y tiende a aumentar con la edad de los niños/as.

En segundo lugar, los estímulos no sociales usados por el sistema eye-tracking para el diagnóstico de TEA consisten en fotografías de objetos que tenían como particularidad que eran descritos como de alto interés para las personas con TEA (Elison et al., 2011), o que presentan características visuales y auditivas interesantes para las personas con TEA (Sabatos de Vito et al., 2016), o juguetes de uso cotidiano para los niños/as TEA (Yurkovic et al., 2021), o tareas de atención en aparición de letras del alfabeto (Banire et al., 2020).

Como principales resultados de los estudios que incluyen estímulos no sociales a través del sistema eye-tracking destacamos diferencias marcadas en la desvinculación de la mirada en los niños/as TEA mostrando peores resultados en las tareas realizadas (Banire et al., 2020; Elison et al., 2021; Sabatos-De Vito et al., 2016). Sin embargo, aparecen resultados contradictorios en el trabajo de Yurkovic et al. (2021) ya que no se encontraron diferencias significativas en la exploración visual y en la exploración manual de los niños/as con TEA y con desarrollo normotípico. De nuevo, la edad es un componente importante dentro de la exploración visual de los estímulos de tipo no social ya que a medida que aumenta la edad, los niños/as con desarrollo normotípico consiguen un mayor aumento de la exploración visual en comparación con los niños/as con TEA como sostiene el estudio de Sabatos- De Vito et al. (2016).

Por último, respecto a los estímulos por confrontación estos se componen tanto de elementos sociales como no sociales. Así, por ejemplo, estos consisten en la aparición de una persona realizando una interacción en un lado de la pantalla sirviendo como escena social al tiempo que aparecen objetos abstractos por el otro lado de la pantalla que sirven como distractores de dicha escena social (Bacon et al., 2019; Bradshaw et al., 2019; Frazier et al., 2016; Kwon et al., 2018; Oliveira et al., 2021; Vargas-Cuentas, et al., 2016; Vargas-Cuentas, et al., 2017). En otros estudios, se mostraban en un único conjunto los elementos sociales por un lado y los elementos sociales por otro lado, es decir, o se alternaban los distintos elementos en distintos clips de un único vídeo como en el estudio de Frazier et al. (2018) o aparecía primero un estímulo de tipo social y después sucedía en la misma escena un estímulo de tipo no social como en el experimento de Billeci et al. (2016). Finalmente, el estudio de Elison et al. (2011) proponía imágenes sociales emparejadas con objetos.

Los resultados que se han obtenido tras la aplicación de los estímulos por confrontación en el sistema eye tracking para establecer el diagnóstico de TEA, pone de manifiesto que estos estímulos tienen alta precisión diagnóstica (Oliveira et al., 2021; Pierce et al., 2015; Vargas-Cuentas et al., 2017) ya que permite conocer

como los niños/as normotípicos realizan más transiciones entre los objetos que el grupo con TEA (Billeci et al., 2016); la fijación hacia la región de la cara en general se redujo en los participantes del grupo TEA (Kwon et al., 2018); la atención a los estímulos no sociales fue muy desproporcionada en el grupo con TEA en comparación al grupo con desarrollo normotípico (Elison et al., 2011) y por último que el grupo con TEA tenía un mayor enfoque en el centro de la imagen aunque no hubiese nada allí como determina el estudio de Oliveira et al. (2021). Además, el sistema eye tracking por confrontación permite discernir la gravedad de síntomas entre los participantes del grupo TEA, ya que los que preferían mirar a los estímulos no sociales tenían peores habilidades cognitivas, lingüísticas y sociales en relación a otros participantes del grupo TEA que miraron menos a dichos estímulos como concluye el estudio de Pierce et al. (2015), Kwon et al. (2018), Frazier et al. (2018) y Bacon et al. (2019). Siguiendo esta línea, hay estudios que concluyen que los estímulos por confrontación permiten observar el índice de riesgo de TEA con una alta precisión diagnóstica como muestran los estudios de Frazier et al. (2016) y Elison et al. (2011).

Por otra parte, existe consenso entre los estudios que usan este tipo de estímulos por confrontación a la hora de determinar la alta preferencia por los estímulos no sociales pudiendo determinar distintos niveles de gravedad del TEA (Bacon et al., 2019; Frazier et al., 2018; Kwon et al., 2018; Pierce et al., 2015). Siguiendo esta línea, los estudios de Bradshaw et al. (2019) y Frazier et al. (2016) señalan que la falta de preferencia social supone un biomarcador de diagnóstico precoz del TEA.

Conclusiones

A la luz de los resultados analizados en la presente revisión sistemática, podemos concluir que los tres tipos de estímulos analizados en esta revisión (sociales, no sociales y de confrontación), por medio del sistema eye tracking van a poder determinar el comportamiento visual de personas con TEA y personas con desarrollo normotípico, siendo los estímulos sociales y los estímulos por confrontación los más eficaces para establecer un diagnóstico preciso de TEA al permitir realizar un cribado de ambos grupos y establecer un riesgo temprano del trastorno. Sin embargo, los estímulos por confrontación son los más efectivos puesto que reúnen muchas ventajas de cara al diagnóstico del TEA: como su uso en estadios tempranos del desarrollo, cumple los objetivos que se propone y en menos tiempo y es el más polivalente de los tres tipos mencionados, a pesar del mayor coste económico y de recursos técnicos.

De manera que el uso de este tipo de estímulos, pero sobre todo los estímulos sociales y por confrontación en la evaluación del diagnóstico de TEA mediante el sistema eye-tracking, van a ser una buena herramienta para el diagnóstico precoz de este trastorno y quizás puede ser interesante estudiar, en investigaciones futuras, otras patologías que cursen con déficit en el patrón visual mediante el sistema eye tracking e igualmente como este tipo de estímulos sociales y por confrontación se pueden adaptar a las nuevas tecnologías que están emergiendo como es el campo de la realidad virtual lo que puede mejorar el diagnóstico del TEA, al simular entornos sociales que sean muy reales para el espectador y permitan observar de una forma más eficiente el patrón visual de los sujetos que se están diagnosticando.

Por último, entre las limitaciones de esta revisión destaca la falta de evidencia de los diseños de caso único ya que todos los estudios analizados partían de experimentos unifactoriales, factoriales y cuasiexperimentales con muestras grandes de participantes con TEA y con desarrollo normotípico. Así mismo, cabe mencionar que la mayoría de los estudios no incluyen otros grupos de niños con distintas condiciones en el lenguaje, como pueden ser aquellos con retrasos madurativos en el desarrollo o los trastornos en el desarrollo del lenguaje, ya que las numerosas investigaciones que se están realizando en esta temática, inciden en la necesidad de estas aportaciones para permitir observar de una manera eficaz los indicadores de riesgo detectados como específicos de TEA y los que son de un patrón común de alteración.

Bibliografía

- American Psychological Association (APA). (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th Ed). <https://dsm.psychiatryonline.org/doi/book/10.1176/appi.books.9780890425596>.
- Bacon, E. C., Moore, A., Lee, Q., Carter Barnes, C., Courchesne, E., & Pierce, K. (2020). Identifying prognostic markers in autism spectrum disorder using eye tracking. *Autism*, 24(3), 658-669. <https://doi.org/10.1177/1362361319878578>
- Banire, D., M., Qaraq, K. Khowaja, & Mansoor, B. (2020) The Effects of Visual Stimuli on Attention in Children with Autism Spectrum Disorder: An Eye-Tracking Study. *IEEE Access*, 8, 225663-225674. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3045042.
- Bataineh, E., Almourad, M. B., Marir, F., & Stocker, J. (2018). Visual attention toward socially rich context information for autism spectrum disorder (ASD) and normal developing children: An eye tracking study. *Proceedings of the 16th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia* (pp. 61-65). <https://doi.org/10.1145/3282353.3282856>

- Billeci, L., Narzisi, A., Campatelli, G., Crifaci, G., Calderoni, S., Gagliano, A., ... & Muratori, F. (2016). Disentangling the initiation from the response in joint attention: an eye-tracking study in toddlers with autism spectrum disorders. *Translational Psychiatry*, 6(5), e808-e808. <https://doi.org/10.1038/tp.2016.75>
- Bradshaw, J., Shic, F., Holden, A. N., Horowitz, E. J., Barrett, A. C., German, T. C., & Vernon, T. W. (2019). The use of eye tracking as a biomarker of treatment outcome in a pilot randomized clinical trial for young children with autism. *Autism Research*, 12(5), 779- 793. <https://doi.org/10.1002/aur.2093>
- Boraston, Z., & Blakemore, S. J. (2007). The application of eye-tracking technology in the study of autism. *The Journal of Physiology*, 581(3), 893-898. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.133587>
- Camero, R.; Martínez, V.; Gallego, C. (2021) *Gaze Following and Pupil Dilation as Early Diagnostic Markers of Autism in Toddlers*. *Children* 8, 113. <https://doi.org/10.3390/children8020113>
- Cardoso, T. V., Michelassi, G. C., Franco, F. O., Sumiya, F. M., Portolese, J., Brentani, H., ... & Nunes, F. L. (2021). "Autism Spectrum Disorder diagnosis based on trajectories of eye tracking data," IEEE 34th International Symposium on Computer- Based Medical Systems (CBMS), 2021, pp. 50-55, doi: 10.1109/CBMS52027.2021.00016.
- Chawarska, K., Macari, S., & Shic, F. (2013). Decreased Spontaneous Attention to Social Scenes in 6-Month-Old Infants Later Diagnosed with Autism Spectrum Disorder. *Biological Psychiatry*, 74(3), 195-203. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2012.11.022>.
- Chevallier, C., Parish-Morris, J., McVey, A., Rump, KM., Sasson, NJ., Herrington, JD. and Schultz, RT. (2015). Measuring social attention and motivation in autism spectrum disorder using eye-tracking: Stimulus type matters. *Autism Research*, 8(5), 620-628. doi: 10.1002/aur.1479.
- Chita-Tegmark, M., Arunachalam, S., Nelson, C. A., & Tager-Flusberg, H. (2015). Eye-tracking measurements of language processing: Developmental differences in children at high risk for ASD. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(10), 3327- 3338. <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2495-5>
- Cilia, F., Carette, R., Elbattah, M., Dequen, G., Guérin, J. L., Bosche, J., & Le Driant, B. (2021). Computer-aided screening of autism spectrum disorder: eye-tracking study using data visualization and deep learning. *JMIR Human Factors*, 8(4), e27706. doi:10.2196/27706
- Duchowski, A.T. (2017). *Eye Tracking Techniques*. In: *Eye Tracking Methodology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57883-5_5
- Elison, J. T., Sasson, N. J., Turner-Brown, L. M., Dichter, G. S., & Bodfish, J. W. (2012). Age trends in visual exploration of social and nonsocial information in children with autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 6(2), 842-851. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2011.11.005>
- Falck-Ytter, T., Bölte, S., & Gredebäck, G. (2013). Eye tracking in early autism research. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 5(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/1866-1955-5-28>
- Fortea, M., Escandell, M., & Sánchez, J. J. (2013). Detección temprana del autismo: profesionales implicados. *Revista Española de Salud Pública*, 87(2), 191-199. <https://dx.doi.org/10.4321/S1135-57272013000200008>.
- Frazier TW, Klingemier EW, Beukemann M, Speer L, Markowitz L, Parikh S, Wexberg S, Giuliano K, Schulte E, Delahunty C, Ahuja V, Eng C, Manos MJ, Hardan AY, Youngstrom E, A, Strauss MS. (2016), Development of an Objective Autism Risk Index Using Remote Eye Tracking. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*. doi: 10.1016/j.jaac.2016.01.011.
- Frazier TW, Klingemier EW, Parikh S, Speer L, Strauss MS, Eng C, Hardan AY, Youngstrom EA. (2018) Development and Validation of Objective and Quantitative Eye Tracking- Based Measures of Autism Risk and Symptom Levels. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2018.06.023>.
- Howard, P. L., Zhang, L., & Benson, V. (2019). What can eye movements tell us about subtle cognitive processing differences in autism? *Vision*, 3(2), 22. <https://doi.org/10.3390/vision3020022>
- Klin, A., Shultz, S., & Jones, W. (2015). Social visual engagement in infants and toddlers with autism: early developmental transitions and a model of pathogenesis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 50, 189–203. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.10.006>.
- Klin, A. (2018). Biomarkers in Autism Spectrum Disorder: Challenges, Advances, and the Need for Biomarkers of Relevance to Public Health. *Focus (American Psychiatric Publishing)*, 16(2), 135–142. <https://doi.org/10.1176/appi.focus.20170047>
- Kwon, M. K., Moore, A., Barnes, C. C., Cha, D., & Pierce, K. (2019). Typical levels of eye-region fixation in toddlers with autism spectrum disorder across multiple contexts. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 58(10), 1004- 1015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2018.12.011>.
- Lynch, G. (2018). Using pupillometry to assess the atypical pupillary light reflex and LC-NE system in ASD. *Behavioral Sciences*, 8(11), 108. <https://doi.org/10.3390/bs8110108>
- Mastergeorge, A-M., Kahathuduwa, C., & Blume J. (2021). Eye-Tracking in Infants and Young Children at Risk for Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review of Visual Stimuli in Experimental Paradigms. *Journal Autism Developmental Disorders*, 51(8), 2578-2599. <https://doi.org/10.1007/s10803-020-04731-w>.
- Murias, M., Major, S., Davlantis, K., Franz, L., Harris, A., Rardin, B., & Dawson, G. (2018). Validation of eye-tracking measures of social attention as a potential biomarker for autism clinical trials. *Autism Research*, 11(1), 166-174. <https://doi.org/10.1002/aur.1894>

- Oliveira, J. S., Franco, F. O., Revers, M. C., Silva, A. F., Portolese, J., Brentani, H., ... & Nunes, F. L. (2021). Computer-aided autism diagnosis based on visual attention models using eye tracking. *Scientific Reports*, 11(1), <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89023-8>
- Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, (2020) *La declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para informar revisiones sistemáticas*. *BMJ* 2021; 372: n71. doi: 10.1136/bmj.n71
- Pierce, K., Marinero, S., Hazin, R., McKenna, B., Barnes, C. C., & Malige, A. (2016). Eye-tracking reveals abnormal visual preference for geometric images as an early biomarker of an ASD subtype associated with increased symptom severity. *Biological Psychiatry*, 79(8), 657. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2015.03.032>
- Sabatos-DeVito, M., Schipul, S. E., Bulluck, J. C., Belger, A., & Baranek, G. T. (2016). Eye tracking reveals impaired attentional disengagement associated with sensory response patterns in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(4), 1319-1333. <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2681-5>
- Sadria, M., Karimi, S., & Layton, A. T. (2019). Network centrality analysis of eye-gaze data in autism spectrum disorder. *Computers in Biology and Medicine*, 111, 103332. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2019.103332>.
- Sasson, N. J., & Elison, J. T. (2012). Eye tracking young children with autism. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, (61), e3675. doi:10.3791/3675
- Sahuquillo-Leal, R., Navalón, P., Moreno-Giménez, A., Almansa, B., Vento, M., & García-Blanco, A. (2022). Attentional biases towards emotional scenes in autism spectrum condition: An eye-tracking study. *Research in Developmental Disabilities*, 120, 104124. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2021.104124>
- Seldas, R. P. (2012). Los síntomas de los trastornos del espectro de autismo en los primeros dos años de vida: una revisión a partir de los estudios longitudinales prospectivos. *Anales de Pediatría*, 76 (1) <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2011.07.033>
- Siegel, M., & Beaulieu, A.A. (2012). Psychotropic medications in children with autism spectrum disorders: a systematic review and synthesis for evidence-based practice. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(8), 1592-1605. <https://doi.org/10.1007/s10803-011-1399-2>
- Shi, L., Zhou, Y., Ou, J., Gong, J., Wang, S., Cui, X., (2015). *Different visual preference patterns in response to simple and complex dynamic social stimuli in preschool-aged children with autism spectrum disorders*. *PLoS ONE*, 10, e0122280. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122280>
- Solovyova, A., Danylov, S., Oleksii, S., & Kravchenko, A. (2020). Early Autism Spectrum Disorders Diagnosis Using Eye-Tracking Technology. *arXiv preprint arXiv:2008.09670*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2008.09670>
- Tang, W. Y., Fong, K. N., & Chung, R. C. (2022). The effects of storytelling with or without social contextual information regarding eye gaze and visual attention in children with autistic spectrum disorder and typical development: A randomized, controlled eye-tracking study. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 52(3), 1257-1267. <https://doi.org/10.1007/s10803-021-05012-w>
- Tenenbaum, E. J., Sobel, D. M., Sheinkopf, S. J., Malle, B. F., & Morgan, J. L. (2015). Attention to the mouth and gaze following in infancy predict language development. *Journal of Child Language*, 42(6), 1173-1190. doi:10.1017/S0305000914000725
- Vargas-Cuentas, N., Roman-Gonzalez, A., Gilman, R.H., Barrientos, F., Ting, J., Hidalgo, D. (2017). Developing an eye-tracking algorithm as a potential tool for early diagnosis of autism spectrum disorder in children. *PLoS ONE* 12(11): e0188826. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188826>
- Vargas-Cuentas, N., D. Hidalgo, A. Roman-Gonzalez, M. Power, R. H. Gilman and M. Zimic (2016). Diagnosis of autism using an eye tracking system. *EEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, 624-627, doi:10.1109/GHTC.2016.7857343.
- Wan, G., Kong, X., Sun, B., Yu, S., Tu, Y., Park, J., & Kong, J. (2019). Applying eye tracking to identify autism spectrum disorder in children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 49(1), 209-215. <https://doi.org/10.1007/s10803-018-3690-y>
- Yurkovic, J. R., Lisandrelli, G., Shaffer, R. C., Dominick, K. C., Pedapati, E. V., Erickson, C. A., ... & Yu, C. (2021). Using head-mounted eye tracking to examine visual and manual exploration during naturalistic toy play in children with and without autism spectrum disorder. *Scientific Reports*, 11(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81102-0>