

Métricas de los Eye – Tracker que se usan en Terapias para Individuos con Trastorno del Espectro Autista: Revisión Sistemática de la Literatura.

Hillary Pierina Maiquiza Mero

Universidad Técnica de Manabí, UTM
hmaiquiza6406@utm.edu.ec
Portoviejo, Manabí, Ecuador

Leticia Vaca – Cardenas

Universidad Técnica de Manabí, UTM
leticia.vaca@utm.edu.ec
Portoviejo, Manabí, Ecuador

DOI: <https://doi.org/10.56124/encryptar.v7i14.001>

Resumen

Actualmente múltiples dispositivos ayudan a mejorar la calidad de vida de sus usuarios, más aún cuando ellos tienen características personalizadas para personas con autismo. El trastorno del espectro autista (TEA) es un trastorno neurobiológico del desarrollo que afecta la comunicación, la interacción social y el comportamiento, existen terapias para individuos con TEA que se realizan utilizando elementos como los eye – tracker. El eye – tracker es un dispositivo diseñado para medir y registrar los movimientos oculares de un individuo por medio de métricas, las cuales proporcionan información detallada sobre el comportamiento visual. Para ellos se analizan los patrones de seguimiento ocular, que se refieren a los movimientos característicos que los ojos de un individuo siguen al explorar y procesar visualmente un estímulo o una escena. Este documento recopila los patrones de seguimiento ocular y las métricas que usan los eye – tracker en terapias para individuos con trastorno del espectro autista. Para ello se ha aplicado una metodología de revisión sistemática de la literatura (SLR), basada en una búsqueda exhaustiva en bibliotecas científicas del campo de la informática .En los resultados se destacan las métricas usadas por los eye – tracker en la mayoría de las terapias para individuos con el TEA, que están fundamentadas en las fijaciones, los movimientos sacádicos y movimientos suaves, además se recalcan los algoritmos basados en inteligencia artificial (IA) que los softwares del eye – tracker utilizan para analizar los datos que se obtienen a partir de las métricas.

Palabras clave: Métricas eye – tracker; patrones de seguimiento ocular; algoritmos eye – tracker; TEA eye – tracker; eye – tracker autismo.

Eye – Tracker Metrics used in Therapies for Individuals with Autism Spectrum Disorder: Systematic Review Literature.

ABSTRACT

Currently, multiple devices help improve their users' quality of life, even more so when they have personalized features for people with autism. Autism spectrum disorder (ASD) is a neurobiological developmental disorder that affects communication, social interaction and behavior; there are therapies for individuals with ASD that are performed using elements such as eye-tracker. The eye-tracker is a device designed to measure and record an individual's eye movements using metrics, which provide detailed information about visual behavior. For this purpose, eye-tracking patterns are analyzed, which refer to the characteristic movements that an individual's eyes follow when exploring and visually processing a stimulus or a scene. This paper compiles eye tracking patterns and metrics used by eye – trackers in therapies for individuals with autism spectrum disorder. For this, a systematic literature review (SLR) methodology has been applied, based on an exhaustive search in scientific libraries of the informatics field. The results highlight the metrics used by eye-tracker in most therapies for individuals with ASD, which are based on fixations, saccadic movements and smooth movements, as well as the artificial intelligence (AI)-based algorithms that eye-tracker software uses to analyze the data obtained from the metrics.

Keywords: Eye – tracker metrics; eye tracking patterns; eye – tracker algorithms; eye – tracker ASD; eye – tracker autism.

1. Introducción

El TEA (trastorno del espectro autista) es un conjunto de trastornos del neurodesarrollo que se caracterizan por mostrar alteraciones constantes en 1) el área socio – comunicativa y 2) el área de los intereses fijos y conductas repetitivas (Sanromà-Giménez et al., 2018), el origen de esta condición es desconocida, por lo que se han desarrollado teorías que estudian su etiología desde diferentes puntos de vista como la biología, la psicología, la cognición y la neurodiversidad (Serrano Baraja, 2022). Las personas con TEA expresan sus emociones y socializan de manera diferentes a las personas neurotípicas, por lo que se busca vías de solución por medio de la tecnología. Simuladores de realidad virtual en conjunto con herramientas tecnológicas como el eye – tracker se usan para establecer ambientes terapéuticos beneficiosos para la estimulación de los individuos con TEA (Sanchez, 2022).

El eye – tracker es una tecnología que permite elegir objetivos en una pantalla usando solo los ojos (ES, s/f), para procesar los datos emplea un software que permite la configuración de los estímulos, calibrado de las métricas y registro de los resultados (Martínez, 2021). Las métricas pueden aplicarse en distintos aspectos dependiendo del tipo de análisis, las más comunes se basan en fijaciones como: número de fijaciones, duración de la fijación, duración total de la fijación, tiempo hasta la primera fijación, densidad de fijación y repetición de fijaciones (Borys & Plechawska-Wójcik, 2017).

Actualmente existen diversos trabajos publicados en contexto, donde han utilizado las métricas del dispositivo eye – tracker en terapias para individuos con TEA, en 2012 en Dallas se realizó un estudio para evaluar la atención de niños con TEA (Sasson & Elison, 2012) a imágenes afectivas, en 2018 (Yaneva et al., 2018) realizó un estudio para detectar el autismo en individuos mediante la obtención de datos de tareas relacionadas con la web, en 2015 en Pensilvania (Chevallier et al., 2015) a través de un estudio midió la atención social y la motivación de individuos con TEA mediante tareas de “exploración visual estática” la cual mostraba imágenes de objetos y personas que no se movían, de “exploración visual dinámica” en la cual reproducían videoclips de caras y objetos en movimiento y “exploración visual interactiva” en el cual mostraban videoclips de niños jugando juntos.

Desde esta dirección se exponen varios trabajos que presentan cuales son las métricas y los algoritmos del dispositivo eye – tracker. Desde este punto de vista, el propósito de este trabajo es realizar una revisión sistemática de la literatura científica que permita determinar cuáles con los patrones de seguimiento ocular, métricas y algoritmos que usan los eye – tracker en terapias para individuos con trastorno del espectro autista.

2. Metodología

Para efectuar el estudio, se ejecutaron seis pasos: (1) Fijar las preguntas de investigación; (2) indagar los documentos pertinentes; (3) escoger los estudios; (4) examinar los resúmenes y extraer palabras clave y datos; (5) mapear los estudios primarios seleccionados y (6) presentar los resultados. (Vaca-Cardenas et al., 2020).



2.1 Preguntas de Investigación

Para delimitar la investigación se establecieron preguntas de investigación (RQs), orientados a los objetivos de este estudio, las cuales se presentan a continuación:

RQ1: ¿Cuáles son las métricas que usa el eye – tracker en terapias para individuos con trastorno del espectro autista?

RQ2: ¿Cómo se utilizan las métricas de eye – tracker en la evaluación de individuos con trastorno del espectro autista?

RQ3: ¿Cuáles son los patrones de seguimiento ocular y los algoritmos que usa el dispositivo eye – tracker?

RQ4: ¿Qué patrones o diferencias en las métricas del eye – tracker se han observado en individuos con TEA en comparación con poblaciones neurotípicas?

2.2 Criterios de Inclusión y Exclusión

En la selección de los estudios se consideraron los títulos y resúmenes respectivos denotando criterios de inclusión y exclusión que se observan en la Tabla 1:

Tabla 1. Criterios de Inclusión y exclusión

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Artículos de revista.	Artículos publicados antes del 2005.
Artículos publicados desde 2006.	Investigaciones no publicadas.
Estudios relacionados con el uso del eye – tracker en individuos con TEA.	Artículos no relacionados con el uso del eye – tracker en individuos con TEA.
Estudios relacionados con las métricas del eye – tracker.	Artículos no relacionados con las métricas del eye – tracker.
Estudios relacionados con los algoritmos del eye – tracker.	Artículos no relacionados con los algoritmos del eye – tracker.
Estudios en idioma inglés, portugués o español.	Tesis.

2.3 Bibliotecas Digitales y Cadenas de Búsqueda

Se tomaron en cuenta las siguientes bibliotecas digitales para llevar a cabo el SLR: ACM Digital Library, Directory of Open Access Journals, Google Scholar, IEEE Digital Library y Science@Direct; dado que ofrecen una amplia variedad en el ámbito de la ingeniería y mantiene una base de datos completa,

la búsqueda inicial se hizo utilizando palabras claves con los siguientes términos: 1) eye – tracker metrics, 2) eye tracking patterns, 3) eye – tracker algorithms, 4) eye – tracker ASD, 5) eye – tracker autism.

Se elaboro la cadena de búsqueda a partir de los términos anteriores, dando la siguiente formulación: ("Metrics eye – tracker" AND "Eye – tracker ASD" OR "Eye – tracker autism" OR "eye tracking patterns") AND ("Algorithms eye - tracker"), la cual fue utilizada en el título, resumen y palabras clave en un intervalo de búsqueda que abarca desde 2006 y 2022.

3. Resultados

3.1 Análisis e interpretación de los resultados y discusión

Los resultados de la búsqueda inicial realizada aplicando la cadena de búsqueda en cada una de las bibliotecas digitales se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la Búsqueda Inicial

Suggested String	Database	Results
("Metrics eye - tracker" AND "Eye – tracker ASD" OR "Eye – tracker autism" OR "Eye tracking patterns") AND ("Algorithms eye – tracker")	ACM Digital – Library.	201,400
	Directory of Open Access Journals.	169
	Google Scholar.	18,150
	IEEE Digital Library.	274
	Science@Direct	1,959

Al emplear los criterios de inclusión y exclusión y descartar estudios que no se alineaban con nuestros objetivos se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 3:

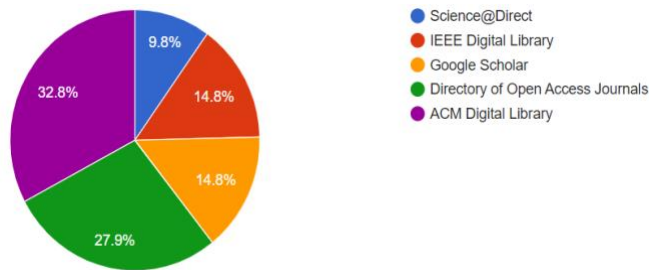
Tabla 3. Resultados de la Aplicación de Criterios de Inclusión y Exclusión

Bibliotecas digitales	Artículos identificados	Total, luego de aplicación de criterios de inclusión y exclusión	Total, luego de depuración de artículos no relacionados
ACM Digital Library	201,400	20	17
Directory of Open Access Journals	169	17	12
Google Scholar	18,150	9	4

IEEE Digital Library	274	9	5
Science@Direct	1,959	6	5

Los resultados se pueden observar en la Figura 1 que ilustra los trabajos adquiridos durante la búsqueda inicial, aplicando los criterios en cada biblioteca.

Figura 1. Artículos por fuente



3.2 Análisis de la Búsqueda

A continuación, en la Tabla 4 se presentan los estudios seleccionados, donde se detallan las métricas que usan, los patrones o algoritmos y su contribución en el TEA.

Tabla 4. Análisis de los artículos seleccionados y principales contribuciones

Nombre del artículo	Métricas que utiliza	Patrones de seguimiento ocular y/o algoritmos	Contribución
A multidimensional approach to the study of emotion recognition in autism spectrum disorders (eXavier et al., 2015)	<ul style="list-style-type: none"> Movimientos sacádicos. Duración de las fijaciones. Áreas de interés 	<ul style="list-style-type: none"> Sacadas como índice de movimientos oculares. Fijaciones como índice de estabilidad ocular. Algoritmos de regresión lineal. 	<ul style="list-style-type: none"> Uso del eye – tracker para la exploración de procesamiento de emociones a través de estímulos visuales, auditivos y bimodales.
A Review of early detection autism based on eye – tracking and sensing technology (Taha Ahmed & Jadhav, 2020)	<ul style="list-style-type: none"> Fijaciones. Sacadas. Persecuciones suaves. Áreas de interés 	<ul style="list-style-type: none"> Algoritmos de aprendizaje automático (machine Learning). 	<ul style="list-style-type: none"> Uso del eye – tracker para la detección temprana del trastorno del espectro autista (TEA) mediante estímulos visuales. Uso del eye – tracker para analizar los

Nombre del artículo	Métricas que utiliza	Patrones de seguimiento ocular y/o algoritmos	Contribución
			patrones de mirada de los niños con TEA.
A systematic literature review on the usage of eye – tracking in software engineering (Sharafi, Soh, et al., 2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas de interés. • Recuento de fijaciones. • Duración media de la fijación (AFD). • Tiempo de la fijación (TD). • Índice de fijación (FR). • Número de sacadas. • Duración de sacada. • Ruta de exploración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fijaciones como estabilizador de la mirada. • Sacadas como movimientos entre fijaciones. • Algoritmos de regresión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso del eye – tracker en áreas de interés para evaluar la atención de las personas con TEA.
An eye localization tracking and blink pattern recognition system: algorithm and evaluation (Wu & Trivedi, 2010)	<ul style="list-style-type: none"> • Fijaciones • Sacadas • Parpadeos 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de árboles binarios. • Modelos gaussianos. • Modelos bayesianos. • Algoritmos de aprendizaje automático. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de diferentes algoritmos y modelos para evaluar la detección de parpadeo.
Analogical reasoning in children with autism spectrum disorder: evidence from an eye – tracking approach (Tan et al., 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas de interés. • Duración de la fijación. • Rutas sacádicas (secuencia de fijación). 	<ul style="list-style-type: none"> • Herramienta Scanpath MATLAB. • Regresiones jerárquicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso del eye – tracker para examinar el razonamiento analógico en niños con TEA • Implementación de tareas de analogías. • Desarrollo de pruebas prácticas, de comparación, mapeo cruzado y mapeo de objetos.
Analysis of neural correlates of saccadic eye movements (Tauscher et al., 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Sacadas. • Fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de aprendizaje automático. • Modelos gaussianos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Combinación de la electroencefalografía y el eye – tracker para clasificar los movimientos sacádicos.
Application of eye – tracking in research on the theory of mind in ASD (Rosa, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Duración de la fijación. • Movimientos sacádicos. • Dilatación de la pupila. 	<ul style="list-style-type: none"> • Patrones basados en fijaciones. • Patrones basados en sacadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso del eye – tracker para evaluar el comportamiento de la mirada de individuos con TEA frente a rostros humanos.
Bayesian identification of fixations, saccades, and	<ul style="list-style-type: none"> • Duración de la fijación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmo de identificación de la 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmo I – BDT con el dispositivo eye – tracker

Nombre del artículo	Métricas que utiliza	Patrones de seguimiento ocular y/o algoritmos	Contribución
smooth pursuits (Santini et al., 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Movimientos sacádicos. • Persecuciones suaves. 	teoría bayesiana de la decisión (I – BDT).	para identificar fijaciones, sacadas y persecuciones suaves en tiempo real.
Brightness and motion-based blink detection for head – mounted eye trackers (Appel et al., 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Parpadeos. • Sacadas. • Fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de detección de pestañeo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmo basado en el brillo y movimiento en tiempo real para la detección de parpadeos y mejorar los estudios que se realizan en individuos con TEA.
Design of a virtual reality based adaptive response technology for children with autism (Lahiri et al., 2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro de la pupila (PD). • Frecuencia de parpadeo (BR). • Duración de la fijación (FD). 	<ul style="list-style-type: none"> • Patrones basados en fijaciones. • Diseño de tareas basado en realidad virtual. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso del eye – tracker usando realidad virtual (VR) para evaluar el desempeño de tareas interactivas en individuos con TEA.
Developing an eye – tracking algorithm as a potential tool for early diagnosis of autism spectrum disorder in children (Vargas-Cuentas et al., 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Duración de fijación. • Frecuencia de parpadeo. • Movimientos sacádicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de detección de parpadeo. • Algoritmos basados en decisión de MATLAB 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de algoritmo de detección mirada/seguimiento en tableta para evaluar la preferencia de la mirada de niños con TEA y niños con desarrollo típico (TD).
Development and validation of objective and quantitative eye – tracking based measures of autism risk and symptom levels (Frazier et al., 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Recuento de fijaciones. • Porcentaje de duración de la fijación. • Duración de la primera fijación. • Duración media de la fijación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Patrones basados en fijaciones. • Algoritmos de detección de fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso del eye – tracker para evaluar pacientes con TEA y realizar seguimientos de los niveles de síntomas de autismo.
Ego – Motion compensation improves fixation detection in wearable eye – tracking (Kinsman et al., 2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Fijaciones • Sacadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmo de detección de fijación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de ego – motion junto al algoritmo de detección de fijación.
Emotional vs. Neutral exploration and habituation: an eye – tracking study of preschoolers with autism spectrum disorders (Bochet et al., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas de interés. • Tiempo de duración de la fijación. • Número de fijaciones. • Duración de la primera fijación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Patrones basados en fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso del eye – tracker para la exploración del procesamiento facial neutral y emocional en niños con TEA en comparación a los niños con TD.

Nombre del artículo	Métricas que utiliza	Patrones de seguimiento ocular y/o algoritmos	Contribución
Eye tracking algorithms, techniques, tools, and applications with an emphasis on machine learning and internet of things technologies (Klaib et al., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Posición del ojo. • Duración de las sacadas. • Tamaño de la pupila. • Duración de la fijación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de machine Learning. • Algoritmos de detección de pupila. • Algoritmos para filtrado de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos que usan los eye – tracker para los estudios del seguimiento ocular.
Eye tracking metrics in software engineering (Hauser et al., 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas de interés. • Duración de la fijación. • Sacadas. • Rutas de exploración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de detección de fijaciones. • Algoritmos de detección de sacadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Explicación de las métricas que se usan en estudios de movimientos oculares.
Eye – tracking metrics in software Engineering (Sharafi, Shaffer, et al., 2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Fijaciones. • Sacadas. • Dilatación de la pupila. • Ruta de exploración • Áreas de interés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de machine Learning. • Patrones basados en fijaciones. • Patrones basados en movimientos sacádicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería de software y el eye – tracker para estudios de procesos cognitivos • Eye – tracker para monitorizar la atención visual a través de los datos de los movimientos oculares.
Fixation Detection for head – mounted eye tracking based on visual similarity of gaze targets (<i>Fixation detection for head-mounted eye tracking based on visual similarity of gaze targets Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications, s/f</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Duración de la fijación. • Movimientos sacádicos. • Áreas de interés. • Ruta de exploración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de detección de fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Método para detección de la fijación independiente del movimiento del usuario u objeto de la mirada, permanece igual durante una fijación.
Fixation identification in dynamic scenes: comparing an automated algorithm to manual coding (Munn et al., 2008)	<ul style="list-style-type: none"> • Fijaciones • Sacadas • Persecuciones suaves. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de identificación de fijaciones. • Algoritmos basados en velocidad. • Algoritmos basados en dispersión. 	<ul style="list-style-type: none"> • uso de puntos de referencia (POR) en los métodos basados en velocidad. • Umbral de identificación de velocidad (I – VT).
Fixation – image charts (Kurzahls et al., 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Duración de la fijación. • Áreas de interés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de detección de fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevo diseño para visualización.

Nombre del artículo	Métricas que utiliza	Patrones de seguimiento ocular y/o algoritmos	Contribución
	<ul style="list-style-type: none"> • Sacadas • Persecuciones suaves. 		
Histogram of oriented velocities for eye movement detection (Fuhl et al., 2018a)	<ul style="list-style-type: none"> • Fijaciones. • Movimientos sacádicos. • Persecuciones suaves. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de machine Learning. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de Machine Learning para la detección de movimientos oculares.
How attention to faces and objects changes over time in toddlers with autism spectrum disorders: preliminary evidence from eye – tracking study (Muratori et al., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Duración de la fijación. • Áreas de interés 	<ul style="list-style-type: none"> • Patrones basados en fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eye – tracker para la comprensión de los patrones visuales en niños con TEA
Impact of mainstream classroom setting on attention of children with autism spectrum disorder: an eye – tracking study (Banire et al., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo hasta la primera fijación (TTFF). • Duración de la primera fijación (FFD). • Duración media de la fijación (AFD). • Suma del recuento de fijaciones (SFC). 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de identificación de fijaciones. • Patrones basados en fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aula simulada de realidad virtual para analizar el comportamiento de la mirada en niños con TD y TEA mediante el uso del dispositivo eye – tracker.
Investigating attention in young adults with autism spectrum disorder (ASD) using change blindness and eye tracking (Hochhauser et al., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo hasta la primera fijación (TTFF). • Duración total de la fijación (TFD). 	<ul style="list-style-type: none"> • Patrones basados en fijaciones. • Algoritmos de detección de fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de elementos visuales y comparación de los tiempos de respuesta, las primeras fijaciones y el tiempo total de fijación mediante el uso del eye – tracker.
Modified DBSCAN algorithm on oculomotor fixation identification (Li et al., 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Fijaciones. • Sacadas. • Persecuciones suaves. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de dispersión. • Algoritmo DBSCAN 	<ul style="list-style-type: none"> • Modificación del algoritmo DBSCAN para mejorar los resultados de las sacadas.
On relationships between fixation identification algorithms and fractal box counting methods (Wang et al., 2014)	<ul style="list-style-type: none"> • Fijaciones. • Movimientos sacádicos. • Ruta de exploración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de identificación de fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmo de dispersión I – DT para identificar las fijaciones en estudios de tareas cognitivas en población con TEA.

Nombre del artículo	Métricas que utiliza	Patrones de seguimiento ocular y/o algoritmos	Contribución
Optimizing fixation filters for eye – tracking on small screens (Trabulsi et al., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas de interés. • Sacadas. • Duración total de la fijación (TFD). • Tiempo hasta la primera fijación (TTFF). 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de detección de fijaciones. • Patrones basados en el mapeo de la mirada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos de seguimiento ocular para teléfonos móviles.
Patterns of gaze behavior during an eye – tracking measure of joint attention in typically developing children and children with autism spectrum disorder (Swanson & Siller, 2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas de interés. • Duración de la fijación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de detección de fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios de estímulos para medir la atención y evaluar las habilidades sociales entre niños con TEA y TD utilizando el eye – tracker.
Rapid alternating saccade training (<i>Rapid alternating saccade training Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications, s/f</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Movimientos sacádicos. • Duración de la fijación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Patrones de seguimiento ocular basados en fijaciones. • Patrones basados en sacadas. • Machine Learning. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tareas para detección de sacadas.
Rapid face orienting in infants and school – age children with and without autism: exploring measurement invariance in eye – tracking (Dalrymple et al., 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas de interés. • Tiempo hasta la primera fijación (TTFF). • Duración total de la fijación (TFD). 	<ul style="list-style-type: none"> • Patrones basados en fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tareas de seguimiento ocular que permite medir la orientación hacia los rasgos faciales implementándola en grupos con distintos niveles de TEA utilizando el dispositivo eye – tracker.
Review and evaluation of eye movement event detection algorithms (Birawo & Kasprowski, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Fijaciones. • Sacadas. • Persecuciones suaves. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de detección de eventos. • Algoritmo basado en velocidad (I – VT). 	<ul style="list-style-type: none"> • Comparación de diferentes algoritmos: I – VT, CNN (red neuronal convolucional), RF (bosques aleatorios).
Review of eye tracking metrics involved in emotional and cognitive processes (Skaramagkas et al., 2023)	<ul style="list-style-type: none"> • Total de números de fijaciones. • Duración total de la fijación. • Números de Sacadas. • Persecuciones suaves. • Tamaño de la pupila. • Párpados radio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de árboles binarios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios de atención visual en factores cognitivos y afectivos de individuos.

Nombre del artículo	Métricas que utiliza	Patrones de seguimiento ocular y/o algoritmos	Contribución
Rule – Based learning for eye movement type detection (Fuhl et al., 2018b)	<ul style="list-style-type: none"> Fijaciones. Sacadas. Persecuciones suaves. 	<ul style="list-style-type: none"> Algoritmos de machine Learning. Algoritmos de identificación por dispersión – umbral (IDT). Algoritmo de identificación por umbral de velocidad (IVT). 	<ul style="list-style-type: none"> Algoritmo IDT el cual usa dos umbrales, uno para la duración máxima de la fijación y el otro para mínima. Algoritmo IVT el cual identifica y clasifica por medio de la velocidad métricas.
Saccade landing point prediction: a novel approach based on recurrent neural networks (Morales et al., 2018)	<ul style="list-style-type: none"> Fijaciones. Sacadas. 	<ul style="list-style-type: none"> Modelos de aprendizaje profundo (deep Learning) 	<ul style="list-style-type: none"> Técnicas basadas en redes neuronales recurrentes.
Saccadic movements using eye – tracking technology in individual spectrum disorders: pilot study (<i>SciELO - Brasil - Saccadic movements using eye-tracking technology in individuals with autism spectrum disorders: pilot study</i>) <i>Saccadic movements using eye-tracking technology in individuals with autism spectrum disorders: pilot study, s/f</i>	<ul style="list-style-type: none"> Duración media del movimiento sacádico. Duración del movimiento sacádico. Tiempo del punto de fijación. Número de fijaciones 	<ul style="list-style-type: none"> Patrones basados en fijaciones. Patrones basados en movimientos sacádicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Estrategias de exploración visual de individuos con TEA mediante el uso del eye – tracker.
Smooth – I: smart re – calibration using smooth pursuit eye movements (Gomez & Gellersen, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> Fijaciones. Sacadas. Persecuciones suaves. 	<ul style="list-style-type: none"> Patrones basados en fijaciones. Patrones basados en movimientos sacádicos. Patrones basados en persecuciones suaves. 	<ul style="list-style-type: none"> Algoritmo Smooth – i: capaz de almacenar puntos de calibración y actualizarlos de forma incremental al momento de que identifica imprecisiones.
The application of eye – tracking technology in the study of autism (<i>The application of eye-tracking technology in the study of autism - Boraston - 2007 -</i>	<ul style="list-style-type: none"> Fijaciones 	<ul style="list-style-type: none"> Patrones de fijación. 	<ul style="list-style-type: none"> Estudio de los patrones de la mirada usando el eye – tracker.

Nombre del artículo	Métricas que utiliza	Patrones de seguimiento ocular y/o algoritmos	Contribución
<i>The Journal of Physiology - Wiley Online Library, s/f)</i>			
The effects of visual stimuli on attention in children with autism spectrum disorder: an eye – tracking study (Banire et al., 2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Fijaciones. • Sacadas. • Trayectoria de exploración. • Áreas de interés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Patrones basados en fijaciones. • Patrones basados en movimientos sacádicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de los efectos de estímulos visuales sociales y no sociales en la atención de niños con TEA y TD usando el dispositivo eye – tracker y realidad virtual.
The eye – tracking of social stimuli in patients with Rett syndrome and autism spectrum disorders: a pilot study (Schwartzman et al., 2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Duración de la fijación. • Sacadas. • Áreas de interés 	<ul style="list-style-type: none"> • Patrones basados en fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio análisis de fijaciones en estímulos sociales en individuos con TEA, TD y síndrome de Rett.
The impact of social complexity on the visual exploration of other actions in preschoolers with autism spectrum disorder (Robain et al., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Duración de la fijación. • Número de cambio de fijaciones (sacadas). • Áreas de interés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Patrones de fijaciones de cara a cara (FF). • Patrones de fijaciones de cara a objetos (FO). 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de la complejidad social en la exploración visual de niños con TEA y TD.
The potential of eye – tracking as a sensitive measure of behavioural change in response to intervention (Fletcher-Watson & Hampton, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Duración media de la fijación (FD medio). • Tiempo hasta la primera fijación (TTFF). 	<ul style="list-style-type: none"> • Patrones de fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de los patrones de movimientos oculares como medida de cambio de comportamiento. • aplicación FindMe.
Visual attention toward human face recognizing for autism spectrum disorder and normal developing children (Almourad & Bataineh, 2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Duración de la fijación. • Sacadas. • Áreas de interés. • Tiempo hasta la primera fijación (TTFF). 	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa de calor para ver los patrones de fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio del comportamiento visual en niños con TEA y TD a estímulos faciales.
Visual preference for social vs. non – social images in young children with autism spectrum disorders. An eye tracking study (Vacas et al., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo hasta la primera fijación (TTFF). • Duración total de la fijación (TFD). • Tiempo medio por vista. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa de calor para ver los patrones de fijaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio para analizar las preferencias visuales en imágenes sociales y no sociales en niños con TEA y TD.

3.3 Respuesta a las Preguntas de Investigación

En cuanto a la RQ1 sobre cuáles son las métricas que usa el eye – tracker en terapias para individuos con trastorno del espectro autista (TEA) se hallaron artículos donde mencionan la duración media de la fijación (FD), la tasa media de parpadeo (BR) y el diámetro medio de la pupila (PD) usadas en (Lahiri et al., 2013). En los estudios (Banire et al., 2020) (Hauser et al., 2018) utilizaron fijaciones, sacadas, trayectoria de exploración que es la combinación de las fijaciones y las sacadas, y por último las áreas de interés (AOI), (Skaramagkas et al., 2023) usó fijaciones visuales, sacadas, micro sacadas, movimientos suaves, tamaño de la pupila y parpadeos, (Vacas et al., 2021) utilizó 3 métricas 1) tiempo hasta la primera fijación, 2) duración total de la fijación, y 3) tiempo medio por vista. En (Fletcher-Watson & Hampton, 2018) se usó la duración media de la fijación (FD medio) y el tiempo hasta la primera fijación (TTFF). (Muratori et al., 2019) utilizó la duración de la fijación (FD) y las AOI. (Sharafi, Shaffer, et al., 2015) utilizó las AOI, las fijaciones, las sacadas, la dilatación de la pupila y las rutas de exploración.

Con Respecto a la RQ2 sobre cómo utilizan las métricas del eye – tracker en la evaluación de individuos con TEA, (Rosa, 2022) utiliza las métricas FD, movimientos sacádicos y dilatación de la pupila para detectar signos tempranos de TEA en el comportamiento visual ya que proporciona información sobre las diferencias que presentan en los procesos de percepción. En cambio en (Bochet et al., 2021) aplican las métricas anteriores para explorar el procesamiento facial neutral y emocional que presentan los niños con TEA en comparación a los niños con desarrollo típico (TD), en el estudio (eXavier et al., 2015) se usan las métricas para reconocer las emociones e incluyen estímulos visuales (rostros) y multimodales (rostros/voces simultáneamente) para estudiar qué anomalías presenta la mirada de los niños con TEA. En (Robain et al., 2021) las métricas como la FD y movimientos sacádicos son empleadas en diferentes áreas de interés (AOI) para comparar los niveles cognitivos y de lenguaje entre niños con TEA y niños con TD, (Taha Ahmed & Jadhav, 2020) utiliza métricas como los mapas de calor y fijación ocular para comparar resultados entre niños con TEA y TD al observar estímulos visuales dinámicos o estáticos, (Frazier et al., 2018) utiliza duración de la primera fijación, recuento de fijaciones, duración media de la fijación en estímulos para evaluar pacientes con TEA y poder realizar un seguimiento de los niveles de síntomas de autismo, (Swanson & Siller, 2013) utiliza la duración de la fijación en dos AOI 1) objetivo o mirada a los estímulos

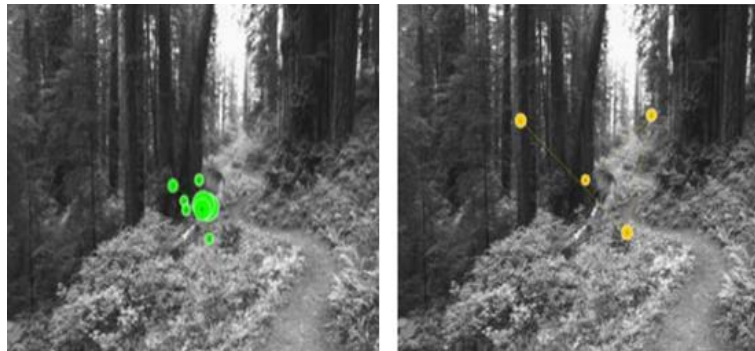
y 2) facial o mirada en el rostro del modelo para medir la atención y evaluar las habilidades sociales de los niños con TEA y con TD.

En relación a la RQ3 sobre los patrones de seguimiento ocular y algoritmos que utilizan los eye – tracker se hallaron estudios donde definen que los patrones están basados en fijaciones, sacadas y movimientos suaves (Gomez & Gellersen, 2018) (*Rapid alternating saccade training | Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications, s/f*), en (Santini et al., 2016) se explica que un algoritmo que distinga entre estos tres patrones es fundamental para las investigaciones de seguimiento ocular. En cambio en las investigaciones (Fuhl et al., 2018a), (Sharafi, Soh, et al., 2015) y (Kurzahls et al., 2016) se define que los tipos de patrones de seguimiento ocular se determinan en función de la velocidad y la duración de la mirada. Los eye – tracker usan algoritmos basados en Machine Learning (aprendizaje automático) los cuales crean detectores a partir de datos anotados o simulados (Fuhl et al., 2018b), capaces de aprender los tipos de movimientos oculares y así descubrir errores de detección de pupilas en los datos brutos de la mirada (Klaib et al., 2021). En (Morales et al., 2018) emplea deep Learning (aprendizaje profundo) y técnicas basadas en redes neuronales recurrentes, el estudio (Kinsman et al., 2012) explica que los algoritmos de fijación trabajan con puntos de referencia (POR) y ego – motion que simplifica la lista de datos de los POR para que sean más manejables para su posterior análisis (Munn et al., 2008), (*Fixation detection for head-mounted eye tracking based on visual similarity of gaze targets | Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications, s/f*) utilizó el algoritmo basados en dispersión I – DT de Salvucci y Goldberg que mide el grado de dispersión de las estimaciones de la mirada para identificar las fijaciones, este trabajan con dos umbrales un parámetro espacial y el segundo umbral representa el tiempo más corto que puede durar una fijación (Wang et al., 2014), (Li et al., 2016) presenta el algorithm DBSCAN que identifica fijaciones y permite consultar los puntos vecinos adyacentes. Para las sacadas (Tauscher et al., 2018) estudia un modelo informático para predecir los objetivos de las sacadas las cuales son medidas mediante electroencefalografía (EEG). (Wu & Trivedi, 2010) utiliza un modelo basado en árbol y clustering (agrupación), (Appel et al., 2016) explica que los algoritmos de detección de pestañeo tienen que ser exactos ya que importante para los algoritmos de seguimiento ocular, algoritmos basados en 5 procesos: adquisición de datos, mejora de imágenes, procesamiento, extracción de

características e identificación de la mirada (Vargas-Cuentas et al., 2017), algoritmo basado en velocidad $I - VT$ (Trabulsi et al., 2021) clasifica los movimientos oculares calculando su velocidad y comparándola con un umbral predefinido (Birawo & Kasprowski, 2022).

En cuanto a la RQ4 sobre qué patrones o diferencias en las métricas del eye – tracker se han encontrado en individuos con TEA en comparación población neurotípicas, el estudio (Almourad & Bataineh, 2020) evaluó la atención visual de participantes autistas (PA) y desarrollo normal (ND) mediante una imagen que contiene un rostro en el centro, dando como resultados que el grupo ND comienza su primera fijación sobre el rostro y mantienen sus puntos de fijaciones cerca de este al contrario del grupo PA cuyas fijaciones fueron alrededor del rostro (Figura 2).

Figura 2. Patrón de mirada del grupo ND y PA

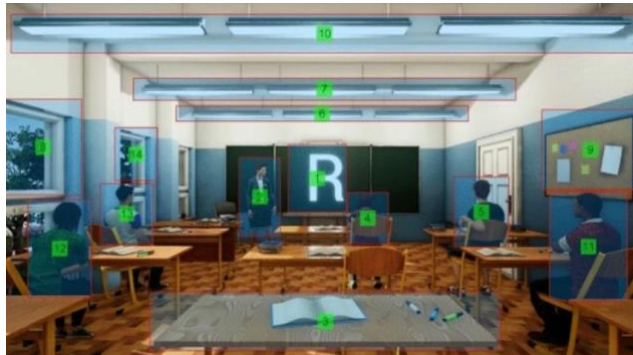


Fuente: M. B. Almourad y E. Bataineh (Almourad & Bataineh, 2020). (2020). ACM Digital Library <https://doi.org/10.1145/3387263.3387283>

(Hochhauser et al., 2021) determina que los participantes con TEA son más lentos que los participantes con TD para detectar objetivos en la primera fijación. (Schwartzman et al., 2015) demuestra que los pacientes con TEA prestan más atención a estímulos no sociales que a los sociales, en comparación a los pacientes con síndrome de Rett y niños con TD quienes si observan los estímulos sociales, los datos de los movimientos oculares proporcionan información sobre los procesos mentales de los niños con TEA (Tan et al., 2018). (*SciELO - Brasil - Saccadic movements using eye-tracking technology in individuals with autism spectrum disorders: pilot study Saccadic movements using eye-tracking technology in individuals with autism spectrum disorders: pilot study, s/f*) en su estudio demostró que los individuos con TEA

dedican más tiempo a realizar movimientos sacádicos al observar las imágenes no sociales. (*The application of eye-tracking technology in the study of autism - Boraston - 2007 - The Journal of Physiology - Wiley Online Library, s/f*) en su estudio determina que los sujetos con autismo realizan menos fijaciones en los ojos y mayores fijaciones en las bocas y objetos de la escena. (Dalrymple et al., 2018) sugiere que la edad determina un cambio en el comportamiento de la mirada de los individuos con TEA. (Banire et al., 2021) estudio los comportamientos de la mirada de niños con TD y TEA en un aula simulada de realidad virtual evaluando las métricas: tiempo hasta la primera fijación (TTFF), la duración de la primera fijación (FFD), la duración promedio del a fijación (AFD) y la suma del reencuentro de fijación (SFC) en 14 áreas de interés (Figura 3).

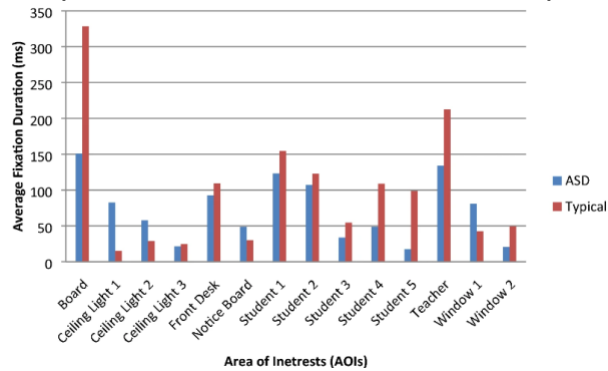
Figura 3. Áreas de interés establecidas



Fuente: B. Banire, D. Al Thani, M. Qaraqe, B. Mansoor, y M. Makki (*Banire et al., 2021*). (2021). Springer Link <https://doi.org/10.1007/s10209-020-00749-0>

En cuanto al tiempo para fijar por primera vez indica que el grupo con TEA le tomó más tiempo fijarse en las primeras dos AOI que al grupo con TD y también mostraban más interés en AOI irrelevantes, la duración de la primera fijación fue similar a excepción del tablero ya que el grupo con TEA dividía su atención entre el tablero (AOI-1), el maestro (AOI-2) y el estudiante (AOI-4) mientras que el grupo con TD fijó su atención completa en el tablero, la duración media de la fijación para cada AOI entre los dos grupos fue similar a excepción del tablero (AOI-1) y en el caso del estudiante 5 (AOI-13) el grupo TD mostró una AFD más alta que el grupo TEA (Figura 4).

Figura 4. Comparación de la AFD en las 14 AOI para ambos grupos



Fuente: B. Banire, D. Al Thani, M. Qaraq, B. Mansoor, y M. Makki (Banire et al., 2021). (2021). Springer Link <https://doi.org/10.1007/s10209-020-00749-0>

3.4 Discusión

El propósito de esta revisión sistemática fue identificar las métricas que usa el dispositivo eye – tracker en terapias para individuos con trastorno espectro autista, luego de un análisis se ha descubierto que entre las métricas más usadas se destacan las siguientes:

- Áreas de Interés (AOI): el uso de las AOI es importante para el análisis de los patrones de mirada en los individuos con TEA (Taha Ahmed & Jadhav, 2020) (Swanson & Siller, 2013), también ayudan a evaluar el desempeño en tareas visuales, auditivas y bimodales (eXavier et al., 2015) y mediante los datos que se recopilan se llega a comprender los síntomas del autismo (Bochet et al., 2021) (Muratori et al., 2019) (Vacas et al., 2021).
- Duración total de la fijación (TFD): (Tan et al., 2018) emplea esta métrica para examinar la distribución de la atención usando filtros de fijación que ya son predeterminados de Tobii Studio, a partir de los datos de esta métrica los algoritmos calculan la posición estimada y la duración de la fijación de la mirada hacia los AOI (Rosa, 2022) (Lahiri et al., 2013), las fijaciones tienden a ser inmóviles y los algoritmos pueden diferenciarlos de los movimientos suaves (Santini et al., 2016) (Gomez & Gellersen, 2018).
- Tiempo hasta la primera fijación (TTFF): (Banire et al., 2021) y (Dalrymple et al., 2018) indican que es el tiempo de menor duración que se registra para el primer AOI que las personas con TEA miran, para (Hochhauser et al., 2021) y (Trabulsi et al., 2021) representan el tiempo que lleva antes de que los individuos con TEA miren un AOI y para (Almourad & Bataineh,

2020) es el tiempo que tarda un individuo con TEA en fijarse en un AOI por primera vez.

- Duración media de la fijación (AFD): (Sharafi, Soh, et al., 2015), (Frazier et al., 2018) y (Fletcher-Watson & Hampton, 2018) coinciden que para esta métrica se tiene en cuenta la hora de inicio y fin de la fijación y el número total de fijaciones para el AOI en específico.
- Parpadeo: (Wu & Trivedi, 2010) define que el patrón de los parpadeos indica la atención del individuo y los datos de estos son analizados mediante algoritmos de detección como árboles binarios, (Appel et al., 2016) implementa su propio algoritmo de detección de parpadeos el cual estima la duración del parpadeo, (Vargas-Cuentas et al., 2017) recalca que los algoritmos de detección de pestañeos requieren una buena calibración para que puedan clasificar de manera correcta los datos.
- Movimientos sacádicos: (Tauscher et al., 2018) y (*Rapid alternating saccade training | Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, s/f) define a las sacadas como movimientos rápidos y simultáneos de los ojos hacia una misma dirección, según los puntos de referencia (POR) los algoritmos pueden clasificar los movimientos oculares entre fijaciones y sacadas (Kinsman et al., 2012), (*SciELO - Brasil - Saccadic movements using eye-tracking technology in individuals with autism spectrum disorders: pilot study Saccadic movements using eye-tracking technology in individuals with autism spectrum disorders: pilot study*, s/f) indica que las personas realizan más movimientos sacádicos cuando en las AOI se muestran personas.
- Ruta de exploración: son las series de fijaciones que representan un patrón de movimiento que presenta un individuo con TEA (Sharafi, Shaffer, et al., 2015), para (Hauser et al., 2018), (Kurzahls et al., 2016) y (Banire et al., 2020) las rutas de exploración representan combinaciones entre fijaciones y sacadas, las cuales son excelentes para la interpretación de los datos que se recogen.
- Fijación: es cuando el ojo está quieto enfocando un objeto (Birawo & Kasprowski, 2022), el objetivo de identificar fijaciones es reducir la complejidad de los datos que se obtienen (Li et al., 2016), los métodos de detección de fijación se pueden clasificar en: 1) basados en la velocidad (*Fixation detection for head-mounted eye tracking based on visual similarity of gaze targets | Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, s/f) como el de identificación por

umbral de velocidad (IVT) (Skaramagkas et al., 2023), el cual utiliza un umbral para identificar fijaciones (Munn et al., 2008), 2) basados en la dispersión como el algoritmo de identificación por dispersión umbral (IDT) (Fuhl et al., 2018b) y 3) basados en datos (Wang et al., 2014), otros algoritmos usados para identificar fijaciones están basados en Machine Learning (Klaib et al., 2021) (Fuhl et al., 2018a), o modelos de aprendizaje profundo (Deep Learning) (Morales et al., 2018).

Este análisis sistemático identifica las métricas más utilizadas por los dispositivos eye-tracker en terapias para individuos con trastorno del espectro autista (TEA). Entre las métricas destacadas se incluyen las Áreas de Interés (AOI), la duración total de la fijación (TFD), el tiempo hasta la primera fijación (TTFF), la duración media de la fijación (AFD), parpadeos, movimientos sacádicos, rutas de exploración, y fijaciones. Estas métricas proporcionan información detallada sobre los patrones de mirada y comportamientos visuales en personas con TEA, aunque se ha señalado que los datos pueden ser inexactos si no se clasifican correctamente entre fijaciones, sacadas y parpadeos.

4. Conclusiones

El análisis de los estudios seleccionados ayudó a identificar los patrones de seguimiento ocular, las métricas y los algoritmos que los eye – tracker utilizan y cómo la unión de estos abre un horizonte de posibilidades en el ámbito de las terapias para individuos con trastorno del espectro autista (TEA). La capacidad del eye – tracker para registrar con precisión la atención visual y los movimientos oculares proporciona un medio invaluable para atender y abordar las complejidades que caracteriza el TEA. Los patrones de seguimiento ocular ofrecen una ventaja sin igual hacia la percepción visual y los comportamientos atencionales específicos de las personas con TEA.

Las principales métricas del eye – tracker como las áreas de interés (AOI), duración total de la fijación (TFD), tiempo hasta la primera fijación (TTFF), duración media de la fijación (AFD), parpadeo, movimientos sacádicos, ruta de exploración y fijaciones, no sólo revelan diferencias fundamentales en la atención y el procesamiento visual, sino que también ofrecen puntos de intervención para las terapias y así poder evaluar el progreso terapéutico de los individuos con TEA.

Los algoritmos de identificación de fijaciones, sacadas y suavizados de datos permiten una interpretación más profunda y precisa de los datos recopilados, tienen la capacidad de identificar patrones específicos como la atención a estímulos sociales o la identificación de áreas de interés. Por último, la sinergia entre los patrones de seguimiento ocular, las métricas y los algoritmos del eye – tracker proporciona conocimientos valiosos para la mejora de las terapias y mejorar la calidad de vida y el bienestar de los individuos con TEA.

5. Referencias

- Almourad, M. B., & Bataineh, E. (2020). Visual Attention toward Human Face Recognizing for Autism Spectrum Disorder and Normal Developing Children: An Eye Tracking Study. *Proceedings of the 2020 The 6th International Conference on E-Business and Applications*, 99–104. <https://doi.org/10.1145/3387263.3387283>
- Appel, T., Santini, T., & Kasneci, E. (2016). Brightness- and motion-based blink detection for head-mounted eye trackers. *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on with an emphasis on machine learning and Internet of Things technologies. Expert Systems with Applications*, 166, 114037. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114037>
- Banire, B., Al Thani, D., Qaraq, M., Mansoor, B., & Makki, M. (2021). Impact of mainstream classroom setting on attention of children with autism spectrum disorder: An eye-tracking study. *Universal Access in the Information Society*, 20(4), 785–795. <https://doi.org/10.1007/s10209-020-00749-0>
- Banire, B., Al-Thani, D., Qaraq, M., Khowaja, K., & 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. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3045042>
- Birawo, B., & Kasprowski, P. (2022). Review and Evaluation of Eye Movement Event Detection Algorithms. *Sensors*, 22(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/s22228810>
- Bochet, A., Franchini, M., Kojovic, N., Glaser, B., & Schaer, M. (2021). Emotional vs. Neutral Face Exploration and Habituation: An Eye-Tracking Study of Preschoolers With Autism Spectrum Disorders. *Frontiers in Psychiatry*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.568997>

- Dalrymple, K. A., Wall, N., Spezio, M., Hazlett, H. C., Piven, J., & Elison, J. T. (2018). Rapid face orienting in infants and school-age children with and without autism: Exploring measurement invariance in eye-tracking. *PLoS ONE*, *13*(8), e0202875. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202875>
- eXavier, J., eVignaud, V., eRuggiero, R., eBodeau, N., eCohen, D., & eChaby, L. (2015). A Multidimensional Approach to the Study of Emotion Recognition in Autism Spectrum Disorders. *Frontiers in Psychology*, *6*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01954>
- Fixation detection for head-mounted eye tracking based on visual similarity of gaze targets | Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications.* (s/f). Recuperado el 18 de agosto de 2023, de <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3204493.3204538>
- Fletcher-Watson, S., & Hampton, S. (2018). The potential of eye-tracking as a sensitive measure of behavioural change in response to intervention. *Scientific Reports*, *8*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32444-9>
- Frazier, T. W., Klingemier, E. W., Parikh, S., Speer, L., Strauss, M. S., Eng, C., Hardan, A. Y., & Youngstrom, E. A. (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*, *57*(11), 858–866. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2018.06.023>
- Fuhl, W., Castner, N., & Kasneci, E. (2018a). Histogram of oriented velocities for eye movement detection. *Proceedings of the Workshop on Modeling Cognitive Processes from Multimodal Data*, 1–6. <https://doi.org/10.1145/3279810.3279843>
- Fuhl, W., Castner, N., & Kasneci, E. (2018b). Rule-based learning for eye movement type detection. *Proceedings of the Workshop on Modeling Cognitive Processes from Multimodal Data*, 1–6. <https://doi.org/10.1145/3279810.3279844>
- Gomez, A. R., & Gellersen, H. (2018). Smooth-i: Smart re-calibration using smooth pursuit eye movements. *Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3204493.3204585>
- Hauser, F., Mottok, J., & Gruber, H. (2018). Eye Tracking Metrics in Software Engineering. *Proceedings of the 3rd European Conference of Software Engineering Education*, 39–44. <https://doi.org/10.1145/3209087.3209092>

- Hochhauser, M., Aran, A., & Grynszpan, O. (2021). Investigating attention in young adults with autism spectrum disorder (ASD) using change blindness and eye tracking. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 84, 101771. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2021.101771>
- Kinsman, T., Evans, K., Sweeney, G., Keane, T., & Pelz, J. (2012). Ego-motion compensation improves fixation detection in wearable eye tracking. *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 221–224. <https://doi.org/10.1145/2168556.2168599>
- Klaib, A. F., Alsrehin, N. O., Melhem, W. Y., Bashtawi, H. O., & Magableh, A. A. (2021). Eye tracking algorithms, techniques, tools, and applications with an emphasis on machine learning and Internet of Things technologies. *Expert Systems with Applications*, 166, 114037. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114037>
- Kurzahls, K., Hlawatsch, M., Burch, M., & Weiskopf, D. (2016). Fixation-image charts. *Proceedings of the Ninth Biennial ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, 11–18. <https://doi.org/10.1145/2857491.2857507>
- Lahiri, U., Bekele, E., Dohrmann, E., Warren, Z., & Sarkar, N. (2013). Design of a Virtual Reality Based Adaptive Response Technology for Children With Autism. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 21(1), 55–64. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2012.2218618>
- Li, B., Wang, Q., Barney, E., Hart, L., Wall, C., Chawarska, K., de Urabain, I. S., Smith, T. J., & Shic, F. (2016). Modified DBSCAN algorithm on oculomotor fixation identification. *Proceedings of the Ninth Biennial ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, 337–338. <https://doi.org/10.1145/2857491.2888587>
- Martínez, L. (2021). Casos exploratorios aplicados a partir de distintos diseños metodológicos: Eye-tracking fijo y online. *Comunicación & Métodos*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.35951/v3i2.136>
- Morales, A., Costela, F. M., Tolosana, R., & Woods, R. L. (2018). Saccade Landing Point Prediction: A Novel Approach based on Recurrent Neural Networks. *Proceedings of the 2018 International Conference on Machine Learning Technologies*, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3231884.3231890>
- Munn, S. M., Stefano, L., & Pelz, J. B. (2008). Fixation-identification in dynamic scenes: Comparing an automated algorithm to manual coding. *Proceedings of the 5th symposium on Applied perception in graphics and visualization*, 33–42. <https://doi.org/10.1145/1394281.1394287>

- Muratori, F., Billeci, L., Calderoni, S., Boncoddò, M., Lattarulo, C., Costanzo, V., Turi, M., Colombi, C., & Narzisi, A. (2019). How Attention to Faces and Objects Changes Over Time in Toddlers with Autism Spectrum Disorders: Preliminary Evidence from An Eye Tracking Study. *Brain Sciences*, 9(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/brainsci9120344>
- Rapid alternating saccade training | Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications.* (s/f). Recuperado el 19 de agosto de 2023, de <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3204493.3204588>
- Robain, F., Kojovic, N., Solazzo, S., Glaser, B., Franchini, M., & Schaer, M. (2021). The impact of social complexity on the visual exploration of others' actions in preschoolers with autism spectrum disorder. *BMC Psychology*, 9(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40359-021-00553-2>
- Rosa, A. D. (2022, febrero 28). Application of Eye-tracking in research on the theory of mind in ASD. *European Review*. <https://www.europeanreview.org/article/28129>
- Sanchez, M. (2022, abril 7). La tecnología como ayuda para los niños con TEA. *Atlantic International Technology*. <https://www.atlantic.es/blog/la-tecnologia-como-ayuda-para-los-ninos-con-tea/>
- Sanromà-Giménez, M., Lázaro-Cantabrana, J. L., & Gisbert-Cervera, M. (2018). El papel de las tecnologías digitales en la intervención educativa de niños con trastorno del espectro autista. *RiiTE Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*. <https://doi.org/10.6018/riite/2018/327991>
- Santini, T., Fuhl, W., Kübler, T., & Kasneci, E. (2016). Bayesian identification of fixations, saccades, and smooth pursuits. *Proceedings of the Ninth Biennial ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, 163–170. <https://doi.org/10.1145/2857491.2857512>
- Sasson, N. J., & Elison, J. T. (2012). Eye Tracking Young Children with Autism. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, 61, e3675. <https://doi.org/10.3791/3675>
- Schwartzman, J. S., Velloso, R. de L., D'Antino, M. E. F., & Santos, S. (2015). The eye-tracking of social stimuli in patients with Rett syndrome and autism spectrum disorders: A pilot study. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 73, 402–407. <https://doi.org/10.1590/0004-282X20150033>
- SciELO - Brasil—Saccadic movements using eye-tracking technology in individuals with autism spectrum disorders: Pilot study* Saccadic movements using eye-tracking technology in individuals with autism spectrum disorders: Pilot study. (s/f). Recuperado el 26 de agosto de 2023, de <https://www.scielo.br/j/anp/a/Db95r6fvqWKKQmxKGZNBZ8b/?lang=en>

- Serrano Baraja, A. L. (2022). *Revisión sociohistórica del concepto de autismo y sus implicaciones epistemológicas en los últimos cuarenta años* [masterThesis, Quito, EC: Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador]. <http://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/8597>
- Sharafi, Z., Shaffer, T., Sharif, B., & Guéhéneuc, Y.-G. (2015). Eye-Tracking Metrics in Software Engineering. *2015 Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)*, 96–103. <https://doi.org/10.1109/APSEC.2015.53>
- Sharafi, Z., Soh, Z., & Guéhéneuc, Y.-G. (2015). A systematic literature review on the usage of eye-tracking in software engineering. *Information and Software Technology*, 67, 79–107. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.06.008>
- Skaramagkas, V., Giannakakis, G., Ktistakis, E., Manousos, D., Karatzanis, I., Tachos, N. S., Tripoliti, E., Marias, K., Fotiadis, D. I., & Tsiknakis, M. (2023). Review of Eye Tracking Metrics Involved in Emotional and Cognitive Processes. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 16, 260–277. <https://doi.org/10.1109/RBME.2021.3066072>
- Swanson, M. R., & Siller, M. (2013). Patterns of gaze behavior during an eye-tracking measure of joint attention in typically developing children and children with autism spectrum disorder. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 7(9), 1087–1096. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2013.05.007>
- Taha Ahmed, Z. A., & Jadhav, M. E. (2020). A Review of Early Detection of Autism Based on Eye-Tracking and Sensing Technology. *2020 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, 160–166. <https://doi.org/10.1109/ICICT48043.2020.9112493>
- Tan, E., Wu, X., Nishida, T., Huang, D., Chen, Z., & Yi, L. (2018). Analogical Reasoning in Children With Autism Spectrum Disorder: Evidence From an Eye-Tracking Approach. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00847>
- Tauscher, J.-P., Schottky, F. W., Grogorick, S., Magnor, M., & Mustafa, M. (2018). Analysis of neural correlates of saccadic eye movements. *Proceedings of the 15th ACM Symposium on Applied Perception*, 1–9. <https://doi.org/10.1145/3225153.3225164>
- The application of eye-tracking technology in the study of autism—Boraston—2007—The Journal of Physiology—Wiley Online Library.* (s/f). Recuperado el 3 de septiembre de 2023, de <https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1113/jphysiol.2007.133587>

- Trabulsi, J., Norouzi, K., Suurmets, S., Storm, M., & Ramsøy, T. Z. (2021). Optimizing Fixation Filters for Eye-Tracking on Small Screens. *Frontiers in Neuroscience*, 15. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2021.578439>
- Vaca-Cardenas, L., Avila-Pesantez, D., Vaca-Cárdenas, M., & Meza, J. (2020). Trends and Challenges of HCI in the New Paradigm of Cognitive Cities. *2020 Seventh International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG)*, 120–126. <https://doi.org/10.1109/ICEDEG48599.2020.9096845>
- Vacas, J., Antolí, A., Sánchez-Raya, A., Pérez-Dueñas, C., & Cuadrado, F. (2021). Visual preference for social vs. Non-social images in young children with autism spectrum disorders. An eye tracking study. *PLoS ONE*, 16(6), e0252795. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252795>
- Vargas-Cuentas, N. I., Roman-Gonzalez, A., Gilman, R. H., Barrientos, F., Ting, J., Hidalgo, D., Jensen, K., & Zimic, M. (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>
- Wang, Q., Kim, E., Chawarska, K., Scassellati, B., Zucker, S., & Shic, F. (2014). On relationships between fixation identification algorithms and fractal box counting methods. *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 67–74. <https://doi.org/10.1145/2578153.2578161>
- Wu, J., & Trivedi, M. M. (2010). An eye localization, tracking and blink pattern recognition system: Algorithm and evaluation. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, 6(2), 8:1-8:23. <https://doi.org/10.1145/1671962.1671964>
- Yaneva, V., Ha, L. A., Eraslan, S., Yesilada, Y., & Mitkov, R. (2018). Detecting Autism Based on Eye-Tracking Data from Web Searching Tasks. *Proceedings of the 15th International Web for All Conference*, 1–10. <https://doi.org/10.1145/3192714.3192819>