



UNIVERSIDAD DE DEUSTO

SOLUCIÓN TECNOLÓGICA PARA LA  
DETECCIÓN PRECOZ AUTOMÁTICA DE  
TRASTORNOS DE ESPECTRO AUTISTA EN  
NIÑOS BASADA EN SERIOUS GAMES Y  
TECNOLOGÍA EYE TRACKING

Tesis doctoral presentada por Nuria Aresti Bartolomé  
dentro del Programa de Doctorado en Ingeniería Informática y Telecomunicación  
Dirigida por Dr. M<sup>o</sup> Begoña García Zapirain





UNIVERSIDAD DE DEUSTO

**SOLUCIÓN TECNOLÓGICA PARA LA  
DETECCIÓN PRECOZ AUTOMÁTICA DE  
TRASTORNOS DE ESPECTRO AUTISTA EN  
NIÑOS BASADA EN SERIOUS GAMES Y  
TECNOLOGÍA EYE TRACKING**

Tesis doctoral presentada por Nuria Aresti Bartolomé  
dentro del Programa de Doctorado en Ingeniería Informática y Telecomunicación  
Dirigida por Dr. M<sup>o</sup> Begoña García Zapirain

El doctorando

El director

Bilbao, Noviembre de 2015

Nuria Aresti Bartolomé: *Solución tecnológica para la detección precoz automática de Trastornos de Espectro Autista en niños basada en serious games y tecnología Eye Tracking*

E-MAIL: [nuriaaresti@gmail.com](mailto:nuriaaresti@gmail.com)

noviembre 2015

---

*A mi familia*



## Resumen

En los últimos años, el Trastorno del Espectro Autista (TEA) ha generado un gran interés en el mundo científico, logrando un aumento de investigaciones, tanto a nivel médico como a nivel tecnológico. En el ámbito de la tecnología, las herramientas desarrolladas, abarcando desde aplicaciones dedicadas, desarrollo de robots o tecnología EyeTracking, están teniendo un impacto muy positivo y una gran aceptación ya que son un gran apoyo para trabajar los puntos fuertes y débiles de las personas con TEA. Sin embargo, a pesar de las ventajas que presentan, en su mayoría, estas herramientas están pensadas para trabajar de forma individualizada con el sistema, olvidando el trabajar las relaciones sociales. Asimismo, están enfocadas a ser utilizadas una vez realizado el diagnóstico, olvidando la necesidad existente de realizar una detección precoz con el fin de comenzar a trabajar las áreas de afectación del TEA lo antes posible, mejorando de esta forma su calidad de vida.

Partiendo de la problemática, en esta tesis se formula la siguiente hipótesis: « *Es posible obtener indicadores objetivos que ayuden a detectar el Trastorno del Espectro Autismo mediante las tecnologías de seguimiento ocular y Serious Game colaborativos* ». Para ello, se propone un sistema basado en la integración de diversas tecnologías como son serious game colaborativos, tecnologías de seguimiento ocular y técnicas de inteligencia artificial, junto con un sistema de configuración del serious game. Los serious games colaborativos planteados han sido diseñados siguiendo el enfoque 'Diseño Centrado en el Usuario' con el fin de alcanzar un sistema accesible que cubra las necesidades de las personas con TEA. Los Serious Game implementan ejercicios mediante los cuales se trabaja la comunicación entre el niño/a - responsable obteniendo resultados en términos de aciertos, errores, tiempos y modos de interacción que son combinados mediante algoritmos con la información proveniente del dispositivo hardware de seguimiento ocular (EyeTracker). Gracias al EyeTracker se capturan los parámetros asociados a la mirada analizando las regiones de interés donde se centra la atención

visual, la duración de la fijación de la mirada en cada una de ellas y el modo exploratorio que realizan los participantes de la pantalla a lo largo del Serious Game. La información obtenida es procesada mediante la integración de métodos estadísticos no paramétricos junto con técnicas de inteligencia artificial enfocadas en la clasificación y reducción de características tales como ADTree, SVM, Naive Bayes, Random Forest, J48 encargadas de seleccionar los indicadores críticos para la detección. Asimismo, se ha realizado un análisis estadístico completo de la información obtenida. Como resultado de las pruebas del sistema llevadas a cabo con 20 niños de entre 3 y 8 años de edad con diagnóstico de Trastorno del Espectro Autista, Grupo Clínico, y 20 niños de edades similares con desarrollo neurotípico, Grupo Control, se ha comprobado, entre otras, las diferencias existentes entre ambos grupos a la hora de comunicarse con otras personas, llegando a necesitar el Grupo Clínico una media de 20,85 segundos para solicitar ayuda frente a los 4,45 segundos del Grupo Control. Asimismo, se ha detectado la tendencia del Grupo Clínico a llevar su mirada al punto más inferior de la pantalla realizando un número de fijaciones muy bajo en la parte central de la misma. Gracias a la combinación de estos resultados se han obtenido 21 indicadores críticos a emplear en la detección precoz con un porcentaje de aciertos en la clasificación del 95 %.

Estos resultados demuestran como las características extraídas ayudan a definir los patrones atípicos tanto de mirada como de interacción de las personas con TEA cuando se ven involucrados en situaciones sociales, convirtiéndose en indicadores a considerar en la detección precoz del autismo. Validándose por tanto la hipótesis planteada, abriendo nuevas líneas de investigación para mejorar y detectar de forma temprana posibles casos de TEA y por tanto ayudando a mejorar su calidad de vida.

## Abstract

In recent years, Autism Spectrum Disorders (ASD) has generated a great interest in the scientific community, increasing the number of investigations both at medical and technological level. In the area of technology, the developed tools, such as Dedicated Applications, robots or eyetracking technology, are having a positive impact and a high acceptance. These types of solutions enable people with ASD to practice their strengths and work on their weaknesses. However, despite their advantages these studies involve people with autism working individually with the tool forgetting to work the social relationships. Beside, they are focused on being used once the diagnosis was made, ignoring the existing need for early detection in order to start working the affected areas of ASD as soon as possible, improving the quality of their life. Based on the problem, in this thesis the following hypothesis is made: *« it is possible to obtain objective indicators to help with early detection of autism spectrum disorder through eye-tracking technology and Collaborative Serious Game »*.

To do this, a system based on the integration of various technologies such as collaborative serious game, eye-tracking technologies and artificial intelligence techniques is proposed with a configuration tool.

The collaborative serious games of this research have been designed following the approach 'User Centered Design' in order to achieve an accessible system which covers the needs of people with ASD. The Serious Game implements exercises where communication is carried out between the child / a - responsible achieving results in terms of successes, failures, times and modes of interaction. They are combined with information from the hardware eye-tracking device (EyeTracker). Through the EyeTracker the parameters associated with the gaze are captured, analyzing regions of interest , the duration of the fixating on each of them and the way the participants explore the screen during the Serious Game. The obtained information is processed by the integration of non-parametric statistical methods with artificial intelligence techniques focused on classification and reduction features such as ADTree, SVM, NaiveBayes,

Random Forest, J48. These technics are responsible for selecting the critical indicators for detection. A complete statistical analysis of the information has also been conducted.

The testing of the system has been conducted with 20 children between 3 and 8 years age old diagnosed with Autism Spectrum Disorder, Clinical Group, and 20 children of similar ages with neurotypical development, Control Group. As a result, it have been found differences between both groups when communicating with people, among others. The Clinical group has needed an average of 20.85 seconds for assistance compared to the 4.45 seconds of the control group. It has also been detected the trend of the clinical group to gaze the lowest point of the screen making a very low number of fixations in the central part of it. Through the combination of these results 21 critical indicators were obtained to use them in early detection with a percentage of correct classification of 95 %.

These results demonstrate how the extracted features help to define both atypical patterns of gaze and interaction of people with ASD when they get involved in social situations, becoming indicators to consider in the early detection of autism. Thus, the hypothesis is validated opening new lines of research to enhance and to detect possible cases of TEA young children, helping to improve their quality of life.

## Laburpena

Azken urteetan, Espektru Autistaren Gaitzak (EAG), mundu zientifikoan interes handia sortu du eta bide batez, medikuntza zein teknologi arloetan, ikerketa kopurua handitzea lortu du. Teknologia mailan garaturiko erramintak, besteak beste, berezko aplikazioak, roboten garapena eta Eyetracking dira. Erraminta hauek oso eragin onuragarria dute eta harrera oso ona izaten ari dira, laguntza handikoak baitira EAG duten pertsonen alde indartsuak eta ahulak lantzeko. Hala ere, nahiz eta abantailak nabarmenak izan erraminta hauen gehiengoak sistemarekin modu banakakoan lan egiteko pentsatuak daude eta ez harreman sozialak lantzeko. Halaber, behin diagnostikoa egina dagoela erabiltzeko bideratuak daude, alde batera utziz detekzio goiztiar baten beharra. EAGak mindutako eremuak lehen bait lehen detektatuz gaixoen bizi kalitatea hobetuko litzateke.

Problematika hau abiapuntu bezala hartuz, tesi honetan hurrengo hipotesia adierazten da: *«Jarraipen okularreko sistemak eta Serious Game laguntzaileak bezalako teknologiak erabiliz, Espektru Autistaren Gaitza igartzen laguntzen duten adierazle objektiboak lortzea ahalbidetzen da»*. Horretarako, Serious Game laguntzaileak, jarraipen okularreko teknologiak eta adimen artifizialean oinarrituriko sistema bat proposatzen da, Serious Game-aren konfigurazio sistema batekin batera.

Proposatutako Serious Game laguntzaileak “rabiltzailean Oinarrituriko Diseinua”-ren ikuspegitik diseinatuak izan dira, EAG-a duten pertsonen beharrak asetzera helburutzat duen sistema ulergarri bat garatzerako orduan. Serious Game-ek haur eta arduradunen arteko komunikazioa lantzen dituzten ariketa batzuk ahalbidetzen dituzte non emaitza bezala asmatzeak, erroreak, denborak eta elkarrekintza moduak lortzen dituzten. Emaitza hauek, EyeTracker jarraipen okularreko hardware dispositiboak ematen duen informazioarekin batera algoritmoen bitartez konbinatzen dira. EyeTracker-ari esker Serious Gamearen pantailan zehar parte hartzaileen begiradaren parametroak harrapatzen dira. Era honetan, ikus-arreta zentratzen duten interes guneak, gune bakoitzean begiradaren finkatze denborak eta erabiltzen duten modu esploratzaileak aztertzen dira. Lorturiko informazioa metodo estatistiko ez-parametrikotik eta adimen artifizial teknikak integratuz

aztertu da. Azken hauek, ADTree, SVM, NaiveBayes, Random Forest eta J48 bezalako teknikak, detekzioarako adierazle kritikoak aukeratzeko ardura duten ezaugarrien sailkapen eta murrizketan bideratuak daude. Era berean, lorturiko informazioarekin analisi estatistiko oso bat burutu da.

Autista Espektru Gaitza diagnostikaturiko 3 eta 8 urte bitarteko 20 haurri (Talde-Klinikoa) eta garapen neurotipikoa duten adin antzeko beste 20 haurri (Kontrol-Taldea) egindako proba sistematikoen emaitzen bidez, bi taldeen artean beste pertsonekin komunikatzerakoan dauden desberdintasunak egiaztatu dira, besteak beste. Talde Klinikokoek batazbeste 20,85 segundo behar izan dituzte laguntza eskatzeko, berriz, Kontrol Taldekoek 4,45 segundo behar izan dituzte. Halaber, Talde Klinikokoak pantailaren azpikaldeko puntura begiratzeko joera handia duela antzeman da, pantailaren erdiko zatian fijasio kopurua oso baxua izanik. Emaitza hauen konbinazioari esker 21 adierazle kritiko lortu dira, goiztiar detekzioan erabiltzekoak, sailkapenean %95eko asmatze portzentaiarekin.

Emaitza hauek lortutako ezaugarriek AEG duten pertsonen begiradaren eta giza egoeretako interakzioen patroia atipikoak definitzen laguntzen dutela frogatzen dute, autismoaren detekzio goiztiarrerako adierazle bilakatuz.

Beraz, adierazitako hipotesia frogatuta gelditzen da, AEG kasu posibleen detekzioa goiztiarra hobetuz eta ikerketa esparru berriak irekiaz, eta, ondorioz, gaixoen bizi kalitatea hobetzea ahalbideratuz.

## Agradecimientos

Llegado este momento me gustaría agradecer a todas las personas que han estado presentes durante el periodo de mi tesis.

Gracias a mi directora Begoña García por haberme dado la oportunidad de trabajar en la unidad DeustoTech-Life y conocer desde dentro el mundo de la investigación así como el apoyo en la elección del tema de mi trabajo y la orientación brindada durante la tesis.

Agradecer a todos mis antiguos compañeros de DeustoTech-Life por los grandes momentos que hemos pasado juntos, las risas y conversaciones en los descansos y horas de la comida, los consejos y ayudas dadas no solo en el campo de la tesis sino en el personal y los ánimos a seguir adelante en los momentos bajos de la tesis. Y a mis nuevos compañeros de trabajo que siempre consiguen sacarme una sonrisa.

Dar las gracias a la asociación de APNABI y al Colegio Vizcaya por su colaboración y confianza depositada en mi investigación ya que han sido fundamentales en la tesis, así como todas las familias y niño/as que han participado en la fase final.

Y por supuesto, agradecer de todo corazón a mi familia y amigos por el cariño incondicional, por estar siempre apoyándome y dándome fuerzas.

*Eskerrik asko!*



# Índice general

<b>Índice general</b>	<b>xi</b>
<b>Índice de ilustraciones</b>	<b>xvii</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>xxi</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Justificación de la investigación . . . . .	3
1.2 Hipótesis . . . . .	4
1.3 Objetivos . . . . .	4
1.4 Metodología . . . . .	5
1.5 Estructura de la tesis . . . . .	6
<b>2 Estado del arte</b>	<b>9</b>
2.1 Sección médica: Trastorno del Espectro Autista . . . . .	9
2.1.1 Evolución histórica Trastorno del Espectro Autista . . . . .	9
2.1.2 Sistemas clasificatorios del Trastorno del Espectro Autista . . . . .	12
2.1.3 Detección del Trastorno del Espectro Autista . . . . .	17
2.1.4 Diagnóstico del Trastorno del Espectro Autista . . . . .	19
2.1.5 Tratamiento e intervención del Trastorno del Espectro Autista . . . . .	21
2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista	22
2.2.1 Aplicaciones de realidad mixta . . . . .	23
2.2.1.1 Comunicación e interacción . . . . .	23
2.2.1.2 Aprendizaje e imitación de habilidades sociales . . . . .	25
2.2.1.3 Otros problemas . . . . .	26
2.2.1.4 Conclusiones . . . . .	26
2.2.2 Aplicaciones dedicadas . . . . .	30

## ÍNDICE GENERAL

---

2.2.2.1	Comunicación e interacción . . . . .	30
2.2.2.2	Aprendizaje e imitación de habilidades sociales . . . . .	31
2.2.2.3	Otros problemas asociados . . . . .	32
2.2.2.4	Conclusiones . . . . .	34
2.2.3	Sistemas Telehealth . . . . .	39
2.2.3.1	Telehealth dirigido a los familiares . . . . .	39
2.2.3.2	Telehealth dirigido al diagnóstico o tratamiento del TEA . . . . .	40
2.2.3.3	Conclusiones . . . . .	41
2.2.4	Robots . . . . .	44
2.2.4.1	Comunicación e interacción . . . . .	44
2.2.4.2	Aprendizaje e imitación de habilidades sociales . . . . .	45
2.2.4.3	Conclusiones . . . . .	46
2.2.5	Tecnología EyeTracking . . . . .	50
2.2.5.1	Evolución histórica: Tecnología EyeTracking . . . . .	50
2.2.5.2	Sistemas EyeTracker comerciales . . . . .	53
2.2.5.3	Tendencias de uso del EyeTracking . . . . .	56
2.2.5.4	Tendencias e investigaciones del EyeTracking en colectivos TEA	56
2.2.5.4.1	Procesamiento de la información social . . . . .	56
2.2.5.4.2	Evaluación de las caras/ Exploración de las caras . . . . .	63
2.2.5.4.3	Detección y clasificación del autismo mediante Eye Tracking . . . . .	68
2.2.6	Conclusiones de la sección tecnológica . . . . .	70
2.3	Conclusiones . . . . .	75
<b>3</b>	<b>Solución propuesta</b>	<b>79</b>
3.1	Consideraciones previas . . . . .	81
3.1.1	Entorno de desarrollo . . . . .	81
3.1.2	Dispositivos hardware . . . . .	82
3.1.3	Seguridad . . . . .	82
3.2	Especificación de interfaces basadas en el diseño centrado en el usuario (User Center Design) . . . . .	83
3.3	Diseño Alto Nivel . . . . .	87
3.3.1	Diseño Alto Nivel del Sistema de Configuración . . . . .	87
3.3.1.1	Acceso al sistema . . . . .	88

3.3.1.2	A- Configuración de usuarios . . . . .	88
3.3.1.3	B- Configuración de juegos . . . . .	89
3.3.1.4	C- Informes . . . . .	90
3.3.2	Diseño Alto Nivel del Serious Game . . . . .	90
3.3.2.1	Calibración del EyeTracker . . . . .	91
3.3.2.2	Login y Selección del Nivel . . . . .	91
3.3.2.3	A-Conectar Eye Tracker . . . . .	91
3.3.2.4	B-Módulo Configuración del juego . . . . .	92
3.3.2.5	C-Motor del juego . . . . .	93
3.3.3	Diseño Alto Nivel del Módulo Validación del Sistema . . . . .	93
3.3.3.1	A- Configuración Preliminar . . . . .	94
3.3.3.2	B- Procesado . . . . .	95
3.3.3.3	C- Clasificación . . . . .	96
3.4	Diseño Bajo nivel . . . . .	96
3.4.1	Diseño de Bajo Nivel Sistema de configuración . . . . .	96
3.4.1.1	Acceso al sistema . . . . .	96
3.4.1.2	A- Configuración de usuarios . . . . .	97
3.4.1.3	B- Configuración de juegos . . . . .	98
3.4.1.4	C- Informes . . . . .	100
3.4.2	Diseño de Bajo Nivel Serious Game . . . . .	100
3.4.2.1	Calibración del EyeTracker . . . . .	100
3.4.2.2	Login y Selección del Nivel . . . . .	102
3.4.2.3	A-Conectar Eye Tracker . . . . .	104
3.4.2.4	B-Módulo Configuración del juego . . . . .	104
3.4.2.5	C-Motor del juego . . . . .	106
3.4.3	Diseño de Bajo Nivel del Módulo Validación del Sistema . . . . .	110
3.4.3.1	A- Configuración Preliminar . . . . .	110
3.4.3.2	B- Procesado . . . . .	122
3.4.3.3	C- Clasificación . . . . .	125
3.5	Sumario . . . . .	126

## ÍNDICE GENERAL

---

<b>4</b>	<b>Experimentación y resultados</b>	<b>127</b>
4.1	Experimentación . . . . .	127
4.1.1	Base de datos de los participantes . . . . .	127
4.1.1.1	Participantes . . . . .	128
4.1.1.2	Criterios de inclusión / exclusión . . . . .	128
4.1.1.3	Resultados Test M-CHAT Grupo Control . . . . .	129
4.1.2	Procedimiento de la investigación . . . . .	129
4.1.2.1	Protocolo de pruebas . . . . .	130
4.1.2.2	Entorno de pruebas . . . . .	133
4.2	Resultados del módulo de validación del sistema . . . . .	133
4.2.1	A- Configuración Preliminar . . . . .	134
4.2.1.1	Set Interacción con los responsables (S1) . . . . .	134
4.2.1.2	Set Interacción con el sistema . . . . .	143
4.2.1.3	Set EyeTracker . . . . .	149
4.2.1.4	Conclusiones . . . . .	166
4.2.2	B- Procesado . . . . .	167
4.2.2.1	1º Fase: Análisis Estadístico . . . . .	167
4.2.2.2	2º Fase: Selección de características . . . . .	193
4.2.2.3	Resultado Set final de indicadores (Sx') - TEAgrama . . . . .	201
4.2.2.4	Conclusiones . . . . .	203
4.2.3	C- Clasificación . . . . .	204
4.2.3.1	Resultados clasificación Set interacción sistema más Set interacción Responsable . . . . .	205
4.2.3.2	Resultados clasificación Set completo de indicadores . . . . .	207
4.2.3.3	Conclusiones . . . . .	209
4.3	Resultados test de usabilidad . . . . .	211
4.4	Conclusiones . . . . .	213
<b>5</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>217</b>
5.1	Cumplimiento de objetivos . . . . .	217
5.2	Impacto científico . . . . .	221
5.2.1	Artículos en revistas científicas . . . . .	221
5.2.2	Artículos presentados en congresos internacionales . . . . .	222
5.2.3	Capítulos de libro . . . . .	224

## ÍNDICE GENERAL

---

5.2.4	Proyectos relacionados . . . . .	224
5.3	Futuras líneas de investigación . . . . .	224
<b>A</b>	<b>Consentimiento Informado y M-CHAT</b>	<b>227</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>231</b>



# Índice de ilustraciones

1.1	Metodología de la investigación . . . . .	5
2.1	Criterio DSM-IV-R . . . . .	13
2.2	Criterio DSM-V . . . . .	16
2.3	Disposición electrodos EOG. Fuente [VZZ13] . . . . .	52
2.4	Sistema eye-tracking sobre la cabeza. Fuente: <a href="http://www.sr-research.com">www.sr-research.com</a> . . . . .	53
2.5	Sistema eye-tracking remoto. Fuente: <a href="http://mirametrix.com">http://mirametrix.com</a> . . . . .	53
2.6	Sistema eye-tracking faceLab5. Fuente: <a href="http://www.seeingmachines.com/">http://www.seeingmachines.com/</a> . . . . .	54
2.7	Sistema eye-tracking TobiiTX300. Fuente: <a href="http://www.tobii.com/">http://www.tobii.com/</a> . . . . .	54
2.8	Sistema eye-tracking Tobii X1 light. Fuente: <a href="http://www.tobii.com">www.tobii.com</a> . . . . .	55
2.9	Resumen tecnologías estudiadas . . . . .	70
2.10	Análisis de las áreas tratadas mediante realidad mixta, aplicaciones dedicadas y robots . . . . .	71
2.11	Análisis por tecnología y área trabajada . . . . .	72
3.1	Diseño Alto Nivel del sistema propuesto . . . . .	80
3.2	Esquema del “Diseño centrado en el Usuario” . . . . .	84
3.3	Interfaz del Nivel 1 . . . . .	85
3.4	Interfaz del Nivel 3 . . . . .	86
3.5	Avatar del Serious Game . . . . .	86
3.6	Diseño Alto Nivel: Sistema de Configuración . . . . .	87
3.7	Diseño Alto Nivel : Acceso al Sistema . . . . .	88
3.8	Diseño Alto Nivel: Módulo Configuración de usuarios . . . . .	89
3.9	Diseño Alto Nivel :Módulo Configuración de Juegos . . . . .	89
3.10	Diseño Alto Nivel: Módulo Serious Game . . . . .	90

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

---

3.11	Diseño Alto Nivel: Comunicación EyeTracker con el Serious Game . . . . .	92
3.12	Diseño Alto Nivel: Módulo configuración del juego . . . . .	92
3.13	Diseño Alto Nivel: Módulo de Validación . . . . .	93
3.14	Diseño Alto Nivel: Configuración Preliminar . . . . .	94
3.15	Diseño Alto Nivel: Módulo de Procesado . . . . .	95
3.16	Diseño Alto Nivel: Módulo de Clasificación . . . . .	96
3.17	Diseño Bajo Nivel: Módulo acceso al Sistema . . . . .	97
3.18	Diseño Bajo Nivel: Módulo Configuración de juegos . . . . .	99
3.19	Diseño Bajo Nivel: Calibración del EyeTracker . . . . .	101
3.20	Diseño Bajo Nivel: Módulo Acceso al Serious Game . . . . .	102
3.21	Diseño Pantalla Inicio del Serious Game . . . . .	102
3.22	Diseño Pantalla Menú principal del Serious Game . . . . .	103
3.23	Diseño Visualización de los niveles de dificultad . . . . .	103
3.24	Diseño Bajo Nivel: Módulo configuración . . . . .	104
3.25	Diseño Bajo Nivel: Módulo Motor del Juego . . . . .	106
3.26	Formato Xml Datos . . . . .	108
3.27	Formato Xml EyeTracker . . . . .	109
3.28	Diseño Bajo Nivel: Módulo Configuración Previa . . . . .	111
3.29	Diseño Bajo Nivel: Generación tiempos interacción tras parada sistema . . . . .	112
3.30	Diseño Bajo Nivel: Generación tiempos interacción tras parada provocada por el usuario . . . . .	113
3.31	Diseño Bajo Nivel: Generación tiempos interacción con contacto visual . . . . .	115
3.32	Diseño Bajo Nivel: Generación tiempos interacción sin contacto visual . . . . .	116
3.33	Diseño Bajo Nivel: Generación tiempos total interacción . . . . .	117
3.34	Diseño Bajo Nivel: Generación estadísticos . . . . .	118
3.35	Diseño Bajo Nivel: Obtención del Set Interacción con el sistema . . . . .	119
3.36	Diseño Bajo Nivel: Generación de indicadores de interacción con el sistema . . . . .	120
3.37	Gráfica de la puntuación del usuario TEA020 y Control011 . . . . .	121
3.38	Diseño Bajo Nivel: Obtención del Set Eye Tracker(S3) . . . . .	121
3.39	Diseño Bajo Nivel: Eliminación de las posiciones no válidas . . . . .	122
3.40	Diseño Bajo Nivel: 1º fase: Análisis estadístico . . . . .	123
3.41	Diseño Bajo Nivel: 2º fase: Selección de características . . . . .	124
3.42	Diseño Bajo Nivel: Módulo Clasificación . . . . .	126

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

---

4.1	Valores de tiempo empleado cuando se realiza una parada provocada por el sistema	135
4.2	Valores del tiempo empleado cuando se realiza una parada provocada por el usuario	137
4.3	Valores del tiempo empleado cuando se realiza una interacción con contacto visual	138
4.4	Valores del tiempo empleado cuando se realiza una interacción sin contacto visual	139
4.5	Resultados interacción del grupo Clínico	141
4.6	Valores del tiempo total de interacción	142
4.7	Resultados puntuaciones	145
4.8	Posiciones correctas/incorrectas Nivel 1	147
4.9	Posiciones correctas/incorrectas Nivel 2	148
4.10	Posiciones correctas/incorrectas Nivel 3	148
4.11	Resultados del tiempo de fijación en la región izquierda	150
4.12	Número de fijaciones realizados en la región izquierda	151
4.13	Gráfico fijaciones región derecha	152
4.14	Gráfico fijaciones región superior	153
4.15	Gráfico fijaciones región inferior	155
4.16	Gráfico fijaciones región central	156
4.17	Comparativa entre los segundos y número de fijaciones realizadas en cada área analizada	157
4.18	Número de fijaciones realizadas en la región izquierda tras una parada	158
4.19	Número de fijaciones realizadas en la región derecha tras una parada	160
4.20	Número de fijaciones realizadas en la región superior tras una parada	161
4.21	Número de fijaciones realizadas en la región inferior tras una parada	162
4.22	Número de fijaciones realizadas en la región central tras una parada	163
4.23	Resumen del número de fijaciones realizadas y tiempo empleado tras una parada	164
4.24	Mapa de calor Nivel 1	164
4.25	Mapa de calor Nivel 2	165
4.26	Mapa de calor Nivel 3	165
4.27	Correlación entre el tiempo medio necesitado para solicitar ayuda y las puntuaciones obtenidas	174
4.28	Indicadores Críticos Interacción con el responsable (1)	195
4.29	Indicadores Críticos Interacción con el responsable (2)	195
4.30	Indicadores Críticos Interacción con el responsable (3)	195
4.31	Indicadores Críticos Interacción con el responsable (4)	196

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

---

4.32	Indicadores Críticos Interacción con el sistema (1)	197
4.33	Indicadores Críticos Interacción con el sistema (2)	197
4.34	Indicadores Críticos Interacción con el sistema (3)	198
4.35	Indicadores Críticos Interacción con el sistema (4)	198
4.36	Indicadores Críticos set EyeTracker (1)	199
4.37	Indicadores Críticos set EyeTracker (2)	200
4.38	Indicadores Críticos set EyeTracker (3)	200
4.39	Indicadores Críticos set EyeTracker (4)	200
4.40	TEAgrama I: Interacción con el sistema	202
4.41	TEAgrama II. Interacción con el responsable	202
4.42	TEAgrama III. Exploración de la pantalla	203
4.43	PCA resultados: Set interacción sistema más Set interacción Responsable	205
4.44	Resultado % acumulado de varianza : Set interacción sistema más Set interacción Responsable	206
4.45	Representación gráfica relación PCA1 y PCA2: Set interacción sistema más Set interacción Responsable	206
4.46	Representación gráfica relación PCA1 y pCA2 Set completo de indicadores	208
4.47	Representación gráfica del valor propio de los componentes Set completo de indicadores	208
4.48	Representación gráfica del valor acumulado de varianza de los componentes: Set completo de indicadores	209
4.49	Área bajo la curva	210
4.50	Comparativa resultados de los algoritmos de IA	211
4.51	Resultados del Test de Usabilidad	213

# Índice de tablas

2.1	Criterios CIE-10 - DSM-IV-TR . . . . .	14
2.2	Niveles de severidad DSM-V . . . . .	17
2.3	Tabla resumen: Estudios sobre sistemas de realidad mixta . . . . .	29
2.4	Tabla resumen: Estudios sobre aplicaciones dedicadas . . . . .	38
2.5	Tabla resumen: Estudios sobre sistemas de Telehealth . . . . .	43
2.6	Tabla resumen: Estudios sobre Robots . . . . .	49
2.7	Tabla comparativa EyeTrackers . . . . .	55
2.8	Tabla resumen: Procesamiento de la información social . . . . .	62
2.9	Tabla resumen: Evaluación de la cara . . . . .	67
2.10	Tabla resumen: Detección y clasificación del autismo mediante EyeTracking . . . . .	69
2.11	Comparación de las características de las tecnologías . . . . .	74
3.1	Relación perfil y accesos a funcionalidades . . . . .	98
3.2	Paradas configurables por los responsables . . . . .	100
3.3	Posibles órdenes de parada junto con su orden de continuidad . . . . .	105
3.4	Participantes . . . . .	110
3.5	Tiempo empleado por los jugadores TEA020 y Control011 tras producirse una parada provocada por el sistema . . . . .	113
3.6	Tiempo interacción empelado por los jugadores TEA020 y Control011 cuando la paradas es producida por una acción del usuario . . . . .	114
3.7	Tiempo empleado por los jugadores TEA020 y Control011 cuando han interactuado mediante contacto visual . . . . .	115
3.8	Tiempo empleado por los jugadores TEA020 y Control011 cuando han interactuado sin contacto visual . . . . .	116

## ÍNDICE DE TABLAS

---

3.9	Tipos de interacción realizados por los jugadores TEA020 y Control011 cuando han interactuado sin contacto visual . . . . .	117
3.10	Tiempo Total de interacción . . . . .	118
3.11	Puntuaciones parciales . . . . .	119
3.12	Resultados parciales del Set interacción con el sistema (S2) . . . . .	120
4.1	Relación participantes . . . . .	128
4.2	Configuración establecida para el experimento . . . . .	131
4.3	Resultados estadísticos del tiempo empleado cuando se produce una parada por el sistema . . . . .	135
4.4	Resultados estadísticos del tiempo empleado cuando se produce una parada provocada por el usuario . . . . .	136
4.5	Resultados estadísticos del tiempo empleado cuando se ha producido un contacto visual con el responsable . . . . .	137
4.6	Tiempo sin contacto visual . . . . .	139
4.7	Interacciones realizadas mediante contacto visual o mediante gestos o palabras sin producirse contacto visual con el responsable . . . . .	140
4.8	Tiempo total que ha tardado el usuario en comunicarse con el responsable . . . . .	141
4.9	Puntuaciones totales obtenidas por los dos grupos . . . . .	144
4.10	Posiciones medias obtenidas por los dos grupos . . . . .	146
4.11	Posiciones medias correctas obtenidas por los dos grupos . . . . .	146
4.12	Posiciones medias incorrectas obtenidas por los dos grupos . . . . .	147
4.13	Posiciones medias en la región Izquierda obtenidas por los dos grupos . . . . .	150
4.14	Posiciones medias en la región Derecha obtenidas por los dos grupos . . . . .	152
4.15	Posiciones medias en la región Superior obtenidas por los dos grupos . . . . .	153
4.16	Posiciones medias en la región inferior obtenidas por los dos grupos . . . . .	154
4.17	Posiciones medias en la región Central obtenidas por los dos grupos . . . . .	155
4.18	Tamaño de las pupilas mientras existen elementos en la pantalla . . . . .	156
4.19	Posiciones medias en la región izquierda obtenidas por los dos grupos tras una parada del sistema . . . . .	158
4.20	Posiciones medias en la región derecha obtenidas por los dos grupos tras una parada del sistema . . . . .	159

4.21 Posiciones medias en la región superior obtenidas por los dos grupos tras una parada del sistema . . . . .	160
4.22 Posiciones medias en la región inferior obtenidas por los dos grupos tras una parada del sistema . . . . .	161
4.23 Posiciones medias en la región central obtenidas por los dos grupos tras una parada del sistema . . . . .	163
4.24 Tiempo de interacción con el responsable desde que se produce una parada por el sistema. . . . .	168
4.25 Tiempo de interacción tras una orden de parada provocada por una acción del usuario	169
4.26 Resultados Test Mann-Whitney del tiempo con contacto visual . . . . .	170
4.27 Tiempo sin contacto visual . . . . .	170
4.28 Tipo de interacción . . . . .	171
4.29 Tiempo medio total empleado . . . . .	172
4.30 Estadísticos de contraste . . . . .	173
4.31 Correlación entre el tiempo medio de interacción y la puntuación . . . . .	173
4.32 Posiciones X obtenidas por los dos grupos . . . . .	174
4.33 Posiciones Y obtenidas por los dos grupos . . . . .	175
4.34 Posiciones X correctas obtenidas por los dos grupos . . . . .	176
4.35 Posiciones Y correctas obtenidas por los dos grupos . . . . .	176
4.36 Posiciones X incorrectas obtenidas por los dos grupos . . . . .	177
4.37 Posiciones Y incorrectas obtenidas por los dos grupos . . . . .	178
4.38 Posiciones X fijaciones Región Izquierda obtenidas por los dos grupos . . . . .	179
4.39 Posiciones Y fijaciones Región Izquierda obtenidas por los dos grupos . . . . .	180
4.40 Posiciones X fijaciones Región Derecha obtenidas por los dos grupos . . . . .	180
4.41 Posiciones Y fijaciones Región Derecha obtenidas por los dos grupos . . . . .	181
4.42 Posiciones X fijaciones Región Superior obtenidas por los dos grupos . . . . .	182
4.43 Posiciones Y fijaciones Región Superior obtenidas por los dos grupos . . . . .	182
4.44 Posiciones X fijaciones Región Inferior obtenidas por los dos grupos . . . . .	183
4.45 Posiciones Y fijaciones Región Inferior obtenidas por los dos grupos . . . . .	183
4.46 Posiciones X fijaciones Región Central obtenidas por los dos grupos . . . . .	184
4.47 Posiciones Y fijaciones Región Central obtenidas por los dos grupos . . . . .	184
4.48 Resultados del número de fijaciones en las cinco áreas . . . . .	185
4.49 Resultados del tiempo total en las cinco áreas . . . . .	185

## ÍNDICE DE TABLAS

---

4.50	Posiciones X fijaciones Región Izquierda obtenidas por los dos grupos tras una parada	186
4.51	Posiciones Y fijaciones Región Izquierda obtenidas por los dos grupos tras una parada . . . . .	187
4.52	Posiciones X fijaciones Región Derecha obtenidas por los dos grupos tras una parada . . . . .	187
4.53	Posiciones Y fijaciones Región Derecha obtenidas por los dos grupos tras una parada . . . . .	188
4.54	Posiciones X fijaciones Región Superior obtenidas por los dos grupos tras una parada . . . . .	189
4.55	Posiciones Y fijaciones Región Superior obtenidas por los dos grupos tras una parada . . . . .	189
4.56	Posiciones X fijaciones Región Inferior obtenidas por los dos grupos tras una parada	190
4.57	Posiciones Y fijaciones Región Inferior obtenidas por los dos grupos tras una parada	190
4.58	Posiciones X fijaciones Región Central obtenidas por los dos grupos tras una parada	191
4.59	Posiciones Y fijaciones Región Central obtenidas por los dos grupos tras una parada	191
4.60	Resultados del número de fijaciones totales en las cinco áreas tras una parada del sistema . . . . .	192
4.61	Resultados del tiempo total en las cinco áreas tras sufrir una parada el juego . . . .	192
4.62	Resultados Selección de características del Set Interacción con los responsables . .	194
4.63	Comparación de características seleccionadas del Set Interacción con los responsables . . . . .	194
4.64	Resultados Selección de características del Set de Interacción con el Sistema . . . .	196
4.65	Comparación de características seleccionadas del Set de Interacción con el Sistema	196
4.66	Resultados Selección de características del Set EyeTracker . . . . .	198
4.67	Comparación de las características seleccionadas del Set EyeTracker . . . . .	199
4.68	Resultados de los conjuntos de datos y orden . . . . .	201
4.69	Resultados KMO y test Bartlett: Set interacción sistema más Set interacción Responsable . . . . .	205
4.70	Resultados PCA: Set interacción sistema más Set interacción Responsable . . . . .	205
4.71	Resultados de la clasificación mediante Inteligencia Artificial partiendo del Set formado por los indicadores de interacción con el sistema y con el responsable . . . .	207
4.72	Resultados KMO y test Bartlett: Set completo de indicadores . . . . .	207
4.73	Resultados técnica PCA: Set completo de indicadores . . . . .	207

## ÍNDICE DE TABLAS

---

4.74 Resultados de la clasificación mediante Inteligencia Artificial del Set completo de indicadores . . . . .	209
4.75 Matriz de confusión del algoritmo Random Forest. . . . .	210



*Sólo podemos ver poco del futuro, pero lo suficiente para darnos cuenta de que hay mucho que hacer*

Alan Turing

Capítulo

# 1

## Introducción

**E**l Trastorno del Espectro Autista (TEA), de acuerdo con el Manual Diagnóstico y Estadístico de los trastornos mentales (DSM-V) son un grupo de alteraciones que se manifiestan entre los 12 y 14 meses de edad, y cuyas áreas de afectación incluyen déficits en la interacción social y de comunicación, y comportamientos repetitivos [Kue12], [Bai12]. Según estudios publicados, se muestra como ha habido un aumento en los últimos años de casos de TEA. Hecho atribuido por diversos autores a la existencia de una mayor conciencia [RBRV02], reconocimiento, diagnóstico de este trastorno, a la inclusión de los casos menos severos del espectro [San04] y la comorbilidad con otros trastornos como el Déficit de Atención e Hiperactividad [KKC<sup>+</sup>14]; además de los continuos cambios en la definición del TEA [RBRV02]. Pero hay que indicar que no existe un consenso sobre la prevalencia del TEA, ya que existe una gran cantidad de síndromes relacionados con el autismo [BLS<sup>+</sup>13b], por basarse el diagnóstico en criterios clínicos[RBRV02].

Sin embargo, los estudios muestran cómo el número de casos detectados de autismo ha ido en aumento. Estudios recientes publicados en Marzo del 2014 por los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) muestran como 1 de cada 68 niño/as han sido identificados como Trastorno del Espectro Autista (TEA) en Estado Unidos[fDCP14]. Existen publicaciones que muestran una prevalencia de 1 niño por cada 150 o 110 por 10000 niños en el 2009 [LGRTTA09], o estudios realizados en España, entre niños de preescolar existe una prevalencia entre el 8.1 % y el 11.7 % [LGRTTA09]. Por lo que se establece que la prevalencia, tanto en Estados Unidos como en

## 1. INTRODUCCIÓN

---

Europa, ha llegado a aumentar en un 78 % desde el 2002 [Kue12], [Bai12]. El estudio presentado por la investigadora Mayada et al. [EBW<sup>+</sup>15] en el 2012, establece cómo la prevalencia media estimada del trastorno del espectro autista se encuentra en un 62 por 10000.

Debido al incremento de los casos diagnosticados con TEA, desde hace unas décadas se ha comenzado a desarrollar soluciones software/ hardware dedicadas a las personas con autismo. Mediante este tipo de soluciones se ponen en práctica los puntos fuertes de las personas con TEA y se trabajan sus debilidades, ayudando a incrementar el vocabulario, la comunicación [DLL08] para que mejoren en estas habilidades [PC08], [HWM<sup>+</sup>13]. Estas investigaciones se centran en su mayoría en mejorar uno de los núcleos de afectación del TEA, la comunicación (a mayor déficit en la habilidad de comunicación de las personas con TEA, mayor es la gravedad de los síntomas del TEA [SE12]). Tortosa [Tor04] establece a las Tecnologías de la Información y la Comunicación, (en adelante TIC) como un medio tecnológico de compensación y apoyo en la intervención educativa de los alumnos con necesidades educativas especiales y en particular de las personas con TEA. Las TICs permiten establecer entornos o situaciones controlables y predecibles; presentan una estimulación multisensorial, normalmente visual; favorecen o posibilitan el trabajo autónomo y el desarrollo de las capacidades de auto-control y presentan una alta capacidad de motivación y refuerzo [GL04], favoreciendo la atención y disminuyendo la frustración que se puede dar ante los errores [IW13] Sin embargo, existen autores que señalan que “los ordenadores hacen a las personas con autismo más autistas”, es decir, establecen que el uso de las tecnologías pueden aislar a las personas con TEA que tengan dificultades en las relaciones sociales o que pueden llegar a tener comportamientos obsesivo compulsivo [Pow96]. Pero se ha demostrado que siempre y cuando sean utilizados de la forma adecuada, pueden llegar a representar una herramienta de auxilio a la interacción social, debido a las múltiples funcionalidades y opciones que permiten las TIC [Tor04],[KvdMR<sup>+</sup>13],[IW13],[Pow96],[PSNB13]. Asimismo, gracias a las nuevas tecnologías se consigue un acercamiento al mundo de soledad del autismo comprendiendo mejor sus estados mentales y desarrollando habilidades, que sin la interacción sujeto-medio tecnológico no es posible, e intentan alejar a la persona con autismo de su “mundo de soledad” [SA13],[LBD<sup>+</sup>13]. Tanto ha sido el éxito de estas tecnologías que las investigaciones realizadas con ellas han ido incrementando desde 1 publicación al año en el 1970 hasta más de 38 publicaciones al año en la actualidad [PSNB13], y han abarcado no sólo las revistas con impacto dirigidas al campo social [KBB<sup>+</sup>13], sino en las revistas técnicas con impacto [WLL<sup>+</sup>09]. Pero no sólo se ha visto reflejado en las investigaciones científicas sino, en el aumento de los blogs en donde los familiares comentan cómo sus hijos/as interactúan con ellas.

### 1.1 Justificación de la investigación

Las tecnologías aplicadas al ámbito del Trastorno del espectro Autista comienzan a considerarse instrumentos de apoyo importantes tanto para las personas con TEA como para los familiares o profesionales. Gracias a éstas, se facilita el trabajar habilidades que las personas con TEA puedan tener poco desarrolladas creando situaciones controladas mediante las cuales se reduce el riesgo de estrés por parte de éstas personas.

Estas investigaciones están centradas en el desarrollo de sistemas, mediante tecnología de realidad virtual, aplicaciones dedicadas o con la incorporación de hardware como EyeTracker, con los que se trabajan sus fortalezas y debilidades, ayudando a mejorar su vocabulario o ciertas habilidades.

A pesar de las ventajas que aporta la tecnología, estos estudios presentan ciertas limitaciones abriendo nuevas líneas de actuación.

En primer lugar, la tecnología EyeTracker, comienza a incorporarse poco a poco en los estudios sobre el Trastorno del Espectro Autista, permitiendo conocer el modo en que las personas con TEA exploran diferentes situaciones sociales, objetos o rostros [FLBF10]. Sin embargo, debido a la reciente incorporación de esta tecnología existe diversidad en los resultados obtenidos por los investigadores [JS12], por lo que con esta tesis se desea colaborar en la obtención de los posibles patrones atípicos de la mirada.

En segundo lugar, estas investigaciones están centrados en su mayoría en aplicar las tecnologías al área del tratamiento [FCI<sup>+</sup>13], con el fin de mejorar la calidad de vida de estas personas. A pesar del valor que posee el tratamiento en este área, se considera de mayor importancia descubrir indicadores claves que permitan una detección precoz para comenzar con las sesiones de tratamiento a una edad temprana. Esta detección es llevada a cabo por los profesionales mediante test basados en la observación de las personas [HAPMP<sup>+</sup>05], y por consiguiente ligado a la experiencia de éstos. Por tanto, se considera de gran utilidad incorporar a la destreza de los profesionales herramientas tecnológicas que faciliten de indicadores objetivos que ayuden a la detección de este trastorno.

Asimismo, las herramientas desarrolladas e investigadas habitúan a estar enfocadas a que las personas con TEA trabajen las habilidades sociales de forma individual con el sistema [GBC06], robots [RDTBB05] o con avatares virtuales [FEM07]. Las personas con autismo, ante este tipo de ejercicios responden de forma positiva ya que se encuentran ante una respuesta “esperada” del sistema reduciendo la ansiedad que pueda provocarles estas situaciones en la vida real. Sin embargo, se reduce el ejercitar la comunicación con personas físicas reales. En esta investigación se propone

## 1. INTRODUCCIÓN

---

un Serious Game colaborativo, en el que la comunicación y la interacción con personas sea el pilar fundamental del sistema.

Por las limitaciones encontradas y por la importancia existente en realizar un diagnóstico precoz, se crea la necesidad de desarrollar aplicaciones software para trabajar la interacción con personas, y evaluar variables objetivas capturadas mediante las tecnologías EyeTracker y Serious Game e Inteligencia Artificial, que sirvan como orientación a los psicólogos para realizar un diagnóstico precoz.

### 1.2 Hipótesis

Partiendo de la problemática planteada anteriormente surge la investigación presente, centrada en la limitación que presentan los estudios a la hora de evaluar el área de afectación de las habilidades sociales mediante herramientas colaborativas y dispositivos EyeTracker, se define la siguiente hipótesis:

***Hipótesis:** Es posible obtener indicadores objetivos que ayuden a detectar el Trastorno del Espectro Autismo mediante las tecnologías de seguimiento ocular y Serious Game colaborativos.*

### 1.3 Objetivos

El Trastorno del Espectro Autista puede considerarse un área nueva de investigación que está logrando captar la atención de investigadores con el fin de comprender y ayudar tanto a las personas con TEA como a los profesionales y familiares que están en contacto día a día con este trastorno. Por esta razón, el objetivo principal de esta tesis es ***diseñar e implementar un sistema basado en Serious Game, tecnología eyeTracking e Inteligencia Artificial, que ayude a la detección precoz del TEA evaluando las habilidades sociales.***

El objetivo general propuesto está compuesto por objetivos específicos que logran cumplir el propósito de esta investigación:

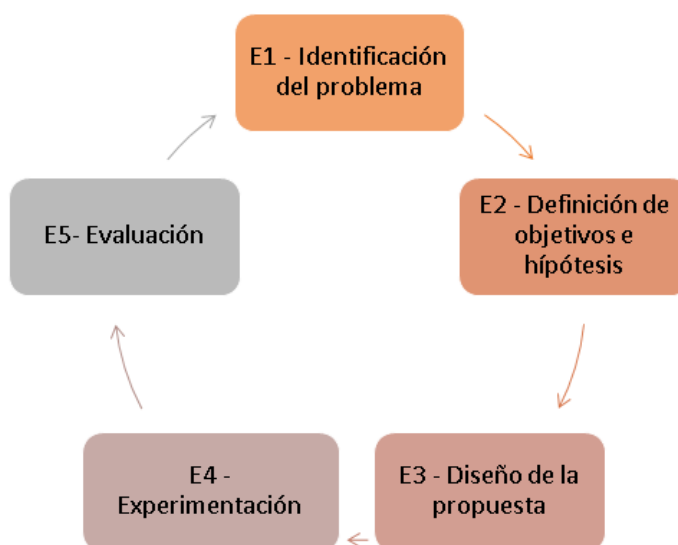
1. **Diseñar un protocolo de pruebas**, que permita obtener indicadores comparables bajo un mismo escenario.
2. **Implementar un algoritmo que identifique e integre los indicadores críticos que ayuden a la detección precoz del autismo en un mismo sistema**, reduciendo las posibilidades de una detección errónea

3. **Desarrollar un Serious Game que permita configurar parámetros del juego que evalúan y trabajan el área de afectación de la habilidad social**, adaptándose a las necesidades de cualquier persona, logrando una mayor flexibilidad y ajustándose a los requisitos de todo el espectro autista.
4. **Diseñar algoritmos de validación del sistema**, que ayude a verificar el Serious Game y la tecnología EyeTracker como herramientas útiles en la detección precoz.

## 1.4 Metodología

Esta sección expone la metodología llevada a cabo para cumplir con los objetivos descritos y establecidos en esta tesis. Para ello, se ha seguido un proceso cíclico, compuesto por cinco grandes etapas [Lew46], empleado de forma habitual en este tipo de investigaciones (ver Ilustración 1.1).

**Ilustración 1.1:** Metodología de la investigación



La metodología seguida, por tanto, se basa en las siguientes fases o etapas:

1. **Identificación del problema.** En esta primera fase, se procede con el análisis del estado del arte, obteniendo los conocimientos sobre las tendencias de investigación en la materia, con objeto de detectar limitaciones y posibles mejoras en el área de conocimiento de la presente investigación, la tecnología aplicada a la detección precoz Trastorno del Espectro Autista.

## 1. INTRODUCCIÓN

---

2. **Definición de objetivos e hipótesis.** Una vez identificados las limitaciones y los puntos de mejora, se determina la hipótesis de partida y los objetivos que conducirán al resultado de la tesis.
3. **Diseño de la propuesta** que dé solución a los problemas planteados en la investigación de esta tesis.
4. **Experimentación.** Esta fase es la encargada de recopilar y analizar los datos para medir de forma cuantitativa el resultado obtenido y extraer conclusiones.
5. **Evaluación.** La evaluación se realizan de forma continua durante y al final del proceso de investigación, debido a que los cambios que pueden surgir requieran una redefinición del problema.

Asimismo, una última fase de gran importancia es la **transferencia del conocimiento** adquirido durante la investigación a través de la producción científica.

### 1.5 Estructura de la tesis

La presente memoria refleja el trabajo de investigación llevado a cabo en el ámbito de las tecnologías y el Trastorno del Espectro Autista, estructurándose en cinco capítulos:

- El *primer capítulo*, introduce al lector el área de investigación abordado en esta investigación, así como las limitaciones detectadas que han motivado su realización. Asimismo, se ha detallado la hipótesis de partida del trabajo, los objetivos planteados para su consecución y la metodología empleada.
- El *segundo capítulo* proporciona una exhaustiva investigación sobre las investigaciones más recientes realizadas en el ámbito de la tecnología y del TEA. Para ello, la revisión de la literatura se ha centrado en primer lugar, en el ámbito médico, realizando una revisión a la evolución sufrida del TEA a lo largo de los años, y en segundo lugar en la revisión de las tecnologías aplicadas al TEA.
- El *tercer capítulo*, tras haber realizado el análisis de la literatura e identificado las carencias existentes, describe el sistema propuesto como herramienta para la detección precoz del autismo. En primer lugar, se define y justifica las interfaces y decisiones tomadas durante el desarrollo del sistema. En segundo lugar, se describe el diseño a alto nivel del algoritmo y

sistema propuesto, obteniendo una idea general de su funcionamiento, para finalmente especificar de forma detallada el funcionamiento del mismo.

- El *cuarto capítulo* describe los participantes involucrados en la investigación que han permitido validar el sistema, analizando los resultados obtenidos tras las pruebas del sistema propuesto, definiendo los indicadores objetivos a evaluar en la detección precoz del autismo.
- El *quinto capítulo* recoge finalmente las conclusiones de la tesis, el impacto científico generado y las líneas futuras de trabajo y mejora.



*No es exagerado decir que, a través del conocimiento del autismo, podemos llegar a comprendernos mejor a nosotros mismos.*

Uta Frith

Capítulo

# 2

## Estado del arte

**E**ste capítulo presenta una revisión sobre la evolución y los cambios que ha ido sufriendo a lo largo de la historia el concepto del Trastorno del Espectro Autista (TEA), los mecanismos de detección, diagnóstico y su tratamiento. Asimismo, se han estudiado las herramientas tecnológicas que se están incorporando a este ámbito, todo ello, con objeto de definir las carencias de los sistemas empleados en la actualidad.

El presente capítulo está dividido en dos grandes bloques. El primero de ellos está orientado a la revisión bibliográfica del Trastorno del Espectro Autista junto a las metodologías utilizadas por los expertos a la hora de realizar la detección, diagnóstico y tratamiento. El segundo bloque refleja los avances tecnológicos dentro del TEA, centrándose en los estudios realizados con la tecnología EyeTracking, herramientas software y hardware evaluando su efectividad.

### 2.1 Sección médica: Trastorno del Espectro Autista

En esta sección se expone la revisión realizada sobre el Trastorno del Espectro Autista, los métodos existentes para su detección, diagnóstico y las herramientas utilizadas en el tratamiento del mismo.

#### 2.1.1 Evolución histórica Trastorno del Espectro Autista

Los Trastornos del Espectro Autista (TEA) constituyen una de las patologías mentales más graves de la infancia por la dificultad y complejidad que conlleva su detección, diagnóstico y tratamiento [CIPAP<sup>+</sup>05] a pesar de que su prevalencia es muy inferior a la de otras patologías de la infancia.

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

El TEA o Trastornos generalizados del desarrollo (TGD) son problemas neuropsiquiátricos que se manifiestan antes de los tres años de edad y afectan al área cognitiva, social y de comunicación acompañadas de conductas estereotipadas [LA07] [Tho13].

La primera vez que se habló del término “autismo” fue en 1912 en la publicación “Dementia Praecox or the Group of Schizophrenias” realizada por el psiquiatra suizo Eugene Bleuler en la revista “American Journal of Insanity”. “Autismo” proviene del término griego “autos”, que significa “sí mismo”. Bleuler lo empleó para definir la retirada activa con que los pacientes esquizofrénicos evitaban las relaciones sociales mediante el aislamiento al terreno de la fantasía [GTA09b], [Rep10].

“[...]Cuando nosotros miramos más de cerca, encontramos entre las personas normales muchos casos donde el pensamiento está divorciado tanto de la lógica como de la realidad. He llamado autista a estas formas de pensamiento, correspondientes a la idea del autismo esquizofrénico[...]” [Ble50].

En 1943, el médico austriaco Leo Kanner describió a 11 niños que presentaban un cuadro de trastorno del desarrollo, al cual denominó “Trastorno autístico del contacto”. En el estudio determinó una serie de características que presentaban los sujetos [Riv07].

- Dificultad para la interacción social recíproca, con extremada soledad.
- Alteraciones del lenguaje y de la comunicación muy severa
- Insistencia obsesiva en la invarianza.

Un año después, el médico austriaco Hans Asperger en 1944 en un estudio realizado con 4 niños de edades comprendidas entre los 6 y 11 años, definió un trastorno similar a la definida por Kanner. Estos niños mostraban como característica principal la discapacidad para la interacción social, pero que a diferencia del autismo de Kanner, estos sujetos no presentaban un retraso significativo ni del desarrollo cognitivo ni de la adquisición del lenguaje. Hans Asperger lo definió como “Psicopatía autística de la niñez” [GRR<sup>+</sup>11].

Esto llevó a la confusión del término autista ya que Bleuler lo asociaba a la retirada activa al terreno de la fantasía del paciente esquizofrénico (retirada de relaciones), lo que implica una rica vida fantástica [Riv07] mientras que Kanner y Asperger lo relacionaban con la incapacidad de establecer relaciones y a la falta de imaginación que presentaban los sujetos e indicaban que el trastorno aparecía en los primeros años de vida al contrario de la esquizofrenia de Bleuler [Rep10].

Desde este momento, fue reconocida como una entidad diferente de la esquizofrenia y se considera que es el inicio del estudio científico de este trastorno.

## 2.1 Sección médica: Trastorno del Espectro Autista

---

En 1981, Lorna Wing presentó un estudio revisando el trabajo de Hans Asperger, mediante una investigación de 34 casos en los que presentaban características clínicas similares a los descritos por Asperger [Win81]. En este caso, Lorna Wing propuso el “Síndrome de Asperger” para definir las características de los casos estudiados. Wing determinó un modelo dimensional de diagnóstico, y propuso la hipótesis del “continuo autista” (1988) con el fin de explicar los diferentes grados de afectación en los déficits nucleares de estos colectivos (triada de Wing) [dIIGP07]:

- Trastorno de la relación social.
- Trastorno de la comunicación, incluyendo expresión y comprensión del lenguaje.
- Falta de flexibilidad mental, que condiciona un número restringido de conductas y una limitación en las actividades que requieran algún grado de imaginación.

A partir de estos estudios, se incorpora el término Trastornos del Espectro Autista (TEA). El término TEA adopta un concepto dimensional de un “continuo” (no una categoría), existiendo otros trastornos que comparten algunas de las características de la triada de Wing y que además, existen diferentes niveles dentro del trastorno autista dependiendo del nivel cognoscitivo, bajo, medio y alto, y en función de su mayor o menor sintomatología [dIIGP07].

En cuanto a la prevalencia del TEA, hay que indicar que no existe un consenso debido a que existe una gran cantidad de síndromes relacionados con el autismo [BLS<sup>+</sup>12] y por esta razón el diagnóstico se basa en criterios clínicos [BV02]. Pero según estudios publicados, se muestra como ha habido un aumento en los últimos años, atribuyendo diversos autores a la existencia de una mayor conciencia [BV02], reconocimiento y diagnóstico de este trastorno y a la inclusión de los casos menos severos del espectro [San04], los cambios de definición del TEA [IA07]. La prevalencia ha llegado a aumentar en un 78 % desde el 2002 [Bri12].

Hasta 1990 se establecía una prevalencia de 4-5/10,000 , a partir de los 90 comenzaron a realizar nuevas investigaciones y este número ha ido incrementando desde entonces. Durante los años 90, se estableció una proporción de 21-31/10,000. Estudios recientes publicados en Marzo del 2014 por los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) muestran como 1 de cada 68 niños/as han sido identificados como Trastorno del Espectro Autista (TEA) en Estado Unidos [fDCP14]. Asimismo, existen publicaciones que muestran una prevalencia de 1 niño por cada 150 o 110 por 10000 niños en el 2009 [LGRTTA09], o estudios realizados en España, entre niños de preescolar existe una prevalencia entre el 8.1 % y el 11.7 % [LGRTTA09] [GTA09a]. Por lo que se establece que la prevalencia, tanto en Estados Unidos como en Europa, ha llegado a aumentar en un 78 % desde el 2002

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

[Kue12], [Bai12]. El estudio presentado por la investigadora Mayada et al. [EBW<sup>+</sup>15] en el 2012, establece cómo la prevalencia media estimada del trastorno del espectro autista se encuentra en un 62 por 10000.

### 2.1.2 Sistemas clasificatorios del Trastorno del Espectro Autista

Existen dos grandes sistemas clasificatorios aceptados y validados a nivel mundial en los cuales las descripciones de los trastornos, síndromes se basan en aspectos sintomatológicos y conductuales [LBZ<sup>+</sup>98]. Por un lado el Manual Diagnóstico y Estadístico de los trastornos mentales DSM) creado por la Asociación Americana de Psiquiatría (APA) en 1952; este manual es el sistema más utilizado para la investigación internacional de calidad. Por otro lado la Clasificación de Trastornos Mentales (CIE) creado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Estos criterios surgieron de la necesidad de confeccionar una clasificación de trastornos mentales consensuada, debido al escaso acuerdo, tanto en qué contenidos debería incluir y en el método de conformación por parte de los psiquiatras y psicólogos.

El autismo aparece clasificado por primera vez en la segunda edición del Manual Diagnóstico y Estadístico de los trastornos mentales DSM-II [Ass60] como una reacción psicótica de la infancia; posteriormente en la década de los 80 se definió el autismo como un síndrome conductual, el cual afectaba a áreas del desarrollo cognitivo, efectivo y se agrupó dentro de los “Trastornos Generalizados del Desarrollo” bajo el nombre “autismo infantil” en el DSM-III [Ass80].

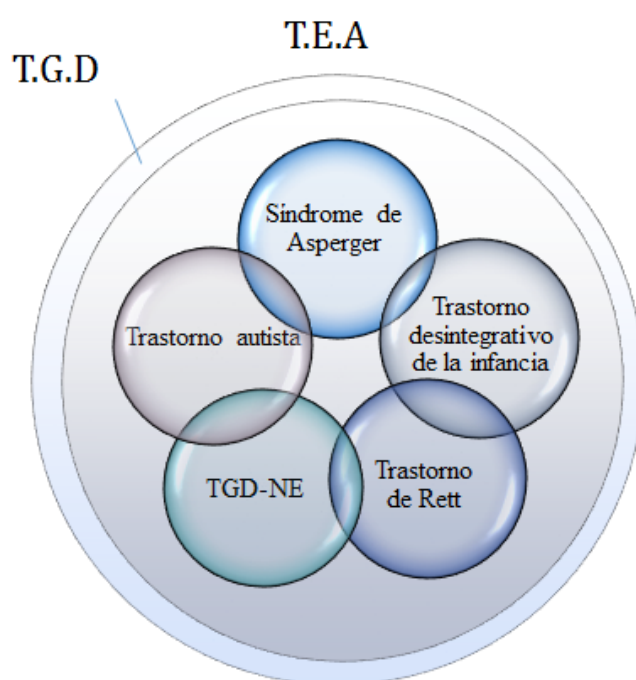
El DSM-III-R [Ass87] cambió el nombre de “autismo infantil” a “trastorno autista”, por lo que los criterios de diagnóstico se ampliaron y las formas no autistas se agruparon en la categoría denominada “problemas generalizados del desarrollo no especificados” (TGD-NE) (Waterhouse, Wing, Spitzer, Siegel, 1992). Según estudios el DSM-III-R, tendía a producir excesivos diagnósticos de autismo, debido a que los criterios de inclusión eran bastante amplios en comparación con el DSM-III.

En una nueva revisión del DSM publicado en el año 1994 [Ass94], fue la primera vez que se incluyó el Síndrome de Asperger como un criterio diagnóstico, y se incorporó junto con el autismo y otros síndromes dentro de los trastornos generalizados del Desarrollo (TGD).

En la penúltima revisión publicada del DSM, DSM-IV-R [Ass00] se reagruparon los criterios diagnósticos siendo necesarios para establecer un diagnóstico de autismo que una de las áreas alteradas (conducta social, comunicación o juegos simbólicos) presente un retraso antes de los 36 meses de edad.

## 2.1 Sección médica: Trastorno del Espectro Autista

En el DSM-IV-R dentro del grupo de trastornos generalizados del desarrollo (TGD) [MBH<sup>+</sup> 12], existen 5 subgrupos como categorías diagnósticas independientes (ver Ilustración 2.1), entre los cuales se encuentran, el Trastorno Autista, el Síndrome de Asperger, el Trastorno Generalizado del Desarrollo no especificado, el Síndrome de Rett y el Trastorno Desintegrativo de la Infancia. El concepto TGD es utilizado en el ámbito clínico y sirve para designar un conjunto de trastorno con una alteración cualitativa del desarrollo, que comparten los déficits nucleares del autismo, con distintos grados de frecuencia e intensidad de los síntomas.



**Ilustración 2.1:** Criterio DSM-IV-R

Esta revisión del DSM, se realizó con el fin de unificar los criterios con la CIE-10, permitiendo la comparación de los futuros estudios de investigación y minimizar el riesgo de que las personas recibieran diagnósticos diferentes. De esta forma, los criterios que aparecen en la publicación del DSM-IV-TR son muy similares a las categorías del CIE-10 [dL12], como se puede observar en la tabla 2.1.

Según estudios realizados, no está claro el límite entre estos trastornos del desarrollo, en especial entre el Síndrome de Asperger y el autismo de alto funcionamiento, ya que se han encontrado más características similares entre ellos que diferentes [WG97], [PC97], [dIIGP07].

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

Es importante indicar que los casos incluidos en la categoría TGD del DSM-IV-R son imprecisos y pueden llegar a incluir a niños con otros tipo de trastornos, como el Trastornos por Déficit de Atención e Hiperactividad [IA07]. Entre estas razones, la publicación realizada en el 2013 del DSM ha supuesto un cambio en el grupo del TGD.

**Tabla 2.1:** Criterios CIE-10 - DSM-IV-TR

CIE-10	DSM-IV-TR
Autismo infantil	Trastorno autístico
Autismo atípico	Trastorno desintegrativo de la infancia
Síndrome de Rett	Síndrome de Rett
Otro trastorno desintegrativo de la infancia	
Hiperactividad asociada a un retraso mental y a movimientos estereotipados	
Síndrome de Asperger	Síndrome de Asperger
Otros trastornos invasores del desarrollo	Otros trastornos invasores del desarrollo no especificados en otro lugar
Otros trastornos invasores del desarrollo no precisados	

Este concepto de TGD ha desaparecido dando paso al “Trastorno del Espectro Autista (TEA)”, concepto utilizado tras los estudios realizados por Wing. El TEA sirve para agrupar a todos aquellos trastornos que comparten los déficits del autismo, pero desde un enfoque de continuo o dimensión [dIIIGP07] que se asocian con una amplia variedad de características, síntomas, factores etimológicos [Rap02].

El DSM-V, establece que la nueva nomenclatura TEA incluye [DV], el Trastorno Autista (autismo), el Trastorno de Asperger, el Trastorno Desintegrativo de la Infancia y el Trastorno Generalizado del Desarrollo no especificado. Una de las razones que han llevado a este cambio es que la diferenciación entre el Trastorno del Espectro Autista [SLI12], el desarrollo típico y otros trastornos sin-espectro, se hace de forma fiable y con validez gracias a esta nueva agrupación; mientras que las distinciones entre los trastornos han demostrado ser inconsistentes a lo largo del tiempo, a menudo asociadas con la severidad, el nivel de lenguaje o de inteligencia en lugar de características del trastorno [DV].

El DSM-V incorpora otro cambio respecto al DSM-IV-TR relacionado con los dominios de afectación. Hasta el momento con el DSM-IV-TR el TGD afectaba a la interacción social, al lenguaje

## 2.1 Sección médica: Trastorno del Espectro Autista

---

y al juego simbólico o imaginativo [Ass00], sin embargo en el DSM-V los dominios de afectación van a ser reducidos a dos [WM12]:

- **Déficits sociales y de comunicación:** Los déficits en la comunicación y el comportamiento social son inseparables, y se pueden considerar de forma más precisa como un único conjunto de síntomas con especificidades ambientales y contextuales.
- **Intereses fijos y comportamientos repetitivos.**

Se elimina el lenguaje ya que determinan que los retrasos en el lenguaje no son únicos ni universales en los TEA, y con más precisión pueden considerarse como un factor que influye en los síntomas clínicos de los TEA, en lugar de definir el diagnóstico como se ha hecho hasta el momento. Para que una persona sea diagnosticada con TEA, según los nuevos criterios que publicados en el DSM-V, debe cumplir los criterios A, B, C y D que se nombran a continuación:

*A. Déficit persistentes en la comunicación y en la interacción social en diversos contextos, no atribuibles a un retraso general del desarrollo, manifestando simultáneamente los tres déficits siguientes:*

1. Déficit en la reciprocidad social y emocional; que pueden abarcar desde un acercamiento social anormal y una incapacidad para mantener la alternancia en una conversación, pasando por la reducción de intereses, emociones y afectos compartidos, hasta la ausencia total de iniciativa en la interacción social.
2. Déficit en las conductas de comunicación no verbal que se usan en la comunicación social; que pueden abarcar desde una comunicación poco integrada, tanto verbal como no verbal, pasando por anomalías en el contacto visual y en el lenguaje corporal, o déficits en la comprensión y uso de la comunicación no verbal, hasta la falta total de expresiones o gestos faciales.
3. Déficit en el desarrollo y mantenimiento de relaciones adecuadas al nivel de desarrollo (más allá de las establecidas con los cuidadores); que pueden abarcar desde dificultades para mantener un comportamiento apropiado a los diferentes contextos sociales, pasando por las dificultades para compartir juegos imaginativos, hasta la aparente ausencia de interés en las otras personas.

*B. Patrones de comportamiento, intereses o actividades restringidas y repetitivas que se manifiestan al menos en dos de los siguientes puntos:*

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

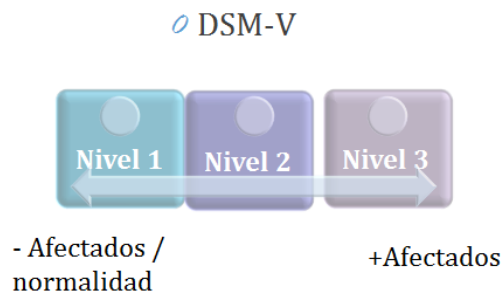
1. Habla, movimientos o manipulación de objetos estereotipada o repetitiva (estereotipias motoras simples, ecolalia, manipulación repetitiva de objetos o frases idiosincráticas).
2. Excesiva fijación con las rutinas, los patrones ritualizados de conducta verbal y no verbal, o excesiva resistencia al cambio (como rituales motores, insistencia en seguir la misma ruta o tomar la misma comida, preguntas repetitivas o extrema incomodidad motivada por pequeños cambios).
3. Intereses altamente restrictivos y fijos de intensidad desmesurada (como una fuerte vinculación o preocupación por objetos inusuales y por intereses excesivamente circunscritos y perseverantes).
4. Hiper o hipo reactividad a los estímulos sensoriales o inusual interés en aspectos sensoriales del entorno (como aparente indiferencia al dolor, calor, frío, respuesta adversa a sonidos o texturas específicas, sentido del olfato o del tacto exacerbado, fascinación por las luces o los objetos que ruedan).

*C. Los síntomas deben estar presentes en el período de desarrollo temprano (aunque pueden no manifestarse plenamente hasta que las demandas del entorno excedan las capacidades del niño, o pueden verse enmascaradas en momentos posteriores de la vida por habilidades aprendidas)*

*D. Los síntomas causan alteraciones clínicamente significativas a nivel social, ocupacional o en otras áreas importantes del funcionamiento actual.*

*E. Estas alteraciones no se explican mejor por la presencia de una discapacidad intelectual (trastorno del desarrollo intelectual) o un retraso global del desarrollo.*

Siguiendo el concepto de la autora Wing, el DSM-V establece el diagnóstico por niveles de afectación (ver Ilustración 2.2) situando al Síndrome de Asperger en el nivel más bajo y el Trastorno autista en el nivel más alto, quedando entre medias los TGD - no especificado [DV].



**Ilustración 2.2:** Criterio DSM-V

## 2.1 Sección médica: Trastorno del Espectro Autista

Por tanto, el DSM-V ha definido tres niveles de afectación cuyas características se recogen en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2:** Niveles de severidad DSM-V

Niveles	Comunicación social	Intereses restringidos y conductas repetitivas
Nivel 3 “Requiere soporte muy substancial”	Severos déficits en habilidades de comunicación social verbal y no verbal causan severas discapacidades de funcionamiento; muy limitada iniciación de interacciones sociales y mínima respuesta a las aproximaciones sociales de otros.	Preocupaciones, rituales fijos y/o conductas repetitivas interfieren marcadamente con el funcionamiento en todas las esferas. Marcado malestar cuando los rituales o rutinas son interrumpidos; resulta muy difícil apartarlo de un interés fijo o retorna a él rápidamente.
Nivel 2 “Requiere soporte substancial”	Marcados déficits en habilidades de comunicación social verbal y no verbal; aparentes discapacidades sociales incluso recibiendo apoyo; limitada iniciación de interacciones sociales y reducida o anormal respuesta a las aproximaciones sociales de otros.	Rituales y conductas repetitivas y/o preocupaciones o intereses fijos aparecen con suficiente frecuencia como para ser obvios al observador casual e interfieren con el funcionamiento en variados contextos. Se evidencia malestar o frustración cuando se interrumpen rituales y conductas repetitivas; dificultad a apartarlo de un interés fijo.
Nivel 1 “Requiere soporte”	Sin recibir apoyo, déficits en comunicación social causan discapacidades observables. Tiene dificultad al iniciar interacciones sociales y demuestra claros ejemplos de respuestas atípicas o no exitosas a las aproximaciones sociales de otros. Puede aparentar una disminución en el interés a interactuar socialmente.	Rituales y conductas repetitivas causan interferencia significativa con el funcionamiento en uno o más contextos. Resiste intentos de otros para interrumpir rituales y conductas repetitivas o ser apartado de un interés fijo.

### 2.1.3 Detección del Trastorno del Espectro Autista

La detección/ diagnóstico suele realizarse cuando los niños/niñas tienen entre los 3 o 4 años [HF96] [LW06]. Esto se debe a que varias de las conductas sobre las que se basan los criterios de diagnóstico no se presentan antes de cumplirse un año del nacimiento [TV04] presentándose más claras a partir de los 2-3 años [WWA<sup>+</sup>04].

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

Pero existen estudios que indican que los padres tienen las primeras evidencias de que sus hijos/hijas durante el primer año de vida [FS93]. Esto se ha demostrado gracias a los vídeos realizados por los familiares a los sujetos en el primer año de vida [AGR04], donde se muestran rasgos que indican riesgo, como la falta de la sonrisa en situaciones sociales, falta de expresión facial, la ignorancia de las personas, falta de contacto ocular... [JD94] [BCS03].

Es muy importante realizar una detección temprana del TEA, en especial para los casos menos severos, y de esta forma puedan ser evaluados lo antes posible por especialistas y comenzar lo antes posible en los programas de tratamiento [Nad07]. Esto conlleva a una mejoría en el pronóstico de la mayoría de los niños con TEA [HAPMP<sup>+</sup>05], incluyendo el lenguaje en un 75 % o incrementos significativos en el progreso evolutivo y rendimiento intelectual [DCMYFB<sup>+</sup>05].

Tras estudios realizados se han establecido niveles que han de seguirse para una correcta detección [HAPMP<sup>+</sup>05].

El primer nivel corresponde con la vigilancia del desarrollo del sujeto, evaluando los siguientes aspectos [IA07]:

- Factores de riesgo pre y perinatal
- Consideración de la preocupación de los padres
- Comprobar las escalas del desarrollo
- Valorar los parámetros del desarrollo sociocomunicativo
- Valorar la presencia de señales de alerta

Se han determinado una serie de señales de alerta por los investigadores que indican un posible caso de trastorno de espectro autista [BCS03] [HAPMP<sup>+</sup>05], a continuación se muestran unas de ellas :

- No balbucea, no hace gestos a los 12 meses
- A los 18 meses no dice palabras sencillas
- No dice frases espontáneas a los 18 meses
- Cualquier pérdida en el lenguaje o habilidades sociales.
- Limitación o falta de imitación de acciones
- No señala objetos para llamar la atención de otra persona
- No muestra interés por los niños de su edad

- Hipersensible a cierto tipo de sonidos o tactos
- Juegos repetitivos con los juguetes
- ....

El segundo nivel corresponde con la detección específica, mediante el uso de los cuestionarios específicos. Como son el Checklist for Autism in Toddlers(CHAT), the Modified Checklist for Autism in Toddlers(M-CHAT) [AGR04] o Pervasive Developmental Disorders Screening Test(PDDST-II) [Sie04]. Estas pruebas de screening son los más utilizados por los científicos [RMH<sup>+</sup>12], a pesar de existir otros cuestionarios.

El cuestionario específico CHAT puede ser utilizada a partir de los 18 meses [AKT<sup>+</sup>99] [San04] [HAPMP<sup>+</sup>05] distingue autismo de desarrollo en niños de edades comprendidas entre 18 y 24 meses. El CHAT es un instrumento muy específico (97 %-99 %) pero la sensibilidad es muy baja (35 %-38 %), es decir, los casos de autismo más severos son diagnosticados mediante este cuestionario, pero no suele detectar los autismo de alto funcionamiento cognitivo [RMH<sup>+</sup>12]. Para estos casos, es recomendable emplear el M-CHAT, con una sensibilidad del 87 %, la escala australiana de Aperger (ASDI) [San04] [BCS03], el cuestionario “Autism Spectrum Screening for Asperger and other high functioning autism conditions” (ASSQ) o Childhoods Asperger Syndrome Test(CAST) para la detección de los casos menos severos [HAPMP<sup>+</sup>05].

### 2.1.4 Diagnóstico del Trastorno del Espectro Autista

Una vez que se ha detectado un posible caso de TEA, se debe realizar un diagnóstico y evaluación [DCMYFB<sup>+</sup>05]. El diagnóstico del TEA tiene como objetivo caracterizar el comportamiento del individuo como perteneciente a una categoría diagnóstica específica, de la forma más fiable posible, mediante las categorías universalmente aceptadas por la comunidad científica, ya nombradas DSM-IV-TR y CIE-10 [DCMYFB<sup>+</sup>05].

El diagnóstico precoz presenta ciertas dificultades que pueden aumentar la probabilidad de etiquetar erróneamente al niño. El diagnóstico precoz está limitado por los propios criterios diagnósticos ya que tanto el DSM y el CIE-10 recogen los ítems clínicos que definen las alteraciones nucleares de este grupo [CTGV04]: Déficits sociales y de comunicación, y conductas o intereses restringidos y repetitivos [DCMYFB<sup>+</sup>05]. El problema se presenta debido a que estos ítems clínicos están relacionados con el desarrollo neurotípico del sujeto TEA y algunos de ellos no aparecen hasta que el sujeto tiene más de un año de vida, como por ejemplo el juego simbólico, las conductas repetitivas [AKT<sup>+</sup>99].

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

Por otro lado, hay que indicar la dificultad que existe cuando el sujeto tiene un grado más elevado del funcionamiento intelectual, como es el caso del autismo de alto funcionamiento y el Síndrome de Asperger [DCMYFB<sup>+</sup>05] o bajo la agrupación del DSM-V: TEA del Nivel 1. Esto se debe a que los límites son imprecisos, ya que comparten ciertas manifestaciones clínicas dificultando la identificación de las diferencias entre ellos[AP01].

Para realizar un diagnóstico específico existen diferentes cuestionarios validados y aceptados que han demostrado ser de gran utilidad [CTGV04] [AGHGDPCH08], pero sin olvidar que estos cuestionarios son solo de apoyo ya que la experiencia clínica es el elemento principal para realizar la confirmación diagnóstica[San04]. Los instrumentos más utilizados son:

- Test de Detección de los Trastornos Generalizados del Desarrollo (ADI-R).  
El ADI-R es una entrevista estructurada, en la que se evalúan tres áreas: Lenguaje / comunicación, Interacción social recíproca y Conducta restringida, repetitiva y estereotipada. Esta orientada a los familiares y los niños que se evalúan deben de tener un nivel de edad mental de 18 meses [SPD<sup>+</sup>11].
- Escala de observación para el diagnóstico del autismo(ADOS)  
ADOS es una evaluación estandarizada y semi-estructurada de la comunicación, la interacción social y el juego o el uso imaginativo de materiales para sujetos con sospecha de Trastornos del Espectro Autista. El ADOS consta de un conjunto de actividades, donde el evaluador puede observar o no la presencia de ciertos comportamientos sociales y de la comunicación relevantes para el diagnóstico de los TEA [BMH<sup>+</sup>11]. Cada sujeto es evaluado mediante uno de los cuatro módulos que lo componen, dependiendo de la edad y al nivel de comunicación verbal del sujeto [LRL<sup>+</sup>00].
- Diagnostic interview for Social and Communication Disorder (DISCO)  
DISCO es una entrevista semi-estructurada en la que se recoge la información evolutiva de diferentes fuentes para realizar un diagnóstico DSM-IV y CIE-10 [BCGG07].
- Escala de Evaluación del Autismo Infantil (CARS)  
CARS está compuesta en dos bloques, por un lado en una entrevista estructurada y por otro en un instrumento de observación. Esta entrevista permite cuantificar la severidad del trastorno. Se puede emplear a partir de los 24 meses de edad. En esta entrevista los profesionales puntúan cada elemento en una escala de 7 puntos el grado en que la conducta del niño se desvía del comportamiento de personas de la misma edad mental [MCM<sup>+</sup>12].

## 2.1 Sección médica: Trastorno del Espectro Autista

---

- Escala de Evaluación de Autistas de Guilian(GARS)  
GARS detecta y evalúa el trastorno autista y otros trastornos graves del desarrollo y del comportamiento. El GARS evalúa con 56 ítems con 4 tipos de conductas: Conducta estereotipada, la comunicación, la interacción social y los trastornos del desarrollo. Esta escala puede ser utilizada en edades comprendidas entre 3 y 22 años [HTA11].
- Lista de síntomas del niño de 1.5-5 (Child Behavior Checklist, CBCL/ 1.5-5) La CBCL/1.5-5 es uno de los pocos instrumentos que evalúa la comorbilidad más frecuente en los Trastornos de Espectro Autista.

Para realizar un diagnóstico correcto se deben e realizar una serie de evaluaciones.

### 1. Evaluación psicológica

Mediante esta evaluación se determina el perfil general de habilidades y deficiencias para elaborar un plan de intervención. Se deben evaluar aspectos como el lenguaje, la comunicación, las habilidades sociales, comportamientos y relaciones, capacidad adaptativa, fijación ocular, rituales, la memoria y el nivel de inteligencia. Por tanto, se debe realizar un examen neurológico completo.

### 2. Evaluación psiquiátrica

Gracias a esta evaluación se descarta la presencia de otras patologías neurológicas. El TEA tiene una comorbilidad muy alta con otros trastornos, como por ejemplo con trastornos por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) o retraso mental; este último es el problema más frecuente asociado a los TEA de afectación más severa. Por otro lado, el TEA suele ir asociado de ansiedad, depresión siendo en la adolescencia la etapa de mayor riesgo [dIIGP07].

### 3. Evaluación biomédica

Se debe de realizar una evaluación de la historia clínica del paciente, comprobando los antecedentes personales y los familiares Además, se estudiarán los parámetros de crecimiento y perímetro craneal, un examen corporal para detectar anomalías físicas, un estudio neurológico, de la audición y de la visión o la realización de un electroencefalograma (EEG) [CCM<sup>+</sup>12].

## 2.1.5 Tratamiento e intervención del Trastorno del Espectro Autista

En cuanto al tratamiento, hay que indicar que no existe un fármaco específico para los Trastornos del Espectro Autista, pero suelen ser recetados antidepresivos, psicoestimulantes o neurolépticos

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

atípicos ya que sirven para mejorar o aliviar síntomas específicos, como puede ser la ansiedad [JMPJ07].

Los programas de tratamiento deben de ser personalizados para cada individuo, debido a que cada persona tiene unas necesidades específicas.

Uno de los aspectos más importantes a la hora de trabajar en la intervención es la comunicación [JS12]. Las personas con TEA procesan mucho mejor la información visual, espacial y concreta, teniendo más dificultades para manejar la información no visible, temporal y abstracta. Por ello, se han creado los llamados “Sistemas Alternativos o aumentativos de Comunicación”(S.A.C) que tienen como objetivo la enseñanza gracias a procedimientos específicos alternativos y que están ajustados a las necesidades y posibilidades de cada niño. Existen dos tipos de S.A.C, los sistemas de signos o los sistemas representativos, mediante pictogramas.

### 2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista

Esta sección recoge de forma detalla los estudios realizados en el campo de la tecnología y TEA. En la literatura, se encuentran numerosas reviews sobre los estudios en los que se han incorporado la tecnología como parte de herramientas de ayuda o de apoyo, y en los que se ha verificado los beneficios que aportan su uso, como es la realizada por Ploog et. al [PSNB13] , Wang et al. [WR11] o por Scassellati et al. [SAM12].

Pero recogen poca información sobre los estudios más recientes realizados y se centran en las áreas que trabajan sin realizar división por los tipos de tecnologías o aplicaciones empleadas. Por esta razón, esta revisión presenta los estudios más significativos realizados desde el 2004 hasta el 2015, dividiéndose por el tipo de sistemas/ tecnologías que se están empleando tanto para el diagnóstico como para el tratamiento de TEA, así como las investigaciones con la tecnología eye-tracking orienta a evaluar cuál es la tendencia de las personas con TEA a la hora de explorar con la mirada, los objetos, rostros o situaciones que se le muestran en pantalla de un ordenador.

En este caso, se ha seguido la siguiente división:

- Aplicaciones de realidad virtual
- Aplicaciones dedicadas
- Telehealth systems
- Robots

## **2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista**

---

- Tecnología EyeTracking

Asimismo, se ha realizado una subdivisión de las investigaciones estudiadas según el área de afectación del TEA, que se trabaja en cada estudio.

### **2.2.1 Aplicaciones de realidad mixta**

Desde hace años, se ha comenzado hablar de realidad mixta, haciendo referencia a las tecnologías de realidad virtual y a las tecnologías de realidad aumentada. La realidad mixta, permite crear y desarrollar mundos en los cuales, los elementos reales y los elementos creados por ordenador estén conectados [MK94][BJB<sup>+</sup>05].

Gracias a las ventajas existentes de crear entornos controlados y reales empleando esta tecnología, existen investigaciones relacionadas a comprobar cómo empleándola de forma controlada puede ser una herramienta de apoyo, útil y eficaz en las áreas en las que se incorpore, como por ejemplo, salud [OWN95], [RBB<sup>+</sup>99], [CCH11], áreas militares [HSHS05], entre otros.

Dentro del campo del TEA, la realidad mixta puede ayudar a entender cómo los niños con autismo son desafiados por una sobrecarga sensorial y aversiones a una variedad auditiva, visual, y a los estímulos táctiles [MB96].

Los primeros estudios que aparecen datan de 1996, realizándose estudios esporádicos desde entonces hasta el año 2004 donde comenzó a aumentar las investigaciones.

Dentro de las aplicaciones de realidad mixta desarrolladas para el colectivo TEA, se puede realizar una categorización por las áreas que trabajan, como la seguida en esta investigación: Comunicación e interacción, aprendizaje e imitación de habilidades sociales y otros problemas asociados. En la tabla 2.2.1.4 se muestra un resumen de los estudios analizados.

#### **2.2.1.1 Comunicación e interacción**

Ke et al. [KI13], desarrollaron entornos virtuales en los que se involucraban a los participantes con autismo en situaciones sociales y diversos ejercicios, la primera tarea era reconocer las expresiones corporales y faciales de un personaje virtual, la segunda mantener una comunicación con personajes virtuales en una cafetería de la escuela y por último interactuar con personajes en una fiesta de cumpleaños. Los investigadores realizaron un análisis vía observación de los participantes y mediante cuestionarios. Obtuvieron resultados positivos ya que los niños demostraron como incrementó la comunicación, la interacción durante la intervención y mejoraron las competencias comunicativas después de la intervención.

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

Otro ejemplo de mundos virtuales es Brigadoon, desarrollado por BrainTalk Communities, [Bla10], un programa basado en la interacción de personas con problemas mentales. Su objetivo es estimular a las personas con Síndrome de Asperger o Autismo a aprender a socializarse, dotándoles de un entorno en el que pueden interactuar entre sí. Debido a que es una comunidad online en fase piloto no se han publicado resultados científicos por el momento.

En el año 2006, Parson et al. [PLM06] investigaron como era el comportamiento de dos adolescentes con TEA en dos entornos virtuales, un café y un autobús. Con este estudio comprobaron que a pesar de que los participantes continuaran registrando comportamientos repetitivos e interpretación literal de las situaciones, los adolescentes interpretaron de forma correcta las escenas, y mostraron apreciar las oportunidades a la hora de dialogar y responder de forma adecuada. Siguiendo esta línea de investigación, Mitchell et al. [MPL07] crearon una cafetería virtual. En la investigación participaron 6 adolescentes con TEA a los que se les presentaban 3 set de vídeos sobre situaciones reales en cafeterías y en autobuses, y a continuación el entorno virtual. Los participantes debían indicar en qué asiento decidían sentarse y por qué, siendo analizada y codificada la respuesta por 10 evaluadores. Para ello, a la mitad de los participantes se les mostró el entorno virtual entre el primer y segundo set de vídeos y a la segunda mitad de los participantes durante el segundo y tercer set de vídeos. Como resultado, los investigadores encontraron como se dieron casos de una mejora significativa, en relación directa con el tiempo empleado en el entorno virtual, en los juicios y en las explicaciones sobre dónde sentarse.

Strickland et al. [SCS13] desarrollaron una herramienta llamada JobTIPS, gracias a la cual se enseña a las personas con autismo de alto funcionamiento, habilidades para realizar entrevistas de trabajo. Para ello emplearon soporte visual, vídeos, guías sobre la teoría de la mente y entornos virtuales en los que practicaban esta habilidad. Para comprobar la efectividad del programa, participaron 22 jóvenes en el experimento. La mitad de los jóvenes realizaron sesiones con el programa, mientras que la segunda mitad formaron el grupo de control al no utilizar el sistema. Tras el experimento, los participantes que hicieron uso del programa demostraron significativamente más habilidad verbal durante las entrevistas que el grupo de control. Continuando con esta línea de investigación, en el 2015, los autores Hughes et al. [HND<sup>+</sup>15] desarrollaron AMITIES (Avatar-Mediated Interactive Training and Individualized Experience System) que ofrece a un individuo la capacidad de adaptar de forma remota las actuaciones de múltiples avatars virtuales, introduciendo al personaje en escenarios dónde se trabaja desde la preparación para hacer frente a situaciones interpersonales complejas como son las presiones de grupo y la participación en entrevistas de trabajo.

## **2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista**

---

### **2.2.1.2 Aprendizaje e imitación de habilidades sociales**

Los investigadores Josman et al. [JBCFW08] desarrollaron mediante la tecnología de realidad virtual un entorno seguro, gracias al cual, las personas con TEA aprendían cómo actuar al cruzar la calle. En este estudio participaron 6 niños con TEA formando el grupo experimental y 6 niños con desarrollo neurotípico, formando el grupo de control. Los investigadores concluyeron que las personas con TEA aprendieron las habilidades necesarias para tomar las decisiones adecuadas al cruzar la calle dentro del entorno virtual, por lo que esos conocimientos adquiridos podían ser trasladados a situaciones reales.

Los entornos virtuales, también han sido causa de estudio para ayudar al aprendizaje de habilidades como la habilidad de jugar. En el 2008, Herrera et al. [HAJ<sup>+</sup>08] realizó dos casos de estudio con niños con autismo, en el que evaluaban esta habilidad con entornos virtuales. Los resultados mostraron una mejora en las habilidades de juego después de la intervención.

Fabri et al. [FEM07] centraron su investigación en comprobar cómo las personas con autismo interactuaban con avatares capaces de expresar facialmente emociones (felicidad, tristeza, enfado y miedo). En la primera fase del experimento, los participantes (34 jóvenes diagnosticados con TEA de 9.96 años de media) tenían que seleccionar de una lista la emoción que estaba expresando el avatar, en la segunda fase, se mostraba al avatar en un entorno social y los participantes tenían que ser capaz de interpretar que emoción estaba involucrada en esa escena. Por último, en la tercera fase, los participantes debían seleccionar entre una lista de eventos o situaciones, cuales eran los responsables de provocar la emoción representada por el avatar. Los autores comprobaron como 30 de los participantes entendían las emociones de los avatares y eran capaces de usarlos de forma apropiada. Sin embargo, los 4 participantes restantes diagnosticados con autismo severo, tuvieron dificultades en entender y comprender la emoción representada por el avatar.

Ese mismo año, Ehrlich et al. [EM09] desarrollaron en la universidad de Kansas un mundo en 3 dimensiones virtual llamado Animated Visual Supports for Social Skills (AViSSS). Con este sistema las personas con Síndrome de Asperger trabajan las habilidades sociales mediante diferentes entornos y situaciones que presenta la plataforma, teniendo que elegir cómo comportarse, o seleccionando objetos. Gracias a esta plataforma se puede practicar diferentes situaciones sociales sin sufrir la tensión o ansiedad que pueden sufrir en el mundo real. Sin embargo, durante el test inicial, los autores concluyeron con que los estudiantes con TEA no reaccionaron adecuadamente al avatar, en concreto al profesor virtual, ya que se mostraban desinteresados e impacientes al tratar con él.

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

### 2.2.1.3 Otros problemas

Esta tecnología también ha sido empleada para motivar a las personas con autismo a realizar ejercicio físico. Finkelstein et al. [FNBS10] desarrollaron un juego llamado Astrojumper. El objetivo del juego era esquivar con los objetos virtuales que aparecían en la pantalla con los propios movimientos del usuario. Herrera et al. [HCS<sup>+</sup>12] en su estudio piloto, aprovechando las ventajas de juego que proporciona la Kinect, desarrollaron un set de juegos educativos en el que los niños realizaban ejercicio físico (siendo su propio cuerpo el mando) y a su vez enseñaban a los participantes a ser más conscientes de su propio cuerpo.

Asimismo, se han realizado estudios para comprobar como las personas con TEA interactúan con el mundo real, por ello, Fornasari et al [FCI<sup>+</sup>13], crearon un entorno urbano en el que comparaban el comportamiento entre niños con desarrollo neurotípico y niños con TEA. Para ello, realizaron dos ejercicios, el primero de ellos consistía en investigar el entorno de una forma libre y el segundo, recorrer el entorno para cumplir los objetivos marcados. Los investigadores comprobaron que no existían diferencias de comportamiento entre ambos grupos en la segunda tarea, sin embargo, los niños con TEA, en la primera tarea, empleaban menos tiempo a la hora de explorar el entorno que los niños con desarrollo neurotípico, encontrando diferencias de comportamiento significativas entre ambos grupos.

En el 2014 Escobedo et al. [ETQ<sup>+</sup>14], exploraron cómo la realidad aumentada puede ayudar a integrar los mundos físico y digitales, imitando las estrategias actuales para la gestión de la atención en el autismo. Para ello desarrollaron una aplicación de realidad aumentada móvil (MOBIS) que permite a los profesores superponer los contenidos digitales en la parte superior de los objetos físicos. Los resultados de un estudio han demostrado como Mobis es útil y fácil de usar y aumenta la atención sostenida y selectiva de los niños con autismo, provocando emociones positivas durante las terapias.

### 2.2.1.4 Conclusiones

Las aplicaciones de realidad virtual como herramienta en las terapias han dado resultados muy positivos, ayudando a las personas con autismo a lo hora de adquirir emociones, mejorando sus habilidades sociales, habilidades cognitivas [KDK<sup>+</sup>13].

La realidad virtual permite crear entornos seguros, en los cuales se pueden aprender reglas y realizar tareas de forma repetitiva. Además, al interactuar con personas virtuales donde se pueden replicar situaciones sociales, permite trabajar dichas situaciones buscando una solución más flexible,

## **2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista**

por lo que, los entornos virtuales pueden ser un buen instrumento para trabajar las habilidades sociales con las personas con TEA [PM02] [HJV06].

Asimismo, esta tecnología permite crear avatares o personajes con aspecto más real con el que se pueden trabajar las expresiones faciales o emociones, siendo reconocidas por las personas con autismo [FEM07], [FNBS10],[MCMP05] y crear entornos controladas en el que la persona con autismo se sienta seguro [BFCB11], [KIK<sup>+</sup>14], logrando de esta forma aprovechar las ventajas que brinda esta tecnología como herramienta de apoyo en las terapias.

Mediante los entornos de realidad virtual o realidad mixta se logra trabajar la interacción, tanto en la interacción verbal, como en la interacción basada en gestos, logrando la efectividad de estos entornos en la neuro-rehabilitación de los niños [WR11], [WLL<sup>+</sup>09].

Autor	Año	País	Muestra	Grupo Control	Años	Diagnóstico	Area a trata	Método	Resultados	Clasificación
Hughes et al [HND <sup>+</sup> 15]	2015	EEUU	-	-	-	TEA	Comunicación	AMITIES: Entornos virtuales: entrevistas de trabajo	Mejora de las capacidades sociales	Comunicación e interacción
Escobedo et al.[ETQ <sup>+</sup> 14]	2014	EEUU				TEA		Mobis: Realidad aumentada	Aplicación fácil de usar y aumenta la atención selectiva de las personas con TEA	Otros problemas
Fornasari et al [FCI <sup>+</sup> 13]	2013	Italia	16	16 niños		TEA	Comportamiento	Entornos virtuales cuidada (1-exploración libre 2- objetivos)	1º Ejer: niños con TEA emplean menos tiempo en explorar los entorno. 2º Ejer: NO diferencias de comportamiento	Otros problemas
Ke et al.[KI13]	2013	EEUU	4	-	4 - 5	TEA alto funcionamiento	Interacción social	R.V. + personajes	Incremento de la comunicación e interacción	Aprendizaje e imitación de habilidades sociales
Strickland et al. [SCS13]	2013	EEUU	22	-	16-19	TEA alto funcionamiento	Habilidad social: Entrevista de trabajo	R.V, vídeos, Teoría de la Mente	Incremento de las habilidades verbales	Comunicación e interacción
Herrera et al [HCS <sup>+</sup> 12]	2012	España	-	-	-	-	Habilidad motora	Kinect y juegos educativos	Estudio piloto: hace que los niños sean más conscientes de su cuerpo	Otros problemas

Tabla 2.3 Continúa de la página siguiente

Autor	Año	País	Muestra	Grupo Control	Años	Diagnóstico	Area a trata	Método	Resultados	Clasificación
Finkelstein et al. [FNBS10]	2010	EEUU	-	8	4 (11-16 años) 2(18-25 años) 2 (40-50 años)	Control	Ejercicio Físico	Astrojumper:juego de RV, esquivar objetos	Estudio piloto que trabaja el ejercicio físico	Otros problemas
Ehrlich et al. [EM09]	2009	EEUU	Adolescentes	-	-	TEA	Habilidad social	AVISS entornos virtuales, colegio gimnasio	Participantes no responden bien a los avatares	Aprendizaje e imitación de habilidades sociales
Josman et al. [JBCFW08]	2008	Israel	6 niños	6 niños	-	TEA	Habilidad social: Cruzar la calle	Entornos virtuales	Aprendizaje de habilidades para tomar decisiones	Aprendizaje e imitación de habilidades sociales
Herrera et al. [HAJ+08]	2008	España	2	-	(6-8	TEA	Habilidad juego	Entornos virtuales	Mejora habilidades de juego	Aprendizaje e imitación de habilidades sociales
Mitchell et al. [MPL07]	2007	UK	6	-	Adolescentes	TEA	Comunicación	Entornos virtuales, café	Mejora del tiempo empleado en la toma de decisiones	Comunicación e interacción
Fabri et al. [FEM07]	2007	UK	34 adolescentes	-	(7-16	18 Asperger y 16 autismo	Habilidad social	Avatares virtuales	88.3 % de los participantes comprendieron las emociones de los avatars	Aprendizaje e imitación de habilidades sociales
Parsons et al. [PLM06]	2006	UK	2 adolescentes	-	-	TEA	Comunicación	Entornos virtuales; cafetería y autobús	Adolescentes interpretan y responden correctamente escenas sociales	Comunicación e interacción

**Tabla 2.3:** Tabla resumen: Estudios sobre sistemas de realidad mixta

### 2.2.2 Aplicaciones dedicadas

En esta investigación se ha llamado aplicaciones dedicadas a las herramientas tecnológicas (no emplean realidad virtual) orientadas a personas con autismo y están diseñadas para ser trabajadas tanto en ordenadores como en tablets o teléfonos móviles.

Las aplicaciones dedicadas a personas con autismo son principalmente herramientas de apoyo para facilitar o evaluar las habilidades de estas personas a la hora de comunicarse, a trabajar las habilidades sociales. Por esta razón, esta investigación analiza las herramientas que se han considerado más significativas agrupándolas en: (1) Comunicación, (2) Aprendizaje e imitación de habilidades sociales y (3) otros problemas asociados.

Los primeros estudios que aparecen datan de 1995, realizándose estudios esporádicos desde entonces. A partir del 2007 comenzaron a aumentar las investigaciones, siendo el año 2010 el año dónde más investigaciones se realizaron sobre este tema. En la tabla 2.2.2.4 se muestra un resumen de los estudios más relevantes sobre aplicaciones dedicadas que se han analizado.

#### 2.2.2.1 Comunicación e interacción

Las personas con autismo tienen serias dificultades en la interacción social y en las conversaciones [SAB<sup>+</sup>13], por lo que la mayor parte de las aplicaciones desarrolladas se centran en trabajar y mejorar la comunicación de estas personas.

En 2008, Grynszpan et al. [GMN08], desarrollaron software específico formado por 3 juegos orientados a personas con TEA. Mediante estos juegos se trabajaba una de las áreas de afectación de este trastorno, la comunicación. Este software incorporaba diálogos subtítulos en el que se muestra ironía, sarcasmo y metáforas; e imágenes de rostros mostrando expresiones. Los participantes tenían como objetivo comprender la situación mostrada y de esta forma, poder responder correctamente. En la investigación participaron 10 adolescentes diagnosticados con TEA y 10 adolescentes con desarrollo neurotípico. La investigación consistía en la utilización de este software durante 13 semanas, 1 vez a la semana. Gracias a los resultados obtenidos de la primera sesión y de la última sesión, los investigadores pudieron evaluar las habilidades de cada participante. Como resultado obtuvieron una baja actuación en interfaces ricas multimedia por parte de los adolescentes con TEA, ya que mostraron una falta de iniciativa a la hora de organizar la información dada en las fuentes multimodales.

En 2011, la Fundación Orange y la Fundación Dr. Carlos Elósegui de Policlínica Gipuzkoa, desarrollaron un software que facilita la comunicación a las con TEA. Este software llamado e-Mintza emplea tecnología táctil y elementos como pictogramas y recursos gráficos ARASAAC. E-

## **2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista**

---

Mintza se adapta fácilmente a las necesidades de sus usuarios. Asimismo promueve su autonomía a través de una agenda personalizada [Ora]. Siguiendo este tipo de sistemas, se ha desarrollado un comunicador llamado Piktoplus. Piktoplus es una herramienta basada en el sistema pictográfico de comunicación aumentativa y/o alternativa (SAAC). Está diseñada para facilitar la comunicación a cualquier persona con alteraciones en la emisión y/o comprensión del lenguaje verbal. Se trata de una tableta táctil compuesta por pictogramas que permite trabajar: el lenguaje, las pautas conductuales, la grafo motricidad, las áreas cognitivas específicas a través del juego [dia13]. Otro sistema de características similares es ZacPicto. ZacPicto es una herramienta creada para ayudar a padres y profesionales que trabajan con personas con autismo. El programa dispone, por un lado, de un organizador visual que permite organizar y estructurar todas las actividades, y por otro lado proporciona un espacio de comunicación, a través de una red social, para todos los involucrados en la atención a personas con autismo: padres, maestros, terapeutas [Del07], [DTSP07].

Otra línea de investigación han sido las aplicaciones desarrolladas para tablets o PDAs. Torii et al. [TOS<sup>+</sup>12], [TONI13] desarrollaron Lets Talk! en Japón. Lets Talk! es un programa para sistemas “personal digital assistant” (PDA) que facilita al usuario comunicarse mediante la selección de imágenes y sonidos que incorpora el programa. Para comprobar la efectividad y usabilidad del sistema participó un niño con autismo de 9 años, al que tras el uso del mismo redujo los malos comportamientos tras aprender cómo expresar sus pensamientos e intereses con la aplicación de forma apropiada. En el 2003 Ganz et al. [GHG13] comprobaron la eficacia del uso de los tablets como sistemas comunicadores, con respecto a los comunicadores tradicionales. En el estudio participaron dos personas con TEA, dos de ellos aprendieron de forma rápida el manejo del sistema y comunicaron que preferían el uso de este sistema que los tradicionales. Sin embargo, el tercero no mostró habilidad a la hora de manejarlo por lo que se inclinó por los sistemas tradicionales.

Los autores Arellano et al. [ASR<sup>+</sup>15], crearon el proyecto SARA mediante el cual evalúan como las personas con TEA categorizan las emociones expresadas mediante expresiones faciales. Para ello adaptaron e implementaron el test DECT (Dynamic Emotional Categorization TEST) para evaluar el uso de animaciones en tiempo real comparando avatares y personas reales. Como resultado comprobaron como las personas con TEA de alto funcionamiento mostraron una baja actuación al categorizar las emociones.

### **2.2.2.2 Aprendizaje e imitación de habilidades sociales**

Desde 1964 se han realizado investigaciones sobre la efectividad de la música en las terapias de personas con TEA [Nor], [NAG84] , en las que se demuestra cómo las terapias que incorporan

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

música ayudan a enseñar nuevos conceptos o habilidades a las personas con autismo [Whi04] [EDD13][EDD13]. Por esta razón, se ha incorporado la música en las aplicaciones a utilizar como herramientas en los tratamientos. Por ejemplo en el 2009, Hoelzl et al. [HDMW09], desarrollaron un prototipo de una herramienta para crear música, llamada “Constraint Muse” dirigido a niños con autismo de alto funcionamiento o Asperger y para personas con Parkinson. Este sistema empleaba el mando Wii de la Nintendo facilitando el uso del sistema [LWZ<sup>+</sup>12] y la creación de música. Además permitía generar música entre varias personas favoreciendo el juego colaborativo.

También se realizaron estudios para comprobar la habilidad de reconocer emociones. Tanaka et al. [TWK<sup>+</sup>12], en el 2012, empleando la batería de emociones sociales Let’s face it!, comparó a un grupo de 68 niños con TEA y 66 niños con desarrollo neurotípico, mientras completaban la tarea de etiquetar las emociones sociales mostradas en rostros, como la felicidad, el enfado, el disgusto, sorpresa, entre otros. Los niños con TEA obtuvieron peores resultados que el grupo de control al nombrar las emociones de alegría, tristeza, disgusto, enfado. Además analizaron como exploraban los niños los rostros, y comprobaron cómo los niños con TEA centraban más la atención en la parte de la boca que en los ojos, mientras que los niños con desarrollo neurotípico la centraban de forma inversa.

Otra investigación realizada fue la de Hulusic et al. [HP12], que creó un framework para ayudar a las personas con autismo aprender nuevas habilidades. Para su estudio piloto, desarrollaron cuatro juegos con los que les enseñaban las habilidades de señalar durante el juego, habilidad considerada necesaria para poder aprender otras nuevas habilidades. En el estudio se comprobó la usabilidad de la herramienta y obtuvieron resultados muy positivos, ya que los niños participantes no tuvieron problemas a la hora de utilizarlo. Además los niños transfirieron el conocimiento adquirido a otros entornos.

Apela J. et al [CC13], demostraron como gracias a los juegos en el ordenador en el que incorporaban actividades de arte y de canciones, los 5 niños participantes tras 6 semanas de utilización del sistema, mejoraron en la habilidad de aprender los colores e imaginación. Confirmando cómo las herramientas adaptadas permiten trabajar y mejorar habilidades.

### 2.2.2.3 Otros problemas asociados

Las habilidades de juego y la imaginación también son objeto de estudio empleando aplicaciones dedicadas para las personas con autismo. Por ejemplo, mediante el desarrollo de sistemas que incorporan contadores de historias [HDD09]. Murdock et al. [MGC13] emplearon un Ipad que

## **2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista**

---

contaba historias con objeto de trabajar la comunicación durante el juego. En el estudio participaron 4 niños pequeños con autismo. En el juego se empleaban vídeos con muñecos que generaban diálogos interactivos y que animaban a los niños a participar. Con este estudio se consiguió que 3 de los participantes demostraran tras el uso del sistema, un aumento en el diálogo e incluso generaron nuevos diálogos dentro del juego. Sin embargo, uno de los participantes no mostró ninguna mejora tras el juego. Otro estudio de interés es el realizado por Dillon et al en el 2011 [DU12], en el que a través de una aplicación se permitía a los niños con autismo realizar historias. Gracias a estas creaciones, analizaban la habilidad de expresión escrita y la imaginación entre niños con autismo y niños con desarrollo neurotípico. Como resultado, comprobaron que tanto los niños con autismo y los niños con desarrollo neurotípico crearon tanto historias reales como fantásticas y que ambos grupos, realizaron más historias basadas en historias reales que en historias fantástica. Sin embargo, en ambos grupos la lógica de la historia era mayor en la historia fantástica. La diferencia entre ambos grupos la encontraron a la hora de usar los elementos dados en la aplicación para crear las historias. Los niños con desarrollo neurotípico no realizaron ningún error mientras los niños con autismo realizaron un número de errores mayor. Corroborando la afectación de este trastorno en la imaginación.

Sarachan et al. [Sar12] trabajaron la imaginación, para ello emplearon el programa Scratch mediante el cual, los niños creaban sus propias historias y juegos, gracias a esto se conseguía que los niños con autismo trabajasen y fortaleciesen la capacidad para resolver problemas y la creatividad (áreas a las que suele afectar este trastorno).

Es interesante señalar, una aplicación llamada ZacBrowser. ZacBrowser es un navegador desarrollado específicamente para niños con autismo, y desórdenes de espectro autista. Está dividido en varias categorías (acuario, televisión, juegos, música, cuentos y pizarra), que dirige al niño hacia páginas webs de contenido infantil sobre estos temas, evitando la posibilidad de entrar en páginas inadecuadas o inapropiadas o que contengan demasiados estímulos que distorsionen la atención del usuario [Mie08].

Además, se han realizado juegos para ordenador en los que se han explorado la atención prosódica y a los componentes lingüísticos de las frases habladas [PBB09]. Los niños escuchaban frases pre-grabadas de 2 en 2 que varían respecto a los contenidos y la entonación en una fase de entrenamiento y una recombinación de estas en la fase de pruebas. Los niños tenían que ir seleccionando una de las dos frases que variaban en su contenido y en prosodia. Como resultado comprobaron cómo durante el entrenamiento los niños con autismo seleccionaron de forma similar las frases según el contenido que por sus características prosódicas, mientras que los niños con desarrollo

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

típico mostraron una clara preferencia por el contenido sobre la prosodia. Sin embargo, ambos grupos mostraron una discriminación de los estímulos de entrenamiento de los estímulos de prueba recombinados.

Asimismo, se estudió la capacidad de expresión mediante el diseñado para evaluar la conciencia sintáctica [MCADFM13]. Los niños aprendieron a tocar las palabras en una pantalla en la secuencia correcta para ver una animación correspondiente. Aunque los resultados fueron variados, se determinaron como carecían los usuarios de conciencia sintáctica, pero el dominio que demostraron en el control sintáctico básico en el dominio no-voz fue superior a la que se manifiestan en la lengua hablada.

### 2.2.2.4 Conclusiones

Este tipo de aplicaciones se han empleado para trabajar las áreas de afectación del autismo y problemas asociados al trastorno del espectro autista, centrándose la mayor parte de los esfuerzos en crear aplicaciones que ayuden a las personas con autismo a comunicarse a través de imágenes y sonidos.

Estos sistemas, son ampliamente aceptados debido a su sencillez de uso y por ser herramientas muy intuitivas, al trabajar con elementos cotidianos. Pero es importante remarcar que son estudios piloto, por lo que se debería de demostrar si las nuevas habilidades que los usuarios adquieren se pueden trasladar al día a día.

Por esta razón, se debe seguir trabajando en este tipo de sistemas y continuar con las investigaciones, logrando abordar retos tan importantes para las personas con autismo como la comunicación o interacción. Para ello, se considera esencial que se incorpore el componente humano a los sistemas, es decir, que sea necesario la participación en el sistema de otra persona, forzando de esta modo a la persona con autismo a comunicarse.

Autor	Año	País	Muestra	Grupo Control	Años	Diagnóstico	Area a trata	Método	Resultados	Clasificación
Arellano et al. [ASR+15]	2015	Alemania	-	-	-	TEA	Comunicación y habilidades de socialización	SARA: Evaluar emociones en rostros virtuales	Diferencias en la categorización de emociones	Comunicación e interacción
Murdock et al. [MGC13]	2013	EEUU	4 niños	-	49-52 meses	TEA	Comunicación	iPad play story	3 de 4 participantes mejoraron el diálogo y produjeron nuevos diálogos	Otras problemas asociados
Ganz et al. [GHG13]	2013	EEUU	3 niños	-	3 -5 years	TEA	Comunicación	Tablet como comunicador	2 de los 3 niños prefirieron el nuevo sistema	Comunicación e interacción
Chanchalor S. et al [CC13]	2013	-	5 niños	-	11 - 15 years old.	TEA	Aprendizaje de colores	Actividades multimedia de arte	Mejora del aprendizaje de colores y desarrollo de la imaginación	Aprendizaje e imitación de habilidades sociales
Torii et al. [TONI13]	2013	EEUU	1	-	8 años	TEA	Comunicación	Lets Talk!	Mejora del mal comportamiento y aprendizaje de cómo expresar los pensamientos	Comunicación e interacción
McGonigle-Chalmers et al. [MCADEFM13]	2013	Escocia, 9 UK	-	-	-	Autism bajo funcionamiento	Lenguaje	Juego de aprendizaje: 3 tareas ( 2 palabras:nombre-verbo, 3 palabras:nombre-verbo-nombre y 4 palabras: nombre-verbo preposición nombre)	Usuarios falta de conciencia sintáctica	Otras problemas asociados

Tabla 2.4 Continúa de la página siguiente

Autor	Año	País	Muestra	Grupo Control	Años	Diagnóstico	Area a trata	Método	Resultados	Clasificación
Tanaka et al. [TWK+ 12]	2012	Canada	68	66	-	TEA	Déficits sociales (emociones faciales)	Let's Face It! Batería de emociones	Niños con TEA mayor atención a la boca que a los ojos	Aprendizaje e imitación de habilidades sociales
Hulusic et al. [HP12]	2012	EEUU	4 niños	-	niños	TEA	Enseñanza de habilidades básicas y conceptos	4 juegos para trabajar habilidad de nombrar, uniendo y señalando objetos	Trasferencia de los conocimientos aprendidos a otros entornos	Aprendizaje e imitación de habilidades sociales
Sarachan et al. [Sar12]	2012	EEUU	-	-	-	TEA	Creativity	Scratch: Crear historias y juegos	Desarrollo y fortalecimiento de la capacidad de resolución de problemas y la creatividad	Otras problemas asociados
Fundación orange [Del07]	2012	Spain	-	-	-	TEA	Comunicación	Zacpicto: Comunicador mediante pictogramas	Herramienta que ayudó a los padres .	Comunicación e interacción
Limbika SL. [dia13]	2012	Spain	-	-	-	TEA	Comunicación	Piktoplus: Comunicador mediante pictogramas	istema que trabaja el lenguaje , el comportamiento , la motricidad	Comunicación e interacción
Dillon et al [DU12]	2011	UK	10	10	Media 8.96 y 8.60	TEA (Alto funcionamiento)	Imaginación	Aplicación basada en crear historias	Ambos grupos inventaron más historias basadas en hechos reales que la fantasía, pero el grupo clínico cometieron más errores	Otras problemas asociados

Tabla 2.4 Continúa de la página siguiente

Autor	Año	País	Muestra	Grupo Control	Años	Diagnóstico	Area a trata	Método	Resultados	Clasificación
Fundación orange [Ora]	2011	Spain	-	-	-	TEA	Comunicación	Emintza: Comunicador mediante pictogramas	Estudio de muestra. Software facilita la comunicación Herramienta prototipo para crear música con el control de Nintendo Wii	Comunicación e interacción
Hoelzl et al [HDMW09]	2009	Alemania-	-	-	-	Asperger or Parkinson	Juego colaborativo e imaginación	Constraint Muse: Música + controles de la Wii	Los niños con ASD hicieron selecciones similares de acuerdo con el contenido o las características prosódicas. El grupo de control mostró preferencia por el contenido	Aprendizaje e imitación de habilidades sociales
Ploog et al [PBB09]	2009	EEUU	9	9	niños	TEA(Bajo funcionamiento)	Atención prosódica y a los componentes lingüísticos	Computer game	Los participantes con TEA mostraron mal desempeño en las interfaces multimedia ricas	Otras problemas asociados
Grynszpan et al. [GMN08]	2008		10	10	Adolescentes	TEA	Habilidades de comunicación	diálogos subtítulos (ironía, sarcasmo y metáforas); e imágenes de rostros mostrando expresiones	Usuarios aprenden a reconocer emociones complejas y estados mentales	Comunicación e interacción

Tabla 2.4 Continúa de la página siguiente

Autor	Año	País	Muestra	Grupo Control	Años	Diagnóstico	Area a trata	Método	Resultados	Clasificación
Golan et al. [GBC06]	2006	UK	19	24	adultos	Asperger y autismo de alto funcio- namiento	Emociones complejas en rostros y voces	Multimedia inter- activa		Aprendizaje e imitación de habilidades sociales

**Tabla 2.4:** Tabla resumen: Estudios sobre aplicaciones dedicadas

### 2.2.3 Sistemas Telehealth

Existen aplicaciones dedicadas no solo a las personas con TEA, sino que ayudan también a los familiares. Este es el caso de los sistemas telehealth. Estos sistemas permiten el intercambio de información entre “paciente” - médico, sin necesidad de asistir físicamente a la consulta de los médicos reduciendo los costes que conlleva acudir a las consultas [BMS<sup>+</sup>13] [Tux13]. Por esta razón, la investigación sobre los beneficios de los sistemas de telehealth abarcan un gran campo de áreas de salud [WTRC10] [CAB<sup>+</sup>13] [MBM<sup>+</sup>12] y están orientados tanto a personas adultas como a niños [LST<sup>+</sup>13] [HHH<sup>+</sup>13] [WLO<sup>+</sup>13]. Debido a los beneficios que presentan estos sistemas, este concepto se ha trasladado al mundo del TEA y se están centrando en ayudar a los familiares a cargo de personas con autismo.

La incorporación de esta tecnología en el área del TEA no comenzó hasta el 2004, pero ha ido aumentando hasta el 2013 en 5 estudios con impacto en el 2013. En este estudio se han analizado los sistemas más relevantes (ver tabla 2.2.3.3).

Estos estudios se centran principalmente en dar ayuda a los familiares de personas con TEA a adquirir nuevos conocimientos sobre este trastorno y como herramienta para obtener información sobre estas personas para poder ayudar a la hora de realizar un diagnóstico o tratamiento. Por esta razón se ha realizado la división en (1) sistemas telehealth dirigidos a los familiares y (2) Telehealth dirigido al diagnóstico o tratamiento del TEA

#### 2.2.3.1 Telehealth dirigido a los familiares

Un ejemplo de estos sistemas es el desarrollado por Baharav et al. [BR10], con el que intentaban dar el conocimiento a los familiares sobre cómo continuar el tratamiento de sus hijos en los hogares. Para ello, compararon el sistema de telehealth desarrollado, empleándolo una vez a la semana, con el modelo clínico tradicional (sesiones de terapia de habla y del lenguaje). En la investigación participaron los padres de 2 niños diagnosticados con autismo e informaron que el sistema de telehealth era tan valioso como las terapias tradicionales, permitiendo continuar con el tratamiento de sus hijos desde casa

Los investigadores Wacker et al. en el 2012, obtuvieron un resultado similar en su investigación. Wacker et al. desarrollaron un sistema que permitía a los familiares recibir información sobre la comunicación funcional, para identificar y reducir problemas de comportamiento [WLD<sup>+</sup>13]. En este mismo año, Vismara et al. realizaron una investigación sobre cómo gracias a los sistemas de telehealth, los familiares de personas con TEA podían aprender técnicas de intervención temprana y ponerlas en prácticas en su día a día [VYR12]. Siguiendo esta línea de investigación, Kobak et

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

al. [KSW<sup>+</sup>11] evaluaron un sistema web que daba acceso a los padres a información sobre cómo mejorar la interacción con sus familiares con TEA, basado en la práctica de evidencias y empleando este sistema para maximizar el aprendizaje. Para ello, evaluaron la efectividad del tutorial y los conocimientos de los familiares antes y después del experimento. Como resultado, comprobaron que los familiares aumentaron sus conocimientos sobre cómo comunicarse con sus hijos y además de sentirse capaces de emplear estas técnicas de comunicación en su día a día.

### 2.2.3.2 Telehealth dirigido al diagnóstico o tratamiento del TEA

El investigador Oberleitner et al. ha realizado numerosas investigaciones sobre los sistemas de telehealth orientados al diagnóstico y tratamiento [OLS<sup>+</sup>04], [OEBH<sup>+</sup>06] [OEBRB07]. Desarrollaron un sistema salud de “tele-comportamiento” que permitía a los familiares, cuidadores recopilar los comportamientos espontáneos de las personas con TEA, para ser analizados posteriormente por especialistas [OLS<sup>+</sup>04]. Estos comportamientos eran adquiridos mediante tecnología de vídeo captura, permitiendo reducir el tiempo de diagnóstico y mejorando de esta forma la precisión diagnóstica [OEBH<sup>+</sup>06] [OEBRB07].

Otro sistema de telehealth que ha obtenido resultados óptimos en este campo, es el desarrollado por Parmanto et al.[PPS<sup>+</sup>13] en el 2013. En el sistema incluyó videoconferencias, grabaciones, imágenes and vídeos, entre otros, facilitando una evaluación cara a cara de la persona con TEA, sin necesidad de ir a las terapias o consultas.

Resee et al. [RJW<sup>+</sup>13] encontraron un vacío entre la primera sospecha de autismo y el diagnóstico, sobre todo en entornos rurales, por ello, desarrollaron un sistema de telehealth en el que se evaluaba a la persona con sospecha de autismo vía telehealth. Los investigadores evaluaban mediante un sistema de videoconferencia los ítems que aparecen en el Autism Diagnostic Observation Schedule (ADOS) – Module y el the Autism Diagnostic Interview-Revised (ADI-R). Como resultados obtuvieron que la fiabilidad del sistema era similar a la realizada en sesiones presenciales.

Gorini et al [GGVR08], añadieron la eficacia de los sistemas o entornos virtuales a los sistemas de telehealth con el objeto de mejorar el potencial de los sistemas telehealth. Para ello desarrollaron en el mundo virtual Second life, un escenario dirigido al tratamiento de diferentes trastornos, como el TEA. Gracias a la realidad virtual, incorporaron avatares con los que el usuario podía interactuar aumentado y trabajando la interacción y comunicación entre paciente y profesional.

## **2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista**

---

### **2.2.3.3 Conclusiones**

La intervención temprana del autismo puede mejorar la calidad de vida de las personas diagnosticadas con autismo, pero no todos las personas reciben esta intervención temprana [KSW<sup>+</sup>11]. Los padres son los primeros en detectar algún problema con sus hijos, y por eso se ha comprobado la efectividad de éstos como interventores, pero para ello es necesario la supervisión de profesionales altamente capacitados [BR10]. Por esta razón, los esfuerzos realizados por los investigadores en el campo de la telemedicina orientado a personas con TEA, se está centrado, en crear herramientas que ayuden a los familiares o profesores a adquirir conocimientos sobre el TEA [MOR<sup>+</sup>10].

Estos sistemas han tenido una gran aceptación y unos resultados muy positivos por parte de los familiares y médicos, gracias a su facilidad de uso, y la comodidad que supone poder acceder desde cualquier instante al servicio. Asimismo, estos sistemas permiten reducir costes de salud [OEBRB07], [MRM<sup>+</sup>13].

Pero se encuentra un vacío en estos sistemas, ya que no incorporan herramientas dirigidas a trabajar de forma lúdica las áreas de afectación del TEA, al igual que no están tan dirigidos a las personas con TEA sino a sus familiares [BR10], [MRM<sup>+</sup>13]. A pesar de ello, los sistemas de telehealth son herramientas muy útiles que permiten una comunicación fluida entre profesionales y familiares, proporcionando de esta forma un gran apoyo para los familiares y personas con TEA.

Autor	Año	País	Muestra	Grupo Control	Años	Diagnóstico	Area a trata	Método	Resultados	Clasificación
Reese et al [RJW <sup>+</sup> 13]	2013	EEUU	10 niños	11	3-5 años	TEA	Habilidad de los expertos para evaluar a las personas con TEA vía telemedicina	Videoconferencias	Fiabilidad del sistema igual que en las sesiones presenciales	Telehealth dirigido al diagnóstico o tratamiento del TEA
Wacker et al [WLD <sup>+</sup> 13]	2013	EEUU	20 niños		29-80 meses	TEA	Problemas de conducta	Intercambio de información	Recibir información sobre la comunicación funcional para identificar y reducir los problemas de conducta	Telehealth dirigido a los familiares
Parmanto et al. [PPS <sup>+</sup> 13]	2013	EEUU	-	-	-	TEA	Diagnóstico y tratamiento de adultos con TEA	Videoconferencias, presentación de estímulos, grabaciones y monitorización	Facilita el tratamiento cara a cara	Telehealth dirigido al diagnóstico o tratamiento del TEA
Vismara et al. [VYR12]	2012	EEUU	9 familiares de personas con TEA			TEA	habilidades de lenguaje e imitación	Ayuda a los familiares a entender y usar prácticas de intervención temprana	Facilita el aprendizaje de técnicas de intervención temprana	Telehealth dirigido a los familiares
Kobak et al [KSW <sup>+</sup> 11]	2011	EEUU	23 padres con niños entre 18 meses y 6 años con TEA	-	-	TEA	Conocimiento de los padres	Cuestionarios: System usability scale (SUS) and user satisfaction questionnaire (USQ)	Mejora de la comunicación con los niños	Telehealth dirigido a los familiares

Tabla 2.5 Continúa de la página siguiente

Autor	Año	País	Muestra	Grupo Control	Años	Diagnóstico	Area a trata	Método	Resultados	Clasificación
Baharav E. et al. [BR10]	2010	EEUU	Padres de 2 niños con TEA	-	-	TEA	Compara un modelo tradicional de las sesiones de terapia del habla y lenguaje dos veces por semana y el modelo de telemedicina	Modelos tradicionales y modelos de telehealth	Telehealth sistemas útiles tradicionales therapies	Telehealth dirigido a los familiares
Gorini et al.[GGVR08]	2008	Italia	48 participantes	-	-	TEA	Habilidades de lenguaje	Sistemas de telehealth con realidad virtual	Mejora de la comunicación profesional - paciente	Telehealth dirigido al diagnóstico o tratamiento del TEA
Oberleitner et al [OEBRB07]	2007	EEUU	-	-	-	TEA	Comportamiento de los niños	Vídeo captura	Diagnóstico precoz y más exacto	Telehealth dirigido al diagnóstico o tratamiento del TEA
Oberleitner et al [OEBH <sup>+</sup> 06]	2006	EEUU	-	-	-	TEA	Diagnóstico y tratamiento del TEA	Vídeo	Diagnóstico precoz y más exacto	Telehealth dirigido al diagnóstico o tratamiento del TEA
[OLS <sup>+</sup> 04]	2004	EEUU	-	-	-	TEA	Facilita la comunicación del comportamiento espontáneo de los pacientes	Vídeo	Mejora de la comunicación	Telehealth dirigido al diagnóstico o tratamiento del TEA

**Tabla 2.5:** Tabla resumen: Estudios sobre sistemas de Telehealth

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

### 2.2.4 Robots

Además de los sistemas y tecnologías mencionadas, existe investigaciones en los analizan el comportamiento de las personas con TEA ante robots diseñados para trabajar las áreas de afectación de este trastorno.

Los robots presentan características interesantes para utilizarlos como una herramienta más en el tratamiento del TEA [WDH01], [RDTBB05], [LBD<sup>+</sup>13]. Los robots tienen un comportamiento predecible, generan situaciones sociales controladas y la interacción con las personas las realiza de una forma sencilla. Esto hace que las personas con TEA, presenten menos ansiedad al disminuir la complejidad de las situaciones sociales reales [HVG<sup>+</sup>13], [GCB<sup>+</sup>12].

Los primeros estudios encontrados son del 1999 y han ido aumentando poco a poco, resaltando el número de estudios realizados en el 2010. En la tabla 2.2.4.3, me muestran las investigaciones más relevantes.

Al igual que en el resto de tecnologías explicadas anteriormente, las investigaciones sobre el uso de robots en terapias se centran en especial, en el área de comunicación social y en el aprendizaje e imitación de habilidades sociales, obteniendo resultados optimistas sobre las ventajas del uso de los robots para dichos fines.

#### 2.2.4.1 Comunicación e interacción

En el área de la comunicación social se encuentran en la literatura diversos estudios que tratan de analizar el comportamiento de los niños con autismo ante robots con capacidades sociales empleándolas en las terapias. Huskens et al. [HVG<sup>+</sup>13] investigaron y compararon la efectividad de los robots en intervenciones basadas en el análisis aplicado de la conducta (ABA) con la intervención humana, a la hora de estimular al niño/a con TEA a realizar preguntas. Estos investigadores demostraron como la intervención realizada por los robots era tan eficiente como la intervención humana a la hora de motivar a los niños con TEA a realizar preguntas.

Goodrich M. et al. [GCB<sup>+</sup>12] incorporaron en 16 sesiones de tratamiento un robot manejado con el control de la Wii, con el que los niños interactuaban con él durante 10 minutos. El robot consistía en una pantalla, en la cual se mostraba la cara del robot realizando diferentes expresiones. Los investigadores analizaron el comportamiento de los niños ante el robot, incluyendo el lenguaje, los gestos, el contacto visual, la imitación y muestra de afecto. Como resultado, comprobaron que los niños se mostraron muy motivados a la hora de interactuar con el robot, y tras el tratamiento, en las sesiones sin los robots, los interactuaron más con los médicos que al principio de la investigación.

## **2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista**

---

Kim et al. [22] realizaron un experimento en el cual comprobaron cómo los niños con TEA se comunicaban más con el adulto cuando jugaban con un robot dinosaurio. Para ello, realizaron tres experimentos en el que participaron 24 niños con TEA. En el experimento los niños debían interactuar con un adulto más con otro adulto, o con una pantalla táctil o con un robot dinosaurio. Además de comunicarse más con el adulto, demostraron que los niños hablaban tanto al dinosaurio robot como al adulto responsable de la sesión.

A pesar de que los robots ayuden a las personas con autismo en la comunicación, Lee et al. [LTN<sup>+</sup>12] realizaron dos estudios en los que analizaron el comportamiento social de niños con autismo con robots. En el primer estudio, participaron 15 niños con TEA y robots con “cara” sin capacidad verbal y en el segundo estudio, analizaron la capacidad verbal entre el robot y 6 niños con autismo de bajo funcionamiento comparándolo con la interacción de los niños con una persona adulta. Como resultado de estos experimentos, mostraron como en el primer caso, a pesar de que los robots con cara favorezcan a trabajar las habilidades sociales y las expresiones faciales en los niños con autismo, no influyen a la hora de desarrollar otras habilidades. Sin embargo en el segundo caso, comprobaron cómo los niños interactuaron mejor con el robot con capacidad verbal, siguiendo sus instrucciones verbales y expresiones faciales que con la persona, por lo que los robots con funciones verbales pueden ser una opción para incorporarlos en las terapias.

Sin embargo no todos los niños con TEA reaccionan de la misma forma con los robots, por ejemplo en el estudio realizado por Tapus et al. [TPA<sup>+</sup>12], emplearon el robot Nao capaz de imitar los movimientos de los niños en tiempo real, analizando la mirada, la sonrisa, los movimientos de los brazos, entre otros. En el estudio comprobaron cómo de los 4 niños con TEA que participaron, dos de ellos no mostraron ningún efecto en los parámetros analizados. Los otros dos participantes mostraron mayor contacto visual con el robot que con el compañero humano y sólo uno de los niños realizó más movimientos espontáneos al interactuar con el robot en comparación con sus compañeros.

### **2.2.4.2 Aprendizaje e imitación de habilidades sociales**

Jordan et al. [JKH<sup>+</sup>13] investigó el uso de los robots para trabajar la atención, comunicación y las habilidades sociales en adolescentes con TEA. Para ello registraron parámetros mientras los participantes jugaban al juego de las parejas de cartas llamado Face Match, en diferentes entornos: con un robot humanoide con una Smart Board y con las cartas. Los participantes jugaron durante tres días y los investigadores grabaron los comportamientos de los participantes mientras interactuaban con los tres entornos. Tras las sesiones, los investigadores comprobaron cómo a pesar de mostrar

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

patrones de comportamientos individualizados durante los tres modos de juegos, se redujeron los comportamientos repetitivos cuando jugaban con el robot o la Smart Board.

Otra habilidad que se trabaja con los robots es la imitación. Srinivasan et al [SLB<sup>+</sup>13] gracias a 8 sesiones empleando robots para trabajar esta habilidad, comprobaron cómo el niño participante con TEA mejora en las tareas específicas de imitación con el uso del robot. Siguiendo esta línea, Srinivasan et al [SLG<sup>+</sup>11] estudiaron como los niños con TEA imitaban a un robot realizando movimientos y acciones de karate y baile. Los investigadores realizaron 8 sesiones de entrenamiento con 15 niños de desarrollo neuritípico y 4 con niños con TEA/ADHD, y 8 sesiones de test en los que evaluaban la evolución de los niños. Como resultado obtuvieron que el número de errores obtenidos en el entrenamiento se vieran reducidos durante los test, mejorando en las tareas específicas de imitación.

Sin embargo, estos robots desarrollados no proporcionan un sistema individualizado para cada persona con TEA, por esta razón Bekele et al. [BLS<sup>+</sup>13a], desarrollaron un robot con visión aumentada conseguida gracias a una red de cámaras que obtenía en tiempo real el tracking de la cabeza. El robot es capaz de adaptarse y de generar refuerzos y mensajes a través de los movimientos de cabeza que realiza la persona con TEA, de esta forma fomenta y ayuda a trabajar las habilidades sociales con cada niño individualmente.

Otra capacidad de las que se les ha dotado a los robots empleados en las terapias del autismo además de mostrar expresiones faciales, es la de poder contar historias en las que se le enseña a los niños con TEA cómo actuar ante las situaciones sociales. Como es el caso del robot Probo desarrollado por Vanderborght et al. [VSS<sup>+</sup>12] que enseña a los niños cómo reaccionar ante situaciones del día a día como en la que se dice: “Hola”, “Gracias” o en las que se comenta “compartir juguete”.

### 2.2.4.3 Conclusiones

Los juguetes robotizados pueden ayudar a los niños con necesidades especiales a trabajar las habilidades sociales, a enseñar nuevas habilidades y a descubrir los diferentes modos de juegos que existen, es decir, enseñarles que además de los juegos individuales existen los juegos colaborativos [RDF<sup>+</sup>12]. Por lo que los robots sociales pueden llegar a convertirse en herramientas muy útiles en las terapias con niños con TEA [WDH01], [RDF<sup>+</sup>12],[RDD09].

Incluso gracias a la incorporación de los robots sociales en las terapias se ha observado cómo se ha reducido los intereses restrictivos de los niños y comportamientos repetitivos [GCB<sup>+</sup>12].

Pero no se debe de olvidar, que a pesar que los robots son una herramienta efectiva, es necesario siempre la colaboración de personas para llevar a cabo las terapias o tratamientos [HVG<sup>+</sup>13]. Pero

## **2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista**

no se consigue el mismo objetivo con todos los robots por lo que, es interesante que los robots a utilizar en las terapias tengan capacidades verbales para trabajar y fomentar las habilidades sociales de las personas con autismo [LTN<sup>+</sup>12].

Autor	Año	País	Muestra	Grupo Control	Años	Diagnóstico	Area a trata	Método	Resultados	Clasificación
Jordan, K et al. [JKH <sup>+</sup> 13]	2013	Nueva Zelanda	3 adolescentes	3 adolescentes	-	TEA	Comunicación e interacción	Tarjeta de memoria juego de correspondencias (robot , Smart Board , jugando a las cartas )	Reducción de comportamiento repetitivo	Comunicación e interaction
Srinivasan SM et al. [SLB <sup>+</sup> 13]	2013	EEUU	1 niño	15 niños	04-06	TEA	Imitación	task-specific robot imitation test	Mejora tareas específicas imitación .	Aprendizaje e imitación de habilidades sociales
Kim, ES et al.[KBB <sup>+</sup> 13]	2013	EEUU	24 niños	-	04-dic	TEA	Comportamiento sociales	Interaction with (1) another adult human, (2) a touchscreen computer game, and (3) a social dinosaur robot	Niño habló tanto con el robot dinosaurio como al adulto	Aprendizaje e imitación de habilidades sociales
Bekele et al. [BLS <sup>+</sup> 13a]	2013	EEUU	6 niños	6 niños	-	TEA	Déficit en el área de orientación social	humanoid robot with augmented vision	Robots con habilidades sociales trabajan con cada niño individualmente	Comunicación e interaction
Lee et al. [LTN <sup>+</sup> 12]	2012	Japón	21 niños	niños 6-15 años	-	TEA-bajo funcionamiento	Habilidades de comunicación	1- robots con habilidades de comunicación social, 2 -robots con funcionalidades de comunicación verbal	Los niños interactuaron mejor con robots que podían hablar	Comunicación e interacción

Tabla 2.6 Continúa de la página siguiente

Autor	Año	País	Muestra	Grupo Control	Años	Diagnóstico	Area a trata	Método	Resultados	Clasificación
Goodrich M. et al. [GCB+12]	2012	EEUU	2 niños	-	3	TEA	Interacción	Robots sociales	Después del tratamiento con los robots , los participantes interactúan más con los médicos	Comunicación e interacción
Tapus et al. [TPA+12]	2012	Francia	4 niños	-	-	TEA	Aprendizaje de habilidades sociales	Nao robot (exploración ojos, imitación libre e imitación de movimientos, sonríe)	2 de 4 participantes mostraron un mayor contacto visual con el robot que el otro niño	Comunicación e interacción
Huskens, et al. [HVG+13]	2012	Netherlands	6 niños	-	ago-14	TEA	Preguntas por iniciativa propia	Intervención llevada a cabo por un ser humano o por robot	Intervención con robots es tan eficiente como la intervención humana	Comunicación e interacción
Vanderborght et al. [VSS+12]	2012	EEUU	4 niños	-	42251,00	Autismo	Aprendizaje de habilidades sociales	Robot Probo (contador de historia)	Aprender cómo reaccionar ante situaciones cotidianas	Aprendizaje e imitación de habilidades sociales
Srinivasan et al. [SLB+13] [SLG+11]	2011 y 2013	EEUU	2 niños	15 niños	7-8 (Grupo Clínico)		Imitación	Robot realizando movimientos y acciones de karate y baile	Imitación específica de mejora de las tareas .	Comunicación e interacción

**Tabla 2.6:** Tabla resumen: Estudios sobre Robots

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

### 2.2.5 Tecnología EyeTracking

Las personas con trastorno del espectro autista, presentan una alteración a la hora del contacto ocular como se ha explicado en el apartado anterior, “Sección Médica: Trastorno del espectro autista”. Por esta razón, se están realizando estudios con una tecnología llamada EyeTracking.

#### 2.2.5.1 Evolución histórica: Tecnología EyeTracking

El concepto de eyetracking hace referencia a un conjunto de tecnologías que permiten monitorizar y registrar la forma en la que una persona mira una determinada escena o imagen, es decir en qué áreas fija su atención, durante cuánto tiempo y qué orden sigue en su exploración visual [HMHS07].

El estudio de los movimientos de los ojos se lleva realizando desde hace más de 100 años. Los primeros estudios sobre el movimiento ocular, fueron realizados mediante la observación directa o la introspección, contando con la ayuda de espejos, telescopios [SA11]. Louis Emile Javal en 1879 fue el primero en estudiar el movimiento de los ojos durante la lectura, hablando de movimientos rápidos o “saccades” y de paradas cortas durante la lectura en vez de realizar un barrido suave.

Edmund Delabarre, analizó el movimiento de los ojos empleando un gorro conectado a los ojos mediante un cable. El cable a su vez unido a una palanca que dibujaba el movimiento en un quimógrafo (dispositivo que registra las señales procedentes del movimiento de un órgano o dispositivo óptico) [SA11]. En 1900, Edmund Huey presentó un sistema invasivo utilizando una especie de lente de contacto con un agujero conectada a un puntero de aluminio que se movía en respuesta al movimiento del ojo.

Los métodos utilizados por Delabarre y Huey implicaban el contacto de un mecanismo directamente con la córnea, hasta que en 1901 Dodge y Cline inventaron el primer sistema no invasivo mediante el uso de la emisión de líneas de luz. El sistema consistía en la emisión de líneas de luz a los ojos y se grababa su reflejo mediante la fotografía. Esta fue la primera investigación del movimiento ocular utilizando la reflexión de la córnea, método que hoy en día se sigue utilizando.

Durante la década de los 20 en los laboratorios de Chicago y Stanford se iniciaron los primeros registros de movimientos oculares en tres dimensiones capturando dos imágenes del ojo simultáneamente. Más adelante se consiguió descomponer la reflexión de los haces de luz de un ojo en sus componentes horizontal y vertical. Buswell en 1935 utilizó esta descomposición de la reflexión del haz para medir las rutas de análisis de un sujeto al observar una imagen [Bus35] [SA11].

Hasta 1970 los métodos medían el movimiento de los ojos respecto a la cabeza, por lo que los investigadores debían de utilizar sistemas para permanecer con la cabeza inmóvil. Esto fue obviado en esta década al utilizar dos características ópticas del ojo en movimiento, ya que los reflejos de

## **2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista**

---

los haces de luz permanecen invariantes ante movimientos de la cabeza pero varían con rotaciones del ojo.

Por tanto, una de las características principales de los sistemas de eye-tracking es su carácter invasivo o no invasivo [HJ10], siendo este último el mejor aceptado por los usuarios debido a su comodidad. Además los sistemas eye-tracking se pueden clasificar en función de la metodología de medición de movimientos oculares utilizada: ElectroOculoGramma(EOG), vídeo-oculografía (VOG), foto oculografía (POG) o Sistemas basados en lentes de contacto.

A continuación se van a mostrar la agrupación de estas metodologías en función de su carácter invasivo o no invasivo.

### **a) Sistemas no invasivos**

Los sistemas no invasivos son aquellos en los que no existe contacto del dispositivo con el usuario. En los sistemas de Eyetracking, se realiza a través de luz infrarroja que es reflejada en los ojos del usuarios y se capta mediante una cámara o algún sensor óptico.

- **Foto-oculografía (POG) y Video-oculografía (VOG)**

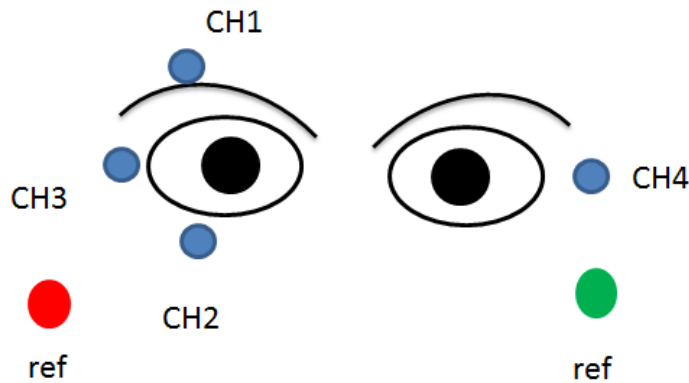
Los elementos básicos de un sistema de eye-tracking basados en vídeo-oculografía son las fuentes de iluminación y el sistema de adquisición de imágenes empleado. En este sistema una videocámara observa el ojo del usuario y un software de procesamiento de imágenes es el encargado de analizar la imagen de vídeo del ojo y determina en tiempo real, las coordenadas del lugar de la pantalla al que apunta el ojo [CVC12]. Estos sistemas utilizan la reflexión del centro de la pupila / córnea para determinar la dirección del ojo. Para ello, una luz infrarroja de baja potencia es emitida por un LED, ubicado en el centro del lente de la cámara ilumina el ojo. Se analiza el centro de la pupila, el contorno del iris y las reflexiones de la córnea, intentando establecer una relación entre estas y el punto donde se fija la mirada, es decir mira la orientación del ojo en el espacio “point of regard” (PoR)[SA11].

### **b) Sistemas invasivos**

Los sistemas invasivos son aquellos en los que se requiere el contacto del sistema con el sujeto. Estos sistemas apesar de ser más fiables, suelen resultar incómodos para los usuarios/usuarios, por lo que son mejor aceptados los sistemas no invasivos.

- **Sistemas basados en lentes de contacto**

Los sistemas basados en lentes de contacto son los sistemas más precisos, debido a que



**Ilustración 2.3:** Disposición electrodos EOG. Fuente [VZZ13]

el dispositivo se encuentra en contacto directo y ajustada con el ojo [Dit73]. Se emplean sistemas de lentes especiales formadas por dos superficies individuales esféricas que se ajustan sobre la córnea y la esclerótica. La lente de contacto y el material asociado a la misma no deben ser de tamaño o volumen que interfiera con los movimientos oculares.

### c) Potenciales eléctricos

Este método utiliza el potencial eléctrico medido con electrodos que son colocados alrededor de los ojos para detectar el movimiento. Los ojos son el origen de un constante campo de potencial eléctrico que también se puede detectar en total oscuridad aunque los ojos estén cerrados.

- ElectroOculoGrama (EOG)

El ElectroOculoGrama (EOG) registra las variaciones de voltaje que ocurren con el movimiento angular del ojo. La obtención del EOG colocando un sistema de electrodos perbioculares de Plata - Cloruro de plata y un gel de conducción bioeléctrica como electrolito en la interfaz electrodo - piel. Con esta configuración de electrodos, se pueden conseguir señales en derivaciones independientes tanto horizontal como vertical y combinarlas para obtener casi cualquier tipo de movimiento ocular [VZZ13].

La disposición de los electrodos más común es la mostrada en la ilustración 2.3. La diferencia entre los electrodos CH1 y CH2 es lo que indica si el sujeto está mirando hacia arriba (valor positivo) o hacia abajo (valor negativo). Si la diferencia entre el electrodo CH3 y el CH4 (CH3-CH4) es positiva el sujeto está mirando a la izquierda y si es negativa está mirando hacia la derecha.

## **2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista**

Como se ha comentado, los sistemas no invasivos son los más aceptados por los usuarios, por lo que en esta investigación son los que se van a emplear, en concreto el sistema basado en Video-oculografía.

Estos sistemas pueden ser agrupados en dos, por un lado, en aquellos sistemas que se colocan encima de la cabeza del usuario (ver Ilustración 2.4) siendo adecuados si se necesita realizar un registro de grandes y rápidos movimientos de la cabeza o en los que el usuario necesita tener libertad de movimientos.



**Ilustración 2.4:** Sistema eye-tracking sobre la cabeza. Fuente: [www.sr-research.com](http://www.sr-research.com)

Estos sistemas no son aconsejables en sistemas en los se requieren registrar una mirada continua durante largos períodos de tiempo como puede ocurrir en el control del cursor para las personas con discapacidad motriz o en aplicaciones que involucran a los niños.

Para estas aplicaciones son adecuados el segundo grupo llamado sistemas remotos, ya que no están en contacto con los usuarios(ver Ilustración 2.5).



**Ilustración 2.5:** Sistema eye-tracking remoto. Fuente: <http://mirametrix.com>

Estos sistemas registran el movimiento ocular desde la distancia, normalmente ubicados y camuflados en el monitor [Gol03].

### **2.2.5.2 Sistemas EyeTracker comerciales**

En el mercado existen diferentes empresas que desarrollan sistemas de eyetracking, y que están validados por diferentes estudios. A continuación se ha realizado una selección de los sistemas más empleados:

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

- EYELINKII

EyeLink II está desarrollado por la empresa SR Research Complete Eye Tracking Solutions. Consiste en tres minicamaras que se colocan en una diadema acolchada sobre la cabeza. Las dos cámaras de los ojos permiten el seguimiento preciso de los mismos (ver Ilustración 2.4).

- S2 EYE TRACKER

S2 Eye tracker permite capturar en tiempo real donde está mirando el usuario. Algunas de las características de este sistema son: preciso, fácil de usar, flexible, portable, no invasivo (ver Ilustración 2.5).

- FACELAB5

FaceLab5 (ver Ilustración 2.6) esta creado por “seeingmachines” y genera datos a partir de los siguientes parámetros que captura: movimiento ocular, posición y rotación de la cabeza, apertura de los párpados, movimiento de los labios y de las cejas y tamaño de la pupila.



**Ilustración 2.6:** Sistema eye-tracking faceLab5. Fuente:<http://www.seeingmachines.com/>

- Tobii TX300

El Tobii TX300 es un nuevo eye tracker remoto de velocidad de muestreo intermedia que no requiere que el usuario mantenga la cabeza estática o en una mentonera. Su frecuencia de muestreo de 300Hz, su alta precisión, la exactitud de sus mediciones y su gran compensación de los movimientos de cabeza amplían el espectro de campos de investigación posibles al análisis de funciones oculomotoras y del comportamiento humano (ver Ilustración 2.7).



**Ilustración 2.7:** Sistema eye-tracking TobiiTX300. Fuente:<http://www.tobii.com/>

## 2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista

- Tobii X1 light

Este sistema es una alternativa más económica al Tobii TX300, pero comparten las características principales como son: la precisión y exactitud, en todo el espacio de seguimiento (no solo en el centro), el patrón de iluminación IR variable y doble cámara de captación que redundan en alta fiabilidad y exactitud de recogida de los datos en todo el rango de la pantalla, alta robustez a los cambios de iluminación, no intrusivo y no necesita que el usuario emplee una mentonera y gran robustez a los movimientos de cabeza del usuario durante el test (ver Ilustración 2.8)



**Ilustración 2.8:** Sistema eye-tracking Tobii X1 light. Fuente: [www.tobii.com](http://www.tobii.com)

A pesar de que el sistema EyeTracker Tobii x1 Light no es el EyeTracker más potente (ver tabla 2.7), es el dispositivo que dispone el departamento de investigación, por lo que el trabajo que se presenta se va a realizar con el dicho eyetracker, contando con la garantía de ser una marca de calidad y ser muy utilizada en proyectos de investigación [WHVF<sup>+</sup> 13a], [PMH<sup>+</sup> 15], [SSS12].

**Tabla 2.7:** Tabla comparativa EyeTrackers

Características	S2 EyeTracker	Tobii TX 300	FaceLab	EyeLinkII	Tobii x1 Light
Muestreo	60 Hz	300 Hz		250, 500 Hz	28-32 Hz
Libertad de cabeza	25x11x30	37 x 17			44x32
Técnica de rastreo	Pupila clara	Pupila oscura		Pupila oscura / pupila cr	Pupila clara / oscura
Peso	0.3 kg	6 kg			350 g
Precisión	0.5-1	0.5	0.5-1	0.5	0.5
Muestreo binocular	Si	Si	Si	Si	Si

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

Como se muestra en la tabla, la frecuencia de muestreo es inferior a la de los demás sistemas pero posee la misma precisión pero a diferencia de los sistemas comparados trabaja con las técnicas tanto pupila clara como pupila oscura.

### 2.2.5.3 Tendencias de uso del EyeTracking

La tecnología eye tracking puede ser utilizada para diferentes fines como por ejemplo para la evaluación objetiva de interfaces [HMHS07] o como dispositivo de entrada [SA11].

En la literatura existen múltiples referencias a estudios realizados para comprobar la usabilidad de las aplicaciones utilizando tecnologías eye tracking comprobando el diseño de los iconos, la representación de gráficas, tablas o la legibilidad en los textos [Gol03] [Ren04]. Asimismo han sido estudiadas las interfaces de búsqueda y recuperación de información [GJG04], la prensa digital [Poy04] o el impacto de la publicidad on-line.

Como se ha mencionado, otro posible uso es emplearlo como dispositivo de entrada o de interacción. Un ejemplo de esta utilidad es en la interacción con los videojuegos permitiendo crear nuevas experiencias a los usuarios, y facilitar el juego a personas con movilidad reducida, empleando el movimiento de los ojos como sistemas de control del juego, es decir, como si fuesen el propio ratón o joystick clásicos [SA11].

### 2.2.5.4 Tendencias e investigaciones del EyeTracking en colectivos TEA

En relación a la incorporación de esta tecnología en el área del colectivo TEA, su uso está orientado en especial a la detección de rasgos de autismo en personas a través del análisis del procesamiento de la información social o a la exploración de los rostros ya que gracias a la tecnología eyetracking se puede obtener los patrones atípicos y las fijaciones e intereses de estas personas.

#### 2.2.5.4.1 Procesamiento de la información social

En el año 2002 el autor Van der Geest et al. [VdGKC<sup>+</sup>02] realizó un estudio sobre el problema que estas personas poseen a la hora de procesar la información social. Hasta el momento los estudios asociaban la forma particular que tienen estas personas a los estímulos sociales. Pero en este estudio se demostró como las personas con Trastorno del Espectro Autista mantenían la mirada ante escenas de dibujos animados en las que se incluían figuras humanas de forma similar a las de los niños con su misma edad y coeficiente intelectual, es decir, las personas con autismo no tenían problemas específicos en el procesamiento de estímulos visuales que poseían elementos sociales, al igual que no encontró diferencias a la hora de observar elementos neutros. Sin embargo el autor asoció la

## **2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista**

---

forma anormal de mirar en la vida diaria a otros factores como la interacción social y no a la naturaliza de los estímulos visuales.

Mercadante et al. [MMB<sup>+</sup>06] realizó el experimento mostrando 9 escenas sociales incluyendo figuras humanas (dos de ellas con máscaras de gatos) y 3 no sociales. Las personas con TEA presentaron una mayor dotación de movimientos sacádicos ante las imágenes sociales en comparación con el grupo de control y el grupo de control mostró un número mayor de fijaciones en la imagen 7 correspondiente con una mujer con máscara de gato y con los ojos tapados. El autor llegó a la conclusión de que existían diferencias en relación a las personas con TEA a la hora de explorar imágenes de humanas. Además, estableció o sugirió que estas estrategias no se veían afectadas por la falta de una parte esperada de la cara(los ojos).

Asimismo, se han realizado estudios para evaluar cómo las personas con TEA utilizan la información de las caras a la hora de realizar juicios sociales comprobando la relación entre la mirada en las caras y la cognición social de las personas con TEA. En el 2007 el autor Spezio et al.[SAHP07], investigó esta relación midiendo por un lado, la mirada en los rostros y por otro lado, como las regiones faciales eran realmente utilizadas durante los juicios sociales. En el experimento participaron 9 adultos con autismo de alto nivel que cometieron errores a la hora de hacer uso de la información proveniente de la región de los ojos para emitir los juicios ya que sólo confiaron en la información generada por la boca. Además el número de miradas en el rostro aumentó en relación con la boca debido particularmente por el déficit que presentaron en emplear y procesar la información de los ojos. Por esta razón los autores establecieron este hecho como una evaluación objetiva de cómo las personas con autismo utilizaban la información de los rostros al hacer juicios sociales.

Riby et al.[RD09] combinó ejercicios (unir un elemento con el nombre) con la información obtenida con el eye tracker de dónde se fijaba más el grupo clínico a la hora de realizar y completar los ejercicios. Encontró gran diferencias entre el grupo de control y el grupo con autismo a la hora de la precisión al interpretar la dirección de los ojos y la detección del objeto. Es decir, comprobó que había diferencias en el patrón de mirada entre ambos grupos lo que pudo llevar a las diversidades a la hora de realizar los ejercicios [SSS12]. Aunque no se encontraron diferencias en tiempo que se fijaban en el ítem objetivo, las personas con TEA necesitaban más tiempo en completar los ejercicios y se fijaban más en las regiones de las imágenes para completar la tarea.

Este mismo año, Grynszpan et al. [GNC<sup>+</sup>09] evaluó la capacidad de procesar la información facial durante una conversación, teniendo como hipótesis que la dificultad en apreciar la sinergia entre las expresiones faciales y la velocidad podría estar relacionada con las alteraciones producidas al desviar la atención entre una y otra. Mediante entornos de realidad virtual y eyetracking

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

intentó compensar los déficit en el cambio de atención atribuidos al autismo y emplearlo como parte de las terapias.

Mediante el eyetracker se ha evaluado también aspectos de la atención visual y el comportamiento repetitivo en niños con TEA evaluándolos con niños con desarrollo típico. Para ello, Sasson et al [STBH<sup>+</sup>08] evaluaron la atención, por un lado, mediante imágenes estáticas con contenido no social en las que incluían elementos de interés o conocidos por los niños como trenes, muebles... y por otro lado, mediante imágenes con contenido social. En el estudio comprobaron como la atención era más limitada, más orientada al detalle y más perseverantes en el grupo clínico. Sus resultados indicaron como los niños con autismo tenían un patrón general de la atención visual atípica teniendo tendencia a perseverar en las imágenes de interés y fijándose en los detalles. Alineado con este estudio los autores Shic et al. [SCBS08] emplearon imágenes estáticas de caras para evaluar la entropía de los patrones de escaneo para poder caracterizar la atención de los niños con TEA a través de las caras, en niños de 2 y 4 años de edad con y sin TEA. En este estudio encontraron diversidad entre los patrones de mirada entre personas con TEA y personas con desarrollo neurotípico, tanto en las regiones de interés de los rostros como los patrones de mirada en respecto a toda el rostro en su conjunto. Las personas con TEA tiene dificultades a la hora de abstraer un prototipo con caras naturales, Freeth et al. [FRM<sup>+</sup>11] en su estudio examinó la formación de los prototipos con imágenes de caras naturales. Sin embargo, no encontró diferencias en los patrones generales de atención en las caras, llegando a la conclusión que la dificultad de procesar las imagen estaba relacionado con la forma de abstraer los prototipos y no por factores de atención [GWMS11].

Otra dificultad presente en las personas con TEA analizada con esta tecnología ha sido la imitación de acciones. Vivanti et al [VNO<sup>+</sup>08] evaluó mediante la atención visual la capacidad de imitación de estas personas ante gestos sin significado y en acciones sobre objetos. Se obtuvo como resultado que las personas con TEA mostraron un patrón de atención visual similar al grupo de control pero la atención disminuyo en la cara del modelo al que había que imitar, además estas personas mostraron una menor precisión a la hora de imitar los dos tipos evaluados (la atención visual en las acciones mostradas estaba relacionada con la precisión de imitación en los gestos no significantes).

En el 2005, Pierce et al. [PMH<sup>+</sup>15] empleó la tecnología eyetracking con objeto de definir un biomarcador precoz para la detección de un subtipo de TEA con síntomas más severos. Para ello, empleó una película con imágenes geométricas y con situaciones sociales, evaluando la duración de las fijaciones y el número de movimientos sacádicos dentro de cada área de interés. Como resultado comprobó como aquellos que tenían una mayor fijación por los elementos geométricos presentaban

## **2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista**

---

peores habilidades sociales y del lenguaje frente a los niño/as con TEA que se inclinaron más por las situaciones sociales.

Otro concepto abordado ha sido la toma de decisiones sociales con el fin de obtener una mayor comprensión de la evolución temporal de la elección por Gharib et al. [GMAS15]. Para ello evaluaron los patrones alterados de la mirada en estímulos sociales y no sociales mientras decidían cual de los dos estímulos preferían. Sorprendentemente, el perfil temporal de las fijaciones relativas a la elección era completamente normal en las personas con TEA, así como las opciones de preferencias eventuales. A pesar de estas similitudes, encontraron dos anomalías clave: las personas con TEA realizaban la selección más rápidamente que los sujetos de control en todos los ámbitos, y sus tiempos de reacción para juicios de preferencia social eran insensibles a la elección de dificultad. Los autores sugirieron que las personas con TEA contaban con un proceso de toma de decisiones alterada cuando la elección estaba basada en las preferencias sociales.

Año	Autor	Muestra	Grado afectación	Métodos	Áreas / Elementos de interés	Num. Experimentos	Evaluación	Resultados	Conclusiones
2015	<i>Pierce et al.</i> [PMH <sup>+</sup> 15]	334	TEA	Película con imágenes geométricas y escenas sociales. Elementos geométricos, situación social	1	Elementos geométricos	Exploración de imágenes	Personas con más afectación mayor fijación en elementos geométricos	Definir un biomarcador precoz para la detección de un subtipo de TEA con síntomas más severos
2015	<i>Gharib et al.</i> [GMAS15]		TEA	Estímulos sociales y no sociales	1	Elementos sociales y no sociales	Evaluar tomo de decisiones	Personas con más afectación personas con TEA realizan la selección más rápidamente y tiempos de reacción insensibles a la elección de dificultad	Personas con TEA cuentan con un proceso de toma de decisiones alterada cuando la elección se basa en las preferencias sociales
2012	<i>M. Swanson et al.</i> [SSS12]	50 (3-9 años)	TEA	Escenas sociales dinámicas	Rostro, ojos	2 escenarios (congruente / incongruente)	Tiempo de mirada en el rostro. Tiempo de mirada en el objeto	Mayor tiempo de mirada en el objeto en escenario congruente que en el incongruente	Mirada difiere significativamente entre ambos grupos
2011	<i>M. Freeth et al.</i> [FRM <sup>+</sup> 11]	24 (11 - 10 años)	TEA	Escenas con personas	Rostro	1	Atención	Patrón similar de la atención visual	Menor marca en el reconocimiento facial y funciones socio-emocionales
2011	<i>J.C Mc-Partland et al.</i> [MWKD11]	-	TEA	Imágenes: Rostros humanos, rostros humanos invertidos, rostros de monos, objetos tridimensionales y 2 patrones geométricos	Rostro	1	Atención	Patrón similar de la atención visual	Menor marca en el reconocimiento facial y funciones socio-emocionales
2011	<i>H.Z.Gastgeb et al.</i> [GWMS11]	-	TEA	Rostros naturales	Rostros	1	Generación de prototipos	Dificultad al abstraer los prototipos no problemas de atención	No diferencia en los patrones generales
2009	<i>D.M Riby et al.</i> [RD09]	15	TEA	Ejercicios imágenes con nombres	Rostro/labels	1	Dónde miran y precisión de acierto	Las diferencias en el patrón de mirada lleva a las diferencias a la hora de realizar los ejercicios	Más tiempo en contemplar los objetos

Tabla 2.8 Continúa de la página siguiente

Año	Autor	Muestra	Grado afectación	Métodos	Áreas / Elementos de interés	Num. Experimentos	Evaluación	Resultados	Conclusiones
2009	<i>O. Grynszpan et al.</i> [GNC <sup>+</sup> 09]	-	TEA	Realidad virtual y escenas verbales y no verbales	Movimientos y descripción verbal	1	Atención, codificación y procesamiento de imágenes	Muestran menos interés en las personas	Combinación movimientos de los ojos + descripción verbal: Indicador de procesamiento de estímulos
2008	<i>N.J. Sasson et al.</i> [STBH <sup>+</sup> 08]	-	Niños con TEA	Imágenes sociales / imágenes no sociales (lugares conocidos, objetos de interés)	Objetos, detalle de los objetos	2 (tareas pasivas y tareas activas)	Exploración de imágenes y la atención	Patrón de atención visual atípica	Exploración de pocas imágenes, mayor tiempo de fijación por imagen observada, número discreto de fijaciones por imagen observada
2008	<i>F. Shic et al.</i> [SCBS08]	-(2-4 años)	Autismo	Imágenes estáticas de rostros	Rostro, ojos, boca. Entropía de los patrones de mirada	1	Atención	Evaluación de los patrones de escaneo con medidas y metodologías robustas y efectivas	Diferencias de patrones en las regiones de interés y en conjunto
2008	<i>G. Vivanti et al.</i> [VNO <sup>+</sup> 08]	13(8-15 años)	Autismo	Acciones con objetos	Acción en su conjunto	2(Acciones con significado y acciones con objetos sin significado)	Imitación y mirada	La duración de la atención visual en la demostración de la acción está asociada a la precisión de imitación de los gestos sin significado	Observando al modelo a imitar: atención visual similar. Menos atención en el rostro. Menos precisión al imitar
2008	<i>L. Sterling et al.</i> [SDW <sup>+</sup> 08]	17	TEA	Imágenes estáticas: No familiares(sin repetición), familiares(repetición), no familiares	Rostro	1	Patrón de atención	No muestra diferencias en los tiempo de reacción	No exhiben patrones de mirada normativos en rostros familiares
2007	<i>M.L. Spezio et al.</i> [SAHP07]	9	Adultos con autismo de alto funcionamiento	Imágenes de rostros	Rostro, regiones de interés	1	Relación entre la mirada en la rostro y la cognición social	Fallan al hacer uso de la información de la región de los ojos	Mayor dependencia en la región de la boca. Menor en los ojos
2006	<i>E. Loth et al.</i> [MMB <sup>+</sup> 06]	10	TEA	9 escenas sociales con humanos 3 escenas no sociales con objetos	Rostro / Región ojos	1	Exploración de imágenes	Diferencias en la exploración de imágenes humanas	Mayor número de movimientos sacádicos ante las imágenes sociales

Tabla 2.8 Continúa de la página siguiente

Año	Autor	Muestra	Grado afectación	Métodos	Áreas / Elementos de interés	Num. Experimentos	Evaluación	Resultados	Conclusiones
2002	<i>J.N Van der Geest et al.</i> [VdGKC <sup>+</sup> 02]	-	Autismo Desarrollo neurotípico	Escenas de dibujos animados con figuras humanas	-	-	Procesamiento de la información social	Forma anormal de mirar en la vida diaria : asociada a la interacción social, no a la naturaleza de los estímulos	No diferencias en elementos neutros. No hay problemas de procesamiento de información

**Tabla 2.8:** Tabla resumen: Procesamiento de la información social

### 2.2.5.4.2 Evaluación de las caras/ Exploración de las caras

Existen diferentes teorías relacionadas con los patrones de mirada de las personas con TEA, existen autores que defiende que existen diferencias entre las personas que sufren de esta patología y los que no. A continuación se hace una revisión sobre ambas corrientes. Uno de los primeros estudios que se realizaron con la tecnología eyetracking e imágenes en movimiento, fue realizado por Amy Klin et al. [KJS<sup>+</sup>02] en el año 2002. En el utilizaban vídeos en los que se mostraban escenas sociales complicadas y diferente elementos distractores. Se analizaron 4 regiones de interés: la boca, los ojos, el cuerpo y los objetos. Al igual que en los estudios mencionados, se comprobó como las personas con autismo no fijaban la mirada en los ojos de los personajes. De hecho, se estableció que mantienen la mirada 2 veces más en la región del cuerpo y de los objetos que aparecen en escena que el grupo de control. Se comprobó como el mayor indicador de autismo es el menor tiempo de fijación en la región de los ojos, además la fijación en la boca y en los objetos estaba correlacionado con el funcionamiento social, es decir, mayor concentración en boca predijo una mejor adaptación social y un deterioro social menos autista, mientras que más tiempo sobre los objetos predijo la relación opuesta. Por lo que en situaciones sociales, los individuos con autismo demostraron patrones anormales manteniendo menos tiempo en la mirada en la zona de los ojos y aumentando en la boca, cuerpo y objetos. Por tanto, definió como el tiempo de mirada en la boca y en los objetos y no en los ojos, son un fuerte indicador del grado de competencia social.

Este mismo año el autor Trepagnier et al. [TSP02] mediante la tecnología de realidad virtual y la tecnología eyetracking comprobó gracias a un pequeño experimento en el que se mostraba imágenes estereoscópicas como personas con Asperger mostraban una fijación menor en la parte central de la cara en comparación con el grupo de control, lo que llevó a los autores a establecer cómo estas personas poseen discapacidad a la hora de procesar o evaluar la información de las caras. Freeth et al. [FCRM10] utilizó fotografías con escenas complejas. Tanto el grupo de control como el grupo de TEA se fijaron durante un tiempo muy similar en la cara durante las dos escenas, sin embargo si se encontraron diferencias entre las prioridades de atención en las regiones de la cara que contiene los ojos. Además, a pesar de que las personas con TEA dirigieron la mirada hacia el lugar donde miraba la persona en escena, la duración de ésta en el lugar donde la persona en escena miraba, no aumento como en el caso del grupo de desarrollo neurotípico.

En el 2006 el autor Neumann et al. [NSPA06] comprobó como las personas con autismo fijaban más su mirada en la boca que el grupo de control, incluso cuando la cara se mostraba del revés o ésta no aparecía. Los autores llegaron a la conclusión que ésta era la estrategia que seguían las personas con autismo a la hora de fijar su atención visual (de abajo arriba). Este año también se evaluó el

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

comportamiento de la pupila, el autor Anderson et al. [ACS06] comprobó la forma de mirar de las personas con autismo y estudió la respuesta de la pupila ante estímulos con caras y estímulos de paisajes en niños con TEA. En el experimento se comprobó como el grupo con TEA mostró una contracción de la pupila ante las caras de los niños mientras que el grupo de control mostró una dilatación de la pupila.

Otro estudio realizado con las pupilas fue llevado a cabo por los autores T. Falck-Ytter et al. [FY08]. Estudiaron el tamaño de la pupila y el tiempo de mirada en niños en preescolar con TEA con imágenes de caras mostradas de forma vertical e invertidas. El autor comprobó cómo tanto el grupo de control como los niños con TEA fijaban su mirada menos tiempo en la cara y en el contorno de los ojos cuando las imágenes de las caras se mostraban invertidas, sin embargo, los niños con TEA tenían la tendencia a mirar los rasgos faciales de las imágenes verticales y de abajo arriba [FYvH11]. La dilatación de la pupila (muestra la carga de procesamiento de la información) fue mayor en el grupo de TEA ante las imágenes invertidas que en las caras verticales y la contracción de la pupila fue mayor en las caras verticales que en las invertidas. Al año siguiente, Hernandez et al. [HMM<sup>+</sup>09] empleó imágenes neutras e imágenes mostrando expresiones para evaluar la mirada de los usuarios. Comprobó que tanto el grupo de control como el grupo clínico empleaban más tiempo mirando la región de los ojos que en el resto de la cara pero que el grupo clínico mantenía la mirada fija menos tiempo que el grupo de control. Además indicó como la percepción de la cara dependía ende del ojo dominante (el grupo de control comenzaba explorando las caras mirando el ojo en el campo visual contralateral de su ojo dominante).

En la literatura, existen estudios en los que evalúan el procesamiento de la información mediante la tecnología eye-tracker en el que no han encontrado diferencias en el patrón de mirada. Un estudio realizado en este mismo año Van der Geest et al. [VdGKVVE02], realizó dos experimentos empleando imágenes de caras humanas. En el primero se empleó imágenes con expresiones faciales y el segundo con caras neutras presentadas al derecho y al revés. En cuanto a la fijación de las caras del derecho no se encontraron diferencias entre el grupo de control y el grupo de autismo de alto funcionamiento, sin importar si la cara mostraba expresiones o eran neutras. Sin embargo, en el segundo experimento, el grupo de control comprobó cómo empleaban menos tiempo en las imágenes presentadas del revés, y el tiempo que empleaba grupo de autismo de alto funcionamiento no se veía influenciado por la orientación de las caras. Los autores llegaron a la conclusión de que la forma tan peculiar de la mirada de las personas con TEA no estaba relacionada con la presencia de estímulos faciales, y la ausencia del efecto de orientación de la cara podía ser un reflejo de una falta de procesamiento relativo a las caras humanas.

## **2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista**

---

Además, Kliemann et al. [KDH<sup>+</sup>10] realizó un experimento para comprobar si las personas con TEA fallaban a la hora de orientar su mirada hacia los ojos o si ellos evitaban el contacto. Mediante imágenes estáticas que reflejaban rostros felices, temerosos o rostros neutrales, comprobaron como el grupo clínico mostraba menos interés en el área de los ojos en comparación con el grupo de control, orientando sus movimientos oculares hacia lugares más alejados de los ojos. Gracias a los datos se reveló como el grupo clínico evitaba el contacto visual directo. Gracias a la combinación de la prevención u orientación pudo determinar el rendimiento del reconocimiento emocional, habiendo una relación directa entre los patrones de mirada individual y la sintomatología social asociada.

Sin embargo, algunos autores no han encontrado diferencias entre el modo de explorar las caras entre el grupo de control y personas con TEA. Sterling et al. [SDW<sup>+</sup>08] investigó sobre los patrones de atención ante imágenes de rostros conocidos y no conocidos, y obtuvo el mismo patrón de mirada entre las personas con TEA y las personas con desarrollo neurotípico cuando miraban rostros familiares, sin diferir de la precisión ni en los tiempos de reacción en relación con el grupo de control. Rutherford et al. [RT08] empleó fotos en las que mostraban emociones y las personas participantes en el experimento tenían que elegir el nombre de la emoción. Comprobó cómo ambos grupos miraban más tiempo el área de los ojos que a la boca y tampoco encontró diferencias con el tiempo empleado por los participantes a la hora de mirar a los ojos o en las primeras fijaciones realizadas. Sin embargo, en las imágenes que mostraban emociones más complejas se encontró una pequeña diferencia ya que el grupo con TEA miraban menos a los ojos que el grupo de control.

Falck-Ytter et al. [FYFH<sup>+</sup>12] estudió el mapa de correlación de la actuación de la mirada mediante un test de mirada espontánea y el seguimiento de los puntos-gestos de niños con autismo, trastorno generalizado del desarrollo no específico y el grupo de control. Las medidas de las miradas incluían como la tendencia de los niños era mirar al objeto correcto y la latencia de su correcta reacción. En cuanto a la diferencia entre los dos grupos de autismo, la precisión de la actuación fue especialmente relacionada con las habilidades comunicativas de adaptación. La latencia del correcto movimiento de las miradas estaba relacionada con la inteligencia verbal.

Año	Autor	Muestra	Grado afectación	Métodos	Áreas / Elementos de interés	Num. Experimentos	Evaluación	Resultados	Conclusiones
2012	<i>T. Falck-Ytter et al.</i> [FYFH <sup>+</sup> 12]	-	-	Test mirada espontánea	-	1		El correcto movimiento de las miradas está relacionada con la inteligencia verbal	Precisión de la actuación está relacionada con las habilidades comunicativas de adaptación
2012	<i>J. Wagner et al.</i> [WHVF <sup>+</sup> 13a]	-	Adolescentes con TEA	ERP, fotos estáticas	Rostro	2	Procesamiento de las caras (neuronal, comportamiento y correlación autónomo)	1º: Ambos grupos similar forma de escanear los rostros. 2º ERP: Diferencias con el GC.	Patrones atípicos en el procesamiento de rostros.
2012	<i>K. Rice et al.</i> [RMJK12]	109	TEA	Escenas sociales dinámicas	Rostro, ojos, boca	1	Patrones de variabilidad en compromiso social visual	Fijaciones reducidas en los rostros. A mayor fijación en elementos inanimados mayor discapacidad social	Patrones diferentes de adaptación y mala adaptación
2010	<i>D. Kliemann et al.</i> [KDH <sup>+</sup> 10]	12	TEA	Rostros con expresiones	Ojos y zonas cercanas a los ojos	1	Frecuencia de los movimientos hacia los ojos y alrededor	Vínculo entre el patrón de la mirada y la sintomatología asociada	Menos interés en la región de los ojos y más en las zonas más alejadas
2010	<i>M. Freeth et al.</i> [FCRM10]	24	Autismo de alto funcionamiento	Fotografías con escenas complejas	-	2	Frecuencia de los movimientos en los ojos	Menor número de fijaciones totales en los ojos	Diferencias entre las prioridades de las regiones de los rostros
2009	<i>N. Hernández et al.</i> [HMM <sup>+</sup> 09]	11	Adultos TEA	Rostros neutros y rostros con emociones	Tiempo de mirada	1	Evaluación de la mirada	La percepción del rostro depende del ojo dominante	GC y TEA más tiempo en los ojos. TEA menos tiempo en los ojos que el GC
2008	<i>T. Falck-Ytter</i> [FY08]	-	Niños con autismo	Caras del derecho y rostros invertidas	Pupila	1	Dilatación de la pupila/ tiempo de mirada	Mayor dilatación pupila en rostros invertidos. Menos dilatación en rostros del derecho.	GC y TEA menos fijación en los ojos de los rostros invertidos. TEA tendencia a mirar los mismos rasgos en la misma cara.
2008	<i>M.D. Rutherford et al.</i> [RT08]	-	Trastorno del Espectro Autista	Fotos de emociones y su nombre	Tiempo de mirada en ojos y boca	1	Recorrido de la mirada	Mismo ratio de atención entre ojos y boca. TEA fijación menor en los ojos en emociones complejas	GC y TEA más tiempo de mirada en ojos que en boca

Tabla 2.9 Continúa de la página siguiente

Año	Autor	Muestra	Grado afectación	Métodos	Áreas / Elementos de interés	Num. Experimentos	Evaluación	Resultados	Conclusiones
2006	<i>D. Neumann et al.</i> [NSPA06]	10	Autismo alto funcionamiento	Imágenes estáticas de caras	Rostro	1	Localización de la mirada	Estrategia anormal de asignación de la mirada(arriba-abajo)	Mayor fijación: boca
2006	<i>C.J. Anderson et al.</i> [ACS06]	9	Trastorno del Espectro Autista	Imágenes con caras. Imágenes con paisajes	Pupila	1	Forma de mirar, Respuesta de la pupila	-	Contracción de la pupila ante las caras
2002	<i>A. Klin et al.</i> [KJS <sup>+</sup> 02]	15	Autismo	Videos con escenas sociales complicadas y objetos distractores	Cuerpo, ojo, boca, objetos	1	Forma de mirar	Indicador del grado de competencia social: tiempo de mirada en boca y objetos	Mayor Fijación: región del cuerpo y objetos.
2002	<i>J.N. Van der Geest et al.</i> [TSP02]	-	Asperger	Realidad virtual	Rostro	1	Forma de mirar	Discapacidad en el procesamiento de los rostros	Menor fijación: Parte central del rostro
2002	[VdGKVVE02]	-	Autismo alto funcionamiento	Imágenes estáticas: Rostros con expresión o sin expresión(dirigiendo la mirada)	Tiempo de mirada en el rostro. Tiempo de mirada en los elementos faciales.	2 (-expresión de emociones presentadas al derecho-rostros neutras presentadas al revés)	Forma de mirar los rostros en situaciones cotidianas	Falta de procesamiento de los rostros. No influyen estímulos faciales.	No diferencia: Tiempo en los rostros del derecho(con o sin expresión) Si diferencia: Tiempo en la cara del revés

Tabla 2.9: Tabla resumen: Evaluación de la cara

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

### 2.2.5.4.3 Detección y clasificación del autismo mediante Eye Tracking

La tecnología Eyetracking ha sido empleada no sólo para evaluar el procesamiento de la información de estas personas o el patrón de mirada que tienen, sino que también se ha investigado cómo se puede obtener indicadores capaces de determinar una detección temprana del autismo.

En 2008 Jones et al. [JCK08] llegó a la conclusión tras realizar una investigación con niños de 2 años con autismo y vídeos en los que aparecían personas, cómo la mirada en la zona de la boca aumentaba y disminuía en la región de los ojos en relación con el grupo de control, definiendo la mirada como un potencial indicador biomédico de la manifestación del TEA en una edad temprana. Por ello, se han realizado estudios empleando la técnica “Still Face”. En ella, la madre miraba al hijo sin mostrar ningún tipo de expresión y sin reaccionar ante las llamadas del hijo. Como fue el estudio de Merin et al. [MYOR07] que empleó esta técnica comprobando cómo los niños con TEA mostraban menos fijación en los ojos de la madre mostraron más atención en la región de la boca. Sin embargo, Young et al. [YMRO09] empleó esta técnica en niños de 6 meses para comprobar si el patrón de mirada podría ser un indicador de un posible riesgo de autismo, pero comprobó que no existían grandes diferencias entre el Grupo Control y el Grupo Clínico. Pero concluyeron que la gran cantidad de fijación de la boca de la madre durante el experimento predice un mayor nivel de lenguaje expresivo cuando crecen. Los autores Norbury et al. [NBC<sup>+</sup>09] también establecieron que la fijación en la boca indica un mayor nivel de competencia comunicativa y comprobó como las personas con TEA empleaban menos tiempo en mirar el área de los ojos. Sin embargo, no hayó diferencias en los patrones de mirada entre aquellos con problemas del lenguaje y del grupo con desarrollo típico. A pesar de ello, el aumento de las fijaciones en la boca si se asociaron con una mayor competencia comunicativa entre los TEA. Este autor indicó que la atención de los dos ojos y la boca era importante para el desarrollo del lenguaje [LHT12] así como de la competencia comunicativa. Pero las diferencias en el tiempo de fijación en los ojos podía no ser un elemento suficiente para el deterioro de la competencia social en la interacciones diarias.

Kirchner et al. [KHHD11] empleó el método Test de la empatía multifacético (MET) para comparar la fijación de las personas adultas obteniendo datos sobre las medidas de la emoción en las caras y en el reconocimiento de la identidad. Como resultado comprobó que el grupo con TEA miraba menos a las caras a través de las condiciones del MET, existiendo correlación entre el tiempo de fijación en los ojos y en la cara mientras procesaban las habilidades. Este autor sugirió que los patrones de mirada era una característica importante en el fenotipo social de las personas con autismo.

Año	Autor	Muestra	Grado afectación	Métodos	Áreas / Elementos de interés	Num. Experimentos	Evaluación	Resultados	Conclusiones
2012	<i>M. Elsbagh et al.</i> [EGP <sup>+</sup> 12]	104	54 Niños con riesgo de TEA 50 sin riesgo		Rostro, objetos	1	Tiempo de Mirada, número medio de fijaciones	Niñ@s con riesgo de TEA: fijación más en rostros que objetos. Tendencia a seleccionar y sostener atención en el rostro	Patrones atípicos
2011	<i>J.C Kirchner et al.</i> [KHHD11]	20	Adultos con autismo	Test de la empatía multifacética(MET)	Ojos, boca	1	Mirada	Patrones de mirada característica del autismo	Menos fijación en las caras (MET)
2009	<i>G.S Young et al.</i> [YMRO09]	-	(6 a 18 meses)	Still Face	Rostro, ojos y boca	1	Patrón mirada	Ninguna diferencia significativa	No indicador de autismo. Fijación en la boca predice las diferencias en el desarrollo del lenguaje
2008	<i>W.Jones et al.</i> [JCK08]	15(2 años)	Autismo Niños con retraso en el desarrollo(sin autismo)	Videos	Ojos/boca/cuerpo/objetos	1	Atención	Menor fijación en los ojos: Mayor discapacidad social	Mayor fijación: boca Menor fijación: ojos
2007	<i>N. Merin et al.</i> [MYOR07]	31 (6 meses)	Autismo	Still Face	Ojos, boca	1 (3 episodios: interacción, expresión neutra, interacción)	Patrones de mirada	Posible indicador de autismo(ojos 10 de 11 con hermanos mayores autistas)	Subgrupo : Mayor fijación: boca. Menor fijación: ojos

**Tabla 2.10:** Tabla resumen: Detección y clasificación del autismo mediante EyeTracking

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

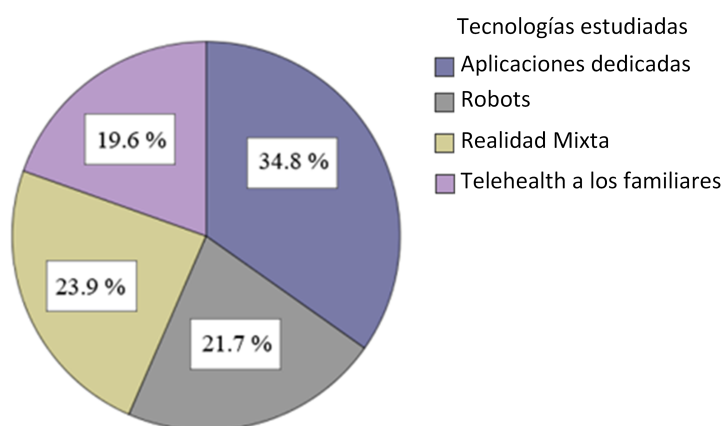
### 2.2.6 Conclusiones de la sección tecnológica

Los Trastornos del Espectro Autista (TEA) constituyen una de las patologías mentales más graves de la infancia debido a la dificultad y complejidad que conlleva su detección, diagnóstico y tratamiento [CIPAP<sup>+</sup>05].

Se han realizado numerosas investigaciones sobre cómo detectar el autismo en edades tempranas y en desarrollar herramientas que sirvan de apoyo y mejoren las habilidades afectadas por este trastorno, como son la comunicación o las habilidades sociales.

Además, en la literatura se encuentran diferentes aplicaciones software y hardware empleadas en el tratamiento, empleando diferentes soportes como el PC, tablets o consolas, comprobando que la interacción de estas personas con estos dispositivos son positivos ya que los entornos a los que se enfrentan son predecibles y controlados.

Tras analizar las tecnologías y estudios realizados en el ámbito del Trastorno de Espectro Autista, se ha comprobado cómo la tendencia de las investigaciones en estos últimos años se ha orientado a realizar más estudios sobre la efectividad de las aplicaciones dedicadas y realidad mixta para este colectivo (ver Ilustración 2.9). Como se ha mencionado en la sección de sistemas de telehealth, este concepto es muy reciente por lo que el número de investigaciones es inferior al resto de tecnologías (ver ilustración 2.9), pero tras demostrar la eficacia de estos sistemas en otros colectivos, poco a poco se están incorporando para ayudar a las personas con TEA y a sus familiares o responsables [WTRC10], [CAB<sup>+</sup>13], [MBM<sup>+</sup>12],[LST<sup>+</sup>13], [HHH<sup>+</sup>13],[WLO<sup>+</sup>13].

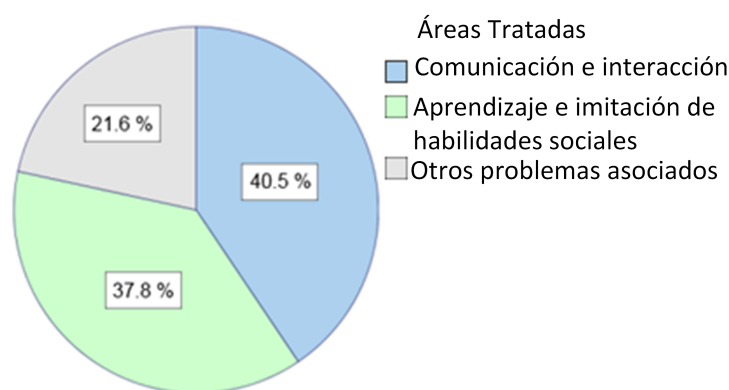


**Ilustración 2.9:** Resumen tecnologías estudiadas

Analizando los estudios de realidad mixta, robots y aplicaciones dedicadas en relación con las habilidades que trabajan, el 40.5 % de las investigaciones realizadas sobre estas tecnologías hacen

## 2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista

hincapié en la comunicación e interacción (ver Ilustración 2.10). Esto se debe a que la comunicación e interacción es uno de los núcleos de afectación del trastorno y por tanto un aspecto muy importante a trabajar en las terapias y hogares [Tsa12], [EV09]. En las investigaciones estudiadas, todas las tecnologías orientadas a trabajar la comunicación han obtenido buenos resultados ya que se han alcanzado los objetivos planteados por los investigadores de forma satisfactoria [KI13]- [SCS13], [GMN08], [TOS<sup>+</sup>12], [TONI13], [GHG13], [HVG<sup>+</sup>13], [GCB<sup>+</sup>12], [TPA<sup>+</sup>12].

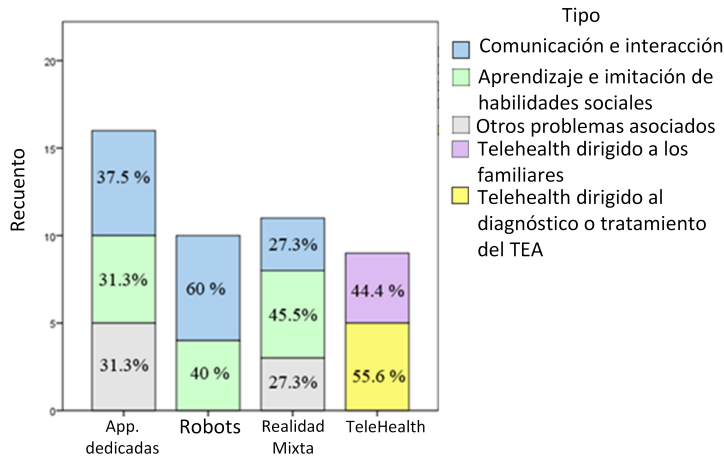


**Ilustración 2.10:** Análisis de las áreas tratadas mediante realidad mixta, aplicaciones dedicadas y robots

Sin embargo, se ha observado tras el estudio cómo los robots sociales y la realidad virtual son tecnologías más apropiadas para trabajar la comunicación y la interacción, ya que han estado enfocadas a involucrar a los usuarios o participantes en situaciones sociales en las cuales tenían que ser capaces de desenvolverse. Sin embargo, las aplicaciones dedicadas, el 37.5 % de los estudios de esta tecnología analizados (ver Ilustración 2.11), se han centrado en su mayor parte en proporcionar a las personas con autismo, herramientas que ayudan a comunicarse mediante la generación de frases con soporte visual, es decir, los usuarios forman frases mediante soporte tecnológico de imágenes, audios y textos que son reproducidos cuando necesitan comunicarse con otras personas para expresar sus necesidades o sentimientos, pero con estas aplicaciones no se ha llegado a demostrar que se mejora o se aprendan a comunicarse [GHG13].

Mediante la realidad virtual se pueden crear entornos y avatares en los cuales se puedan reflejar de forma más realista las situaciones sociales en las que se pueda ver involucrada una persona en su vida real y les enseñan cómo deben comportarse ante situaciones sociales. Para ello, generan situaciones en las que el usuario/a deba comunicarse con otros elementos virtuales o interactuar con ellos [KI13]- [SCS13]. Asimismo, los robots dotados de capacidades sociales y verbales, permiten trabajar la interacción entre robot-persona, por ser objetos que llaman la atención a los usuarios.

## 2. ESTADO DEL ARTE



**Ilustración 2.11:** Análisis por tecnología y área trabajada

En cuanto al aprendizaje e imitación de habilidades sociales el 37.8 % de los estudios analizados tiene como objetivo trabajar dichas áreas (ver Ilustración 2.10), en concreto analizando las investigaciones por tecnología, el 45.5 % de los estudios de realidad mixta, el 31.3 % de las aplicaciones dedicadas y el 40 % de las investigaciones sobre los robots están orientados a este objetivo (ver Ilustración 2.11).

Los investigadores de estos estudios, han indicado que estas tecnologías también pueden favorecer el aprendizaje e imitación de diferentes habilidades sociales, como por ejemplo en el caso de la realidad mixta, el cruzar la calle o el aprendizaje de habilidades de juego [JBCFW08]. En el caso de las aplicaciones dedicadas se han centrado en trabajar las expresiones faciales [TWK<sup>+</sup>12], la imaginación[HDMW09], o aprender los colores [CC13] y los robots en la imitación [SLB<sup>+</sup>13],[SLG<sup>+</sup>11].

Sin embargo existen limitaciones en estos estudios, ya que sólo las herramientas desarrolladas con robots son colaborativas [RDF<sup>+</sup>12], es decir, herramientas que permitan interactuar entre más de una persona simultáneamente. Por tanto la mayor parte de las investigaciones, a pesar de existir durante las pruebas la persona con autismo y el responsable de la sesión, los participantes trabajan de forma individual con la herramienta.

Analizando los resultados sobre estas herramientas para trabajar problemas asociados a este trastorno, se ha encontrado que el 21.6 % de los estudios se han centrado en estos problemas (ver ilustración 2.10). Comprobando los estudios por cada tecnología, el 27.3 % de los estudios con realidad mixta y el 31.3 % de los estudios realizados con aplicaciones dedicadas se centran en los problemas asociados (ver Ilustración 2.11).

## **2.2 Sección tecnológica: Avances tecnológicos dentro del Trastorno del Espectro Autista**

---

En este aspecto, se han encontrado estudios centrados en áreas como la imaginación [HDD09], creatividad o trabajar el lenguaje [PBB09] en el caso de las aplicaciones dedicadas y las habilidades motoras y el comportamiento con la realidad mixta. Se considera que la realidad mixta puede ser la tecnología más óptima para trabajar las habilidades motoras, ya que si se incorporan elementos hardware como la Kinect, se consigue que el cuerpo del propio usuario sea el responsable de realizar todas las acciones en el sistema, es decir, que se convierta el usuario en el mando sin necesidad de un dispositivo de entrada como el ratón o el teclado. Si a esta ventaja, se le añade el desarrollo de juegos, los usuarios trabajan divirtiéndose olvidándose de que están realizando ejercicio físico y por tanto trabajando las habilidades motoras [CK10]. Sin embargo, esta área no se ha tratado con las aplicaciones dedicadas por tratarse de herramientas no activas.

No se ha podido realizar una comparativa entre los sistemas de telehealth y los robots, aplicaciones dedicadas y realidad mixta, ya que no se han centrado en las áreas de comunicación e imitación, aprendizaje de habilidades sociales o en otros problemas asociados. Esto se debe a que el campo de los sistemas de telehealth en el área del autismo, es muy reciente y las investigaciones se centran en poner en contacto a los familiares con los médicos para enseñarles aspectos sobre el trastorno, o están centrados en obtener imágenes de las personas con TEA para analizar su comportamiento. Sin embargo, a pesar del éxito que presentan estos sistemas como herramientas de apoyo en el tratamiento de diversas patologías [LBNS13], no se han encontrado estudios en los que además de facilitar la comunicación persona- médico, incorporen ejercicios para que puedan trabajar las personas con TEA desde sus hogares, almacenando variables objetivas con los que se pueda comprobar la evolución de los usuarios con TEA.

Por otro lado, se ha realizado una comparativa relacionada con las características que presentan las tecnologías estudiadas en las investigaciones en las que se han visto involucradas. Cómo se puede observar en la Tabla 2.11, se han analizado 6 parámetros importantes a tener en cuenta: usabilidad de los sistemas, si son sistemas invasivos o no, la accesibilidad, el modo de adquisición de los datos, la eficacia y coste de los sistemas.

Tras analizar el uso de estas tecnologías en las investigaciones muestran una gran usabilidad y accesibilidad debido a que han sido sistemas desarrollados específicamente para el colectivo del TEA por lo que el modo de empleo es muy sencillo. En cuanto a si son sistemas invasivos o no, se considera que en los estudios no se han empleado técnicas invasivas ya que no presentan riesgos para los usuarios y no se realiza ninguna intrusión sobre los participantes [RDF<sup>+</sup> 12]. El modo de adquisición de datos ha variado dependiendo de la plataforma, predominando el dispositivo de entrada

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

del ratón. En los sistemas de realidad mixta también se ha empleado el propio cuerpo de los usuarios para interactuar con el sistema [FNBS10], y en el área de los robots y sistemas de telehealth ha predominado el uso de las grabaciones para obtener los comportamientos de los participantes [KSW<sup>+</sup>11], [OEBRB07], [PPS<sup>+</sup>13]. Analizando la eficacia de las tecnologías, los estudios muestran que todas las tecnologías son aptas para emplearlas como instrumento de apoyo para trabajar las áreas de afectación del autismo.

**Tabla 2.11:** Comparación de las características de las tecnologías

Características	Realidad Mixta	Aplicaciones dedicadas	Sistemas Telehealth	Robots
Usabilidad	Si	Si	Si	Si
Sistemas Invasivos	No	No	No	No
Accesibilidad	Si	Si	Si	Si
Adquisición de datos	Ratón / Movimiento del cuerpo	Ratón / Panta-lla táctil	Ratón / Grabación	Observación / Grabación
Efectividad	Si	Si	Si	Si
Coste	Alto	Medio	Medio	Alto

El último parámetro analizado está relacionado con el coste que puede suponer llevar a cabo el desarrollo de las herramientas empleando las tecnologías estudiadas. El coste de las mismas está relacionado principalmente con las licencias de las librerías empleadas, como por ejemplo en el caso de la realidad mixta, en las cuales existen librerías de pagos o gratuitas. Tanto las aplicaciones dedicadas como los sistemas de telehealth son las tecnologías más baratas, sin embargo los robots se pueden considerar sistemas de mayor coste debido al material necesario para su fabricación.

En relación a los estudios llevados a cabo con la tecnología eyetecking, se encuentra como la tendencia de estas investigaciones es emplear esta tecnología para la detección, con el objeto de obtener el patrón de mirada y fijaciones de estas personas ante situaciones sociales o a la hora de explorar rostros mostrando emociones. Llegándose ha comprobado como solo se aprecian diferencias entre los grupos de control y las personas afectadas por TEA en los estímulos dinámicos que incluyen escenas sociales, en las cuales la fijación en las regiones de los ojos disminuye y aumenta en las regiones de los cuerpos [SCMC07].

Los estudios realizados en relación con el seguimiento ocular de las personas con TEA, ha estado guiado por dos tipos de pruebas, vídeos con escenas sociales o imágenes estáticas de individuos, se ha comprobado como solo se aprecian diferencias entre los grupos de control y las personas afectadas.

tadas por TEA en los estímulos dinámicos que incluyen escenas sociales, en las cuales la fijación en las regiones de los ojos disminuye y aumenta en las regiones de los cuerpos. Este elemento es un predictor de la medida de respuesta social de estas personas [SCMC07].

Sin embargo, los paradigmas realizados hasta el momento son incorrectos debido que no muestran información social en un entorno real [FWLB<sup>+</sup>09]. Tras estos estudios, un aspecto importante que se ha detectado con los estudios realizados, es que la fijación de los usuarios en la boca es una característica que presentan las personas con TEA en el ámbito de competencias sociales [BB07]. Además, las personas con TEA mantienen la mirada menos tiempo en la región de la cara que las personas con desarrollo neurotípico [RH09].

Tras la recopilación de los diferentes estudios e investigaciones que se ha realizado, se ha comprobado como existe una diversidad de opiniones respecto a los patrones de mirada de las personas con TEA.

A pesar de que existan autores que indiquen que no se aprecian diferencias entre el tiempo en total de observación de los ojos, bocas, si determinan que las personas con autismo tienden a mirar menos tiempo la región de los ojos en comparación con las personas con desarrollo neurotípico [AC09] [WHVF<sup>+</sup>13a]. Otro problema que se ha encontrado, es la diversidad de pruebas realizadas, mediante escenas estáticas, fotografías, ejercicios de asociaciones... y los resultados dispares que se han obtenido de estos experimentos. Por esta razón, se pretende realizar un estudio en el que se estudie el comportamiento de las personas con autismo ante: escenas social evaluando tanto las áreas de interés (ojos, boca, objetos y cuerpo), tiempo de fijación con la comprensión de la situación social mostrada.

## 2.3 Conclusiones

Las tecnologías pueden favorecer a trabajar habilidades que las personas con TEA puedan tener poco desarrolladas, ya que generan situaciones repetitivas y controladas en las que pueden ejercitar sus puntos fuertes y sus puntos débiles una y otra vez de forma lúdica y sin generar tensión. Gracias al comportamiento repetitivo de las herramientas tecnológicas las personas no esperan ninguna reacción social improvisada como sucede en el mundo real en el que una situación social involucra un gran número de estímulos y variantes, por lo tanto al tratarse de entornos generados por los investigadores, son situaciones controladas mediante las cuales se reduce el riesgo de estrés por parte de los participantes.

Pero es muy importante establecer un contenido adecuado a la edad de los niños y sobre todo fijar límites dentro del uso de dichas tecnologías, ya que al igual que pueden ayudar a poner en

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

práctica las fortalezas y las debilidades de las personas con TEA, pueden crear un efecto de adicción a las mismas, consiguiendo un efecto de aislamiento.

Además, tanto con la realidad mixta como con los robots y con las aplicaciones dedicadas se consigue una interacción con objetos inanimados, de los cuales su comportamiento es esperado y determinado, lo que hace que los usuario/as se sientan más seguros y cómodos al trabajar con ellos. Esto a pesar de ser una ventaja cómo se ha mencionado, es a su vez una limitación ya que no son situaciones totalmente reales con las variables que supone una interacción en una situación cotidiana. Por esta razón, se deberían llevar a cabo un mayor número de investigaciones en los que se demuestren cómo tras el entrenamiento con estas tecnologías, las habilidades trabajadas son llevadas al mundo real mejorando su calidad de vida.

Otra limitación existente en estos estudios está relacionada con que son herramientas desarrolladas de forma genérica para todo el espectro autista. Es decir, son herramientas en las que se trabaja de forma similar las habilidades afectadas para todas las personas, independientemente del grado de afectación que presente el usuario. Por esta razón, puede que no se ajusten a las necesidades personales de cada individuo, provocando su desinterés por el sistema. Debido a las capacidades que presentan estas tecnologías, puede ser interesante desarrollar sistemas configurables que permitan adaptarse a cada persona, logrando de esta forma, herramientas más eficaces.

A pesar de que en los estudios analizados no se haya incorporado el robot como herramienta tecnológica para trabajar las habilidades motoras, pueden ser una buena opción, debido a los resultados positivos que han obtenido al trabajar la imitación. De esta forma, los robots podrían reproducir secuencias de movimientos para ser imitadas por los usuarios. Consiguiendo, trabajar tanto la imitación como las habilidades motoras.

Otro aspecto importante a remarcar, es que los estudios realizados son estudios pilotos en los que se ha incorporado un número de participantes no muy elevado y no se han analizado si una vez transcurrido un periodo de las investigaciones realizadas, los participantes han mantenido las mejoras obtenidas durante las pruebas, es decir, si los resultados logrados con los participantes, éstos han podido trasladarlo e incorporarlo en su día a día.

Tras el análisis se cree importante realizar estudios en los que se incorpore varias tecnologías en un mismo sistema, aprovechando de esta forma las ventajas de cada una de ellas y en los que el área principal a trabajar sea la interacción tecnología-persona con TEA- familiar/responsable y no tecnologías-persona. De esta forma, puede resultar más sencillo el trasladar las habilidades trabajadas con las herramientas a la vida cotidiana, debido a que de una manera continuada se van a enfrentar a estímulos sociales reales en entornos controlados.

Por tanto, la tecnología puede servir como un apoyo importante tanto en las terapias como en la detección las personas con TEA, e incluso pueden ayudar a obtener valores objetivos con los cuales se pueda llegar a entender un poco más el autismo y / o comprender cómo las personas con autismo se sienten en su día a día. Esto facilita a los profesionales poder adaptar las terapias a cada persona; y a los familiares a trabajar desde los hogares y comprender mejor el comportamiento y necesidades de sus hijos.

*A pesar de existir numerosos estudios en el ámbito del TEA, se crea la necesidad de orientar, en desarrollar aplicaciones software para evaluar variables objetivas capturadas mediante la tecnología Eye Tracker, que sirvan como orientación a los psicólogos para realizar un diagnóstico precoz*



*El diseño no es solo lo que se ve o lo que se siente. Diseño es cómo funciona.*

Steve Jobs

Capítulo

# 3

## Solución propuesta

**U**na vez analizadas las diferentes tendencias y tecnologías que se están aplicando en el área de los Trastornos del Espectro Autista (TEA), con la presente investigación se pretende cubrir las necesidades más importantes detectadas en el capítulo anterior. Para cumplir con dicho propósito, se ha desarrollado un sistema que tiene como pilar fundamental obtener indicadores objetivos que ayuden a los profesionales en su tarea de la detección del TEA.

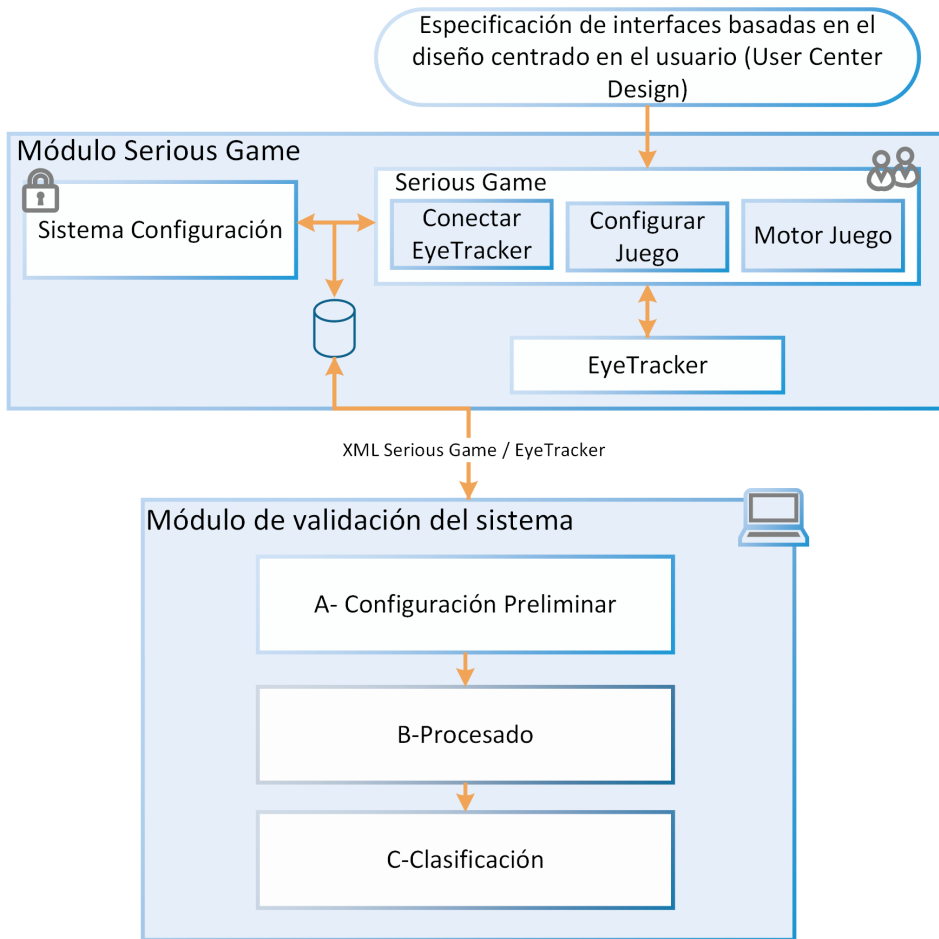
El sistema propuesto trata de evaluar uno de los dominios de la afectación de los Trastornos del Espectro Autista, los déficits sociales y de comunicación, mediante la combinación e integración de tecnologías eyetracking, tecnologías aplicadas e inteligencia artificial.

En el presente capítulo se realiza una descripción detallada de los dos grandes módulos que compone el estudio: módulo del Serious Game, cuyo principal objetivo es evaluar las habilidades sociales de las personas con TEA a través de juegos y tecnología de seguimiento ocular, y el módulo de validación del sistema mediante inteligencia artificial, encargado de analizar los resultados obtenidos del módulo Serious Games y comprobar si los indicadores generados ayudan a realizar una detección precoz. A continuación en la ilustración 3.1 se realiza una representación gráfica a alto nivel de los dos módulos mencionados.

El primer gran bloque hace referencia al módulo de Serious Game (ver Ilustración 3.1), el cual está compuesto por dos sistemas relacionados. El primero de ellos, llamado Sistema de Configuración, está orientado a los profesionales o familias y tiene como objetivos (1) configurar los Serious

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

---



**Ilustración 3.1:** Diseño Alto Nivel del sistema propuesto

Games partiendo de las necesidades del jugador y (2) visualizar los resultados obtenidos por cada jugador. El segundo de ellos, corresponde con el bloque del Serious Game, que contiene el juego propiamente dicho y es el encargado de almacenar la información proveniente del dispositivo hardware EyeTracker y del juego.

El segundo gran bloque corresponde con el Módulo de validación del sistema. Este módulo es el encargado de realizar los análisis de la información proveniente de los Serious Games mediante inteligencia artificial con el fin de obtener los indicadores oportunos para la detección del autismo.

Es importante remarcar un tercer módulo llamado Especificación de interfaces basadas en el diseño centrado en el usuario, ya que gracias a este apartado, se ha definido las características que debe de cumplir el Serious Game.

Este capítulo está dividido en cuatro secciones en las cuales se va a definir el funcionamiento

de la solución propuesta. En el primer apartado “Consideraciones previas”, que determina tanto el entorno como los dispositivos hardware empleados para la consecución del sistema. La segunda sección corresponde con “Especificación de interfaces basadas en el diseño centrado en el usuario (User Center Design)” se menciona la metodología empleada para la definición de las interfaces que se implementan en el Sistema, en concreto en el Serious Game. La tercera sección, llamada “Diseño de alto Nivel”, es la encargada de realizar una descripción a groso modo del funcionamiento y objetivos de cada módulo y en la sección “Diseño de bajo Nivel” se define con detalle cada módulo. Por último se explica el procedimiento de la investigación que ha sido definido para llevar a cabo las pruebas con los usuarios finales.

### 3.1 Consideraciones previas

En esta sección se expone por un lado, el entorno software y soporte hardware utilizado para el desarrollo de la tesis.

#### 3.1.1 Entorno de desarrollo

La investigación se ha llevado a cabo bajo la plataforma de desarrollo .NET, en el entorno propio de desarrollo Visual Studio 2013 y mediante el lenguaje de programación de C#.

El Serious Game se ha desarrollado mediante el framework XNA que facilita el desarrollo y gestión de juegos de ordenador, es decir, XNA es una plataforma de desarrollo de videojuegos sobre DirectX, en la cual se integran funcionalidades que facilitan la implementación del juego.

La integración del sistema con el EyeTracker se ha realizado también mediante C# debido a que el API proporcionada por los fabricantes del dispositivo está implementada en este lenguaje.

Debido a que se ha utilizado la tecnología de Microsoft, la base de datos empleada es Microsoft SQL Server. Se trata del sistema de administración de bases de datos relacionales de Microsoft.

Asimismo, para la validación de los indicadores objetivos, se ha hecho uso de la plataforma libre distribuida bajo la licencia GNU-GPL, WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis). Esta plataforma escrita en Java y desarrollada en la Universidad de Waikato está orientada al aprendizaje automático y la minería de datos, siendo ampliamente aceptada y es utilizada en numerosas estudios científicos [RGCS13], [Jen15] y posee una API escrita en C# facilitando la integración en un mismo sistema.

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

---

#### 3.1.2 Dispositivos hardware

El sistema cuenta con la integración de dispositivos hardware, como es el sistema de seguimiento ocular y una pantalla táctil.

- Dispositivo EyeTracker

El dispositivo eyetracker integrado en el sistema propuesto, corresponde con el modelo Tobbi X1 Light. El dispositivo seleccionado registra la información de la pupila y de la mirada a una frecuencia de 32 Hz y lo realiza mediante cámaras infrarrojas.

Este modelo presenta la ventaja de ser un dispositivo de tamaño pequeño que se integra en la parte inferior de la pantalla de forma desapercibida.

- Pantalla táctil y puntero táctil

Debido a la edad temprana del grupo objetivo de la tesis, la mayor parte de éstos no han desarrollado las habilidades suficientes para hacer un uso correcto del ratón. Por esta razón, se ha considerado importante la incorporación de una pantalla táctil de 21 pulgadas en la investigación. Asimismo, se ha establecido el uso de un puntero táctil de 40 centímetros con objeto de interferir de la menor forma posible en la captura de los datos por el EyeTracker. Es decir, sin el uso de este puntero, el dispositivo de seguimiento ocular capturaría un número mayor de información inválida ya que mediante los brazos los participantes pueden bloquear las cámaras encargadas de registrar la mirada.

#### 3.1.3 Seguridad

Debido a la información delicada con la que se trabaja en esta tesis se considera de vital importancia aplicar técnicas de seguridad.

La primera medida de seguridad se trata de los permisos asignados a cada responsable ya cada uno de ellos solamente poseen acceso a aquella información referente a los niño/as que tratan en las sesiones.

Al tratarse de un sistema de escritorio se ha limitado el acceso a la carpeta dónde se almacena la información generada por los participantes a lo largo del Serious Game al administrador del sistema.

Asimismo, se han empleado técnicas de cifrado de contraseñas como algoritmos hash y salt implementados en el espacio de nombres "System.Security.Cryptography" de .NET y se ha evitado posibles ataques a las bases de datos mediante LINQ to SQL ya que evita inyección de código mediante el uso de SqlParameter en las consultas.

### 3.2 Especificación de interfaces basadas en el diseño centrado en el usuario (User Center Design)

La especificación del sistema se ha realizado siguiendo el enfoque de “Diseño Centrado en el Usuario (DCU) o User Centered Design (UCD)”. Este enfoque es un proceso cíclico en el cual el usuario final tiene un papel fundamental en las decisiones de diseño así como en evaluar la usabilidad del sistema de forma iterativa, es decir, trata de forma específica lograr que los sistemas desarrollados sean más utilizables. Por esta razón, el enfoque DCU consiste en una actividad multidisciplinar en la que se fusiona el factor humano y el conocimiento ergonómico, con el fin de favorecer la eficacia y eficiencia del sistema; teniendo en cuenta las aptitudes, limitaciones y necesidades de las personas a las que va dirigido el producto final.

Para poder llevar a cabo esta metodología y esta investigación, se ha contado con la colaboración indispensable de la Asociación de Padres de afectados de Autismo y otros trastornos del espectro autista de Bizkaia (APNABI).

Esta colaboración ha permitido estar en contacto real con personas afectadas, conociendo en un ámbito no teórico casos de personas con distinta afectación y comprender mejor el Trastorno del Espectro Autista.

En concreto se han asistido a 4 sesiones individuales, dónde los niño/as presentan un grado de afectación alto y una sesión colectiva formada por 3 niños y 2 niñas con un grado de afectación bajo. Gracias a estas sesiones, se ha analizado la metodología empleada por los profesionales durante las sesiones, la duración que emplean para la ejecución de cada ejercicio, y cómo trabajan las áreas de afectación con los niño/as.

Siguiendo el Estándar de Usabilidad Internacional, ISO 13407 [JIMK03] , se han llevado a cabo las cuatro fases en las que se divide el enfoque Diseño Centrado en el Usuario : entender y especificar el contexto de uso; especificar requisitos; producir soluciones de diseño y evaluación (ver Ilustración 3.2).

#### 1. Entender y especificar el contexto de uso

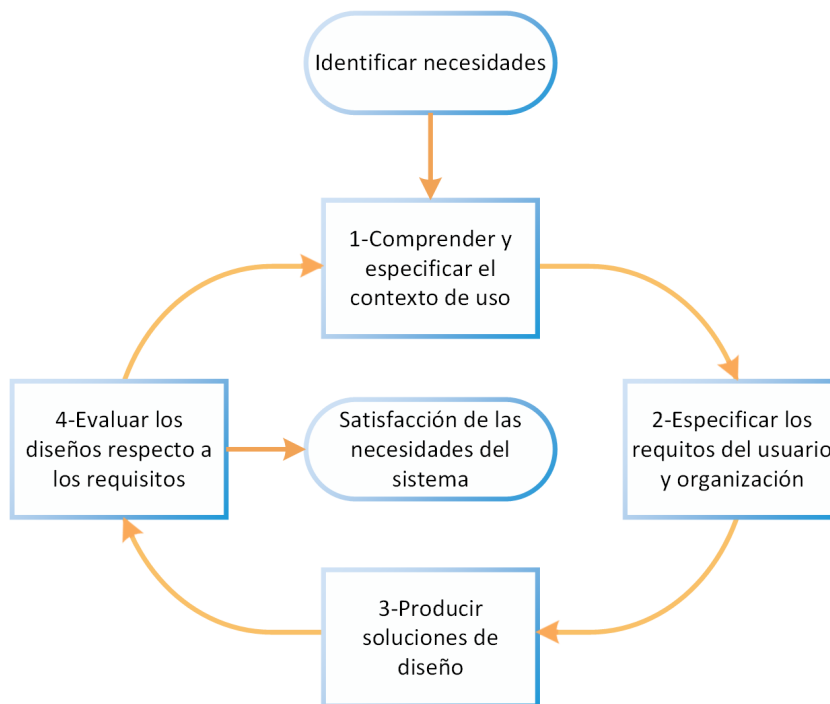
La primera fase corresponde con la definición del contexto que viene definido por las características de los usuarios, las tareas y los entornos de organización y físicos. Por tanto, para entender y especificar el contexto se han respondido a tres preguntas: 1) ¿A quién va dirigido?, 2) ¿Para qué se va a utilizar el sistema?, 3) ¿En qué condiciones / entorno?.

##### 1. ¿A quién va dirigido?

El sistema propuesto, tiene dos grupos objetivos: El primero de ellos hace referencia a los

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

---



**Ilustración 3.2:** Esquema del “Diseño centrado en el Usuario”

familiares y a los profesionales que trabajan en su día a día con personas afectadas de autismo, realizando una labor muy importante para mejorar la calidad de vida de estas personas. El segundo de ellos, involucra a las personas con Trastorno del Espectro Autista. En concreto a niños de edades comprendidas entre 3 y 8 años.

2. ¿Para qué se va a utilizar el sistema?

El objetivo del sistema propuesto es ayudar a los profesionales a realizar una detección precoz mediante la inclusión de indicadores objetivos obtenidos a través del Serious Game y dispositivos EyeTracker.

Tanto los Serious Game como el dispositivo EyeTracker son tecnologías no invasivas, por lo que los riesgos asociados a este sistema son mínimos.

3. ¿En qué condiciones / entorno?

Esta pregunta corresponde con el conjunto de herramientas empleadas. En el módulo del Serious Game, se ha empleado una pantalla táctil y un dispositivo externo de seguimiento ocular. Además ha sido necesario el uso de un ordenador en el cual se ha instalado el sistema, tanto para el módulo del Serious Game como para el módulo de validación.

### 3.2 Especificación de interfaces basadas en el diseño centrado en el usuario (User Center Design)

---

#### 2. Especificar requisitos

La segunda fase está relacionada con la especificación de los requisitos funcionales del sistema, el diseño de la interfaz, entre otros.

Tanto los requisitos del sistema como su diseño han sido definidos una vez asistido a las sesiones presenciales realizadas en la asociación APNABI.

Para definir tanto el funcionamiento como el diseño de la interfaz y los elementos mostrados durante el Serious Game se ha tenido en cuenta los ejercicios, elementos y colores empleados en las sesiones atendidas en APNABI. Uno de los elementos importantes es la no incorporación de sonidos durante todo el juego. La razón principal de esta decisión se debe a que la música es un elemento distractor que dificulta la interacción.

Por otro lado, los elementos incluidos en el Serious Game son elementos conocidos por los niños ya que son objetos con los que trabajan de forma cotidiana en las sesiones. Los objetos definidos en este experimento consisten en elementos geométricos 2D muy sencillos como son los círculos, cuadrados, estrellas y triángulos (ver Ilustración 3.3).



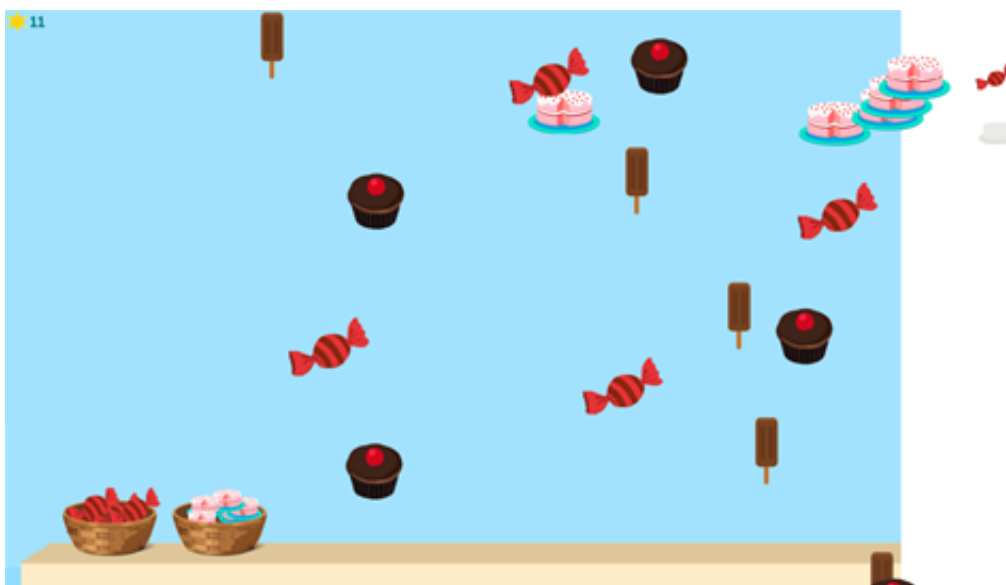
**Ilustración 3.3:** Interfaz del Nivel 1

Asimismo se incorporan objetos con forma de caramelos, tartas, helados y magdalenas (ver Ilustración 3.4). Para los objetos se han empleado colores primarios y secundarios con una tonalidad suave o pastel, ya que favorecen a fijar la concentración debido a que transmiten un ambiente de tranquilidad y relajación.

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

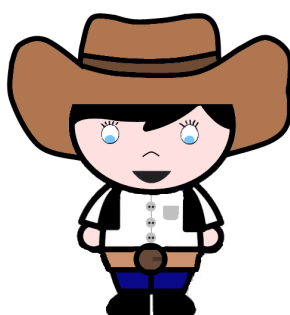
---

Durante el juego sólo se muestran los elementos definidos, sin objetos distractores, por esta razón se ha establecido un fondo de color azul claro que ayuda a mantener la concentración durante la prueba.



**Ilustración 3.4:** Interfaz del Nivel 3

Para aumentar el interés de los participantes en el Serious Game, se ha creado un avatar que es el encargado de guiar al usuario a lo largo de los niveles de dificultad (ver Ilustración 3.5).



**Ilustración 3.5:** Avatar del Serious Game

Otro elemento fundamental, es el refuerzo que se incorpora una vez que el usuario ha finalizado cada juego, este elemento de refuerzo positivo consiste en la obtención de estrellas por cada nivel

superado, más un mensaje indicando al usuario que ha realizado un buen trabajo. Gracias a este refuerzo se motiva al niño/a a seguir jugando y trabajando independientemente de si ha conseguido superar el nivel o no.

Este refuerzo positivo mostrado en la pantalla siempre debe de ir acompañado de palabras y gestos positivos por parte del responsable.

#### 3. Producir soluciones de diseño

Esta fase corresponde con el desarrollo del sistema siguiendo los requisitos y decisiones tomadas en la fase anterior, hasta lograr la solución final del diseño. En los apartados siguientes se expone con detalle el diseño tanto a alto nivel (ver sección 3.3.1) como a bajo nivel del sistema propuesto (ver sección 3.4)

#### 4. Evaluación

La fase de evaluación es la fase más importante, ya que es en este instante dónde se validan las soluciones de diseño, es decir, el sistema de interfaces o cumplimiento de requisitos, o por el contrario dónde se detectan los posibles problemas de usabilidad.

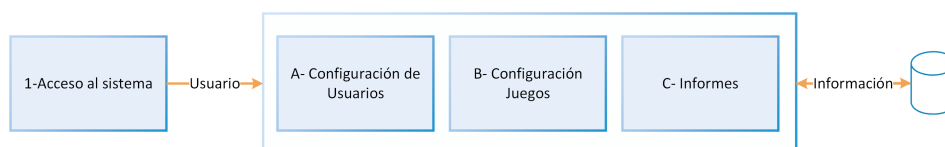
Para realizar la evaluación se ha empleado un test de usabilidad adaptado a las necesidades de este proyecto. Por las características de los usuarios sólo se han realizado a los responsables de APNABI que han participado en las pruebas finales con los/as niño/as con autismo. El resultado del test se exponen en el la sección “4.3 Resultados Test de usabilidad”.

## 3.3 Diseño Alto Nivel

A continuación se realiza la explicación a alto nivel de los componentes principales del sistema.

### 3.3.1 Diseño Alto Nivel del Sistema de Configuración

El sistema de Configuración es el encargado de realizar la configuración de los Serious Games así como de visualizar los informes generados con la información obtenida por el sistema. Como se muestra en la ilustración 3.6, el sistema de configuración está compuesto por tres bloques.



**Ilustración 3.6:** Diseño Alto Nivel: Sistema de Configuración

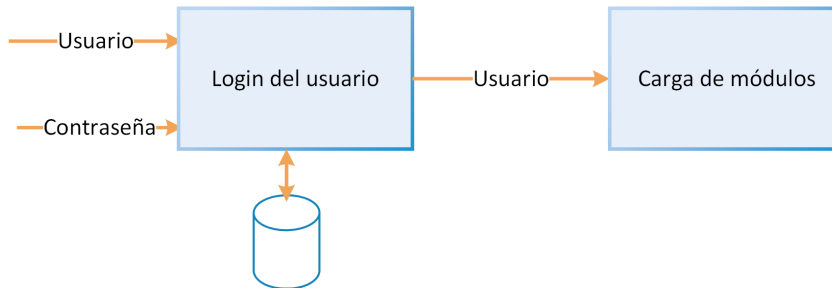
### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

---

El primero de ellos está relacionado con la configuración de los usuarios, el segundo de ellos con la configuración de los juegos y por último, el bloque de los informes, que es el responsable de mostrar los resultados obtenidos por los usuarios. Para poder acceder a este sistema, se ha creado un pequeño módulo llamado “Acceso al sistema” el cual es el encargado de realizar el login de los usuarios.

#### 3.3.1.1 Acceso al sistema

El módulo de acceso al sistema es el encargado de validar si un usuario está registrado en el sistema para darle paso a las opciones que presenta el módulo de configuración (ver Ilustración 3.7) dependiendo del perfil asignado.



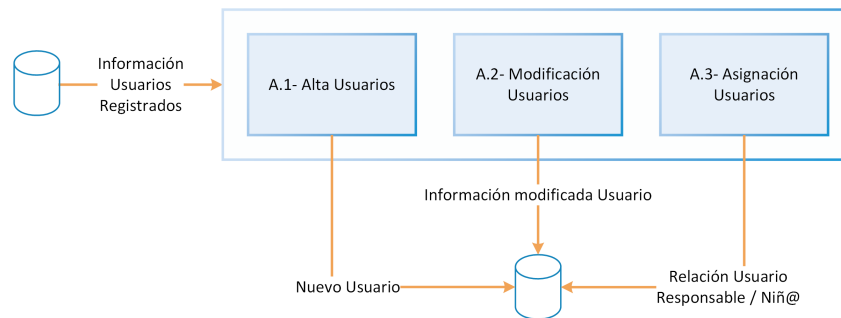
**Ilustración 3.7:** Diseño Alto Nivel : Acceso al Sistema

Este módulo presenta como *input* un nombre de usuario y contraseña que serán introducidos por el usuario. El *output* corresponde con el acceso y visualización de los módulos a los que el usuario tenga permisos.

#### 3.3.1.2 A- Configuración de usuarios

Este módulo tiene como objetivo la gestión de los usuarios que tiene acceso tanto al Sistema de Configuración como al Sistema de Serious Game. Como muestra la ilustración 3.8, las funcionalidades implementadas en esta sección del sistema son: A.1) Alta de usuarios, A.2) Modificación de usuario y A.3) Asignación de usuarios.

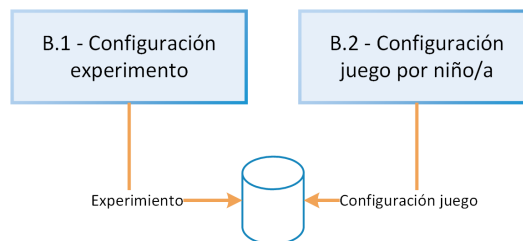
El *input* de este módulo, es la información de los usuarios registrados en el sistema almacenada en la base de datos y tiene como *output* la actualización de la base de datos con la información proveniente de cada una de las funcionalidades que posee este módulo.



**Ilustración 3.8:** Diseño Alto Nivel: Módulo Configuración de usuarios

### 3.3.1.3 B- Configuración de juegos

El módulo configuración de juegos está dividido en dos apartados, por un lado, la configuración del experimento y por otro lado la configuración del juego por usuario (ver ilustración 3.9).



**Ilustración 3.9:** Diseño Alto Nivel :Módulo Configuración de Juegos

La configuración del experimento está relacionada con la configuración que se va a emplear la primera vez que un usuario con perfil Jugador acceda al sistema. Gracias a este perfil, se obtiene los valores iniciales de niño/a que van a ser comparados con los resultados que se han obtenido del grupo clínico y del grupo de control, con el fin de determinar en qué grupo se sitúan los valores de los indicadores críticos obtenidos por el jugador. Se considera de importancia remarcar que la configuración establecida en este módulo debe permanecer de forma similar para todos los participantes del Serious Game la primera vez que acceden al sistema y así, poder llevar a cabo una comparación exacta entre el nuevo jugador y los resultados obtenidos tras este experimento.

La configuración del juego por niño/a tiene como objetivo definir la mejor configuración de los niveles del Serious Game partiendo de los datos obtenidos tras superar el Serious Game con la configuración definida en el experimento. Gracias a esta configuración, el sistema propuesto puede cumplir una segunda función convirtiéndose en una herramienta de tratamiento en las sesiones realizadas en las asociaciones o en las casas de las personas afectadas con Trastorno de Espectro Autista.

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

---

El *input* de este módulo corresponde con la selección del tipo de configuración que se desea realizar. Este módulo presenta dos *outputs*, el primero de ellos proviene de la configuración del experimento que tiene como resultado la definición del experimento y el segundo de ellos, es la configuración del Serious Game para un usuario determinado.

#### 3.3.1.4 C- Informes

Este módulo es el encargado de visualizar la información generada por el/la jugador/a durante los niveles, comparando los resultados del niño/a con los resultados del grupo de control y del grupo clínico. La visualización se realiza mediante un gráfico diseñado para la tesis, llamado “TEAgrama”, el cual recoge los indicadores críticos a evaluar.

Como *input* este módulo presenta la información generada por el/la niño/a durante el Serious Games, y como *outputs* el informe con la información generada.

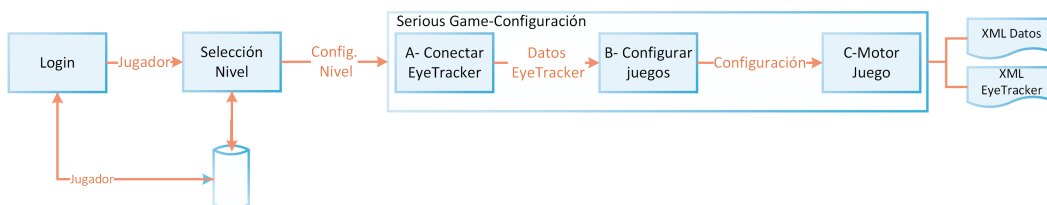
#### 3.3.2 Diseño Alto Nivel del Serious Game

El Serious Game propuesto en este experimento, tiene como objetivo trabajar una de las áreas de afectación más importantes del Trastorno del Espectro Autista, las habilidades sociales. Para lograr este objetivo se ha diseñado un juego en el que el niño/a debe interactuar con el responsable para poder superar los niveles de dificultad propuestos.

El objetivo lúdico del juego, consiste en recolectar el mayor número de objetos concretos comiendo el mínimo error posible, siendo éstos conocidos por los/as niño/as.

Para trabajar las habilidades sociales, el juego implementa diversas paradas que eliminan todos los elementos de la pantalla, forzando al usuario a interactuar con el responsable, pidiendo ayuda para poder continuar con el juego.

Como muestra la ilustración 3.10, al Serious Game se accede a través de un proceso “Login” y tras seleccionar el nivel, existe un bloque principal que implementa la lógica del juego, teniendo como resultado los ficheros XML con la información generada durante el juego.



**Ilustración 3.10:** Diseño Alto Nivel: Módulo Serious Game

Pero, antes de proceder con el juego, el primer paso que se debe realizar es la calibración del EyeTracker y comprobar que el dispositivo está reconociendo los ojos del jugador. Si este paso no se lleva a cabo, no es posible asegurar que el dispositivo sea capaz de recoger información válida durante el juego.

#### 3.3.2.1 Calibración del EyeTracker

La calibración del dispositivo externo de seguimiento ocular se realiza mediante un proceso en el cual el jugador debe mirar 9 puntos blancos sobre fondo negro que se muestran en la pantalla por diferentes zonas de la pantalla. Para que la calibración sea exitosa el usuario debe estar sentado a una distancia de 56 centímetros de la pantalla, lo más centrado posible.

Una vez calibrado, se ha comprobado mediante una interfaz que se están reconociendo los ojos del jugador/a, para ello, en la pantalla se visualizan los ojos en forma de dos círculos blancos. Para realizar la calibración y la comprobación de ésta se ha empleado el software implementado por los fabricantes del EyeTracker Tobii, asegurando una correcta calibración.

#### 3.3.2.2 Login y Selección del Nivel

Al igual que en el sistema de configuración, para acceder al Serious Game es necesario realizar el proceso de Acceso al sistema. Pero en este caso, sólo se requiere el nombre en clave del jugador/a que es introducido por el responsable de la sesión, devolviendo el id del usuario en caso correcto. Tras realizar el login, el responsable selecciona el juego y el nivel, obteniéndose la configuración establecida para ese jugador/a.

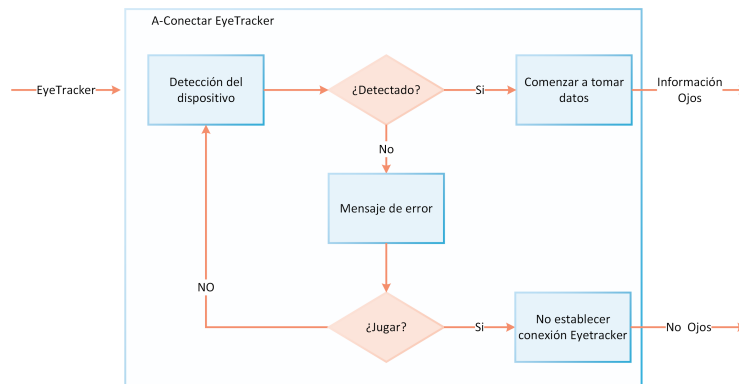
#### 3.3.2.3 A-Conectar Eye Tracker

Una vez obtenido la configuración con la que el usuario va a jugar, se procede con el establecimiento de la comunicación entre el EyeTracker y el Serious Game (ver Ilustración 3.11), mediante la API proporcionada por los fabricantes del EyeTracker.

En caso de que la comunicación se establezca de forma correcta, se comienza con la toma de datos de los ojos pero sin almacenar la información hasta que no se comience con el juego.

En caso de producirse un error en la comunicación, se muestra un mensaje de error, y se realiza un nuevo intento de conexión. Además, se da la opción de continuar con el juego sin la utilización del EyeTracker bien porque no termine de realizarse la comunicación o porque no se disponga de un EyeTracker en el momento de realizar el juego (en este caso, la información obtenida no puede ser utilizada para realizar una detección del TEA).

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA



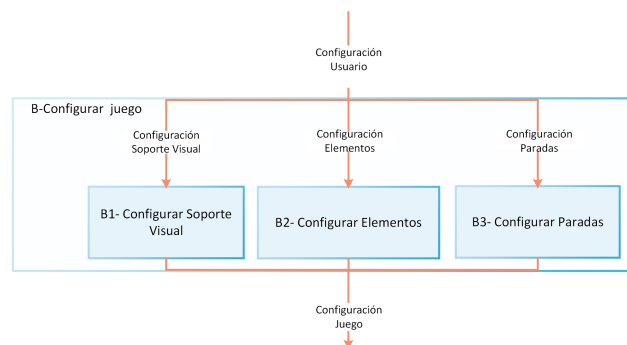
**Ilustración 3.11:** Diseño Alto Nivel: Comunicación EyeTracker con el Serious Game

El *input* de este módulo corresponde con la conexión del dispositivo EyeTracker y el *output* es la información capturada por el dispositivo tras establecerse la comunicación.

#### 3.3.2.4 B-Módulo Configuración del juego

En este módulo se realiza el proceso de configuración del Serious Game partiendo de los parámetros configurados en el sistema de administración para cada nivel del Serious Game y usuario.

El primer paso de la configuración es comprobar si el usuario necesita soporte visual durante el juego, el segundo paso, establecer qué elementos se van a mostrar y definir cual es el elemento principal a recoger y por último, configurar las paradas que se van a contemplar durante el juego (ver Ilustración 3.12)



**Ilustración 3.12:** Diseño Alto Nivel: Módulo configuración del juego

Los *inputs* de este módulo por tanto corresponden con los parámetros definidos para cada usuario o experimento y el *output* es la configuración una vez realizada.

3.3.2.5 C-Motor del juego

El motor del juego está basado en tecnología XNA. Es el encargado de que los elementos estén continuamente descendiendo y apareciendo por la pantalla.

Asimismo, en este módulo se reflejan las configuraciones establecidas en el módulo anterior, y es el encargado de ir almacenando los eventos que suceden durante el tiempo del juego para salvarlos una vez finalizado el nivel.

El *input* del motor del juego corresponde con la configuración realizada en el módulo anterior, el *output* son los ficheros XML generados durante el juego con toda la información relativa a los eventos producidos durante el mismo.

3.3.3 Diseño Alto Nivel del Módulo Validación del Sistema

Los resultados del sistema y la validación de la hipótesis planteada en el experimento han sido evaluados mediante el un módulo de validación de los datos obtenidos, en el cual se aplican técnicas de inteligencia artificial junto a métodos estadísticos con el fin de obtener los indicadores objetivos que determinarán un posible caso de TEA o no. Este módulo está compuesto por 3 grandes bloques que se encargan de analizar, procesar y clasificar la información obtenida por el Serious Game (ver Ilustración 3.13 ).

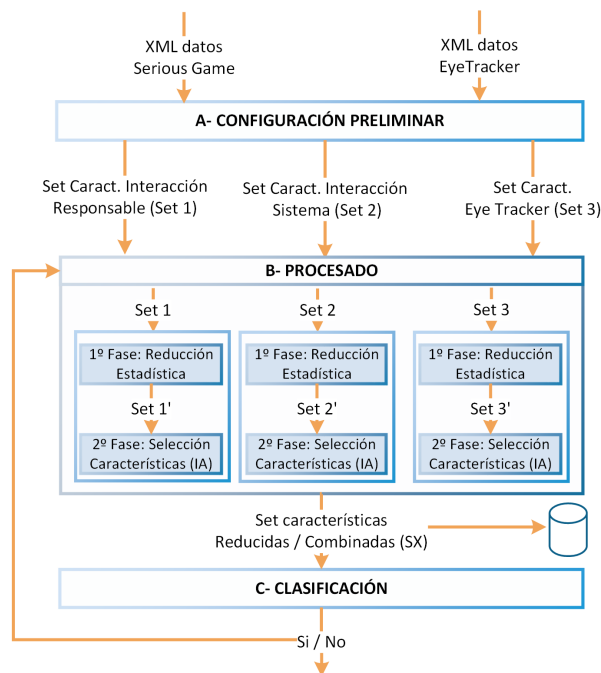


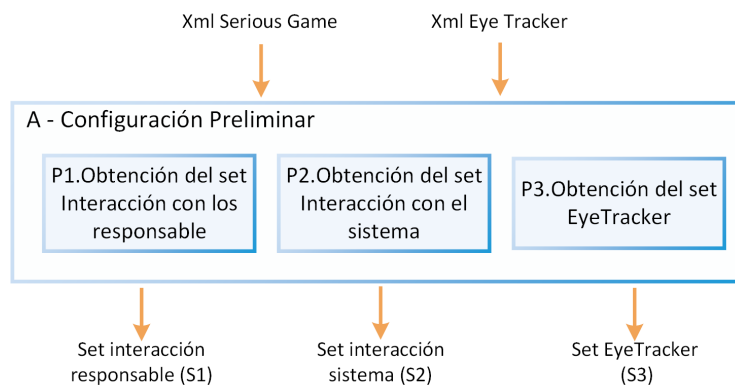
Ilustración 3.13: Diseño Alto Nivel: Módulo de Validación

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

---

#### 3.3.3.1 A- Configuración Preliminar

El primero de ellos es la configuración Preliminar. Este módulo es el encargado de transformar la información almacenada en los XML tras cada sesión de juego en indicadores estadísticos, almacenándolos y dividiéndolos en tres grandes conjuntos de datos: Set de interacción con los responsables, set interacción con el sistema y set EyeTracker (ver Ilustración 3.14).



**Ilustración 3.14:** Diseño Alto Nivel: Configuración Preliminar

1. P1. Obtención del Set Interacción con los responsable (S1)

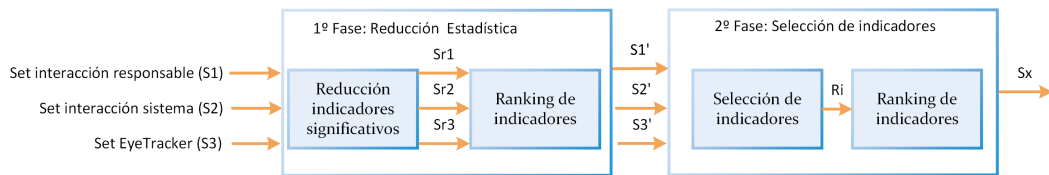
Mediante el presente proceso se obtiene el primer set de indicadores llamado “*Set Interacción con los responsable*”. Este set está compuesto por aquellos indicadores que reflejan el tiempo que el usuario ha empleado para realizar una interacción con el responsable, así como si la interacción se ha realizado mediante contacto visual, o simplemente mediante palabras o gestos.

2. P2. Obtención del Set Interacción con el sistema (S2)

Como su propio nombre indica, el segundo proceso es el encargado de generar el conjunto de indicadores que recoge aquellos que tienen relación con la interacción que el usuario ha realizado con el Serious Game. Para ello, se generan las posiciones dónde el usuario ha realizado un evento con el puntero táctil, los aciertos y errores cometidos.

3. P3. Obtención del Set EyeTracker (S3)

El proceso P3, obtiene el set EyeTracker que contiene toda la información referente a la mirada y exploración realizada por el usuario durante el Serious Game.



**Ilustración 3.15:** Diseño Alto Nivel: Módulo de Procesado

Por tanto, este primer módulo tiene como *inputs* los XML encargados de almacenar los datos en bruto generados por el Serious Game y los XML que contiene la información recogida por el dispositivo EyeTracker.

Los *outputs* de esta fase corresponden con los tres grandes set de indicadores generados tras la limpieza y generación de nuevas características: Set Interacción con los responsables (S1), Set interacción con el sistema (S2) y Set EyeTracker (S3).

### 3.3.3.2 B- Procesado

El segundo gran paso a ejecutar corresponde con la selección y reducción de los indicadores más relevantes en el proceso de la detección precoz del autismo. Como se muestra en la ilustración 3.15 Este procesado se divide en dos grandes fases: Reducción Estadística y Selección de indicadores.

#### 1. 1º Fase: Reducción Estadística

La primera fase corresponde con la reducción y ranking de indicadores basadas en métodos estadísticos. Para ello, se ha realizado un estudio estadístico de cada set de indicadores provenientes de la fase anterior.

Esta primera fase tiene como *inputs* los set de indicadores provenientes de la fase de Configuración Preliminar (S1, S2, S3).

Los *outputs* de la reducción estadística corresponden con los set generados tras realizar la reducción de indicadores basada en análisis estadísticos de cada set de datos (S1', S2', S3').

#### 2. 2º Fase: Selección de características

La segunda fase del procesado es la responsable de realizar la reducción y selección de indicadores basándose en algoritmos de inteligencia artificial. En este experimento se ha decidido emplear el uso de algoritmos Híbridos ya que aúnan las ventajas de los métodos tipo filtro y tipo envoltorio o Wrapper.

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

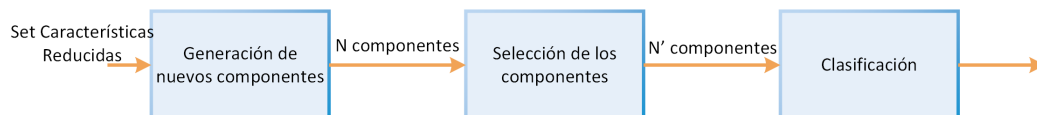
---

Los *inputs* de esta segunda fase corresponden con los 3 set de indicadores provenientes de la primera fase de reducción Estadística ( $S1'$ ,  $S2'$ ,  $S3'$ ). El *outputs* de esta fase es el set de indicadores formado por la reducción y combinación de los tres set de características ( $Sx$ ).

Por tanto, el *input* del módulo de Procesado corresponde con los tres set de indicadores ( $S1$ ,  $S2$ ,  $S3$ ) y el *output* de esta fase es el set de indicadores resultante de la reducción y combinación de características ( $Sx$ ).

#### 3.3.3.3 C- Clasificación

La última fase del módulo de validación del sistema se centra en la clasificación de los individuos, y en el análisis de los resultados de clasificación 3.16. Para llevar a cabo el objetivo de esta fase, se han creado componentes gracias al método de PCA y a continuación se ha empleado algoritmos de clasificación.



**Ilustración 3.16:** Diseño Alto Nivel: Módulo de Clasificación

El *input* de esta fase es el set de indicadores generado como resultado del procesado.

El *output* de esta fase es el resultado de la clasificación, junto con la sensibilidad, especificidad y resultados de la curva ROC.

## 3.4 Diseño Bajo nivel

Una vez definidos a grandes rasgos los módulos que componen el sistema, en el siguiente apartado se realiza una explicación detallada del funcionamiento de cada uno de ellos.

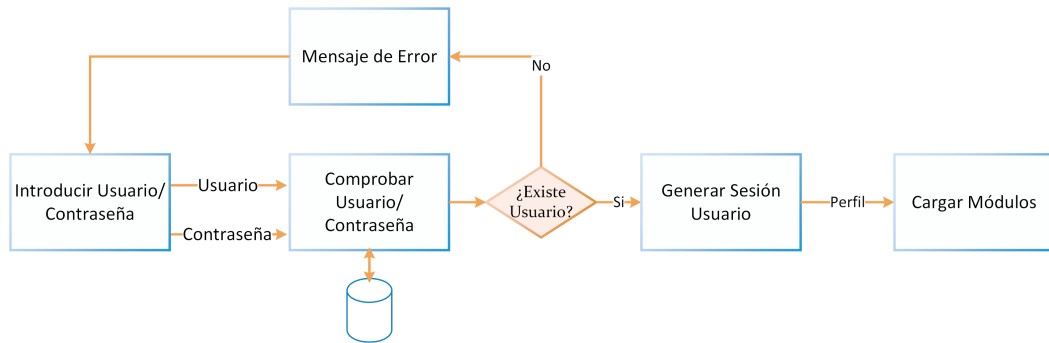
### 3.4.1 Diseño de Bajo Nivel Sistema de configuración

Esta sección define el funcionamiento detallado del sistema de configuración encargado de realizar la gestión del sistema, de la configuración de los juegos y de la generación de los informes de cada niño/a participante.

#### 3.4.1.1 Acceso al sistema

El primer paso que un usuario debe realizar para acceder al sistema de configuración es realizar el login (ver Ilustración 3.17). Para ello, se debe introducir el nombre y contraseña asignado, el sistema

comprueba de forma automática contra la base de datos si el usuario introducido está registrado; en el caso de no existir, se muestra un mensaje de error y se retorna a la pantalla de login.



**Ilustración 3.17:** Diseño Bajo Nivel: Módulo acceso al Sistema

Por el contrario si el usuario existe, se genera un objeto sesión que almacena los datos de identificación del usuario, como son id del usuario y el perfil, que son utilizados durante toda la sesión del usuario y mediante los cuales se determinan los módulos a los que tiene acceso el usuario desde la pantalla principal.

El sistema propuesto tiene tres perfiles implementados que dan la posibilidad de acceder a unos módulos o a otros dentro del sistema: 1) Perfil administrador, 2) Perfil profesional, 3) Perfil familiar y 4) Perfil Jugador. Estos perfiles son explicados con detalle en la sección “A- Configuración de usuarios”.

#### 3.4.1.2 A- Configuración de usuarios

El presente módulo es el encargado de gestionar de forma sencilla los usuarios que acceden a la plataforma, por lo tanto, solamente tiene acceso a esta sección el perfil administrador ya que es el encargado de realizar la gestión del sistema. Las funciones que el administrador realiza en esta sección, son el alta , modificación y asignación de usuarios, definiendo con esta información a qué procesos o módulos tiene acceso cada persona así cómo la información que pueden consultar.

- *Alta de usuario*

Como su propio nombre indica, este módulo se encarga de crear un nuevo usuario en el sistema. En este instante, el administrador debe determinar el perfil que va a poseer dicho usuario. Como se ha comentado anteriormente existen tres perfiles que dan acceso a diferentes funcionalidades del sistema.

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

---

1. Perfil Administrador : El perfil administrador tiene acceso completo al sistema y es el encargado de realizar la gestión de los usuarios del sistema.
2. Perfil Profesional : El usuario con perfil profesional, puede acceder al módulo completo de configuración del juego y de los informes, pero sólo puede visualizar la información referente a aquellos niño/as que tienen a su cargo.
3. Perfil Jugador : Este perfil, hace referencia al niño/a que va a acceder sólo al módulo de Serious Game, es decir, el usuario con el que se va a trabajar la interacción con el fin de determinar si presenta riesgo o no de TEA.

La tabla 3.1 muestra las funcionalidades a las que un perfil tiene acceso.

**Tabla 3.1:** Relación perfil y accesos a funcionalidades

Perfil	Gestión usuarios	Conf. Juego Experimento	Conf. Juego Usuario	Informes	Serious Game
Administrador	X	X	X	X	X
Responsable	-	X	X	X	X
Jugador	-	-	-	-	X

- *Modificación de usuarios*

Esta funcionalidad involucra la modificación de la información personal referente al usuario, así como la eliminación de un usuario. Para ello, el primer paso que debe de realizar el administrador es seleccionar el usuario que desea modificar, realizar los cambio pertinentes y salvar la información en la base de datos.

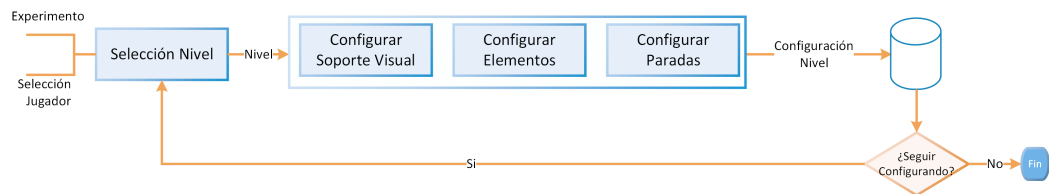
- *Asignación de usuarios*

La asignación de usuarios hace referencia a la definición de la relación existente entre un usuario con perfil administrador, familiar o responsable y un usuario con perfil jugador. Esta relación es imprescindible ya que determina a qué información confidencial va a poder acceder cada persona.

#### 3.4.1.3 B- Configuración de juegos

La configuración del Serious Game que se realiza en esta parte del sistema tiene una función fundamental ya que es la que define por un lado el experimento y por otro lado, la configuración del usuario, es decir, el modo del juego del niño/a tras superar el experimento.

A pesar de que se han dividido en dos secciones, como se muestra en la ilustración 3.18, ambos pueden realizar la modificación de los mismos parámetros del Serious Game, pero difieren del objetivo de la configuración, o experimento o juego del niño/a.



**Ilustración 3.18:** Diseño Bajo Nivel: Módulo Configuración de juegos

El Serious Game, esta diseñado para ser configurable en su mayoría, permitiendo modificar desde los parámetros de la duración del juego hasta los elementos que aparecen en pantalla. Estas modificaciones están habilitadas para los 3 niveles de dificultad, más un nivel inicial llamado "Nivel de adaptación". El objetivo de este nivel inicial, es que el niño/a tenga un primer contacto con el Serious Game y conozca la dinámica del juego, por esta razón, durante este nivel, el sistema no registra la información generada por el/la jugador/a. Una vez definido el nivel, se debe de configurar:

- Configurar Soporte Visual

El soporte visual hace referencia a la visualización a lo largo del nivel del elemento que debe recoger para superar el nivel.

- Configurar Elementos

El sistema permite modificar los elementos que aparecen durante el juego, por lo que el responsable debe de cargar en el sistema las imágenes con las que desea trabajar las habilidades sociales e indicar qué elemento es el principal, es decir que elemento tiene que seleccionar durante el juego. Otra opción que se muestra a la hora de configurar los elementos, está relacionada con el número de objetos con los que se va a jugar. Se da la opción de poder intercambiar entre los objetos a seleccionar durante el juego, elevándose el número hasta cuatro elementos.

El cambio de elementos puede ser o bien de forma automática, por lo que se especifica el tiempo de cambio entre un elemento u otro o de forma manual, siendo el responsable el encargado de cambiar entre elementos.

- Configurar Paradas

Con el objetivo de forzar la interacción con el/la jugador/a, se deben configurar las paradas

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

---

que va a sufrir el juego durante los diferentes niveles y en caso necesario cada cuanto se van a producir (ver tabla 3.2).

**Tabla 3.2:** Paradas configurables por los responsables

Parada	Generada por	Tiempo
Automática	Sistema	Si
Indicación	Usuario	No
Error	Usuario	No

#### 3.4.1.4 C- Informes

Los informes son los encargados de recoger de forma gráfica los resultados obtenidos por cada niño/a, mostrando las diferencias existentes entre el participante y el Grupo Control y Grupo Clínico mediante el 'TEAgrama'.

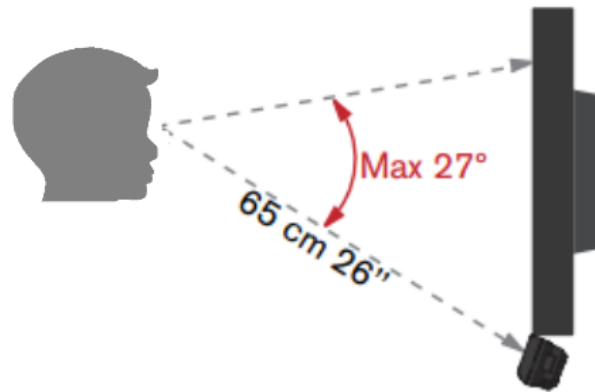
El "TEAgrama" consiste en un diagrama radial en el que se comparan los valores de los indicadores críticos obtenidos por el Grupo Control y Grupo Clínico, y los valores obtenidos por el niño/a.

#### 3.4.2 Diseño de Bajo Nivel Serious Game

Esta sección muestra de forma detallada el funcionamiento del Serious Game y del Eyetracker, así como la interfaz que se ha definido para el Serious Game partiendo de decisiones tomadas en la especificación de interfaces basada en el diseño centrado en el usuario, explicada al inicio de este capítulo.

##### 3.4.2.1 Calibración del EyeTracker

La calibración del EyeTracker es fundamental para la recogida de forma correcta de la información generada por la mirada. Por ello, se han establecido los siguientes pasos. En primer lugar, el dispositivo hardware se ha situado en la parte inferior de la pantalla táctil gracias al soporte propio del sistema. Una vez instalado el dispositivo y conectado al ordenador, los niño/as son sentados en una silla situada a una distancia de 56 centímetros de la pantalla y centrada respecto a ésta. Una vez el niño se encuentra sentado de forma correcta, es importante comprobar si se encuentra a una altura correcta (ver Ilustración3.19) .



**Ilustración 3.19:** Diseño Bajo Nivel: Calibración del EyeTracker

Como se ha comentado, la pantalla empleada durante las pruebas se trata de una pantalla táctil por la falta de conocimientos del uso del ratón de los participantes, ha sido necesario la incorporación de un puntero táctil de 40 centímetros con el objetivo de interferir en la menor medida posible con la captura de la mirada de los participantes.

Además, se han tenido presentes diferentes factores para la captura de los datos procedentes del EyeTracker como es la condición lumínica ya que puede llevar a la variación del tamaño de la pupila [SLB<sup>+</sup>13]. Por esta razón, se ha procurado mantener la misma intensidad de luz en las clases utilizadas empleando siempre luz artificial durante el test, manteniendo el mismo brillo de la pantalla 270 cd/m<sup>2</sup> durante las pruebas y eliminando estímulos visuales que puedan distraer al participante.

La calibración en este experimento ha tenido dos complicaciones importantes por las características que presentan los participantes. La primera limitación encontrada ha sido la altura de los mismos, ya que al tratarse de niño/as de entre 3 y 8 años, los más pequeños han necesitado incorporar en los asientos cojines para que el dispositivo pudiese detectar sus ojos.

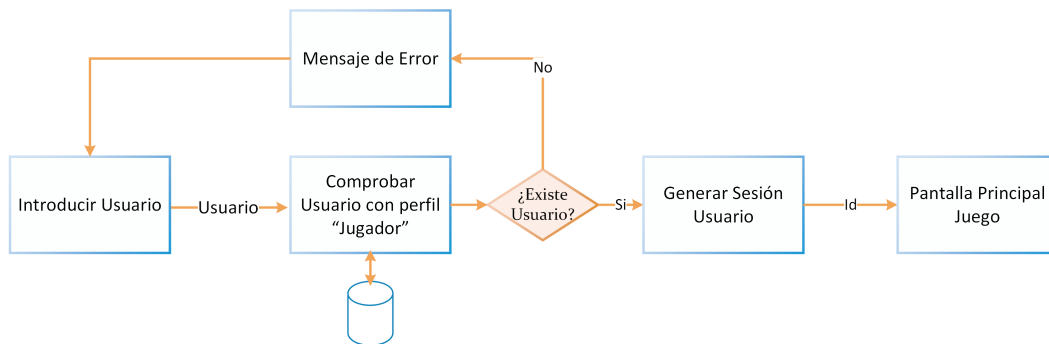
La segunda dificultad encontrada y la más importante, ha sido la calibración del dispositivo con los participantes del grupo clínico, ya que por las características de este grupo, no han seguido con la mirada los diferentes puntos bien por distraerse mientras se procedía con la calibración o bien porque no les llamaba suficientemente la atención los puntos como para permanecer mirándolos durante el tiempo necesario para completar dicho proceso. Para solventar este problema, para aquellos niño/as que no han sido capaces de calibrar el EyeTracker, se ha empleado la calibración almacenada por los participantes del grupo de control de características físicas parecidas.

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

#### 3.4.2.2 Login y Selección del Nivel

El proceso de Login se realiza partiendo del nombre de usuario del jugador/a creado con la primera inicial del nombre, de los dos apellidos y la edad. En este experimento, para crear los dos grupos de control y grupo clínico la nomenclatura seguida ha correspondido para el grupo clínico de la palabra “TEA” + un número de 3 dígitos, como por ejemplo “TEA001”, y para el grupo de control “Control” + un número de 3 dígitos; “Control001”.

El proceso de acceso al sistema (ver Ilustración 3.20) es muy similar al proceso realizado en el Sistema de Configuración, explicado en el apartado 3.4.1.1. La diferencia entre ambos se encuentra en que para acceder al Serious Game solo se requiere el nombre de usuario de una persona con perfil “jugador”. La ilustración 3.21 refleja la interfaz del proceso Login.



**Ilustración 3.20:** Diseño Bajo Nivel: Módulo Acceso al Serious Game

Una vez validado el usuario y obtenido su id, se muestra la pantalla principal que se corresponde con un pequeño mapa del oeste (ver Ilustración 3.22).



**Ilustración 3.21:** Diseño Pantalla Inicio del Serious Game

### 3.4 Diseño Bajo nivel

Para acceder a los juegos se debe seleccionar las tiendas de campaña. Para que los usuarios conozcan que juegos están habilitados al arrastrar el puntero sobre los objetos éstos aumentaran de tamaño.



**Ilustración 3.22:** Diseño Pantalla Menú principal del Serious Game

Tras seleccionar el Serious Game se muestra la pantalla da acceso a los 3 niveles de dificultad del juego, más el nivel de adaptación (ver Ilustración 3.23)



**Ilustración 3.23:** Diseño Visualización de los niveles de dificultad

Una vez seleccionado el nivel de dificultad al que se quiere acceder, se obtiene mediante una consulta a la base de datos la configuración del nivel para ese usuario, comprobándose si es la primera vez que accede al Serious Game. En caso afirmativo, la configuración que se retorna es la configuración establecida en el experimento.

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

#### 3.4.2.3 A-Conectar Eye Tracker

La comunicación del EyeTracker con el sistema se realiza mediante la función *public void EyeTracker()*. En cuanto se detecta el dispositivo, se comienza con la toma de los datos, aunque no se almacenan hasta que el proceso de configuración del juego no se haya completado.

Para establecer la conexión entre el EyeTracker y el sistema, se ha empleado la API del dispositivo desarrollada en lenguaje .NET. La toma de datos del EyeTracker se realiza en un proceso/hilo paralelo mediante la función *public void OnGazeData(GazeDataItem gd)*. El objeto *GazeDataItem* es el encargado de recoger los datos provenientes del EyeTracker, dando información sobre las posiciones X e Y de ambos ojos, y de las pupilas.

#### 3.4.2.4 B-Módulo Configuración del juego

Este módulo configura el funcionamiento del juego según las especificaciones marcadas en el sistema de administración para un usuario determinado (ver Ilustración 3.24)

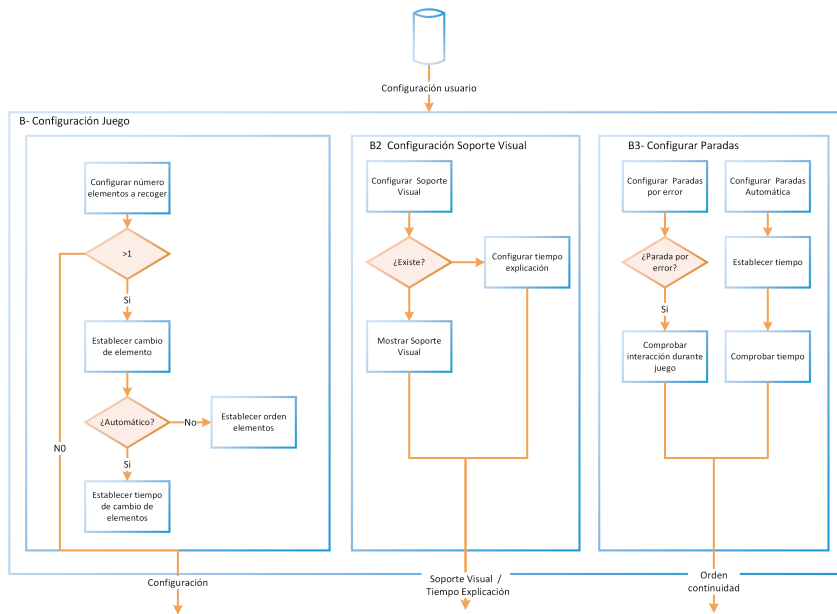


Ilustración 3.24: Diseño Bajo Nivel: Módulo configuración

- *B1. Configuración Elementos*

En este proceso se establece el aspecto de los elementos con los que va a jugar el/la niño/a. En el caso, de que se haya determinado más de un elemento a recoger, se comprueba si el cambio se realiza de forma automática o de forma manual por el responsable.

Si se ha definido un cambio automático, se declara un contador de tiempo con el que se comprueba si el tiempo establecido se ha cumplido o no, y de esta forma realizar el cambio oportuno.

En caso contrario, el responsable es el encargado de cambiar entre los elementos cuando considere oportuno. Estos cambios se realizan mediante las teclas numéricas "1,2,3,4", que equivalen a los elementos determinados por el responsable. Dependiendo del número de elementos que tiene que recoger el usuario, se habilitarán las teclas numéricas. Por ejemplo, si en la configuración se ha establecido 2 elementos, sólo estarán disponibles las teclas 1 y 2.

- *B2. Configuración Soporte Visual*

Este proceso es el encargado de configurar en caso de existir el soporte visual. El soporte visual consiste en mostrar en la parte derecha de la pantalla el elemento o elementos que debe seleccionar el/la jugador/a durante el nivel.

En caso de que el responsable haya determinado que no es necesario mostrar dicha ayuda, por querer aumentar de esta forma la complejidad del nivel, se declara una variable con el tiempo que se va a emplear para dar a conocer al niño/a, el elemento que debe seleccionar. Durante este tiempo, no aparecen elementos en la pantalla consiguiendo una mayor atención por parte del jugador/a al responsable.

- *B3. Configuración Paradas*

Como se ha comentado en el módulo, durante el Serious Game, se pueden contemplar una serie órdenes de parada y de continuidad con el fin de forzar la interacción responsable - niño/a. Las posibles paradas al ser configuradas por el responsable, deben definirse antes de dar inicio al juego. En la tabla 3.3 se muestra la configuración que se realiza en este proceso en función de las paradas configuradas por el responsable. Las teclas empleadas para determinar una orden de continuidad, siempre tienen la misma funcionalidad para que el funcionamiento del sistema sea más sencillo y son definidas en este módulo.

**Tabla 3.3:** Posibles órdenes de parada junto con su orden de continuidad

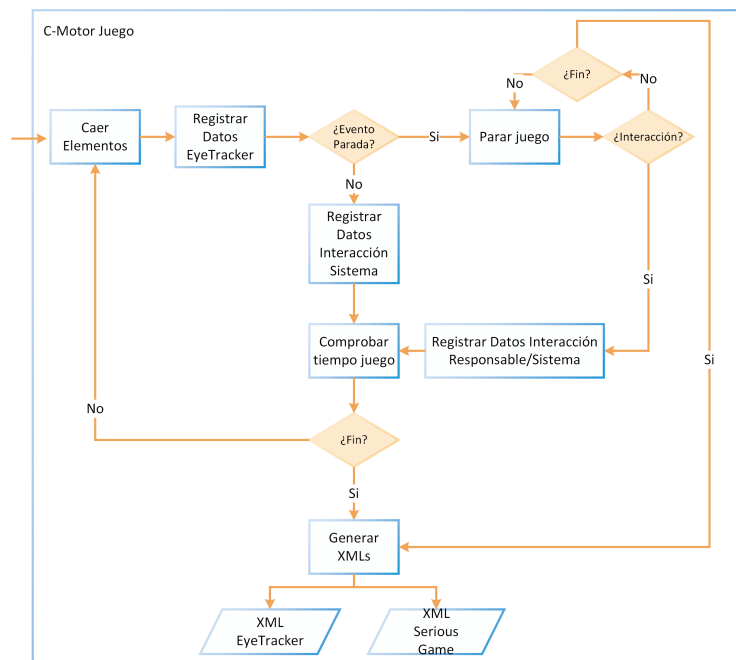
Orden Parada	Contador parada	Orden Continuidad	Función
Automática	Si	Tecla espaciadora	Se ha producido contacto visual
	Si	Tecla "0"	No se ha producido contacto visual
Indicación	-	Tecla "P"	Recordar objetivo del Serious Game
Error	-	Tecla espaciadora	Se ha producido contacto visual
	-	Tecla "0"	No se ha producido contacto visual

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

#### 3.4.2.5 C-Motor del juego

El motor del juego está basado en tecnología XNA. Es el encargado de que los elementos están continuamente descendiendo y apareciendo por la pantalla.

Asimismo, en este módulo se reflejan las configuraciones establecidas en el módulo anterior, y es el encargado de ir almacenando los eventos que suceden durante el tiempo del juego para salvarlos una vez finalizado el nivel (ver Ilustración 3.25).



**Ilustración 3.25:** Diseño Bajo Nivel: Módulo Motor del Juego

La sensación de movimiento descendente de los objetos se ha conseguido declarando tantas listas como elementos se vayan a visualizar. Estas listas contienen los objetos de los elementos junto con la posición inicial de cada uno de ellos. La posición inicial  $p(X,Y)$ , se incrementa en 1 la posición Y por cada interacción que realiza el motor del juego.

Para determinar si se ha producido una orden de parada, el juego está escuchando continuamente por si genera un evento producido o bien por las teclas o por el puntero táctil o en su defecto el ratón. Cuando se produce un evento por el puntero o ratón, es necesario comprobar si existe una colisión con un elemento correcto o no.

A continuación se muestra el pseudocódigo de cómo se determina la colisión.

Si la colisión es exitosa el juego continua, sino, se produce una orden de parada haciendo que todos los elementos que están en la pantalla desaparezcan. Para volver a mostrar los objetos en la

**Algorithm 1** Comprobación colisión evento usuario y objeto correcto**Entrada:** coordenadas (x,y) evento puntero, lista de los objetos correctos**Salida:** existe o no existe colisión

```

1: para objeto en ListaObjetos hacer
2:   anchoTextura <- objetoTextura.Ancho
3:   alturaTextura <- objetoTextura.Altura
4:   VectorCentroObjeto <- (objetoPX + anchoTextura/2, objetoPY + alturaTextura/2)
5:   VectorEventoPuntero <- (PunteroX, PunteroY)
6:
7:   si distancia(VectorCentroObjeto, VectorEventoPuntero) < anchoTextura/2 entonces
8:     AlmacenarInformacionEvento
9:     devolver ExisteColision
10:  fin si
11:  fin para

```

pantalla, es necesario que el sistema detecte una orden de continuidad, sino el juego seguirá parado hasta nueva orden o hasta que el tiempo establecido por cada nivel se cumpla.

Una vez detectada una orden de continuidad, el sistema registra dicho evento y comprueba que el tiempo no se haya agotado para proceder con la visualización de los objetos. En caso de que el juego haya finalizado, se generan los XML provenientes de los eventos producidos durante el juego y de los datos registrados por el Eyetracker durante todo el juego.

Los datos generados durante el juego son almacenados en formato XML, generándose dos XML. El primer XML, llamado “XML SeriousGame”, contiene la información relativa al juego, eventos generados con el puntero táctil, fechas producidas por cada evento, tipos de eventos realizados. El segundo XML, “XML EyeTracker” se corresponde con la información recogida mediante el dispositivo EyeTracker. Por tanto, al finalizar el Serious Game, cada niño/a ha generado 3 XML Serious Game y 3 XML EyeTracker. Estos XML siguen la siguiente nomenclatura:

*XML Serious Game = nombreUsuarioNiño/a+Nivel+ Datos+Fecha;*

*XML EyeTracker = nombreUsuarioNiño/a+Nivel+ EyeTracker+Fecha;*

#### 1. XML Serious Game

El Xml datos provenientes del Serious Game contiene tres etiquetas relevantes que recogen los eventos producidos a lo largo de todo el juego (ver Ilustración 3.26)- A continuación se detallan las etiquetas más importantes del fichero XML Datos generado tras superar los niveles del Serious Games.

##### (a) Etiqueta <Opción >

Esta etiqueta almacena los eventos generados con el puntero táctil. Es decir la posición

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

---

```
<usuario>

  <juego id="idNivel" puntuación="numAciertos" numIntentos="EventosTotales">

    <Opcion>
      <EventoRaton correcto fecha PosicionX PosicionY/>
      ....
    </Opcion>
    <OpcionInterrupcion>
      <EventoInterrupcion30segundos Parada fecha/>
      <EventointerrupcionManual Parada fecha />
      <EventoInterrupcionAutomatica Parada fecha />
      ....
    </ OpcionInterrupcion >
    <OpcionInteraccion>
      <EventoInteraccionSinContactoVisual Parada fecha/>
      <EventoInteraccionIndicacion Parada fecha tipo />
      ....
    </OpcionInteraccion>
  </juego>
</usuario>
```

**Ilustración 3.26:** Formato Xml Datos

X e Y dónde ha seleccionado el objeto a recoger, la fecha en la que se ha producido dicho evento y si ha recogido de forma correcta el objeto o no.

(b) Etiqueta <OpcionInterrupcion >

La etiqueta <OpcionInterrupcion > contiene los eventos relacionados con las paradas producidas por el sistema. Como se ha explicado en la sección “Diseño Bajo Nivel : B-Configuración de juegos”, se contemplan varios tipos de paradas lo cual genera un registro nuevo en el XML.

- EventoInterrupcion30segundos: Esta etiqueta almacena las paradas que se producen en el sistema cada 30 segundos con el objeto de forzar la interacción con el usuario. Se registra la fecha de cuándo se ha producido el evento, la parada, en este caso siempre va a ser 0, que indica que el juego se ha parado.
- EventointerrupcionManual: Esta etiqueta representa dos estados dependiendo del valor que tenga el atributo Parada.
  - Parada = 0 Si la parada tiene un valor igual a cero, significa que el juego ha sido parado por el responsable ya que el jugador se ha distraído y no está prestando

atención al juego.

- Parada = 1 Si la parada tiene un valor igual a uno, representa el reinicio del juego tras producirse una parada, y que la interacción se ha realizado mediante contacto visual. Asimismo, se almacena la fecha en la que se ha producido el evento.

(c) Etiqueta <OpcionInteraccion >

La etiqueta <OpcionInteraccion > es la responsable de almacenar la información de los eventos relacionados con la interacción con el responsable.

- EventoInteraccionSinContactoVisual: Almacena la fecha de cuando se ha producido un evento sin contacto visual.
- EventoInteraccionIndicacion: Esta etiqueta indica si el responsable ha creído necesario realizar una parada en el juego para dar indicaciones al usuario sobre el funcionamiento del juego. El atributo Parada puede tomar dos valores, 0 o 1. Si toma el valor de 0 significa que el juego se ha parado para darle las indicaciones oportunas, por el contrario si toma el valor de 1, el juego se ha reiniciado tras la explicación.

## 2. XML Eye Tracker

El segundo XML generado por el Serious Game recoge la información proveniente del Eye-Tracker, es decir, las posiciones de la mirada de los usuarios a lo largo del juego así como el diámetro de la pupila en cada instante (ver Ilustración 3.27).

```

<usuario>
  <datos>
    <informacionOjos fecha>
      <ojolzquierdo X Y pupilaDiametro />
      <ojoDerecho X Y pupilaDiametro />
    </informacionOjos>
    .....
  </datos>
</usuario>

```

**Ilustración 3.27:** Formato Xml EyeTracker

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

---

Si el EyeTracker no recoge información de los ojos porque el usuario no está mirando a la pantalla, la información que se almacena es “0” en las posiciones X e Y, y “-1” en el atributo de pupilaDiametro.

#### 3.4.3 Diseño de Bajo Nivel del Módulo Validación del Sistema

Esta sección contiene el desglose de forma más detallada del proceso realizado por cada fase del módulo de validación del sistema. Asimismo, a lo largo de la explicación se muestran los resultados parciales obtenidos de dos participantes en el experimento, un jugador perteneciente al grupo clínico y un segundo jugador perteneciente al grupo de control. En la tabla 3.4 se muestra la información sobre la edad y sexo de los dos participantes seleccionados.

**Tabla 3.4:** Participantes

Código Jugador	Edad	Sexo
TEA020	5	Hombre
Control11	5	Hombre

Estos participantes son un claro ejemplo de las diferencias que existen entre ambos grupos ya que han obtenido resultados muy dispares durante los tres niveles de dificultad de los Serious Game. Por esta razón, se han seleccionado para mostrar sus resultados parciales a lo largo de esta sección.

##### 3.4.3.1 A- Configuración Preliminar

Este módulo tiene como objeto procesar los datos en formato XML provenientes del Serious Game y del EyeTracker, generar y agrupar nuevas características que van a ser procesadas en las fases posteriores.

Como se muestra en la imagen 3.14, esta fase se divide en tres procesos que son los encargados de llevar a cabo la labor de la generación de los tres conjuntos de indicadores a partir de los datos provenientes de los XML:

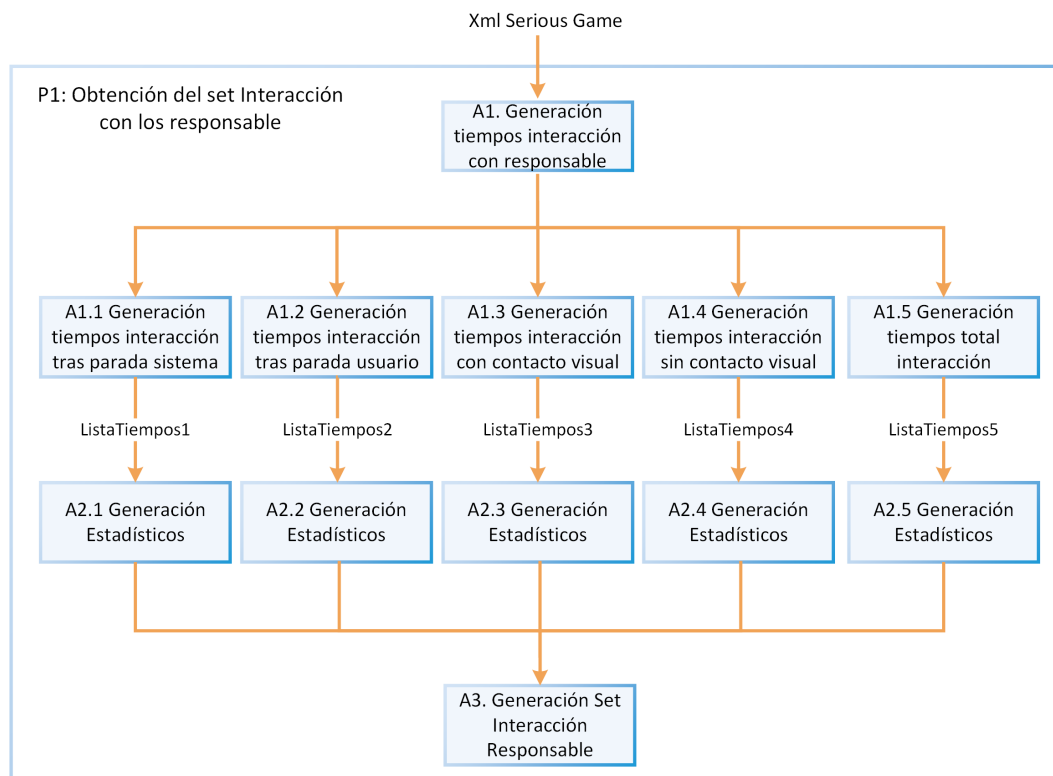
- Set Interacción responsables (S1)
- Set Interacción con el sistema (S2)
- Set Eye Tracker (S3)

El proceso se realiza por cada usuario y nivel jugado, ya que como se ha mencionado, por cada usuario se generan 6 XML (2 por cada nivel) con información proveniente del Serious Game y del Eyetracker (3 XML Serious Game y 3 XML EyeTracker).

A continuación se detallan las funcionalidades de los tres procesos involucrados en esta fase.

1. P1. Obtención del Set Interacción con los responsables(S1)

El primer proceso de la fase de configuración preliminar es la extracción y generación de nueva información partiendo del XML procedente del XML Seiorus Game (ver Ilustración 3.28), es decir, es el encargado de generar el conjunto de características que está formado por los indicadores estadísticos relacionados con el tiempo empleado en interactuar con el responsable y el modo en que el usuario lo ha realizado; mediante contacto visual o a través de gestos o palabras sin mirar al responsable a los ojos, durante los tres niveles de dificultad. Dicha información se puede agrupar en cinco grandes bloques correspondientes con el tipo



Set interacción responsable (S1)

**Ilustración 3.28:** Diseño Bajo Nivel: Módulo Configuración Previa

de interacción que se realiza durante el juego: (1) Tiempo de interacción tras sufrir una parada provocada por el sistema, (2) Tiempo de interacción tras una orden de parada provocada por una acción del usuario, (3) Tiempo Interacción con contacto visual, (4)Tiempo Interacción

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

Sin Contacto Visual y por último, (5) Tiempo total de interacción, independientemente del tipo de interacción que se realice.

#### AI.1 Generación tiempos interacción tras parada sistema

En este módulo se obtiene los segundos que emplea el/la jugador/a desde que se produce una orden de parada generada por el propio sistema hasta que se detecta una orden de continuidad. En la Ilustración 3.29 se muestra el proceso realizado para la generación de los segundos empleados tras una parada provocada por el sistema.

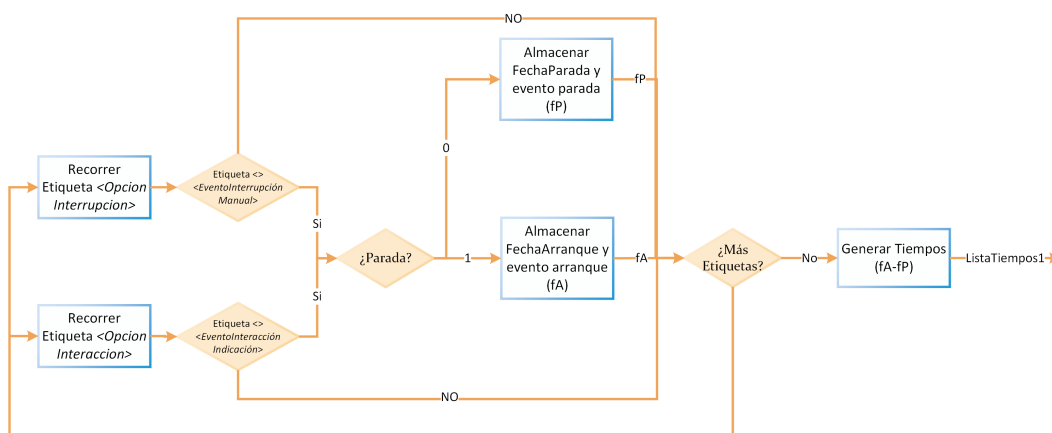


Ilustración 3.29: Diseño Bajo Nivel: Generación tiempos interacción tras parada sistema

Para obtener dichos tiempos, se debe recorrer el XML proveniente del juego, XML Serious Game. La primera etiqueta contenedora a analizar es la etiqueta `<opcionInterrupcion >`. Debido a que se está calculando el tiempo de aquellas ordenes de paradas producidas por el sistema, sólo se almacenan las fechas de las etiquetas `<EventoInterrupcion30segundos >` y `<eventoInterrupcionAutomatica >`. Si el atributo parada es igual a 0, se trata de una orden de parada por lo que se almacena en la lista de paradas, si por el contrario tiene un valor de 1, se almacena en la lista de arranque junto con el evento.

De la etiqueta contenedora `<OpcionInteraccion >` se almacena las fechas de la etiqueta `<EventoInteraccionSinContacoVisual >` en la lista que contiene las fechas de las órdenes de continuidad.

Una vez analizadas todas las etiquetas, se generan los tiempos partiendo de las dos listas generadas con las fechas. Para ello, se ordenan y relacionan las fechas en orden ascendente, generando pares de órdenes de parada y órdenes de continuidad. A continuación, las fechas se transforman en segundos y se calcula la diferencia entre los pares, obteniendo el tiempo

en segundos empleado por cada par parada-arranque. Estos tiempos son almacenados en una variable llama “*ListaTiempos1*”, que es la entrada del siguiente módulo “A.2.1 Generación de estadísticos” dónde se calculan los estadísticos descriptivos de los valores obtenidos .

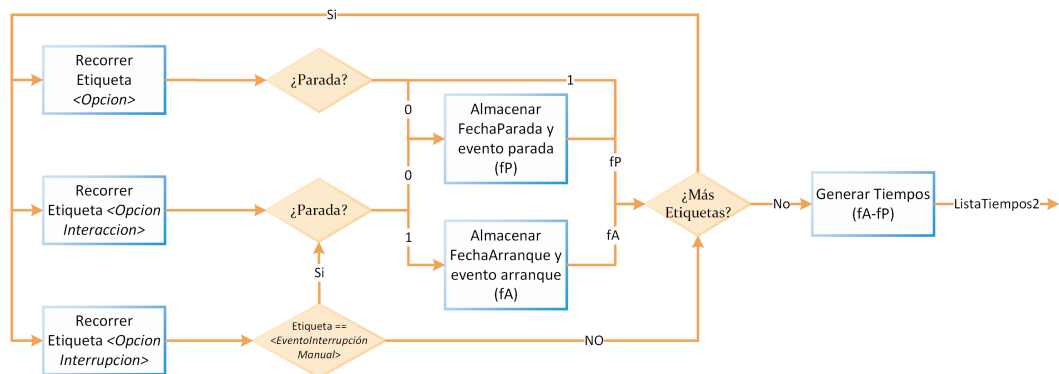
A continuación, en la tabla 3.5 se muestran los tiempos que han obtenido los dos participantes TEA020 y Control011 tras producirse una parada provocada por el sistema.

**Tabla 3.5:** Tiempo empleado por los jugadores TEA020 y Control011 tras producirse una parada provocada por el sistema

Nivel	Jugador	Tiempo Medio	Tiempo Max	Tiempo Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	TEA020	73,94	73,94	73,94	.	73,94	0
	Control011	3,74	11,97	0,965	4,62	1,92	1,93
Nivel 2	TEA020	-	-	-	-	-	-
	Control011	16,89	48,92	0	17,98	0	13,98
Nivel 3	TEA020	-	-	-	-	-	-
	Control011	23,39	54,99	0	19,08	0	21,99

*A1.2 Generación tiempos interacción tras parada provocada por el usuario*

En este proceso se analizan las paradas producidas por acciones del/a jugador/a y los segundos que han transcurrido desde la orden de parada hasta que se ha reiniciado el juego. En la ilustración 3.30 se expone el análisis del XML Serious Game llevado a cabo.



**Ilustración 3.30:** Diseño Bajo Nivel: Generación tiempos interacción tras parada provocada por el usuario

Para obtener las paradas provocadas por el usuario es necesario almacenar de la etiqueta contenedora <Opcion >, la fecha de aquellos eventos que sean orden de parada (correcto = 0), si el atributo correcto es igual a 1, significa que el/la niño/a ha seleccionado correctamente el objeto por lo que no se ha producido ninguna parada. Estas fechas son almacenadas en la lista que contiene las fechas de parada junto con el evento.

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

De la etiqueta contenedora <OpcionInterrupcion > sólo se analiza la etiqueta <EventoInterrupcionManual >. Si el valor del atributo parada es igual a 0 significa que se ha producido una orden de parada por que el usuario se ha distraído. Si por el contrario, toma valor 1, se corresponde con una orden de continuidad.

Por último, se registran los tiempos de <OpcionInteraccion >, al igual que en el caso anterior si parada toma valor 0 significa que existe una orden de parada y si es 1 una orden de continuidad, almacenándose cada una de ellas en la lista correspondiente.

Una vez finalizadas las etiquetas se procede a generar los segundos por cada par de parada-arranque a partir de la ordenación y relación de las listas de parada y arranque; a continuación los resultados obtenidos y almacenados en la variable “listaTiempos2”, son procesados en el módulo “A2.2. Generación estadísticos”.

La tabla 3.6 muestra los resultados parciales de los dos participantes.

**Tabla 3.6:** Tiempo interacción empelado por los jugadores TEA020 y Control011 cuando la paradas es producida por una acción del usuario

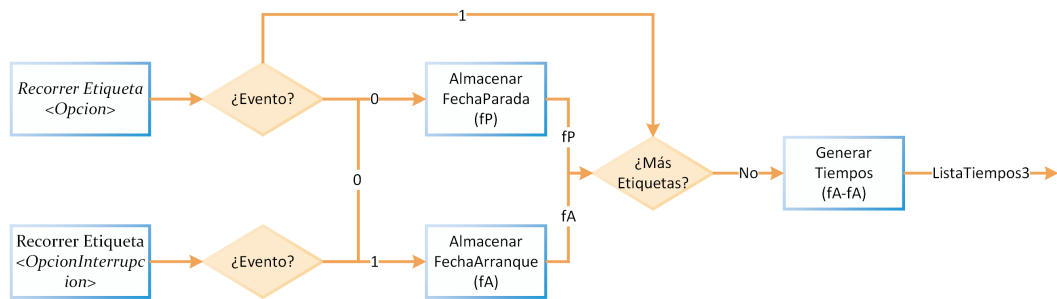
Nivel	Jugador	Tiempo Medio	Tiempo Max	Tiempo Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	TEA020	-	0	0	0	0	0
	Control011	-	0	0	0	0	0
Nivel 2	TEA020	77,953	77,953	77,953	-	77,953	0
	Control011	6,762	20,911	0,954	6,891	0,994	3,94
Nivel 3	TEA020	165,985	165,985	165,985	-	165,985	0
	Control011	4,6361	28,992	0,93	6,1202	1,971	2,93

#### A1.3 Generación tiempos interacción con contacto visual

Un tercer subconjunto de datos que se obtiene, está relacionado con el tiempo que emplea el usuario cuando la interacción se hace mediante contacto visual. Para obtenerlo no se tiene en cuenta quien ha producido la parada, por lo que se recorren todas las etiquetas que pueden contener un evento parada.

La ilustración 3.31 muestra el proceso que se realiza para obtener dicha información

Las etiqueta que contiene la interacción con el contacto visual se corresponde con la etiqueta <eventoInterrupcionManual >y <EventoInterrupcionAutomática >cuanto el evento es igual a 1. Por lo tanto, la fecha almacenada cuando ocurre este evento da la información del momento exacto de cuando se inicia el juego. A continuación se calcula la resta entre las fechas arranque – fecha parada obteniendo los segundos totales para cada interacción (ver Ilustración 3.31), que son almacenados en la variable ListaTiempos3.



**Ilustración 3.31:** Diseño Bajo Nivel: Generación tiempos interacción con contacto visual

Una vez generados los tiempos de interacción con contacto visual, se calculan sus estadísticos descriptivos en el proceso A.2.3 Generación de estadísticos.

En la tabla 3.7 se analizan los tiempos obtenidos tras proceder con la generación de estadísticos descriptivos de los dos participantes tomados como ejemplo.

**Tabla 3.7:** Tiempo empleado por los jugadores TEA020 y Control011 cuando han interactuado mediante contacto visual

Nivel	Jugador	Tiempo Medio	Tiempo Max	Tiempo Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	TEA020	-	-	-	-	-	-
	Control011	3,7426	11,977	0,965	4,6219	1,93	1,93
Nivel 2	TEA020	-	-	-	-	-	-
	Control011	4,5178	17,927	0,954	4,856	0,99	2,94
Nivel 3	TEA020	-	-	-	-	-	-
	Control011	2,2577	7,938	0,93	1,6197	1,97	1,93

*A1.4 Generación tiempos interacción sin contacto visual*

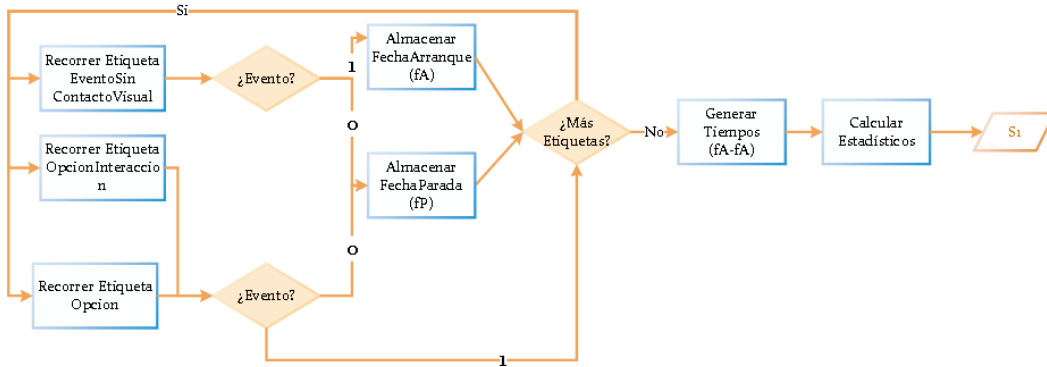
Para obtener el tiempo empleado en realizar una interacción sin producirse un contacto visual entre el responsable y el usuario, se deben recorrer las paradas provocadas por el sistema y las paradas provocadas por error del usuario, almacenando las fechas de los eventos de las paradas del juego. La etiqueta <eventoSinContactoVisual >con parada = 1 es el indicador de la orden de continuidad sin producirse contacto visual.

La ilustración 3.32 expone el método utilizado para la obtención del subconjunto.

Una vez recorridas todas las etiquetas, se calcula la diferencia entre las fechas arranque – fecha parada obteniendo los segundos totales empleados en la interacción sin contacto visual por cada para parada-arranque (listaTiempos4). A partir de la generación de los tiempos

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

por cada evento, se realizan varios cálculos estadísticos, en el proceso A2.4 Generación de estadísticos.



**Ilustración 3.32:** Diseño Bajo Nivel: Generación tiempos interacción sin contacto visual

En la tabla 3.8 se analizan los segundos parciales obtenidos tras el proceso de generación de estadísticos de los dos jugadores.

**Tabla 3.8:** Tiempo empleado por los jugadores TEA020 y Control011 cuando han interactuado sin contacto visual

Nivel	Jugador	Tiempo Medio	Tiempo Max	Tiempo Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	TEA020	73,94	73,94	73,94	.	73,94	0
	Control011	-	-	-	-	-	-
Nivel 2	TEA020	77,953	77,953	77,953	.	77,95	0
	Control011	-	-	-	-	-	-
Nivel 3	TEA020	165,985	165,985	165,985	-	165,99	0
	Control011	7,967	8,962	6,972	1,4071	8,96	7,97

Además de la obtención de los subconjuntos formados por los segundos empleados en la interacción con contacto visual y en la interacción mediante gestos o palabras, se ha calculado el modo en que el usuario ha realizado la interacción (ver Tabla 3.9).

Al comparar los resultados de los dos usuarios, se puede observar cómo el jugador con código TEA020 todas las interacciones que realiza a lo largo del Serious Game las realiza mediante gestos o palabras frente a las 41 interacciones realizadas por parte del jugador Control011 mediante contacto visual.

Como resultado de este primer proceso se obtiene el primer set de indicadores: Set de interacción con el responsable.

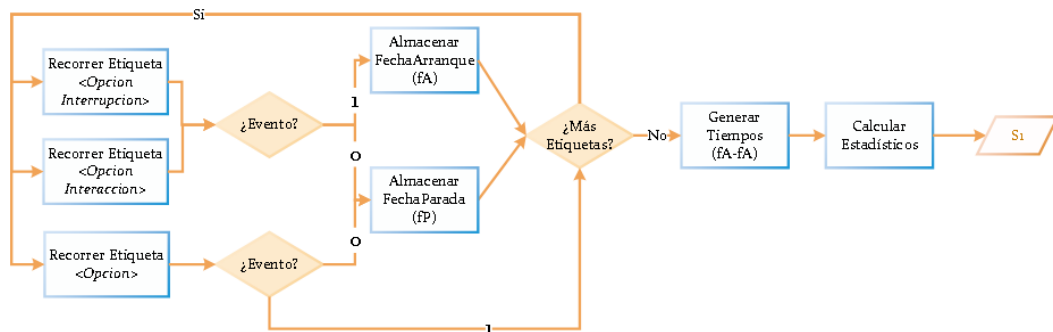
**Tabla 3.9:** Tipos de interacción realizados por los jugadores TEA020 y Control011 cuando han interactuado sin contacto visual

Nivel	Jugador	Interacción Contacto Visual	Interacción Sin Contacto Visual
Nivel 1	TEA020	0	1
	Control011	5	0
Nivel 2	TEA020	0	1
	Control011	16	0
Nivel 3	TEA020	0	1
	Control011	20	2

*A1.5 Generación tiempos total interacción*

El último subconjunto de datos obtenidos está relacionado con el tiempo empleado en interactuar sin contemplar el modo en que se ha relacionado con el responsable ni el tipo de orden de parada.

Para calcular el tiempo que los usuarios emplean desde que se produce una parada durante el juego hasta que se vuelve a reiniciar, se recorre el xml datos almacenando por un lado las fechas de los eventos de parada y por otro lado las fechas de los eventos de arranque 3.33.



**Ilustración 3.33:** Diseño Bajo Nivel: Generación tiempos total interacción

Una vez finalizado el recorrido de las etiquetas, se ordenan de forma ascendente, se correlacionan los eventos parada y arranque; y se transforman en segundos para calcular la diferencia y obtener los segundos empleados en cada interacción, generando la lista ListaTiempos5.

La table 3.10 refleja el resultado parcial de los participantes seleccionados.

Se observa en la table 3.10 como el tiempo empleado por el jugador del control clínico en los tres niveles de dificultad ha empleado un tiempo medio mayor en reaccionar ante una parada del sistema, llegando a tardar 165,86 segundos en el tercer nivel.

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

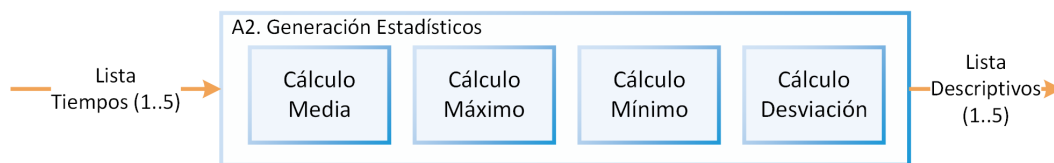
Mientras que el usuario del grupo de control, el tiempo máximo que ha empleado ha sido de 17,92 segundos en el nivel 2 pero sin superar nunca el tiempo medio los 5 segundos.

**Tabla 3.10:** Tiempo Total de interacción

Nivel	Jugador	Tiempo Medio	Tiempo Max	Tiempo Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	TEA020	63,711	73,94	53,482	14,466	73,94	63,71
	Control011	3,7426	11,977	0,965	4,6219	1,93	1,93
Nivel 2	TEA020	58,9433	91,943	6,934	45,5813	77,95	77,95
	Control011	4,5178	17,927	0,954	4,856	0,99	2,94
Nivel 3	TEA020	165,985	165,985	165,985	-	165,99	0
	Control011	2,7767	8,962	0,93	2,3	1,97	1,95

#### A2. Generación estadísticos y A3. Generación Set de interacción con el responsable

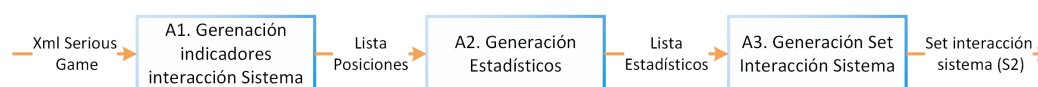
Una vez que se han obtenido los cinco subconjuntos que forman el set de interacción con el responsable, se ha continuado con un proceso de generación de estadísticos, en el cual se han obtenido los estadísticos descriptivos de cada subconjunto. Debido a que el proceso es similar para todos los subconjuntos, se detalla en detalle en este apartado. Como se muestra en la ilustración 3.34 los estadísticos generados son estadísticos descriptivos que permiten obtener información objetiva sobre los tiempos empleados. Estos estadísticos se corresponden con la media de los tiempos, el tiempo máximo y mínimo realizado por cada usuario y la desviación. Esta información es agrupada para obtener el set de interacción con el responsable.



**Ilustración 3.34:** Diseño Bajo Nivel: Generación estadísticos

#### 2. P2- Obtención del Set Interacción con el sistema (S2)

El segundo proceso que se realiza para la obtención de indicadores tiene la función de generar la información relativa a la interacción que realiza el jugador con el sistema. Como se expone en la ilustración 3.35, la entrada de este proceso se corresponde con el XML Serious Game cuya información es procesada para generar el set de interacción con el sistema (S2).



**Ilustración 3.35:** Diseño Bajo Nivel: Obtención del Set Interacción con el sistema

#### *A1. Generación de indicadores de interacción con el sistema*

Los indicadores que se obtienen en este proceso son las puntuaciones de aciertos y errores obtenidas por cada usuario en cada nivel, y las posiciones de los elementos recogidos de forma correcta y las posiciones de las acciones incorrectas. Para calcular las puntuaciones de los usuarios, como se ha explicado en el apartado “Estructura del XM”, en el XML Serious Game se almacena el número de aciertos y el número de intentos que ha realizado el usuario a lo largo de los niveles, por tanto el número de errores del jugador se obtiene de la resta del número de intentos menos el número de aciertos.

La tabla 3.11 muestra los resultados que han obtenido los dos jugadores.

**Tabla 3.11:** Puntuaciones parciales

Nivel	Jugador	Puntuación	Errores
Nivel 1	TEA020	6	3
	Control011	124	16
Nivel 2	TEA020	0	1
	Control011	65	13
Nivel 3	TEA020	2	1
	Control011	83	19

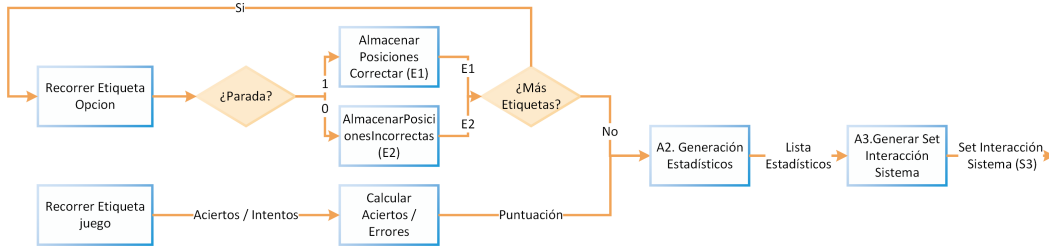
Se puede observar como el jugador con código Control011 ha logrado una mayor puntuación en los tres niveles con respecto al usuario perteneciente al grupo clínico, así como los errores producidos por el jugador.

En cuanto a los eventos generados por el puntero, es decir, las posiciones donde el usuario ha seleccionado el elemento a recoger, ya sea de forma correcta o de forma incorrecta, se recorre la etiqueta <Opcion >del XML, y se dividen los eventos correctos (parada = 1) de los eventos incorrectos (parada = 0) (ver Ilustración 3.36). Una vez recorridas todas las etiquetas, las listas con las posiciones correctas(E1) e incorrectas(E2) junto con las puntuaciones, son procesadas en el proceso A2. Generación de estadísticos.

#### *A2. Generación de estadísticos*

Al igual que en el proceso realizado para la generación de estadísticos del set de interacción

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA



**Ilustración 3.36:** Diseño Bajo Nivel: Generación de indicadores de interacción con el sistema

con e sistema (S1), se lleva a cabo el análisis estadístico descriptivo de las posiciones correctas e incorrectas y de las puntuaciones (ver Ilustración 3.34).

Una vez calculados estos valores, se procede a la agrupación de estos valores, construyendo el set interacción del sistema (S2).

La tabla 3.12, muestra las posiciones medias donde has seleccionado los objetos, bien de forma correcta o de forma incorrecta.

**Tabla 3.12:** Resultados parciales del Set interacción con el sistema (S2)

Nivel	Jugador	Pos.Media P(x,y)	Pos.Media CorrectaP(x,y)	Pos.Media incorrecta P(x,y)
Nivel 1	TEA020	P(703,596)	P(840,523)	P(636,633)
	Control011	P(878,392)	P(668,542)	P(906,373)
Nivel 2	TEA020	P(586,797)	-	P(586,797)
	Control011	P(832,537)	P(896,463)	P(820,553)
Nivel 3	TEA020	P(880,570)	P(1772,92)	P(435,810)
	Control011	P(956,282)	P(922,374)	P(964,261)

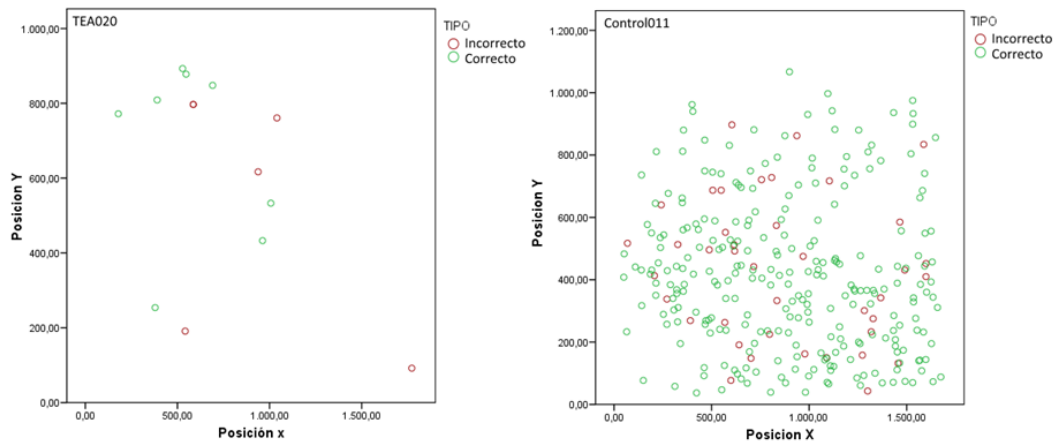
Un dato a resaltar es como el jugador del grupo clínico en el nivel 2 no existen posiciones medias correctas ya que no ha seleccionado ningún elemento correcto.

Además se ha realizado la representación gráfica de la interacción realizada por parte de los dos usuarios en el sistema durante los tres niveles de dificultad(ver ilustración 3.37).

Como se puede observar en la ilustración 3.37 existe una mayor interacción por parte del jugador del grupo de control que del grupo clínico, seleccionando los ítems a lo largo de toda la pantalla.

#### 3. P3- Obtención del Set Eye Tracker(S3)

El último set de indicadores está formado por la información generada por los usuarios cuando exploran la pantalla con la mirada. Esta información es obtenida por el dispositivo hardware



**Ilustración 3.37:** Gráfica de la puntuación del usuario TEA020 y Control011

EyeTracker y es almacenada en bruto en los XML EyeTracker. Para crear el set con la información a procesar, se han realizado los siguientes pasos 3.38



**Ilustración 3.38:** Diseño Bajo Nivel: Obtención del Set Eye Tracker(S3)

(a) A1. Eliminación de las posiciones no válidas

Este proceso tiene como objetivo la eliminación de aquella información en la que el EyeTracker no ha recogido información útil, se han rechazado aquellas posiciones que corresponden con las posiciones(X,Y) == 0 y el diámetro de la pupila == -1.

Sin embargo, si las posiciones de ambos ojos son correctas, se calcula el punto medio de la fijación y el tamaño medio de la pupila y se almacena en una lista hasta que no existan más etiquetas que recorrer(ver Ilustración 3.39).

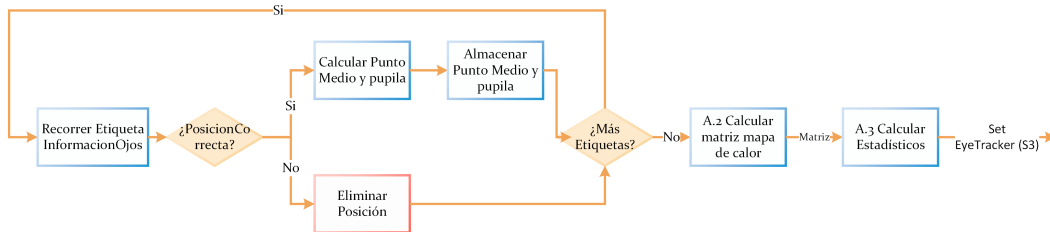
(b) A2. Generación matriz mapa de calor

Una vez obtenidas todas las posiciones medias válidas, se genera una matriz de 80\*80, que corresponde con la división de la pantalla por regiones.

En cada región de la matriz, se almacena el número de veces que ha mirado a esa región el usuario, obteniéndose las regiones de mayor interés para los usuarios.

A su vez, se genera la matriz de posiciones medias de forma paralela. Esta matriz al igual que la matriz del mapa de calor, posee un tamaño de 80\*80, pero en este caso,

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA



**Ilustración 3.39:** Diseño Bajo Nivel: Eliminación de las posiciones no válidas

cada región de la matriz contiene la media de las posiciones de esa región.

#### (c) A3. Análisis estadístico descriptivo

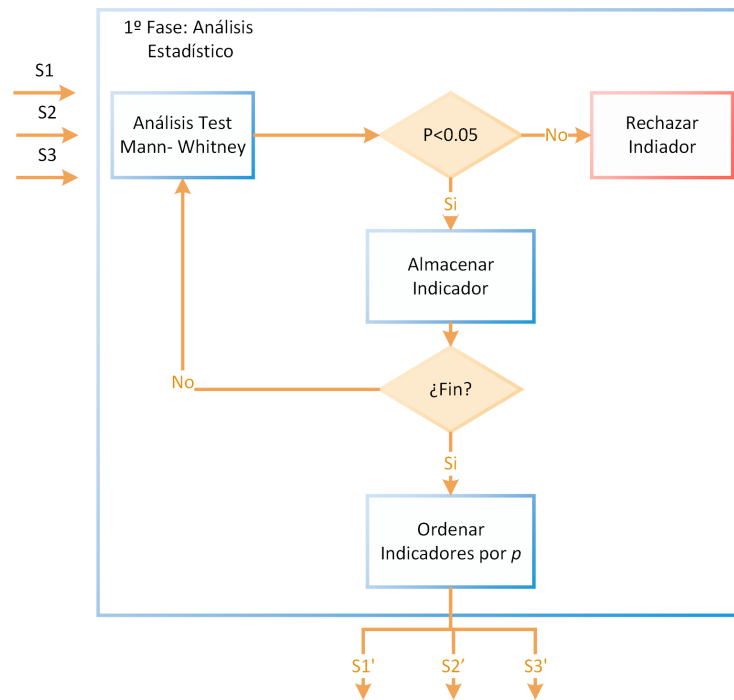
Una vez generada la matriz, se ha analizado dividiéndola en 5 regiones. La región correspondiente a la parte izquierda de la pantalla, la región correspondiente a la parte derecha, la región inferior y superior de la matriz, y la región central. A partir de estas regiones se calculan los estadísticos descriptivos al igual que para los set de interacción con el responsable y con el sistema.

#### 3.4.3.2 B- Procesado

En este estudio se han empleado los modelos híbridos, empleando para la selección previa de las características aproximaciones Filter y en una segunda fase la aproximación Wrapper para obtener el conjunto final de indicadores significativos.

*1º Fase: Análisis Estadístico y reducción de características* Para realizar el primer paso de reducción de características, se ha optado por seleccionar los indicadores significativos partiendo de cálculos estadísticos y realizar un ranking de los indicadores seleccionados (ver Ilustración 3.40). El primer paso que se ha tenido que llevar a cabo, es comprobar la naturaleza de las características a estudiar, es decir, comprobar si siguen una distribución normal o no. Se ha empleado el algoritmo de Shapiro-Wilk para realizar este proceso, en el caso de que los resultados sean menor a 0.05 significa que se rechaza la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal. En este experimento los datos no han cumplido dicha hipótesis por lo que han sido procesados mediante los algoritmos no paramétricos de Mann-Whitney y Wilcoxon. Se ha comprobado que la significancia resultante sea menor al 0.05 ( $p < 0.05$ ), siendo éstos los seleccionados como parte del set de características a analizar en la siguiente fase. Por el contrario, aquellos cuya significancia sea mayor a la establecida son rechazados.

Una vez seleccionado los indicadores han sido ordenados de forma ascendente basándose en el valor de  $p$  del test de Wilcoxon o Mann-Whitney [RBGLRD13].



**Ilustración 3.40:** Diseño Bajo Nivel: 1º fase: Análisis estadístico

### 2º Fase: Selección de características

En la segunda fase de selección de características se han implementado cinco algoritmos para llevar a cabo la reducción de los indicadores (ver Ilustración 3.41). Para ello se han fusionado los resultados más satisfactorios obtenidos de 3 de los 5 algoritmos empleados:

- **Árbol de decisión alternativo o Alternating Decision Tree : ADTree [BGB<sup>+</sup>15]**  
ADTree es un método de aprendizaje automático basado en árboles de decisión. Este método distribuye el conocimiento contenido en el árbol como varias rutas deben ser recorridos para formar predicciones.
- **NaiveBayes [Lew98]**  
NaiveBayes es una técnica de clasificación y predicción supervisada que construye modelos que predicen la probabilidad de posibles resultados basada en el Teorema de Bayes, conocido también como teorema de la probabilidad condicionada.
- **J48 es la implementación del ID3 [HFH<sup>+</sup>09]**  
Este algoritmo está basado en el concepto de la entropía y se trata de la implementación realizada en WEKA del algoritmo C4.5, el cual es una extensión del algoritmo ID3.

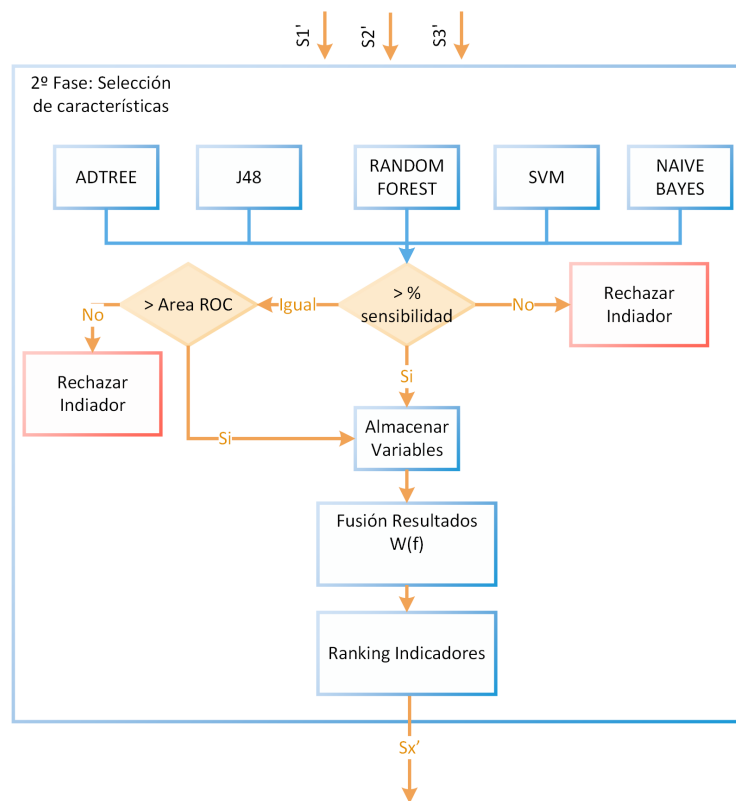
### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

- Random Forest [SLTW04]

Random Forests es una técnica que combina varios árboles de decisión y que mejora la precisión en la clasificación mediante la incorporación de aleatoriedad en la construcción de cada clasificador individual.

- Máquinas de Soporte Vectorial o Support Vector Machine (SVM) [LO15]

SVM es una de las técnicas más potentes del aprendizaje automático que consiste en construir un hiperplano en un espacio de dimensionalidad muy alta con el objetivo de separar las clases que se posean.



**Ilustración 3.41:** Diseño Bajo Nivel: 2º fase: Selección de características

Cada set de características sufre el mismo proceso de forma paralela. En primer lugar, son eliminados los indicadores menos relevantes de cada set de características según los criterios de cada algoritmo. Una vez obtenidos los resultados de cada algoritmo, se han seleccionado los 3 mejores algoritmos, es decir aquellos que hayan presentado un mejor resultado, empleando como criterio la sensibilidad.

A continuación se ha procedido a la fusión de las características seleccionadas por los algoritmos por cada set de indicadores. Para ello, se ha asignado a cada indicador un peso  $W(f)$  siguiendo la siguiente fórmula:

$$W(f) = \sum_{i=1}^3 w_i(f) \quad (3.1)$$

El índice  $k$  que hace referencia al número de algoritmos con mejores resultados, en este caso 3,  $w_i(f)$  es el indicador de selección de la característica en cada método. Una vez calculado el peso de cada indicador, se han ordenado de forma descendente, siendo el atributo con más valor el atributo que tenga más peso. A continuación, se fusionan los resultados de los tres set de indicadores. Para comprobar que set tiene mayor importancia y por tanto mayor peso se aplica la siguiente fórmula:

$$W(s) = \sum_{i=1}^3 \frac{(VP/VP + FN)}{Ta} \quad (3.2)$$

Donde  $Vp$  son los verdaderos positivos,  $FN$  los falsos negativos y  $Ta$  el número total de algoritmos escogidos para cada set de atributos.

#### 3.4.3.3 C- Clasificación

En esta fase se ha procedido a realizar la clasificación de los indicadores obtenidos en las fases anteriores (ver Ilustración 3.42).

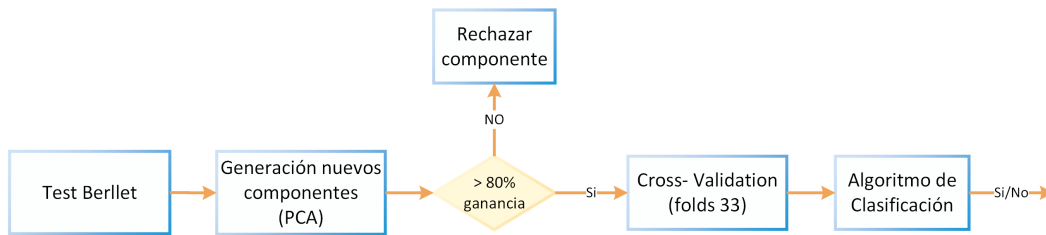
Un paso previo de la clasificación es la extracción de nuevas características gracias al algoritmo de Análisis de componentes Principales (PCA). Este algoritmo tiene como objetivo reducir la dimensión del problema a costa de una pequeña pérdida de información, es decir, dada  $n$  observaciones de  $p$  variables, analiza si es posible representar adecuadamente esta información con un número menor de variables construidas como combinaciones lineales de las originales. El PCA tiene doble utilidad:

1. Permite representar óptimamente en un espacio de dimensión pequeño observaciones de un espacio general  $p$ -dimensional.
2. Permite transformar las variables originales, en general correlacionadas, en nuevas variables no correlacionadas, facilitando la interpretación de los datos.

En cuanto a la estimación de los errores de validación se ha definido la estrategia de validación cruzada de  $K$  interacciones ( $k=33$ ).

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

---



**Ilustración 3.42:** Diseño Bajo Nivel: Módulo Clasificación

Por cada resultado del algoritmo se evalúa tanto la sensibilidad 3.3, como la especificidad 3.4 y se analiza la curva ROC la cual caracteriza la sensibilidad en la detección de una clase en particular y el porcentaje de observaciones que se clasifican como pertenecientes a la clase de interés sin serlo.

$$\text{Especificidad}(\%) = TN / (TN + FP) * 100 \quad (3.3)$$

$$\text{Sensibilidad}(\%) = TP / (TP + FN) * 100 \quad (3.4)$$

### 3.5 Sumario

Este capítulo expone en detalle el sistema propuesto para obtener los indicadores críticos que serán analizados para determinar un posible caso de TEA. Para ello, se ha comentado cómo gracias al enfoque “Diseño Centrado en el Usuario” se ha logrado una herramienta que cumple con las necesidades de estas personas para lograr trabajar de forma exitosa las habilidades sociales. Una de las características principales, es la utilización de elementos conocidos por lo/as niño/as, como son los elementos geométricos con los que trabajan en su día a día en las terapias, así como la ausencia de música, manteniendo al niño/a enfocado en la actividad. Asimismo, se ha explicado de forma detallada por un lado, el sistema de configuración, desarrollado con el fin de configurar los Serious Game así como de generar los informes encargados de mostrar los resultados obtenidos una vez superado el juego; por otro lado, el Serious Game. El Serious Game es el encargado de trabajar la comunicación entre el jugador - responsable - sistema y capturar los datos generados por dicha interacción, además de integrar el dispositivo hardware EyeTracker gracias al cual se logran los valores de la exploración de la pantalla con la mirada. Además, se detalla el módulo de Validación del Sistema, el cual integra métodos estadísticos y algoritmos de Inteligencia Artificial con el objeto de seleccionar los indicadores críticos y evaluar el funcionamiento del sistema. Por último, se ha definido el procedimiento de investigación llevado a cabo que facilita la captura de datos de forma similar para todos los usuarios participantes, permitiendo la comparación de los resultados.

*Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa..*

Mahatma Gandhi

Capítulo

# 4

## Experimentación y resultados

**E**ste apartado contiene el estudio estadístico de los resultados obtenidos tras realizar la investigación y las pruebas con los usuarios finales. Para llevar a cabo el análisis de los datos en especial en la última fase del procesado, se ha seguido la investigación realizada por Latkowski et al [LO15] y Kosmicki et al [KSDW15] en la que buscan el mínimo conjunto de genes para la detección del autismo.

Por tanto, en este capítulo se explica cómo se han llevado a cabo las pruebas con los usuarios finales y los resultados conseguidos tras ellas.

### 4.1 Experimentación

Para poder llevar a cabo el experimento ha sido necesario establecer los participantes del estudio determinando los criterios para su inclusión en el mismo. Asimismo ha sido imprescindible definir un protocolo de pruebas implicando el establecimiento de un entorno de pruebas adecuado así como la configuración apropiada del juego. Estas características son descritas en la presente sección.

#### 4.1.1 Base de datos de los participantes

A continuación se exponen el número de participantes durante las pruebas del experimento así como los criterios de inclusión y exclusión tenidos en cuenta para generar la base de datos.

## 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

---

### 4.1.1.1 Participantes

Los participantes en esta investigación han sido 20 niños de 3 y 8 años de edad diagnosticados con TEA (Grupo Clínico) y 20 niños del mismo rango de edad sin diagnóstico que forman el Grupo de Control. Para la formación de éste grupo se ha contado con la colaboración de los alumnos del Colegio Vizcaya.

**Tabla 4.1:** Relación participantes

Grupo Clínico	Grupo Control	Años	Sexo
TEA001	Control005	3	Mujer
TEA002	Control001	5	Hombre
TEA003	Control006	5	Hombre
TEA004	Control017	4	Hombre
TEA005	Control014	5	Hombre
TEA006	Control007	6	Hombre
TEA007	Control019	5	Hombre
TEA008	Control004	4	Hombre
TEA009	Control020	5	Hombre
TEA010	Control018	6	Hombre
TEA011	Control016	6	Hombre
TEA012	Control002	3	Hombre
TEA013	Control013	4	Hombre
TEA014	Control009	5	Hombre
TEA015	Control003	5	Hombre
TEA016	Control012	5	Hombre
TEA017	Control015	5	Hombre
TEA018	Control010	5	Mujer
TEA019	Control008	4	Hombre
TEA020	Control011	5	Hombre

Además se ha contado con la colaboración de 1 psicóloga y 3 pedagogas durante las pruebas del sistema.

### 4.1.1.2 Criterios de inclusión / exclusión

Debido a las pocas niñas que han participado en el experimento no ha sido posible realizar un análisis teniendo en cuenta el género de los participantes.

En el estudio para la formación del Grupo Clínico se han incluido aquellos niños/niñas de entre 3 y 5 años que cubren todo el espectro autista siguiendo los criterios del DSM-V y que acuden de forma periódica a las sesiones de tratamiento que realizan las profesionales en la Asociación de Padres de Afectados de Autismo y otros Trastornos de Espectro Autista de Bizkaia (APNABI).

Para la creación de Grupo Control ha sido requisito la no presencia de rasgos autistas así como encontrarse en el rango de edad de 3 y 5 años. Se ha tenido en cuenta para formar grupos homogéneos que los pares Grupo Clínico Grupo Control sean del mismo sexo.

### 4.1.1.3 Resultados Test M-CHAT Grupo Control

Para determinar el Grupo Control mencionado anteriormente y comprobar que no tienen ningún rasgo presente en el TEA, ha sido necesario la cumplimentación del test M-CHAT (Cuestionario de Autismo en la Infancia- Modificado) por parte de los familiares de los participantes del Grupo Control. En este experimento, el test ha sido cumplimentado por los profesores de los alumnos.

El cuestionario evalúa la conducta de los/as niño/as a través de 23 ítems en los que deben de responder Si o No. En el anexo 1 se recoge el cuestionario a cumplimentar.

Un niño puntúa negativamente en el cuestionario cuando no pasa 2 o más ítems críticos o cuando no supera 3 ítems cualquiera.

Los participantes han obtenido la puntuación máxima, es decir, 23 puntos, por lo que se asegura que el Grupo Control esté formado por personas sin riesgo de ser diagnosticados con TEA.

### 4.1.2 Procedimiento de la investigación

El marco de esta investigación está orientada a personas menores de edad con un posible riesgo de TEA. Por las características de los usuarios finales ha sido imprescindible establecer un procedimiento de investigación para poder llevar a cabo la investigación realizada. Este procedimiento ha sido validado por el Centro de Ética Aplicada en la Investigación de la Universidad de Deusto, calificando la investigación como APTA. Se considera importante mencionar que por protección y confidencialidad de los menores no ha sido posible realizar fotos durante las sesiones por lo que no se ha podido adjuntar imágenes de las pruebas finales.

El contacto inicial con los participantes se ha establecido gracias a la colaboración de la Asociación de Padres de Afectados de Autismo y otros Trastornos de Espectro Autista de Bizkaia (APNABI).

Los primeros pasos a realizar, fueron la realización de reuniones con APNABI, en las que se expuso el objetivo de la investigación y se les propuso colaborar. Tras las reuniones de definición del sistema y pruebas, se informó a familiares de los niños/as participantes mediante el consentimiento informado sobre el objetivo de la investigación, los derechos de los participantes y los posibles riesgos de las pruebas, siendo obligatorio la firma del consentimiento informado por parte de los familiares para la participación de los niño/as en dicha investigación.

## 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

---

Es importante remarcar, que los riesgos directos del sistema son inexistentes al tratarse de un sistema no invasivo y que incorpora actividades que los participantes puedan realizar de forma cotidiana.

Una vez los familiares accedieron a que sus hijo/as participaran en el proyecto, se estableció un protocolo en el que se ha definido tanto la configuración de los juegos en la fase inicial de la investigación, como el entorno de pruebas más adecuado para la realización de las mismas con el objeto de comprobar la funcionalidad del sistema desarrollado, y que las actividades incorporadas trabajan el área de afectación de la interacción.

Gracias a este protocolo los participantes han realizado el juego partiendo de las mismas condiciones; permitiendo realizar una comparación objetiva entre los participantes.

### 4.1.2.1 Protocolo de pruebas

En primer lugar, se ha determinado la configuración de los niveles del juego para obtener el estado de partida de cada niño/a (ver Tabla 4.2). De esta forma, se puede continuar con el tratamiento y los ejercicios desde la asociación con los responsables. Asimismo, gracias a la información obtenida se ha generado el patrón de comportamiento de cada grupo.

El primer nivel al que acceden los participantes ha sido el nivel de adaptación. Este nivel ha tenido como objetivo dar a conocer el funcionamiento del juego, su característica principal ha sido el tratarse de un juego libre, es decir, no se han registrado ninguna variable durante el tiempo de duración de este nivel (1 minuto), y ha dado la opción de poder seleccionar cualquier elemento que aparece en la pantalla, por lo que el usuario siempre ha realizado movimientos correctos.

Además, en este nivel no ha existido ni se ha evaluado la interacción con los responsables de la sesión (ver Tabla 4.2), ya que como se ha mencionado el función de este nivel es que los niño/as se familiaricen con el sistema.

A partir de este nivel se han registrado los siguientes tipos de paradas: paradas provocadas por el usuario, que involucran los errores y las paradas por distracción de los participantes, parada producidas por el sistema, que corresponden con las paradas cada 30 segundos y las paradas por la no interacción con el sistema.

Una vez superado el nivel de adaptación, los usuarios han accedido al “Nivel básico”. Dicho nivel presenta una duración de 3 minutos y ha consistido en seleccionar 1 elemento dado entre los 4 que se han mostrado en la pantalla (ver Ilustración 3.3).

**Tabla 4.2:** Configuración establecida para el experimento

Parámetros	Nivel Adaptación	Nivel Básico	Nivel Medio	Nivel Avanzado
Tiempo	1 min	3 min	3 min	3 min
Elementos a recoger	4 elementos	1 elementos	1 elemento	2 elementos
Apoyo visual durante el juego	No	Si	No	Si
Autocorregido (Si el participante, realiza algún error el juego no se detiene)	Si	Si	No	No
Tiempo de reacción si el niño no interactúa con el sistema (seg)	No	20	10	10
Colección	Geométricos	Geométricos	Geométricos	Alimentos
Tiempo de parada del juego (lo haga bien o mal)	-	30seg	30seg	30seg
Indicación del elemento a recoger al inicio del juego	-	-	Tutor (durante 10 seg)	-
Cambio Elementos	-	-	- (30 seg)	Automático

Este nivel se ha caracterizado por su bajo nivel de interacción con el responsable de la sesión (ver Tabla 4.2); durante los 3 minutos de duración del juego, el usuario ha contado con el apoyo visual del elemento que debe recoger (ver Ilustración 3.3).

Para forzar la interacción con el responsable, el juego se ha configurado para que se produzca una parada de forma automática cada 30 segundos, desapareciendo todos los elementos de la pantalla. Con esta parada, se fuerza al niño/a con TEA a que pida ayuda para volver a reanudar el juego, es decir, el niño debe interactuar con la persona responsable para poder continuar jugando. El sistema registra dos tipos de interacción:

- El niño se comunica con el responsable mirándole a los ojos (interacción con contacto visual)
- El niño se comunica con el responsable sin mirarle a los ojos, mediante un gesto, palabras, etc (interacción sin contacto visual).

Para almacenar los dos tipos de interacción mencionados, ha sido necesario que el responsable indique a través del teclado qué interacción ha realizado el participante. Para ello, se han definido la tecla “espaciadora” para indicar la interacción con contacto visual y la tecla “0” para indicar el contacto no visual (ver Tabla 4.2).

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

---

En caso de que el usuario no realice ninguna acción durante 20 segundos, el sistema se para. De esta forma el responsable puede recordar al usuario el funcionamiento del juego.

Tras completar el “Nivel básico” el usuario/a continua con el siguiente nivel, el “Nivel Medio”. Al igual que el Nivel Básico tiene una duración de 3 minutos y consiste en seleccionar 1 elemento dado entre los 4 que aparecen en la pantalla. Asimismo, incorpora la parada automática cada 30 segundos para forzar la interacción con el profesional.

Las diferencias entre ambos niveles, con el fin de aumentar la interacción con el profesional, son los que mencionados a continuación (ver Tabla 4.2):

En primer lugar, desaparece el apoyo visual durante el juego, por lo que el responsable de la sesión es el encargado de dar la indicación oportuna al participante mediante el apoyo de pictogramas durante los primeros 10 segundos del juego. Durante este tiempo, en la pantalla del juego no se muestra ningún elemento distractor.

En segundo lugar, si el participante se confunde y selecciona un elemento erróneo, desaparecen todos los objetos de la pantalla. En este momento, el profesional es el encargado de reiniciar el juego, registrando si en la ayuda pedida por parte del usuario para continuar se ha establecido contacto visual o no.

En tercer lugar, se reduce a 10 segundos el tiempo que tarda el sistema en sufrir una orden de parada si el usuario no realiza ninguna acción. Además, se incorpora el registro de parada de forma manual por los profesionales, en caso de que sea necesario recordar al usuario el elemento.

El último nivel de las actividades supervisadas que incorpora el sistema es el “Nivel Avanzado”. En dicho nivel, el participante durante los 3 minutos de duración del juego, debe recoger por turnos de 30 segundos uno de dos elementos dados (ver Tabla 4.2). Este nivel cuenta con el apoyo visual de los elementos que se deben seleccionar durante el juego, iluminándose uno cada vez. El juego de forma automática cambia cada 30 segundos entre elementos, produciéndose una parada del juego con el objeto de forzar la interacción con el responsable y de advertir al participante que se ha producido el cambio de elementos.

Al igual que en el nivel medio, si el usuario realiza algún error, desaparecen todos los elementos de la pantalla siendo necesaria la interacción con el profesional para reanudar el juego. Asimismo, se mantiene en este nivel el tiempo de 10 segundos que posee el usuario para realizar alguna acción en el juego antes de producirse una parada automática.

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

---

### 4.1.2.2 Entorno de pruebas

Una vez definida la configuración de las pruebas, se ha determinado el mejor entorno dónde llevar a cabo el experimento con el Grupo Clínico. En este caso se ha optado por un entorno controlado, en la Asociación de Padres de Afectados de Autismo y otros Trastornos de Espectro Autista de Bizkaia (APNABI). Se ha escogido esta localización ya que los participantes acuden a la asociación con normalidad para trabajar siempre con el mismo profesional.

Las pruebas se han realizado en un aula de la asociación, conocido por los niño/as participantes. El aula cuenta con mesas y sillas adaptadas para los niño/as, favoreciendo la comodidad de éstos durante las pruebas. Además se ha seccionado aulas sin ventanas, para mantener las condiciones lumínicas lo más estable posible evitando una variación en la captura de los datos del EyeTracker.

Las pruebas de las actividades supervisadas han tenido una duración de 10 minutos y se han realizado en el periodo de las sesiones de cada niño/a. Durante las pruebas, han estado presentes la pedagoga responsable de la sesión, el niño/a participante y la responsable de la investigación.

Debido a que las personas con TEA les cuesta reaccionar a los cambios, al inicio de cada sesión con el profesional, es necesario informar previamente al niño/a de que van a dedicar 10 minutos de la sesión a realizar las pruebas en el ordenador, junto con la presentación de la persona que va a estar de observadora a lo largo de la prueba.

Durante el juego, el participante se sitúa en frente de la pantalla táctil, e indica a la pedagoga, situada a su derecha, con el puntero táctil qué elemento es el que desea seleccionar, mientras que la observadora se sitúa detrás de ambos, sin interferir en los datos capturados por el EyeTracker. Se ha establecido el uso del puntero táctil, ya que la mayor parte de los participantes, no tienen conocimientos ni habilidad suficiente para hacer uso del ratón.

En cuanto al Grupo Control, las pruebas han sido llevadas en el Colegio Vizcaya en horario lectivo y se ha seleccionado un aula con características similares a las de la asociación.

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

En este apartado se recogen los resultados relacionados con el módulo de validación encargado de procesar la información proveniente del módulo “Serious Game” y obtener características críticas para la detección del autismo. Para ellos se analizarán los indicadores generados en cada fase y comparándolos con estudios de otros autores.

## 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

---

### 4.2.1 A- Configuración Preliminar

Esta sección explica los resultados calculados en la primera fase de validación del sistema en la que se procesan los XML que almacenan la información provenientes del Serious Game y del EyeTracker generando los indicadores estadísticos descriptivos. Para ello, se divide según los set de indicadores que se generan como resultado de este proceso.

#### 4.2.1.1 Set Interacción con los responsables (S1)

Este conjunto recoge la información generada por los jugadores cuando ha llevado a cabo una comunicación con el responsable.

El conjunto final está compuesto por 32 características por cada nivel y para cada usuario, es decir un total de 96 características por usuario que pueden ser agrupadas en 5 grandes categorías:

- Tiempo de interacción con el responsable desde que se produce una parada por el sistema.
- Tiempo de interacción con el responsable desde que se produce una parada provocada por un error del jugador.
- Tiempo de interacción cuando se ha producido un contacto visual con el responsable.
- Tiempo de interacción cuando se ha producido una interacción sin contacto visual con el responsable.
- Tiempo total que ha empleado el usuario en interactuar con el responsable

Este subgrupo recoge la información estadística descriptiva como la media, desviación típica, máximos, mínimos, moda y mediana del tiempo que han necesitado los jugadores en llevar a cabo una comunicación con el responsable. Asimismo, se han contabilizado el número de ocasiones en los que se ha realizado la interacción con contacto visual y sin contacto visual.

#### 1. *Tiempo de interacción con el responsable desde que se produce una parada por el sistema.*

En relación al tiempo empleado por los usuarios al provocar el sistema una orden parada, se observa como en los tres niveles, los participantes del Grupo Clínico han empleado más tiempo para interactuar con el responsable y continuar con el Serious Games. Por ejemplo, en el Nivel 1, el Grupo Clínico ha empleado una media de 26.08 segundos (DT=24.51) en comunicarse con el responsable contra los 5,56 segundos (DT=3.77) del Grupo Control (ver Tabla 4.3)

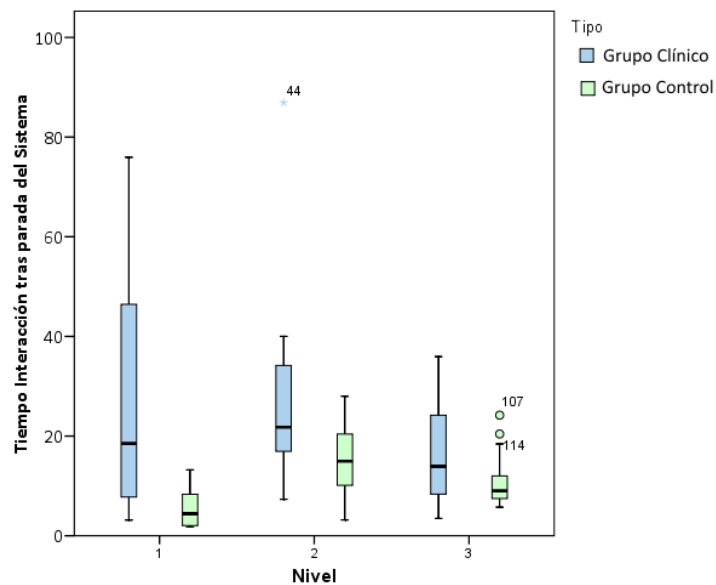
## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

**Tabla 4.3:** Resultados estadísticos del tiempo empleado cuando se produce una parada por el sistema

Nivel	Grupo	Tiempo Medio	Tiempo Max	Tiempo Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	26,08	75,95	3,15	24,51	3,15	18,52
	G. Control	5,56	13,22	1,73	3,77	1,73	4,43
Nivel 2	G. Clínico	31,82	112,96	7,32	26,71	7,32	21,76
	G. Control	15,16	27,98	3,17	6,84	3,17	14,97
Nivel 3	G. Clínico	22,00	128,96	3,47	29,18	3,47	13,93
	G. Control	10,73	24,20	5,74	4,93	5,70	9,03

Es importante señalar que durante el Nivel 2 un 10 % de los participantes no han interactuado con el responsable cuando se ha producido una parada provocada por el sistema, y a lo largo del Nivel 3 el 15 % de los participantes han presentado dificultades durante el juego y no han pedido ayuda tras este tipo de parada. Este hecho se debe a que a medida que los niveles avanzan, la complejidad del juego aumenta interviniendo no solo la interacción, sino la memoria y la atención visual. Por eso los usuarios con mayor grado de afectación presentan más dificultades a la hora de superar el Serious Game [KI13].

En la ilustración 4.1 se observa cómo los tiempo máximos se van reduciendo a medida que los usuarios avanzan en el juego. Durante el primer nivel se puede comprobar cómo entre el 50 y 75 % de los jugadores del Grupo Clínico está mas dispersa empleando más tiempo en comunicarse.



**Ilustración 4.1:** Valores de tiempo empleado cuando se realiza una parada provocada por el sistema

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

---

##### 2. Tiempo de interacción con el responsable desde que se produce una parada en el sistema por una acción set usuario

El tiempo de interacción cuando se produce un error por el usuario hace referencia al tiempo que el usuario ha tardado en solicitar ayuda cuando las paradas han sido provocadas al seleccionar de forma incorrecta un elemento durante el juego, o por necesitar nuevas indicaciones durante el mismo.

La tabla 4.4 muestra los resultados obtenidos durante los tres niveles. Como se puede analizar, los jugadores pertenecientes al Grupo Clínico han necesitado más segundos para realizar la interacción con el responsable tanto en el Nivel 2 (Grupo Clínico M=27,51, DT = 23,52; Grupo Control M=9,85, DT =7,16) como en el Nivel 3 (Grupo Clínico M=38,89, DT = 46,03; Grupo Control M=7,70, DT =3,77).

Es importante destacar los resultados obtenidos durante el Nivel 1 ya que como se ha mencionado en la sección “Protocolo de pruebas”, durante este nivel, los errores cometidos por los usuarios no se han registrado por la baja dificultad del nivel.

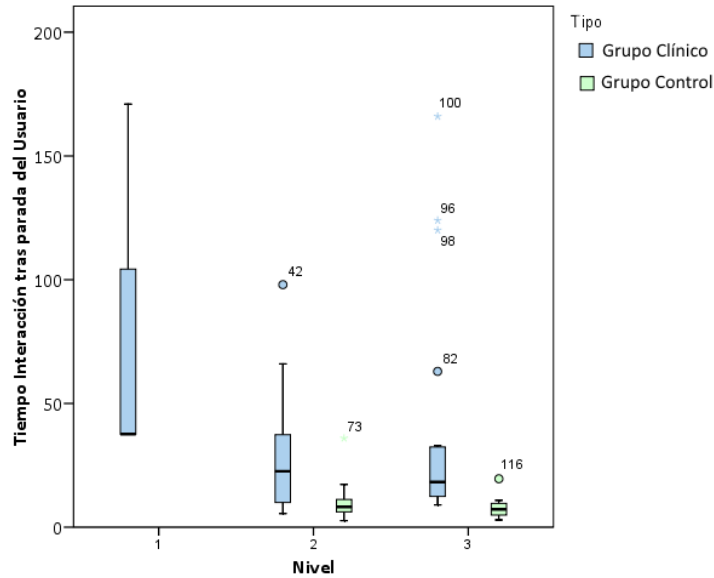
**Tabla 4.4:** Resultados estadísticos del tiempo empleado cuando se produce una parada provocada por el usuario

Nivel	Grupo	Tiempo Medio	Tiempo Max	Tiempo Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	82,03	170,95	37,48	77,01	37,48	37,65
	G. Control	-	-	-	-	-	-
Nivel 2	G. Clínico	27,51	97,99	5,50	23,52	5,50	22,60
	G. Control	9,85	35,96	2,61	7,16	2,61	8,20
Nivel 3	G. Clínico	38,89	165,98	9,02	46,03	90,20	18,25
	G. Control	7,70	19,57	2,95	3,77	2,95	7,23

Sin embargo, si se han registrado las paradas cuando el usuario ha necesitado algún tipo de indicación. Esto hace que el Grupo de Control no presente información estadística en este nivel, ya que no han precisado de indicaciones una vez comenzado el juego; al contrario que el Grupo Clínico (M=82.03, DT=77.01).

Como se expone en la ilustración 4.2, a medida que avanzan los niveles el tiempo empleado en interactuar con los responsables es cada vez menor, pudiendo ser un indicador de comprensión del juego por haberse dado cuenta de que cuanto más rápida se comunique con el responsable ante una parada menor tiempo el juego se encuentra parado.

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema



**Ilustración 4.2:** Valores del tiempo empleado cuando se realiza una parada provocada por el usuario

### 3. Tiempo de interacción cuando se ha producido un contacto visual con el responsable

Este apartado recoge los indicadores obtenidos en relación al modo en que el/la niño/a ha interactuado con el responsable tras producirse una orden de parada, en concreto si se ha producido mediante un contacto visual independientemente de quien hay sido el responsable de dicha orden. Esta información está recogida en la tabla 4.5 e ilustración 4.3.

**Tabla 4.5:** Resultados estadísticos del tiempo empleado cuando se ha producido un contacto visual con el responsable

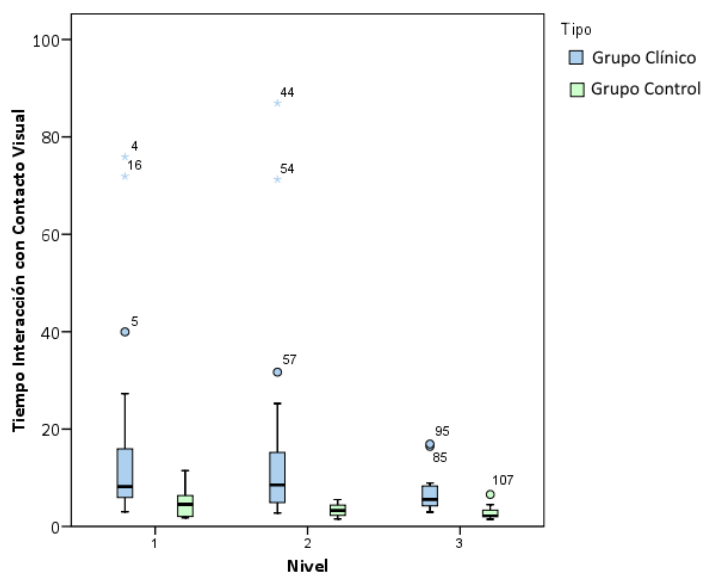
Nivel	Grupo	Tiempo Medio	Tiempo Max	Tiempo Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	18,58	75,91	2,99	22,81	2,99	8,19
	G. Control	4,80	11,46	1,76	2,88	1,76	4,53
Nivel 2	G. Clínico	18,33	86,92	2,76	24,33	2,76	8,51
	G. Control	3,33	5,51	1,53	1,27	1,53	3,28
Nivel 3	G. Clínico	6,98	16,93	2,95	4,38	2,95	5,53
	G. Control	2,74	6,56	1,47	1,26	1,47	2,21

En este caso, los participantes del Grupo Clínico han empleado una media total de 14.03 segundos (DT=18.35) frente a los 3.52 segundos (DT=2.28) empleados por el Grupo de Control durante los tres niveles de dificultad. Un dato importante a comentar es cómo se ha producido una reducción del tiempo necesario en la comunicación del Nivel 1 al Nivel 3 (ver Ilustración

## 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

4.3), indicando una posible mejoría a medida que el juego avanza, hecho que ocurre en ambos grupos de usuarios.

A pesar de que en el Nivel 3 el tiempo de reacción del Grupo Clínico se reduce a 6,77 segundos de media, siendo un valor positivo, se debe mencionar que algunos jugadores no han superado el nivel.



**Ilustración 4.3:** Valores del tiempo empleado cuando se realiza una interacción con contacto visual

### 4. *Tiempo de interacción cuando se ha producido una interacción sin contacto visual con el responsable*

Otro indicador evaluado corresponde con el tiempo que ha empleado tanto el Grupo de Control como el Grupo Clínico a la hora de solicitar ayuda mediante gestos o palabras, es decir, sin producirse contacto visual.

En este caso y como se observa en los indicadores analizados en la tabla 4.6, el Grupo Clínico emplea una media de segundos superior al Grupo Control, empleando 11.23 segundos (DT=7.06) los participantes del Grupo Control frente a los 26.51 segundos (DT=28.20) del Grupo Clínico.

Una gran disparidad se encuentra en el tiempo empleado en el Nivel 3 entre ambos grupos. Esto está relacionado a la dificultad añadida del Serious Game ya que los elementos se alter-

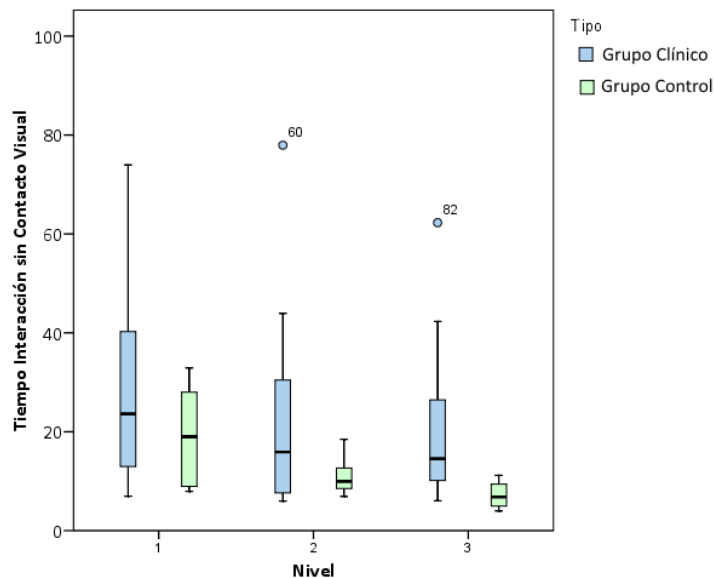
## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

nan de forma automática durante los 3 minutos de duración del juego provocando un mayor número de paradas al seleccionar mal los elementos pudiendo generar desinterés.

**Tabla 4.6:** Tiempo sin contacto visual

Nivel	Grupo	Tiempo Medio	Tiempo Max	Tiempo Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	29,34	73,94	6,96	21,11	6,96	23,62
	G. Control	19,35	32,90	7,94	11,14	7,94	19,00
Nivel 2	G. Clínico	22,14	77,95	5,96	19,38	5,96	15,91
	G. Control	11,10	18,46	6,94	3,98	6,95	9,97
Nivel 3	G. Clínico	28,17	165,98	6,04	39,40	6,04	14,56
	G. Control	7,19	11,17	3,98	3,04	3,98	6,80

Analizando los valores mínimos y los valores máximos y dispersión (ver Ilustración 4.4), se comprueba como en los tiempos mínimos entre el Grupo Control y Grupo Clínico son muy similares, sin embargo se aprecia una mayor diferencia en los valores máximos, siendo muy superior el Grupo Clínico; existiendo una mayor dispersión de datos en este último grupo. Esta desigualdad se debe a la dificultad que presentan a la hora de comunicarse y a una posible indiferencia al desaparecer los objetos del juego.



**Ilustración 4.4:** Valores del tiempo empleado cuando se realiza una interacción sin contacto visual

### 5. Interacciones realizadas mediante contacto visual o sin contacto visual con el responsable.

En relación a la interacción mediante contacto visual o mediante gestos y/o palabras, se han

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

analizado no solo los tiempos de reacción sino el número de veces que se ha producido cada tipo de interacción con el objetivo de obtener la tendencia que presentan ambos grupos participantes.

En la Tabla 4.7 se reflejan los indicadores estadísticos obtenidos en relación a estos parámetros. Como se puede observar el Grupo Control presenta un mayor número de interacciones mediante contacto visual que el Grupo Clínico, y un número mínimo de interacciones mediante palabras o gestos.

A pesar de estas diferencias entre ambos grupos, un hecho notable es al analizar la información obtenida por el Grupo Clínico, ya que durante los 3 niveles de dificultad ha predominado la interacción con los responsables a través del contacto visual, llegándose a ser el doble en el Nivel 2.

Estos indicadores presentan resultados positivos sugiriendo que este sistema puede ser una herramienta mediante el cual se ejercite que los niño/as realicen contacto visual con otras personas a la hora de solicitar ayuda o comunicarse, factor en el cual presentan dificultades [KDH<sup>+</sup>10].

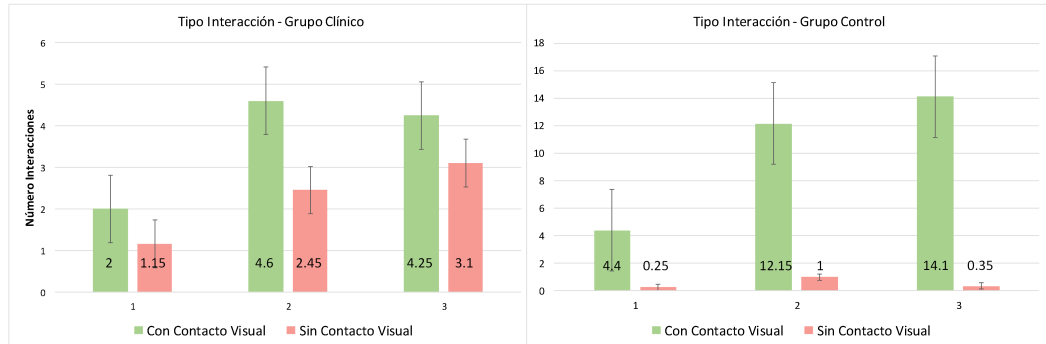
**Tabla 4.7:** Interacciones realizadas mediante contacto visual o mediante gestos o palabras sin producirse contacto visual con el responsable

Nivel	Grupo	Contacto	Media	Máximo	Mínimo	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	Visual	2	5	0	1,55	1	1,5
		No Visual	1,15	3	0	1,03	0	1
	G. Control	Visual	4,4	5	3	0,82	5	5
		No Visual	0,3	1	0	0,47	0	0
Nivel 2	G. Clínico	Visual	4,6	16	0	4,58	2	3
		No Visual	2,45	8	0	2,45	0	2
	G. Control	Visual	12	27	5	5,09	6	11,5
		No Visual	0,95	5	0	1,53	0	0
Nivel 3	G. Clínico	Visual	4,25	14	0	4,17	0	3
		No Visual	3,1	10	0	2,75	0	2,5
	G. Control	Visual	14,1	25	4	5,91	11	13
		No Visual	0,35	3	0	0,811	0	0

Para facilitar la comprensión de esta información en la ilustración 4.5 se expone de forma gráfica el tipo de interacción realizado por cada grupo.

El número de interacciones aumenta del Nivel 1 al Nivel 2, este hecho ocurre ya que durante el Nivel 1 no existen las paradas provocadas por los errores al seleccionar elementos incorrectos, por lo que el número de interacciones es menor en ambos grupos. Durante el Nivel

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema



**Ilustración 4.5:** Resultados interacción del grupo Clínico

3, las interacciones sin contacto visual aumentan en comparación con el resto de niveles, pudiéndose atribuir a la dificultad que presenta el juego a la hora de intercambiar los elementos a recoger sin previo aviso, incrementando las paradas, y por consiguiente una posible pérdida de concentración por parte de los usuarios del Grupo Clínico.

### 6. Tiempo total que ha empleado el usuario en interactuar con el responsable

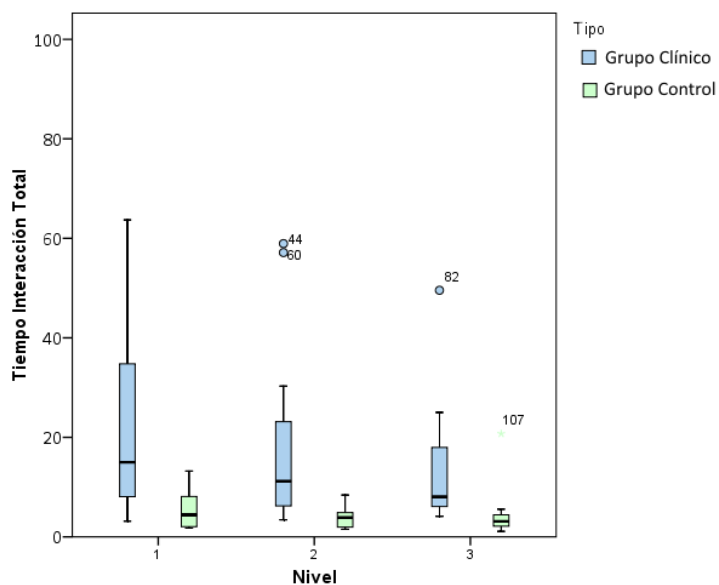
En la tabla 4.8 se resumen los parámetros obtenidos en relación a los segundos que han empleado los participantes en solicitar ayuda al responsable, independientemente si la parada ha sido provocada por el sistema o por una acción del jugador y si la interacción ha sido mediante contacto visual o a través de gestos o palabras. Este subgrupo de características se ha creado debido a que en las paradas realizadas por distracción o indicaciones no se recogen el tipo de interacción realizado.

**Tabla 4.8:** Tiempo total que ha tardado el usuario en comunicarse con el responsable

Nivel	Grupo	Tiempo Medio	Tiempo Max	Tiempo Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	23,72	63,26	3,20	20,04	3,20	14,75
	G. Control	5,53	13,22	1,76	3,75	1,73	4,43
Nivel 2	G. Clínico	17,60	58,94	3,42	16,11	3,42	11,18
	G. Control	3,86	8,40	1,55	1,93	1,55	3,86
Nivel 3	G. Clínico	21,06	165,98	4,13	36,72	4,13	8,05
	G. Control	3,97	20,74	1,11	4,11	1,11	3,13

Se puede observar como a lo largo de los tres niveles el Grupo Clínico ha empleado una media de segundos ( $M=20.73$ ,  $DT=25.32$ ) superior al Grupo Control ( $M=4.37$ ,  $DT=3.42$ ), correspondiendo una vez más con la dificultad que presentan en las habilidades sociales.

## 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS



**Ilustración 4.6:** Valores del tiempo total de interacción

Otro factor que se puede señalar, es cómo evoluciona el tiempo que han ido empleando durante los niveles el Grupo Clínico. En el primer y tercer nivel necesitan más tiempo para realizar la interacción que en el segundo nivel (ver Ilustración 4.6).

Esto se debe a que en el primer nivel, las interacciones solo ocurren cada 30 segundos y son provocados por el sistema y es la primera toma de contacto con la dinámica del juego en relación a la interacción.

En el tercer nivel aumenta drásticamente la complejidad debido a que se incorpora la atención visual al cambiarse los elementos que deben recoger más las paradas que se producen cuando seleccionan el objeto de forma incorrecta. Esto hace que se produzcan más paradas forzando a una mayor interacción con el responsable, provocando como se ha comentado anteriormente un desinterés en el jugador y por tanto aumentar el tiempo de solicitud de ayuda.

Sin embargo, en el Nivel 2 a pesar de que se incorpora el trabajo de la memoria por tener que memorizar el elemento a recoger, no se interrumpe el juego de forma tan continuada como en el Nivel 3 siendo más dinámica la interacción.

### Conclusiones

Esta sección muestra los estadísticos descriptivos del tiempo que necesita cada grupo participante en interactuar con el responsable tras una parada del juego. A pesar de que en esta fase no

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

---

se comprueben las diferencias significativas que existen entre los indicadores se pueden realizar las siguientes conclusiones que deben validarse gracias a los test no paramétricos en la fase posterior.

Al analizar los tiempos de reacción de esta sección, bien por órdenes de paradas provocadas por acciones del usuario o por órdenes de parada realizadas por el sistema, el Grupo Clínico ha empleado un tiempo medio mayor que el Grupo Control. A pesar de que los tiempos sean mayores, el tiempo empleado por éstos se van reduciendo progresivamente a medida que los niveles de dificultad son superados, comprendiendo que cuanto más rápida sea la interacción antes consiguen una respuesta positiva al iniciarse de nuevo el juego.

Asimismo, se ha calculado el tipo de interacción, es decir, si la interacción con el responsable de la sesión se lleva a cabo mediante contacto visual, o si por el contrario este contacto visual no se realiza ,pero sí existe comunicación a través de gestos y/o comunicación verbal. Durante el juego, el número de interacciones con contacto visual ha sido mayor por parte del Grupo Control, sucediendo de forma contraria en la comunicación verbal o con gestos. Sin embargo, se debe destacar cómo en el Grupo Clínico la interacción que ha dominado durante los tres niveles ha sido la del contacto visual. Por tanto, de este set de indicadores se puede extraer:

*Los indicadores del set de interacción con el responsable señalan cómo el Grupo Clínico presenta dificultades a la hora de solicitar ayuda ya que necesitan más tiempo en reaccionar tras una parada del juego independientemente de quien genere la orden de parada. Sin embargo, el modo más común de comunicarse con el responsable se lleva a cabo mediante contacto visual, sugiriendo que gracias al Serious Game desarrollado, se trabaja las habilidades sociales de forma adecuada.*

### 4.2.1.2 Set Interacción con el sistema

Las características que componen el set de interacción con el sistema están relacionadas con los eventos realizados con el puntero táctil sobre el Serious Game, y los aciertos y los errores realizados por el jugador. En esta ocasión, se han generado 114 características en total, 38 características por cada nivel. Al igual que en el Set de interacción con los responsables, los indicadores han sido agrupadas en las siguientes categorías:

- Aciertos y Errores
- Posición correcta X,Y
- Posición incorrecta X,Y
- Posiciones totales.

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

---

Para obtener los indicadores pertenecientes a este set de características se han calculado estadísticos descriptivos correspondientes con las posiciones medias, máximas y mínimas, las desviaciones típicas de las posiciones, entre otros.

##### 1. Puntuaciones obtenidas por los jugadores

En la Tabla 4.9 se muestra las puntuaciones que han obtenido los dos grupos participantes en este estudio a lo largo de los 3 niveles de dificultad.

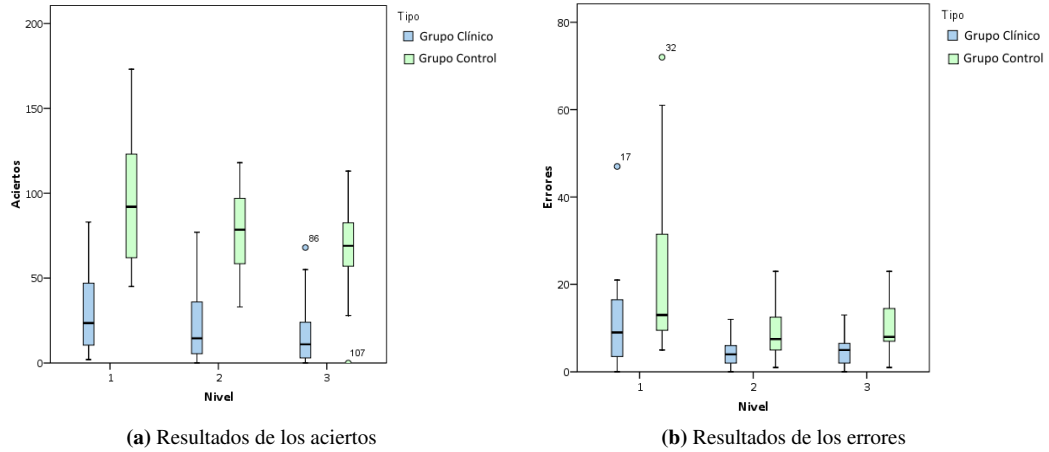
En los tres niveles de dificultad, el Grupo Control genera un número mayor de aciertos que el Grupo Clínico. Esto se puede dar ya que el Grupo Control ha realizado una mayor interacción con el juego y /o ha provocado menos paradas durante el juego implicando un mayor tiempo de juego.

**Tabla 4.9:** Puntuaciones totales obtenidas por los dos grupos

Nivel	Grupo	Evento	Punt. Media	Punt. Max	Punt. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	Aciertos	30,70	83	2	24,63	5	23,50
		Errores	11,35	47	0	10,58	2	9,00
	G. Control	Aciertos	95,20	173	45	37,78	62	92,00
		Errores	22,75	72	5	19,24	6	13,00
Nivel 2	G. Clínico	Aciertos	23,65	77	0	22,08	14	14,50
		Errores	4,65	12	0	3,38	6	4,00
	G. Control	Aciertos	76,35	118	33	24,16	97	78,50
		Errores	9,10	23	1	5,47	6	7,50
Nivel 3	G. Clínico	Aciertos	18,40	68	0	19,54	2	11,00
		Errores	4,75	13	0	3,58	2	5,00
	G. Control	Aciertos	66,70	113	0	24,98	66	69,00
		Errores	10,60	23	1	6,48	8	8,00

Un dato a remarcar es cómo el número de aciertos se ha ido reduciendo a lo largo de los niveles coincidiendo con el aumento de la dificultad, en concreto en el caso particular de un participante del Grupo Control cuya puntuación mínima obtenida en el Nivel 3 ha sido 0. Esta información corresponde con los resultados alcanzados por el usuario con código Control005. Este jugador se trata de una niña muy inquieta de 3 años de edad que durante la sesión estuvo distrayéndose de forma continuada al desaparecer los elementos del juego. Durante el último nivel del Serious Game la niña dejó de prestar la atención suficiente al juego generando muy pocos eventos. En las ilustraciones gráficas 4.7 se presentan la dispersión de los aciertos y errores respectivamente.

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema



**Ilustración 4.7:** Resultados puntuaciones

En relación a los aciertos (ver Ilustración 4.7a), en los tres niveles de dificultad los participantes del grupo de clínico que han realizado entre el 25 % y el 50 % de aciertos las puntuaciones son menos dispersas. Sin embargo, los aciertos del Grupo Control presentan una dispersión muy similar. En cuanto a los errores (ver Ilustración 4.7b) se debe remarcar como el Grupo Control en el Nivel 1 presenta una dispersión mayor en los participantes que han generado entre el 50 % y el 75 % de los errores.

### 2. Posiciones medias

Los siguientes indicadores obtenidos están relacionados con las posiciones en las que los jugadores han procurado seleccionar elementos (ver tabla 4.10).

Al comparar las posiciones en las que se procuran seleccionar elementos, se comprueba que las posiciones medias son similares aumentando un poco más la distancia en el Nivel 3. Sin embargo, en las posiciones mínimas el Grupo Control, tanto en el Nivel 1 como en el 3, ejecuta un evento en la parte más inferior de la pantalla, sugiriendo que el Grupo Control intenta seleccionar todos los objetos posibles antes de que desaparezcan.

### 3. Posiciones correctas

Los siguientes indicadores obtenidos están relacionados con las posiciones en las que los jugadores han seleccionado de forma correcta los objetos (ver Tabla 4.11).

La información más destacable de los indicadores presentes, están relacionados con la posición mínima realizada por ambos grupos en el Nivel 3 de dificultad. La posición del Grupo

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

**Tabla 4.10:** Posiciones medias obtenidas por los dos grupos

Nivel	Grupo	Evento	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	Pos.X	939,52	1908	12	149,1	555,93	973,62
		Pos.Y	487,12	1070	14	129,6	338,15	435,91
	G. Control	Pos.X	876,81	1903	0	97,66	640,9	894,57
		Pos.Y	473,35	1079	0	115,97	242,08	476,75
Nivel 2	G. Clínico	Pos.X	894,41	1815	0	145,93	586	898,61
		Pos.Y	459,04	1067	0	151,58	144,53	455,81
	G. Control	Pos.X	913,25	1908	0	114,32	744,63	897,7
		Pos.Y	444,73	1080	0	112,36	259,66	446,97
Nivel 3	G. Clínico	Pos.X	955,62	1845	62	177,75	578,75	931,95
		Pos.Y	474,93	1070	5	124,43	241,6	514,83
	G. Control	Pos.X	883,09	1861	5	153,44	407	913,76
		Pos.Y	292,95	1070	0	62,59	197,37	281,71

**Tabla 4.11:** Posiciones medias correctas obtenidas por los dos grupos

Nivel	Grupo	Evento Correcto	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	Pos.X	973,62	1908	0	267,88	400,33	946,05
		Pos.Y	502,29	1070	0	160,49	310,65	460,3
	G. Control	Pos.X	826,55	1903	0	198,12	360,7	882,99
		Pos.Y	520,21	1079	0	122,09	264,86	547,5
Nivel 2	G. Clínico	Pos.nX	854,66	1815	0	241,09	477,13	841,67
		Pos.Y	491,17	1067	0	222,41	136	475,67
	G. Control	Pos.X	1027,51	1907	0	722,69	599,6	861,6
		Pos.Y	638,19	1070	8	664,88	264,4	472,92
Nivel 3	G. Clínico	Pos.X	974,04	1845	105	320,46	267	911,33
		Pos.Y	510,37	1068	72	171,98	92	525,67
	G. Control	Pos.X	962,63	1861	5	283,23	407	982,07
		Pos.Y	396,18	1070	0	170,59	161,09	356,75

Clínico es relativamente superior a la del Grupo Control, sugiriendo que el Grupo Clínico no ha logrado seleccionar ningún elemento de forma correcta una vez que éstos están a punto de desaparecer.

#### 4. Posiciones medias incorrectas

La tabla 4.12, expone los valores obtenidos tras analizar las posiciones incorrectas de ambos grupos en los tres niveles de dificultad. Esta tabla refleja como la posición mínima en el eje vertical corresponde con el valor 0 por parte del Grupo Control, correspondiendo con los intentos de seleccionar objetos que están a punto de desaparecer por la parte inferior de la pantalla.

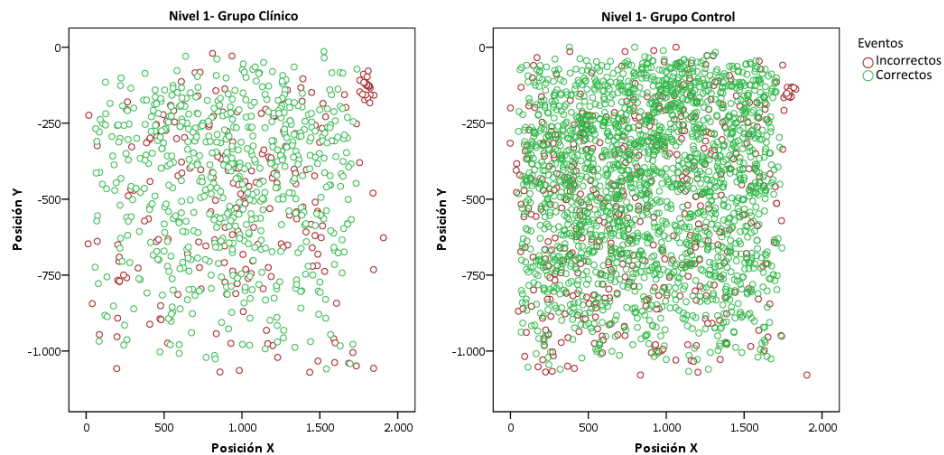
## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

**Tabla 4.12:** Posiciones medias incorrectas obtenidas por los dos grupos

Nivel	Grupo	Evento. Correcto	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	Pos.X	973,62	1738	57	267,88	400,33	946,05
		Pos.Y	502,29	1059	14	160,49	310,65	460,3
	G. Control	Pos.X	826,55	1743	51	198,12	360,7	882,99
		Pos.Y	520,21	1067	0	122,09	264,86	547,5
Nivel 2	G. Clínico	Pos.nX	854,66	1736	0	241,09	477,13	841,67
		Pos.Y	491,17	999	0	222,41	136	475,67
	G. Control	Pos.X	1027,51	1729	24	722,69	599,6	861,6
		Pos.Y	638,19	1067	0	664,88	264,4	472,92
Nivel 3	G. Clínico	Pos.X	974,04	1744	62	320,46	267	911,33
		Pos.Y	510,37	1070	5	171,98	92	525,67
	G. Control	Pos.X	962,63	1767	0	283,23	407	982,07
		Pos.Y	396,18	1060	0	170,59	161,09	356,75

A continuación se muestra una representación gráfica de las posiciones correctas e incorrectas realizadas por ambos grupos durante el juego.

La ilustración 4.8 expone los eventos creados durante el Nivel 1. Se puede observar como el número de eventos producidos por el Grupo Clínico es menor al Grupo Control.

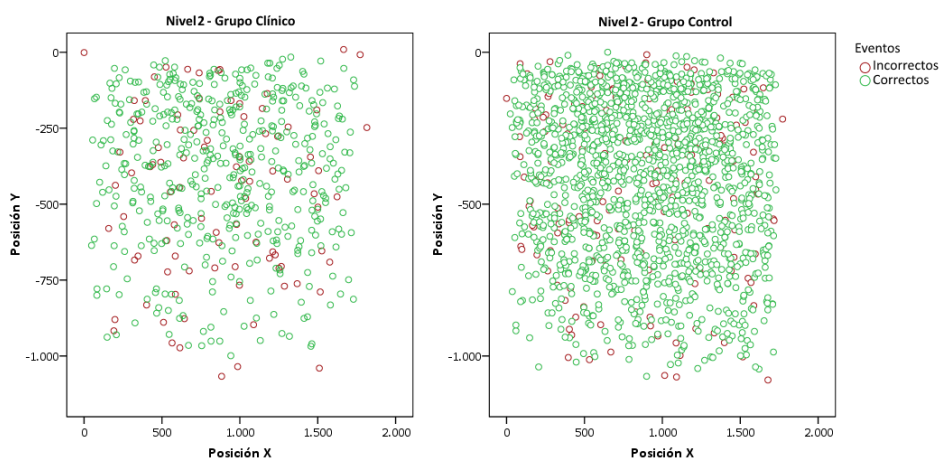


**Ilustración 4.8:** Posiciones correctas/incorrectas Nivel 1

Al observar la ilustración 4.8 se localizan en la parte superior derecha una concentración de errores por ambos grupos. Estos errores se corresponden con los intentos de seleccionar el objeto que se muestra como soporte visual durante el nivel.

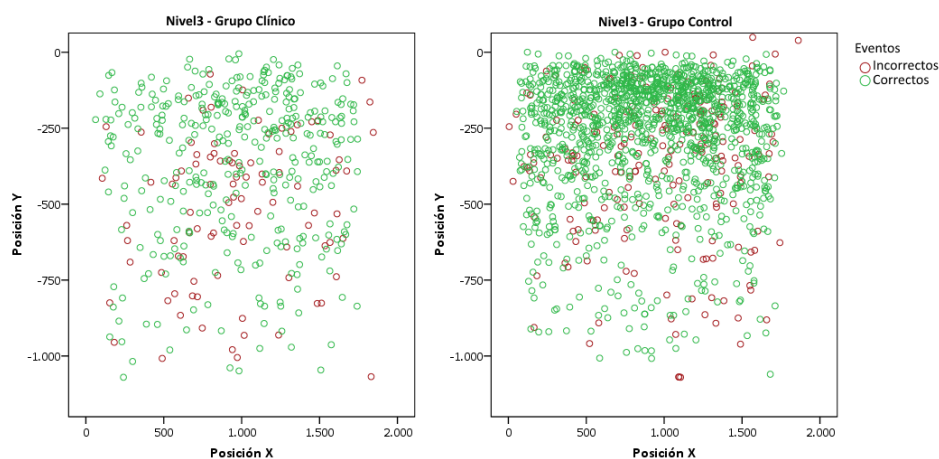
La ilustración 4.9 expone los eventos generados durante el Nivel 2. Al igual que en el Nivel 1, el Grupo Control ha registrado un mayor número de interacciones que el Grupo Clínico.

## 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS



**Ilustración 4.9:** Posiciones correctas/incorrectas Nivel 2

Por último, en la ilustración 4.10 se muestra los eventos realizados en el Nivel 3. Los intentos del Grupo Clínico son inferiores al Grupo Control, ya que no todos los participantes han logrado superar el nivel. Se puede observar como el Grupo Control ha seleccionado un mayor número de objetos en la parte superior de la pantalla, siendo la zona de la pantalla por dónde aparecen los objetos a recoger.



**Ilustración 4.10:** Posiciones correctas/incorrectas Nivel 3

### **Conclusiones**

Esta sección muestra los indicadores estadísticos descriptivos obtenidos de la interacción de los jugadores con el sistema, analizando las posiciones dónde han procurado seleccionar objetos, bien de forma correcta o incorrecta. A pesar de que en la fase “B-Procesado”, se determina cuáles son las diferencias significativas entre los dos grupos, de la información analizada se comprueba cómo

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

---

a pesar de que los eventos medios se hayan realizado de forma similar por ambos grupos, el número de intentos es superior por parte del Grupo Control que del Grupo Clínico, pudiendo estar vinculado con el tiempo de comunicación, es decir, a mayor rapidez a la hora de solicitar ayuda mayor tiempo disponible para jugar.

*Los indicadores del set de interacción con el sistema indican cómo el Grupo Clínico realiza un menor número de intentos a la hora de superar el juego, logrando una puntuación más baja que el Grupo Control.*

### 4.2.1.3 Set EyeTracker

A continuación se citan los resultados obtenidos tras realizar el análisis estadístico de los indicadores obtenidos a través del dispositivo hardware EyeTracker.

Para ello, se ha analizado la información de la mirada cuando los objetos del juego estaban en pantalla y cuando se ha producido una parada, con la consiguiente desaparición de los objetos.

Como se ha comentado en el capítulo 3 (ver sección “Diseño de Bajo Nivel del Módulo Validación del Sistema” 3.4.3), la pantalla se ha dividido en 5 regiones para analizar la información recogida en cada una de ellas, y comprobar las diferencias que existen a la hora de explorar la pantalla entre el grupo Clínico y el grupo de Control.

Por esta razón, la información es presentada en dos secciones la primera recoger los resultados obtenidos mientras el juego estaba en funcionamiento y por tanto existiendo objetos en la pantalla y en la segunda sección los valores de las características alcanzadas cuando éstos han desaparecido por suceder una orden de parada.

#### 1. Información obtenida mientras el juego está en funcionamiento

El apartado que se expone a continuación hace referencia al análisis de los datos almacenados en los XML Eyetracker cuando los objetos están visibles. Esta información se presenta siguiendo la división de la pantalla llevada a cabo por regiones, en primer lugar los datos de la región izquierda, a continuación, la región derecha, seguido de la región superior e inferior, y por último de la región central.

##### (a) Región izquierda

La región izquierda hace referencia a la información recogida por el eyetracker desde el extremo izquierdo de la pantalla hasta la parte central de la misma recogiendo los datos de la matriz desde la posición 0 hasta la 41.

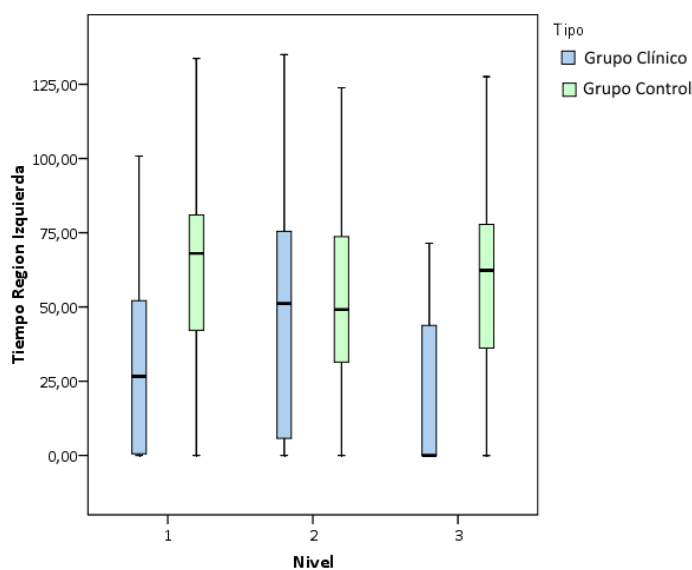
#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Ocurriendo de forma similar que en los dos set de indicadores anteriormente mencionados, una vez obtenidos los mapas de calor se calculan los estadísticos descriptivos (ver Tabla 4.13) con objeto de transformar dicha información en características. Al analizar los valores medios se comprueba la tendencia del Grupo Clínico ya que abarcan una región menor que el Grupo Control.

**Tabla 4.13:** Posiciones medias en la región Izquierda obtenidas por los dos grupos

Nivel	Grupo	Evento.	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	Pos.X	-91,63	0,00	-282,59	58,66	0,00	-91,09
		Pos.Y	168,99	376,41	0,00	89,25	0,00	158,58
	G. Control	Pos.X	-95,24	-50,73	-134,87	19,00	-134,87	-97,12
		Pos.Y	178,47	236,47	72,16	34,91	72,16	178,78
Nivel 2	G. Clínico	Pos.X	-60,62	0,00	-128,44	42,49	0,00	-64,93
		Pos.Y	132,74	245,10	0,00	88,63	0,00	148,17
	G. Control	Pos.X	-84,79	0,00	-138,50	29,71	-138,50	-85,34
		Pos.Y	172,85	267,75	0,00	62,43	0,00	176,37
Nivel 3	G. Clínico	Pos.X	-43,44	-131,62	-131,62	44,76	0,00	-39,39
		Pos.Y	94,03	0,00	0,00	95,78	0,00	98,05
	G. Control	Pos.X	-84,44	-53,81	-117,75	16,05	-117,75	-84,50
		Pos.Y	198,69	276,06	93,95	42,21	93,95	201,28

Los tiempos de fijación en esta región por parte de ambos grupos son representados en la ilustración 4.11.

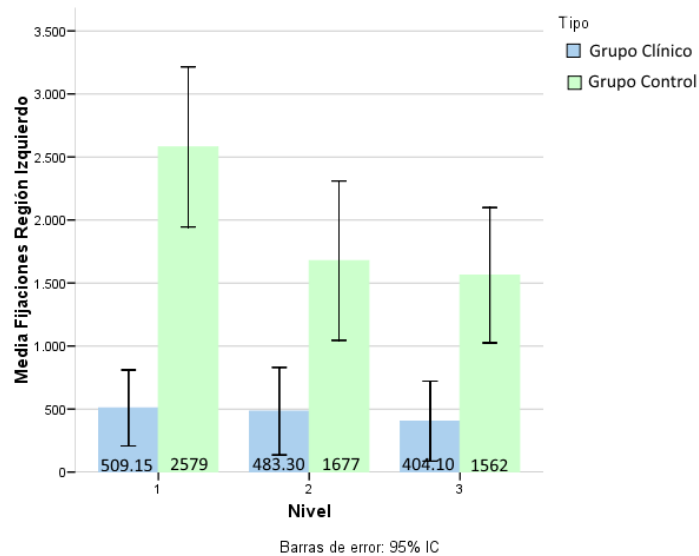


**Ilustración 4.11:** Resultados del tiempo de fijación en la región izquierda

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

En ella, se observa como el tiempo de fijación en esta región es mayor por parte del Grupo Control en los Niveles 1 y 3. El Grupo clínico presenta asimetría positiva en ambos niveles. En el Nivel 2 ambos grupos presentan un valor del tiempo central similar y asimetría positiva, el Grupo Control presenta una concentración de datos mayor.

En la ilustración 4.12, se observa el número de fijaciones realizadas por los dos grupos participantes durante los tres niveles de dificultad. El Grupo Control a lo largo del juego



**Ilustración 4.12:** Número de fijaciones realizados en la región izquierda

realiza un número mayor de fijaciones en el área izquierda de pantalla, siendo mayor durante el primer nivel. En relación al Grupo Clínico el número de fijaciones durante los tres niveles de dificultad se realiza de forma similar.

### (b) Región Derecha

La región derecha corresponde con las posiciones en el eje X desde la posición 0 hasta las 400, y en el eje Y desde la 0 hasta la 400, es decir desde la posición central de la pantalla hasta extremo derecho de la pantalla. La tabla 4.14 muestra los estadísticos obtenidos en la región derecha. El Grupo Clínico en los tres niveles la fijación media la realizan ligeramente más hacia la zona inferior izquierda que el Grupo Control.

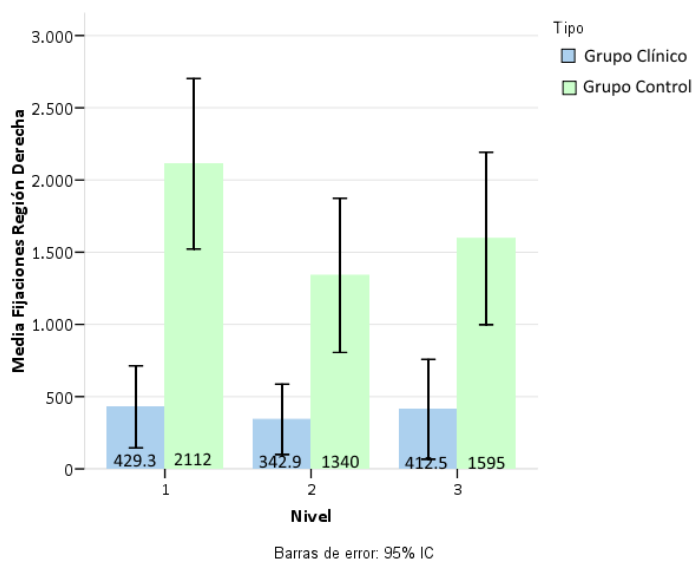
En relación a las fijaciones realizadas en la región derecha (ver ilustración 4.13), se observa como el Grupo Control presta más atención a esta región que el Grupo Clínico, ocurriendo de forma similar que en el área izquierda.

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

**Tabla 4.14:** Posiciones medias en la región Derecha obtenidas por los dos grupos

Nivel	Grupo	Evento.	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	Pos.X	75,86	134,91	0,00	43,42	0,00	89,51
		Pos.Y	157,38	276,35	0,00	87,29	0,00	177,14
	G. Control	Pos.X	89,21	109,61	72,15	10,92	72,15	88,77
		Pos.Y	183,73	241,93	69,95	39,77	69,95	183,62
Nivel 2	G. Clínico	Pos.X	65,49	140,71	0,00	49,61	0,00	59,52
		Pos.Y	127,37	246,86	0,00	90,20	0,00	135,90
	G. Control	Pos.X	84,83	119,08	0,00	31,94	0,00	92,26
		Pos.Y	162,16	262,09	0,00	58,07	0,00	168,62
Nivel 3	G. Clínico	Pos.X	69,08	0,00	0,00	63,63	0,00	95,67
		Pos.Y	117,76	0,00	0,00	101,16	0,00	127,84
	G. Control	Pos.X	96,96	124,08	47,03	17,10	47,03	97,86
		Pos.Y	196,81	261,12	35,93	48,09	35,93	201,97

Asimismo, se observa como el Grupo Control durante el Nivel 2 realiza menos fijaciones en este área al igual que el Grupo Clínico, pudiendo estar relacionado por la eliminación del soporte visual durante este nivel.



**Ilustración 4.13:** Gráfico fijaciones región derecha

(c) Región Superior

La región siguiente analizar corresponde con la región superior de la pantalla. La presente región abarca el ancho de la pantalla y la mitad superior de la pantalla. La tabla

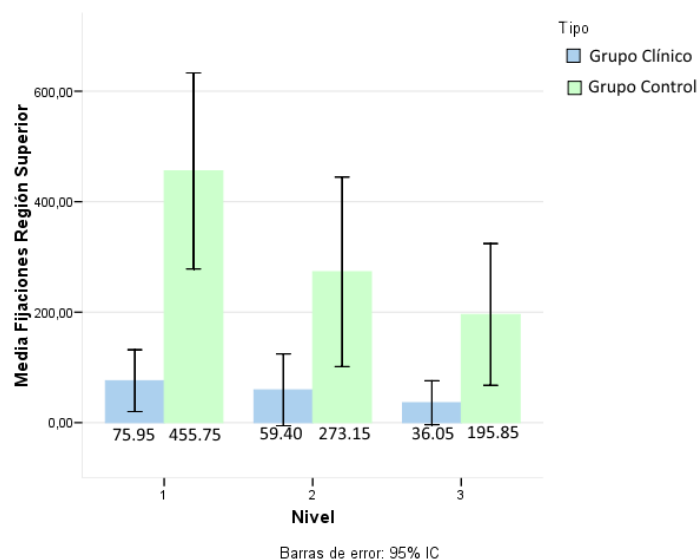
## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

4.15 expone los resultados de la fase de generación de indicadores. En esta ocasión al analizar el modo exploratorio y las fijaciones realizadas en esta área se comprueba cómo el Grupo Control presenta una tendencia de mirada más hacia la izquierda que el Grupo Clínico.

**Tabla 4.15:** Posiciones medias en la región Superior obtenidas por los dos grupos

Nivel	Grupo	Evento.	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	Pos.X	-8,30	146,16	-282,59	80,84	0,00	0,00
		Pos.Y	225,06	376,41	0,00	120,79	0,00	265,24
	G. Control	Pos.X	-21,90	53,04	-189,68	60,79	0,00	-4,22
		Pos.Y	224,62	286,72	0,00	78,55	0,00	240,58
Nivel 2	G. Clínico	Pos.X	-1,54	176,03	-140,03	65,52	0,00	0,00
		Pos.Y	200,50	407,18	0,00	139,51	0,00	263,89
	G. Control	Pos.X	-18,78	112,40	-121,52	53,24	0,00	-13,99
		Pos.Y	217,20	311,75	0,00	95,57	0,00	246,97
Nivel 3	G. Clínico	Pos.X	29,88	-178,69	-178,69	77,50	0,00	0,00
		Pos.Y	137,07	0,00	0,00	142,00	0,00	114,07
	G. Control	Pos.X	4,69	79,59	-122,79	54,11	-122,79	8,21
		Pos.Y	241,67	290,21	0,00	60,28	0,00	250,18

Comparando los tiempos empleados por cada grupo se repite lo sucedido en las demás regiones analizadas (ver ilustración 4.14), es decir, el Grupo Control lleva a cabo más fijaciones en esta región que el Grupo Clínico.



**Ilustración 4.14:** Gráfico fijaciones región superior

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Un dato a remarcar es cómo en ambos grupos las fijaciones se ven reducidas en este área a medida que los niveles avanzan, indicando cómo a medida que la dificultad del juego aumenta y los jugadores tiende a recoger los elementos en la región inferior.

##### (d) Región inferior

La región inferior se corresponde a la mitad inferior de la pantalla abarcando todo el ancho de la misma.

Como se ilustra en la tabla 4.16 y coincidiendo con la exploración de la región superior, el Grupo Control tiende a realizar la exploración hacia la parte más izquierda de la pantalla y a una altura más elevada que el Grupo Clínico.

Estos resultados están en línea con autores que establecen cómo las personas con TEA tienden a realizar una fijación en el área más inferior de las imágenes o rostros [FYFH<sup>+</sup> 12].

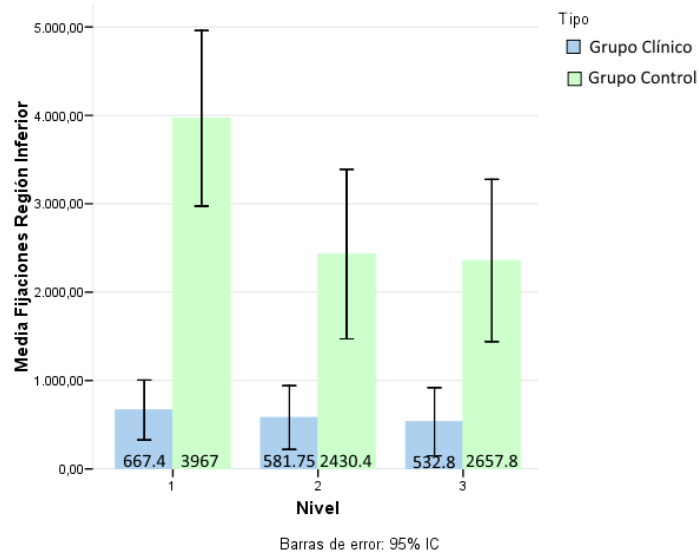
**Tabla 4.16:** Posiciones medias en la región inferior obtenidas por los dos grupos

Nivel	Grupo	Evento.	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	Pos.X	-19,02	23,96	-131,38	35,76	0,00	-11,75
		Pos.Y	131,10	227,11	0,00	67,41	0,00	133,58
	G. Control	Pos.X	-15,72	44,68	-114,05	31,44	-114,05	-15,61
		Pos.Y	170,95	212,55	70,72	30,40	70,72	173,24
Nivel 2	G. Clínico	Pos.X	-5,44	52,55	-37,50	24,12	0,00	-2,82
		Pos.Y	114,51	210,08	0,00	75,53	0,00	134,86
	G. Control	Pos.X	0,82	107,56	-68,96	38,84	-68,96	0,40
		Pos.Y	154,39	239,96	0,00	53,53	0,00	167,90
Nivel 3	G. Clínico	Pos.X	4,55	-122,72	-122,72	49,15	0,00	0,00
		Pos.Y	102,43	0,00	0,00	79,31	0,00	123,80
	G. Control	Pos.X	6,04	85,42	-43,37	30,93	-43,37	-0,55
		Pos.Y	179,69	245,75	60,45	40,32	60,45	186,28

Como se expone en la ilustración 4.15 el número de fijaciones durante el nivel 1 es mayor que en el resto de niveles por parte de ambos grupos ya que al existir un número menor de órdenes de parada se aumenta el tiempo en el que el dispositivo hardware eyetracker recopila información.

En cuanto a los Niveles 2 y 3, el número de fijaciones es similar tanto en el Grupo Clínico como en el Grupo Control siendo muy superior al observado en el área superior de la pantalla.

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema



**Ilustración 4.15:** Gráfico fijaciones región inferior

### (e) Región central de la pantalla

En relación al área central, como muestran los resultados estadísticos obtenidos tras el proceso de análisis del XML EyeTracker (ver tabla 4.17).

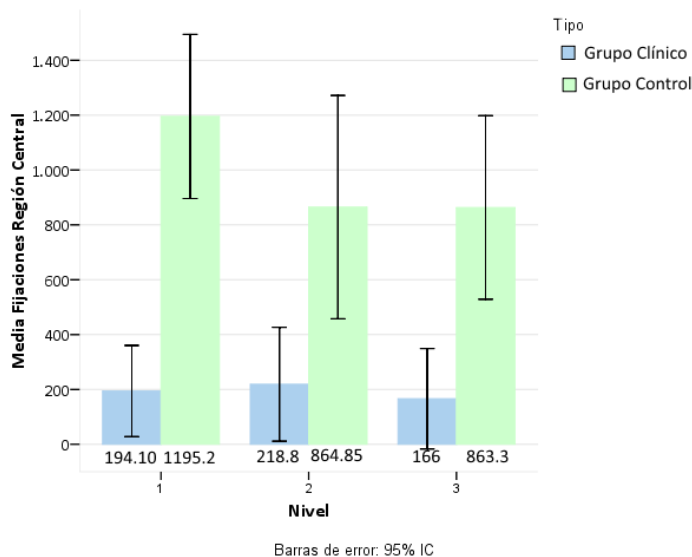
**Tabla 4.17:** Posiciones medias en la región Central obtenidas por los dos grupos

Nivel	Grupo	Evento.	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	Pos.X	-101,37	0,00	-171,41	51,52	0,00	-123,58
		Pos.Y	181,41	286,67	0,00	88,85	0,00	214,26
Nivel 1	G. Control	Pos.X	-118,62	0,00	-137,30	29,09	-137,30	-123,65
		Pos.Y	191,07	244,94	0,00	51,83	0,00	202,40
Nivel 2	G. Clínico	Pos.X	-85,12	0,00	-163,11	56,32	0,00	-97,40
		Pos.Y	146,26	256,53	0,00	98,01	0,00	182,02
Nivel 2	G. Control	Pos.X	-109,63	0,00	-165,51	42,45	0,00	-119,37
		Pos.Y	192,09	270,00	0,00	71,47	0,00	207,29
Nivel 3	G. Clínico	Pos.X	-54,91	-148,04	-148,04	58,13	0,00	-38,44
		Pos.Y	102,47	0,00	0,00	111,94	0,00	56,13
Nivel 3	G. Control	Pos.X	-116,41	-72,28	-153,26	18,63	-153,26	-117,18
		Pos.Y	223,22	286,99	181,58	29,24	181,58	218,05

Gracias a la ilustración 4.16 se comprueba en qué niveles ha habido una mayor fijación en este área. En el caso del Grupo Control la tendencia es similar a las regiones analizadas predominando el número de fijaciones realizadas en el nivel 1.

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

En relación al Grupo Clínico, el número de fijaciones realizadas en el nivel 2 es ligeramente superior al resto de los niveles.



**Ilustración 4.16:** Gráfico fijaciones región central

Además de las fijaciones realizadas en cada región y el tiempo empleado en cada una de ellas, se ha calculado el tamaño de la pupila de los usuarios (ver Tabla 4.18), donde se observa como el tamaño medio de la pupila del Grupo Clínico ( $M=2,85$ ,  $DT = 0.831$ ) es inferior al tamaño de la pupila del Grupo Control ( $M=3,38$ ,  $DT= 0,41$ ) durante los tres niveles de dificultad.

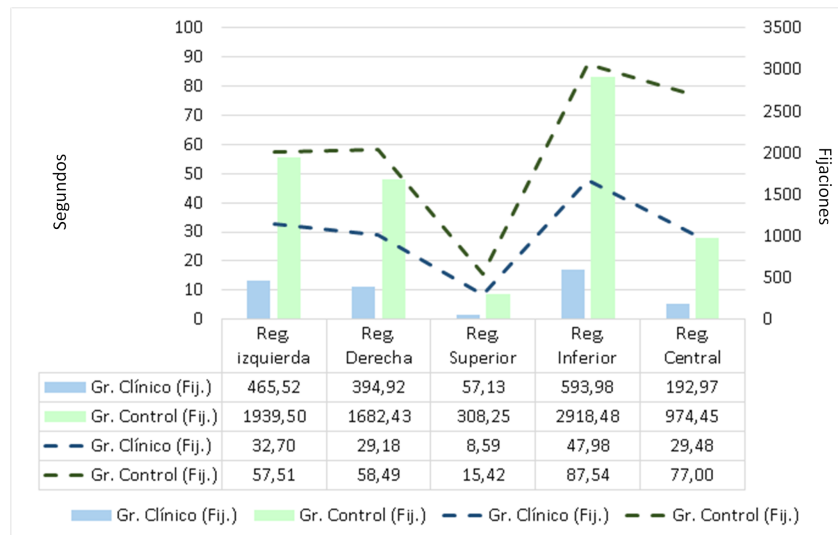
**Tabla 4.18:** Tamaño de las pupilas mientras existen elementos en la pantalla

Nivel	Grupo	Tamaño. Medio	Tam. Max	Tam. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	3,17	5	2,40	0,5	2,40*	3,03
	G. Control	3,39	4,13	2,89	0,39	2,89	3,28
Nivel 2	G. Clínico	2,77	3,30	0	0,78	0*	2,99
	G. Control	3,33	4,12	2,69	0,41	2,69	3,24
Nivel 3	G. Clínico	2,62	3,67	0	1,11	0*	3,00
	G. Control	3,43	4,43	2,95	0,47	2,95	3,29

Como resumen del número de fijaciones y del tiempo empleado en cada área analizada, se muestra en la ilustración 4.17 los segundos empleados en cada región durante los 3 niveles de dificultad, representados con líneas discontinuas cuyo valores corresponden con el eje

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

izquierdo, y el número de ocasiones que ha observado cada área representados mediante barras en el eje izquierdo.



**Ilustración 4.17:** Comparativa entre los segundos y número de fijaciones realizadas en cada área analizada

Gracias a dicha ilustración se observa de forma sintetizada las similitudes y diferencias existentes entre ambos grupos de participantes. La primera disparidad se da en el mayor número de fijaciones realizadas por el Grupo Control en todas las áreas respecto al Grupo Clínico, ya que al no presentar dificultades en las habilidades sociales el tiempo que el EyeTracker recoge información cuando están jugando es mayor. La segunda diferencia se da en los tiempos dedicados en cada región. En ambos casos predomina la región inferior y presentan un comportamiento similar. Sin embargo se produce una ligera desviación en la región derecha ya que el Grupo Control presta más atención a esta área que el Grupo Clínico. Este hecho está relacionado con el soporte visual que aparece en los Niveles 1 y 3, siendo imprescindible mirar dicho soporte en el último nivel por alternarse cada 30 segundos.

### 2. Resultados de la información cuando el juego está parado

En esta sección se analiza la exploración con la mirada de la pantalla cuando se ha producido una orden de parada en el juego. Esta información hace referencia sólo a cuando está mirando la pantalla, ya que una vez que el usuario busca la interacción con el responsable el dispositivo EyeTracker deja de registrar información útil.

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

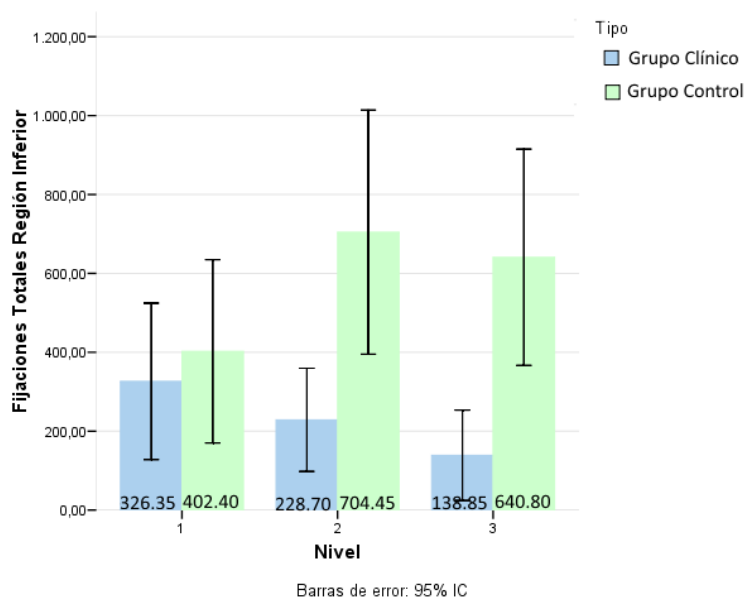
##### (a) Región izquierda

La primera región a analizar corresponde con la región izquierda de la pantalla.

En la tabla 4.19 se exponen los indicadores estadísticos y en la ilustración 4.18, se observan las diferencias que existen entre el número de fijaciones realizadas entre el Grupo Control y Grupo Clínico..

**Tabla 4.19:** Posiciones medias en la región izquierda obtenidas por los dos grupos tras una parada del sistema

Nivel	Grupo	Evento.	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	Pos.X	-57,30	4,25	-382,72	47,33	0,00	-47,27
		Pos.Y	97,08	402,49	-6,93	44,92	0,00	95,95
	G. Control	Pos.X	-73,81	4,41	-280,21	43,76	-171,90	-47,17
		Pos.Y	137,74	340,31	0,00	46,18	0,00	138,81
Nivel 2	G. Clínico	Pos.X	-57,12	4,42	-67,63	38,95	0,00	-50,80
		Pos.Y	101,19	369,63	-2,92	42,87	0,00	84,18
	G. Control	Pos.X	-66,76	4,06	-277,72	47,17	0,00	-50,93
		Pos.Y	146,60	349,44	0,00	32,14	0,00	145,81
Nivel 3	G. Clínico	Pos.X	-38,08	4,47	-305,49	28,65	0,00	-15,84
		Pos.Y	76,81	343,83	-8,53	34,85	0,00	59,39
	G. Control	Pos.X	-58,60	258,91	0,00	38,35	0,00	-50,20
		Pos.Y	142,04	4,69	-288,54	34,36	0,00	148,26



**Ilustración 4.18:** Número de fijaciones realizadas en la región izquierda tras una parada

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

La posición media del Grupo Control cuando se ha producido una parada sugiere que su atención se centra en un área superior de la región izquierda que el Grupo Clínico. En relación a la moda, se han obtenido varios valores pero sólo se muestran los valores más pequeños.

En cuanto al número de fijaciones la mayor diferencia se da en los Niveles 2 y 3, dónde en el Nivel 3 no superan las 70 fijaciones en el área. Este resultado puede verse afectado porque existen participantes que no han logrado superar el nivel, dejando de prestar atención a la pantalla.

### (b) Región Derecha

La tabla 4.20 muestra los valores de los indicadores de la región derecha de la pantalla durante los tres niveles de dificultad. Se aprecia como la posición media de la mirada del Grupo Control está dirigida más hacia el extremo que el Grupo Clínico. Como en el caso anterior, existe más de una moda pero sólo se refleja la moda más pequeña.

**Tabla 4.20:** Posiciones medias en la región derecha obtenidas por los dos grupos tras una parada del sistema

Nivel	Grupo	Evento.	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	Pos.X	72,42	367,55	0,00	48,00	0,00	65,81
		Pos.Y	109,00	356,30	8,63	46,56	0,00	106,32
	G. Control	Pos.X	100,86	410,16	0,00	75,66	0,00	87,94
		Pos.Y	134,55	414,57	9,61	56,97	0,00	144,23
Nivel 2	G. Clínico	Pos.X	69,26	413,79	0,00	52,85	0,00	47,91
		Pos.Y	98,01	401,83	7,97	46,49	0,00	113,42
	G. Control	Pos.X	96,32	412,19	0,00	69,84	0,00	87,70
		Pos.Y	116,46	358,37	9,44	41,74	0,00	116,94
Nivel 3	G. Clínico	Pos.X	97,41	408,52	0,00	59,76	0,00	78,23
		Pos.Y	110,29	446,30	5,31	40,28	0,00	107,39
	G. Control	Pos.X	128,08	407,37	0,00	74,53	0,00	118,51
		Pos.Y	154,63	318,85	4,22	47,08	0,00	171,40

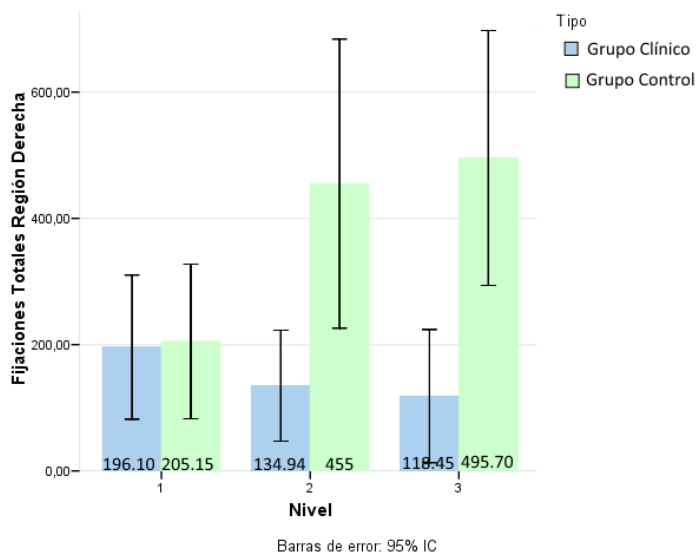
En cuanto al número de fijaciones en este área (ver Ilustración 4.19), en el Nivel 1 no se aprecian diferencias entre ambos grupos, sin embargo, en los niveles 2 y 3 esta diferencia aumenta de forma drástica al igual que ocurre en el área izquierda.

### (c) Región Superior

En la tabla 4.21 se exponen los indicadores estadísticos de la región superior.

En esta ocasión se aprecia que puede haber diferencias en la exploración del eje horizontal, ya que el Grupo Clínico lo realiza más hacia la izquierda que el Grupo Control.

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS



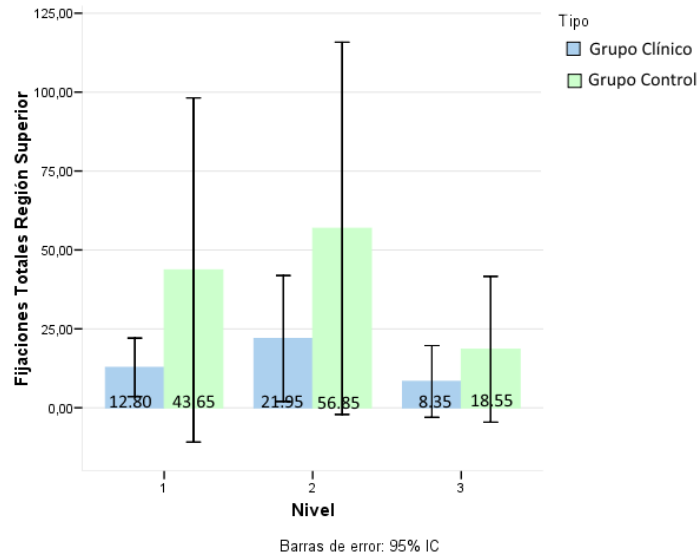
**Ilustración 4.19:** Número de fijaciones realizadas en la región derecha tras una parada

**Tabla 4.21:** Posiciones medias en la región superior obtenidas por los dos grupos tras una parada del sistema

Nivel	Grupo	Evento.	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	Pos.X	39,30	332,00	-361,07	60,88	0,00	0,00
		Pos.Y	147,14	402,49	0,00	12,80	0,00	232,24
	G. Control	Pos.X	18,63	393,41	-250,59	51,85	0,00	0,00
		Pos.Y	185,05	414,57	0,00	10,82	0,00	238,95
Nivel 2	G. Clínico	Pos.X	-6,93	355,66	-276,07	59,10	0,00	0,00
		Pos.Y	177,57	401,83	0,00	17,70	0,00	0,00
	G. Control	Pos.X	-12,95	389,01	-277,72	51,02	0,00	0,00
		Pos.Y	135,13	358,37	0,00	6,88	0,00	225,97
Nivel 3	G. Clínico	Pos.X	21,37	365,21	-274,06	41,92	0,00	0,00
		Pos.Y	130,74	446,30	0,00	14,38	0,00	0,00
	G. Control	Pos.X	91,64	403,30	-260,07	76,26	0,00	51,02
		Pos.Y	175,36	407,21	0,00	10,17	0,00	237,03

En la ilustración 4.20 se analizan las fijaciones realizadas por ambos grupos en el área superior de la pantalla. En esta ocasión, a pesar de que el número de fijaciones sea superior en el caso del Grupo Control, las diferencias entre ambos grupos es menor pudiendo explorar esta región de forma similar.

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema



**Ilustración 4.20:** Número de fijaciones realizadas en la región superior tras una parada

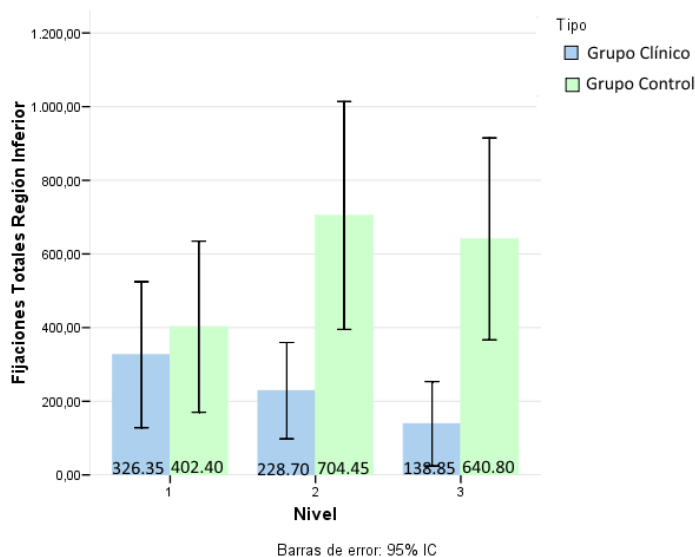
### (d) Región Inferior

Siguiendo la estructura del análisis de los datos provenientes del EyeTracker, la siguiente región analizada corresponde con la región inferior de la pantalla (ver Tabla 4.22 e Ilustración 4.21 ).

**Tabla 4.22:** Posiciones medias en la región inferior obtenidas por los dos grupos tras una parada del sistema

Nivel	Grupo	Evento.	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	Pos.X	11,78	367,55	-382,72	79,55	0,00	2,65
		Pos.Y	90,26	327,77	-8,63	43,45	0,00	114,23
	G. Control	Pos.X	21,74	410,16	-280,21	96,07	-171,11	26,35
		Pos.Y	134,55	275,75	-9,61	49,17	88,19	139,83
Nivel 2	G. Clínico	Pos.X	6,48	413,79	-399,56	73,69	0,00	3,89
		Pos.Y	89,20	311,89	-7,97	42,15	0,00	90,85
	G. Control	Pos.X	38,51	412,19	-265,49	93,96	0,00	21,10
		Pos.Y	117,58	291,23	-9,44	39,60	0,00	118,82
Nivel 3	G. Clínico	Pos.X	38,98	408,52	-305,49	66,03	0,00	17,98
		Pos.Y	89,39	318,98	-8,53	33,18	0,00	96,14
	G. Control	Pos.X	64,89	407,37	-288,54	96,22	-63,88	65,01
		Pos.Y	138,59	361,57	-4,22	40,52	0,00	150,20

## 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS



**Ilustración 4.21:** Número de fijaciones realizadas en la región inferior tras una parada

En esta región se observa como el Grupo Clínico la posición media en el eje vertical se encuentra en la posición media total  $M=93,39$  ( $DT=63,85$ ) mientras el Grupo Control la altura media se sitúa en la  $M=138,59$  ( $DT=647,99$ ). En relación al número de fijaciones en la parte inferior de la pantalla (ver Ilustración 4.21), las diferencias vuelven a incrementar entre los dos grupos participantes. Sin embargo, al compararlo con la región superior ambos grupos, prestan más atención a la región inferior que a la superior.

### (e) Región Central

El último área analizada se corresponde con el área central de la pantalla (ver Tabla 4.23).

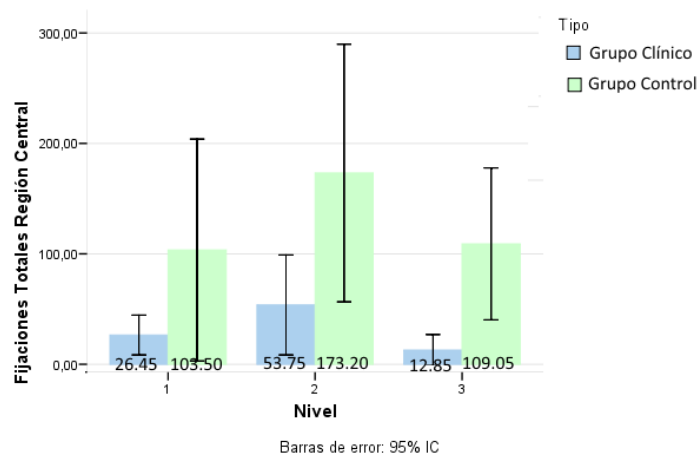
Al analizar las posiciones medias de ambos grupos en la región central de la pantalla se comprueba con el Grupo Clínico tiende a mirar más sobre la parte inferior de la región ( $M_x=-50,81$ ;  $M_y=90,34$ ;  $DT_x=66,56$ ;  $DT_y=118,25$ ) que el Grupo Control ( $M_x=-82,92$ ;  $M_y=158,30$ ;  $DT_x=45,89$ ;  $DT_y=78,37$ ).

En la ilustración 4.22 se aprecia el número medio de fijaciones realizada por cada grupo en el área central, obteniendo de forma similar que en el resto de áreas, un mayor número de fijaciones por parte del Grupo Control que del Grupo Clínico.

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

**Tabla 4.23:** Posiciones medias en la región central obtenidas por los dos grupos tras una parada del sistema

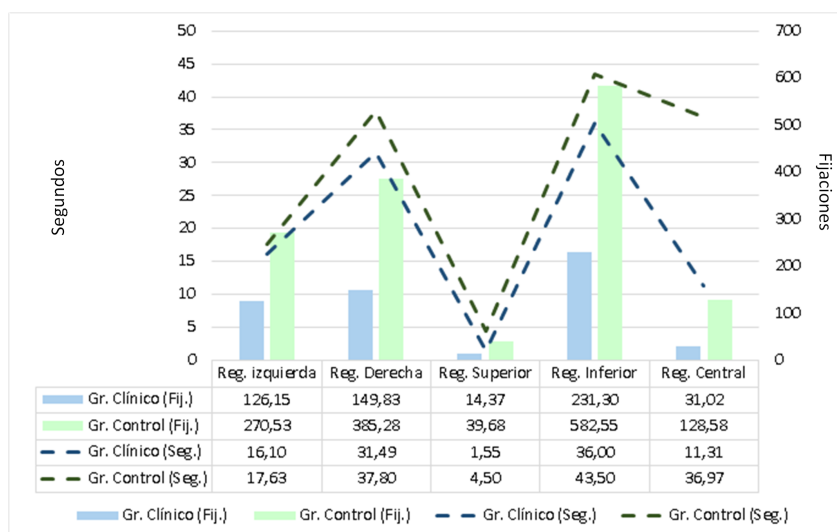
Nivel	Grupo	Evento.	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	G. Clínico	Pos.X	-87,32	0,00	-276,78	30,49	0,00	-96,57
		Pos.Y	125,09	337,15	0,00	23,07	0,00	139,51
	G. Control	Pos.X	-96,48	262,63	0,00	25,72	0,00	-93,82
		Pos.Y	167,60	0,00	-250,59	26,03	0,00	198,37
Nivel 2	G. Clínico	Pos.X	-66,37	0,00	-273,11	23,54	0,00	-82,50
		Pos.Y	125,33	337,68	0,00	23,97	0,00	151,04
	G. Control	Pos.X	-98,00	0,00	-277,72	25,43	0,00	-93,59
		Pos.Y	145,56	336,47	0,00	18,38	0,00	178,20
Nivel 3	G. Clínico	Pos.X	-50,82	0,00	-274,06	15,01	0,00	0,00
		Pos.Y	90,34	332,39	0,00	16,28	0,00	0,00
	G. Control	Pos.X	-82,93	0,00	-281,60	28,67	0,00	-86,27
		Pos.Y	158,31	361,57	0,00	21,49	0,00	173,70



**Ilustración 4.22:** Número de fijaciones realizadas en la región central tras una parada

La información obtenida en cuanto al tiempo y número de fijaciones llevadas a cabo por cada grupo a lo largo del juego se refleja de forma resumida en la Ilustración 4.23. Esta ilustración muestra en el eje de la izquierda los segundos empleados en cada región que vienen representados en forma de líneas discontinuas y en el eje derecho la media de las fijaciones realizadas, representadas en forma de barra.

## 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

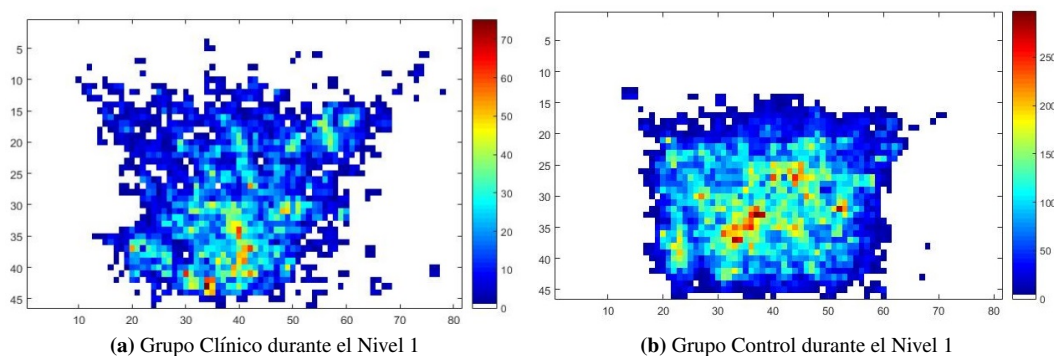


**Ilustración 4.23:** Resumen del número de fijaciones realizadas y tiempo empleado tras una parada

En la ilustración se comprueba como a pesar de que el número de fijaciones y los tiempos sean diferentes, ambos grupos emplean el mayor tiempo de la exploración en la región inferior de la pantalla tras producirse una parada en el juego.

### 3. Mapas de calor

A continuación, se muestran los mapas de calor generados por los dos grupos de control. La Ilustración 4.24 muestra el mapa de calor de los dos grupos participantes durante el Nivel 1.



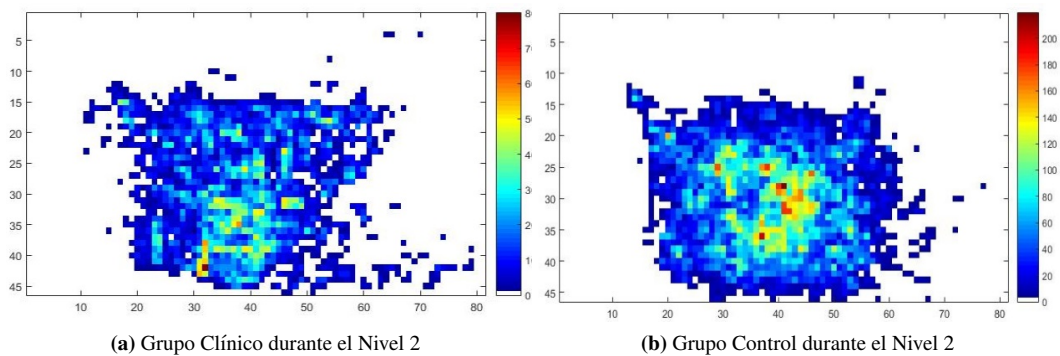
**Ilustración 4.24:** Mapa de calor Nivel 1

La ilustración 4.24a se corresponde con la exploración realizada por el Grupo Clínico y la ilustración 4.24b al Grupo Control. Como se ha analizado anteriormente se comprueba como

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

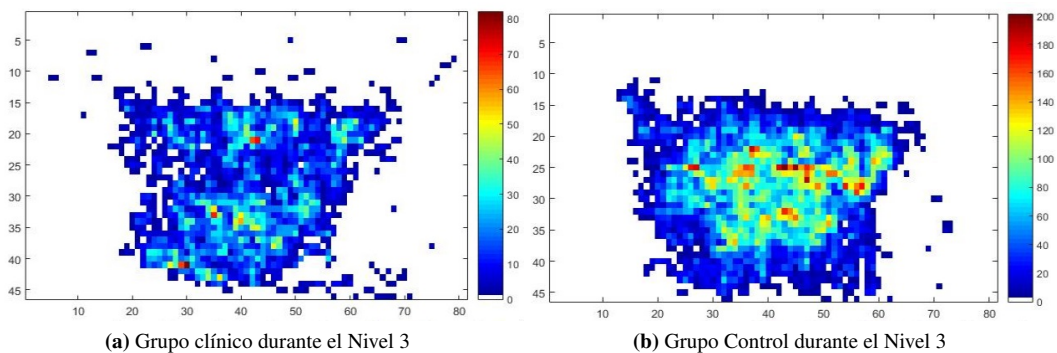
la exploración del Grupo Control es más homogénea presentando las mayores fijaciones en la parte central de la pantalla.

En la Ilustración 4.25 se comprueba las diferencias existentes entre el Grupo Control y Grupo Clínico al realizar la exploración de la pantalla durante el Nivel 2.



**Ilustración 4.25:** Mapa de calor Nivel 2

Por último, la ilustración 4.26 expone los mapas de calor generados durante el nivel 3.



**Ilustración 4.26:** Mapa de calor Nivel 3

En el último nivel, el Grupo Control realiza la exploración centrándose más en la parte derecha superior de la pantalla, coincidiendo con el soporte visual que aparece durante este nivel (ver Ilustración 4.26a).

El Grupo Clínico a pesar de fijarse en esta región se observa como su atención se centra más en la región central inferior, además presenta un foco de fijación en la parte central superior (ver ilustración 4.26b).

## 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

---

### **Conclusiones**

Esta sección se ha encargado de recoger los indicadores estadísticos provenientes de los datos del dispositivo hardware EyeTracker. Se han analizado tanto las posiciones de la mirada, como el número de fijaciones y tiempo dedicado a cada región de la pantalla.

Tanto el Grupo Control como el Grupo Clínico presentan un comportamiento similar a la hora de realizar las fijaciones en las diferentes regiones y el tiempo dedicado a ella. Sin embargo, al comparar los resultados de ambos se el número de fijaciones por parte del Grupo Control es superior en todas las regiones a las realizadas por el Grupo Clínico, y por tanto el tiempo dedicado a cada una de ellas.

Como se ha comentado a lo largo de esta sección una de las principales razones de que suceda este hecho está relacionado con las habilidades sociales que presentan cada grupo, es decir, cuanto más tiempo tarde el jugador en interaccionar menos tiempo dedicará a seleccionar objetos.

*Los indicadores del set del EyeTracker hacen referencia al modo de exploración de la pantalla con objetos inanimados y en movimiento. A pesar de poder encontrarse diferencias significativas, ambos grupos se comportan de forma similar a la hora de fijarse en las regiones analizadas, obteniéndose una mayor fijación en el área inferior que en el resto de áreas por ambos grupos.*

#### 4.2.1.4 Conclusiones

La primera fase del módulo de validación es la encargada de transformar la información en bruto obtenida durante el juego en los indicadores estadísticos que van a permitir detectar los patrones de cada grupo en los módulos posteriores.

Para ello, se generan tres conjuntos de indicadores, el primero de ellos con información referente a la interacción con el responsable (S1), permitiendo evaluar la comunicación entre jugador y responsable; el segundo con indicadores sobre la interacción con el sistema (S2), con el fin de analizar la memoria y la atención visual y por último, el modo exploratorio que presenta cada grupo de la pantalla (S3), para poder determinar el patrón de mirada de cada uno de ellos. A continuación se resaltan las conclusiones más importantes de cada set de indicadores.

*El Grupo Clínico emplean un tiempo mayor en interactuar con el responsable de la sesión que el Grupo Control. Sin embargo, es importante señalar que en la comunicación supera el contacto visual a la comunicación mediante gestos o palabras reduciendo este tiempo a medida que avanzan los niveles del juego, suponiendo un impulso a la mejora de las habilidades sociales. En relación a la interacción con el sistema, el Grupo Control realiza un número mayor de intentos a la hora de conseguir los elementos que el Grupo Clínico, pudiendo estar relacionado con el tiempo que tardan en solicitar ayuda y continuar jugando. Asimismo, se detecta cómo el Grupo Clínico no explora de forma completa la pantalla ya que las fijaciones a los extremos de las pantallas son muy bajas centrando su atención en la parte más baja de la imagen*

### 4.2.2 B- Procesado

Esta sección tiene como objetivo la consecución de los indicadores críticos significativos que ayudarán a la detección precoz del autismo, construyendo gracias a éstos el “TEAgrama” donde se mostrará la tendencia de ambos grupos.

#### 4.2.2.1 1º Fase: Análisis Estadístico

Como se ha comentado en el apartado del Diseño, en esta fase se han implementado diferentes algoritmos estadísticos para obtener el conjunto de indicadores significativos.

Para poder realizar una selección correcta de estos algoritmos es imprescindible determinar la naturaleza de estas características y su normalidad.

Para ello, los datos han sido procesados mediante el test de Shapiro-Wilk con un intervalo de confianza del 95 % [EBW<sup>+</sup>15]. Ya que los resultados obtenidos son inferiores al 0.05 y por tratarse de dos grupos independientes se ha optado por la utilización de los tests no paramétricos, Mann-Whitney [MW47] y Wilcoxon [Wil45]. En esta fase se seleccionan los indicadores significativos ( $p < 0.05$ ) y son ordenados de forma ascendente por su valor de significancia [RBGLRD13]. El conjunto resultante de cada set de indicadores es la entrada del siguiente módulo de selección de características.

#### 1. Set Indicadores Significativos Interacción con los responsables (S1')

Para calcular el set S1', se parte de la información proveniente del Set de interacción con los responsables (S1).

Para ello, al igual que en la “Configuración Preliminar”, se han analizado los resultados de los test Mann-Whitney y Wilcoxon dividiendo la información en cinco bloques dependiendo del tipo de interacción registrada.

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

##### *1-Tiempo de interacción con el responsable desde que se produce una parada por el sistema.*

En la tabla 4.24 se exponen los resultados obtenidos tras realizar el test no paramétrico, resaltando los resultados significativos ( $p < 0.05$ ). Según los resultados del test aplicados a los indicadores relacionados con el tiempo empleado por los usuarios tras una parada provocada por el sistema, existen diferencias significativas en los 6 indicadores durante el primer nivel. Tanto en el primer nivel ( $Z = -3,60$ ;  $p < 0.05$ ) como en el segundo nivel ( $Z = -2,84$ ;  $p < 0.05$ ), el tiempo medio de reacción presenta diferencias pudiendo surgir ya que es en este instante donde comienza a realizarse las paradas de forma automática.

**Tabla 4.24:** Tiempo de interacción con el responsable desde que se produce una parada por el sistema.

Nivel	Estadístico	Tiempo Medio	Tiempo Max	Tiempo Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	67,00	80,00	40,00	116,00	73,50	49,00
	W de Wilcoxon	277,00	290,00	250,00	326,00	283,50	259,00
	Z	-3,60	-3,25	-4,33	-2,27	-3,42	-4,08
	Sig. Asintót	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Nivel 2	U de Mann-Whitney	83,00	128,00	88,00	153,00	94,00	162,00
	W de Wilcoxon	293,00	338,00	298,00	363,00	304,00	372,00
	Z	-2,84	-1,95	-3,03	-1,04	-2,87	-1,03
	Sig. Asintót	0,00	0,05	0,00	0,30	0,00	0,30
Nivel 3	U de Mann-Whitney	119,00	194,00	98,00	172,00	89,50	184,00
	W de Wilcoxon	329,00	404,00	308,00	343,00	299,50	394,00
	Z	-1,55	-0,16	-2,76	-0,23	-2,99	-0,43
	Sig. Asintót	0,12	0,87	0,01	0,82	0,00	0,66

El Grupo Control al no presentar alteraciones en el área de las habilidades sociales, solicitan ayuda de forma más rápida (Nivel 1 :  $M = 5.56$ ;  $DT = 3.77$ ) que el Grupo Clínico que necesita más tiempo (Nivel 1:  $M = 31.82$ ;  $DT = 3.15$ ) por las dificultades que presentan en las habilidades sociales [DLS15]. En el segundo nivel, a pesar de que el tiempo de reacción empleado por el Grupo Clínico se reduzca, sigue siendo muy superior al empleado por el Grupo Control, vinculado a las alteraciones que presentan en el comportamiento social.

##### *2-Tiempo de interacción tras una orden de parada provocada por una acción del usuario.*

La tabla 4.25 muestra los indicadores significativos y no significativos relacionados con el tiempo empleado por los usuarios cuando existe una orden de parada producida por una acción del jugador.

Como se puede observar en el nivel 2 y nivel 3, todos los indicadores menos las desviaciones típicas han obtenido un valor de  $p < 0.005$ , lo que lleva a rechazar la hipótesis nula que plantea

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

**Tabla 4.25:** Tiempo de interacción tras una orden de parada provocada por una acción del usuario

Nivel	Estadístico	Tiempo Medio	Tiempo Max	Tiempo Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 2	U de Mann-Whitney	68,00	121,00	63,00	117,00	94,00	84,00
	W de Wilcoxon	278,00	331,00	273,00	307,00	304,00	294,00
	Z	-3,43	-2,14	-3,71	-1,85	-2,87	-3,14
	Sig. Asintót	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,00
Nivel 3	U de Mann-Whitney	27,00	107,50	28,00	129,00	49,00	92,00
	W de Wilcoxon	237,00	317,50	238,00	339,00	259,00	302,00
	Z	-4,58	-2,50	-4,65	-1,25	-4,08	-2,92
	Sig. Asintót	0,00	0,01	0,00	0,21	0,00	0,00

como ambos grupos emplean el mismo tiempo en comunicarse con los responsables tras una parada, ya que los segundos que necesitan los integrantes del Grupo Clínico durante los tres niveles ( $M_{total}=36,77$ ,  $DT=41,80$ ) es significativamente mayor ( $Z=-6,008$ ,  $p<0,00$ ) que el Grupo Control ( $M_{total}=8,78$ ,  $DT=5,75$ ).

Debido a que no se han registrado paradas provocadas por acciones del Grupo Control durante el Nivel 1, no es posible realizar la prueba de Mann-Whitney. Por esta razón no se han contemplado en el set S2' manteniendo el mismo criterio para todos los indicadores.

### 3- Tiempo Interacción con contacto visual

El siguiente bloque de indicadores analizado está relacionado con el tiempo empleado por ambos grupos cuando la interacción se ha ejecutado mediante contacto visual.

Como recoge la tabla 4.26, el Grupo Clínico requiere de un número significativamente mayor de segundos ( $M_{total}= 14,94$ ,  $DT= 20,14$ ) en solicitar ayuda mirando a los ojos al responsable que el Grupo Control ( $M_{total}= 3,62$ ,  $DT= 2,11$ ); así como en el tiempo mínimo empleado, en el tiempo de reacción que más se repite por parte de los participantes y en los segundos en la posición central.

Estos resultados pueden darse debido al patrón atípico de mirada detectado por diversos autores en los que muestran cómo la exploración se centra más en la boca que en los ojos [KHHD11],[SCBS08]. Esto conlleva a que el Grupo Clínico requiera de un tiempo mayor hasta producir el contacto visual.

### 4- Tiempo Interacción Sin Contacto Visual

Este apartado analiza las diferencias significativas que existen entre ambos grupos a la hora de comunicarse mediante gestos o palabras, en concreto en el tiempo requerido en la interacción.

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

**Tabla 4.26:** Resultados Test Mann-Whitney del tiempo con contacto visual

Nivel	Estadístico	Tiempo Medio	Tiempo Max	Tiempo Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	67,00	169,00	98,00	133,00	116,00	109,00
	W de Wilcoxon	277,00	379,00	308,00	343,00	326,00	319,00
	Z	-3,14	-0,84	-2,76	-1,83	-2,27	-2,46
	Sig. Asintót	0,00	0,40	0,01	0,07	0,02	0,01
Nivel 2	U de Mann-Whitney	35,00	143,00	69,00	165,00	96,00	103,00
	W de Wilcoxon	245,00	353,00	279,00	375,00	306,00	313,00
	Z	-4,11	-1,54	-3,54	-0,70	-2,81	-2,63
	Sig. Asintót	0,00	0,12	0,00	0,48	0,00	0,01
Nivel 3	U de Mann-Whitney	28,00	191,00	103,00	174,00	134,00	109,00
	W de Wilcoxon	238,00	401,00	313,00	384,00	344,00	319,00
	Z	-4,07	-0,24	-2,63	-0,71	-1,79	-2,46
	Sig. Asintót	0,00	0,81	0,01	0,48	0,07	0,01

Como se expone en la tabla 4.27 el tiempo medio sólo presenta diferencias relevantes en el Nivel 3 siendo como es de esperar mayor por parte del Grupo Clínico (M=28.17, DT=3.04).

**Tabla 4.27:** Tiempo sin contacto visual

Nivel	Estadístico	Tiempo Medio	Tiempo Max	Tiempo Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	25,00	105,50	122,50	120,00	115,50	115,50
	W de Wilcoxon	40,00	315,50	332,50	330,00	325,50	325,50
	Z	-0,74	-2,80	-2,30	-3,10	-2,50	-2,50
	Sig. Asintót	0,46	0,01	0,02	-	0,01	0,01
Nivel 2	U de Mann-Whitney	37,00	95,50	104,00	133,00	112,00	109,50
	W de Wilcoxon	65,00	305,50	314,00	343,00	322,00	319,50
	Z	-1,09	-2,96	-2,72	-2,01	-2,50	-2,57
	Sig. Asintót	0,27	0,00	0,01	0,04	0,01	0,01
Nivel 3	U de Mann-Whitney	8,00	55,00	62,00	74,50	65,00	63,00
	W de Wilcoxon	18,00	265,00	272,00	284,50	275,00	273,00
	Z	-2,27	-4,19	-3,99	-3,83	-3,90	-3,96
	Sig. Asintót	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Sin embargo, el resto de indicadores presentan diferencias significativas como por ejemplo en el tiempo máximo y mínimo empleado en interaccionar con el responsable de la sesión. Estos resultados siguen la línea de las limitaciones que presentan en las habilidades sociales las personas con TEA.

Los resultados de la tabla 4.28 muestran como las diferencias significativas se encuentran no solo en los tiempos de interacción sino en el modo en que ambos grupos solicitan ayuda para reanudar el juego (Contacto visual: Mtotal=10.16, DT=6,12; Sin contacto visual: Mto-

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

tal=0,51; DT=1,06 ) y el Grupo Clínico(Contacto visual: Mtotal=3,61, DT=3,80; Sin contacto visual: Mtotal=2,23; DT=2,32).

**Tabla 4.28:** Tipo de interacción

Nivel	Estadístico	Contacto Visual	Sin Contacto Visual
Nivel 1	U de Mann-Whitney	42,00	100,00
	W de Wilcoxon	252,00	310,00
	Z	-4,39	-3,00
	Sig. Asintót	0,00	0,003
Nivel 2	U de Mann-Whitney	52,00	117,00
	W de Wilcoxon	262,00	327,00
	Z	-4,01	-2,36
	Sig. Asintót	0,00	0,018
Nivel 3	U de Mann-Whitney	31,50	61,50
	W de Wilcoxon	241,50	271,50
	Z	-4,57	-4,01
	Sig. Asintót	0,00	0,00

Como se ha mostrado en los resultados de la fase de Configuración Preliminar, el número de interacciones realizado mediante contacto visual es superior por parte del Grupo Control, ocurriendo de forma contraria en la interacción mediante comunicación verbal o gestual. Sin embargo, se puede destacar dentro del Grupo Clínico como ha predominado el contacto visual a la hora de solicitar ayuda.

### 5- Tiempo total de interacción.

Por último, se ha realizado el test Mann-Whitney a los indicadores relacionados con el tiempo total que han necesitado los jugadores a la hora que solicitar ayuda (ver Tabla 4.29).

### Conclusiones

Este apartado analiza mediante test no paramétricos los indicadores objetivos del Set de interacción con los responsables, seleccionando sólo aquellos cuyas diferencias significativas son menores a 0.05.

Se ha podido comprobar, cómo todos los indicadores relacionados con el tiempo total utilizados para interactuar con los responsables son significativos, llegando a ser en todas las ocasiones superior por parte del Grupo Clínico que por el Grupo Control.

Un hecho importante a señalar es que a pesar de que existan diferencias en el modo de solicitar ayuda entre ambos grupos ya que el Grupo Control realiza interacciones mínimas sin contacto

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

**Tabla 4.29:** Tiempo medio total empleado

Nivel	Estadístico	Tiempo Medio	Tiempo Max	Tiempo Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	56,00	59,00	48,00	72,00	92,00	46,00
	W de Wilcoxon	266,00	269,00	258,00	282,00	302,00	256,00
	Z	-3,90	-3,81	-4,11	-3,46	-2,92	-4,17
	Sig. Asintót	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nivel 2	U de Mann-Whitney	31,00	56,00	61,00	67,00	61,00	34,00
	W de Wilcoxon	241,00	266,00	271,00	277,00	271,00	244,00
	Z	-4,57	-3,90	-3,76	-3,60	-3,76	-4,49
	Sig. Asintót	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nivel 3	U de Mann-Whitney	26,00	90,00	84,00	97,00	51,50	46,00
	W de Wilcoxon	236,00	300,00	294,00	307,00	261,50	256,00
	Z	-4,61	-2,98	-3,14	-2,61	-4,02	-4,17
	Sig. Asintót	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00

visual, en el caso del Grupo Clínico ha predominado a lo largo de los tres niveles de dificultad la interacción con contacto visual frente a la comunicación verbal o gestual. Asimismo, al comparar los tiempos de comunicación según el tipo de interacción por parte del el Grupo Clínico, se ha comprobado como los tiempos se van reduciendo, sugiriendo que los participantes han comprendido que cuanto más rápido se pida ayuda al responsable mirando a los ojos, antes pueden volver a jugar. De este análisis por tanto se puede concluir con:

*Los resultados del test señalan cómo existen diferencias significativas en las habilidades sociales entre el Grupo Control y Grupo Clínico. Estas diferencias vienen dadas tanto en los tiempos superiores que los participantes diagnosticados con TEA necesitan como en el modo de realizar la interacción.*

#### 2. Set Indicadores Significativos Interacción con el sistema (S2')

A continuación se exponen los resultados tras analizar mediante el test Mann-Whitney y Wilcoxon las características que componen el set S2 con el fin de obtener el Set S2' con aquellos indicadores significativos.

Para ello, se ha realizado una agrupación similar de información que en la configuración preliminar.

##### *1-Puntuaciones obtenidas por los jugadores*

Los primeros indicadores analizados están relacionados con las puntuaciones obtenidas por los dos grupos en los 3 niveles de dificultad, analizando para ello, los aciertos y los errores.

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

Tras analizar los resultados obtenidos se rechaza la hipótesis nula (ver Tabla 4.30) de que ambos grupos realizan el mismo número de aciertos y de errores ya que se comprueba como existen diferencias significativa entre las puntuaciones obtenidas ( $p < 0.05$ ), cometiendo más aciertos y errores el Grupo Control (Mtotal aciertos=79,41; DT aciertos=22,38; Mtotal errores=17,15 , DT errores= 13,43) que el Grupo Clínico (Mtotal aciertos=24,25 DT aciertos= 22,38 ; Mtotal errores=6,91, DT errores=7,33).

**Tabla 4.30:** Estadísticos de contraste

Niveles		Aciertos	ErroresN1
Nivel 1	U de Mann-Whitney	28,00	118,50
	W de Wilcoxon	238,00	328,50
	Z	-4,65	-2,21
	Sig. asintót.	0,00	0,03
Nivel 2	U de Mann-Whitney	26,00	97,50
	W de Wilcoxon	236,00	307,50
	Z	-4,71	-2,79
	Sig. asintót.	0,00	0,01
Nivel 3	U de Mann-Whitney	35,50	83,50
	W de Wilcoxon	245,50	293,50
	Z	-4,45	-3,17
	Sig. asintót.	0,00	0,00

Estos resultados están correlacionados negativamente (ver tabla 4.31) ya que el Grupo Clínico al emplear más tiempo en solicitar ayuda poseen menos tiempo para realizar un mayor número de aciertos ( $\sigma = -0.67$ ,  $p < 0.05$ ) o de errores ( $\sigma = -0.46$ ,  $p < 0.05$ ) (ver Ilustración 4.27).

**Tabla 4.31:** Correlación entre el tiempo medio de interacción y la puntuación

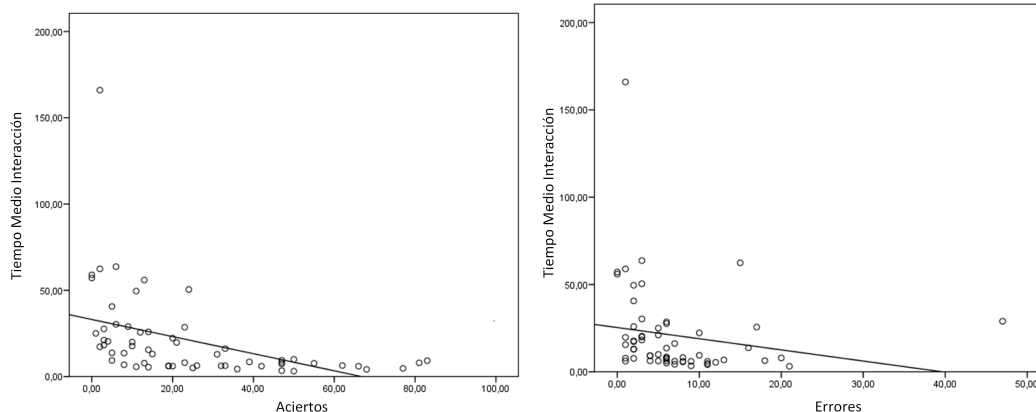
Coeficiente		Aciertos	Errores
$\tau$ de Kendall	Tiempo medio	-0,47	-0,34
	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral)	0,00	0,00
$\sigma$ de Spearman	Tiempo medio	-0.67	-0.46
	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral)	0,00	0,00

### 2- Posiciones medias obtenidas

De las posiciones generadas por el contacto del puntero con la pantalla táctil se ha obtenido la siguiente información (ver tabla 4.32 y tabla 4.33).

En cuanto al eje horizontal (ver Tabla 4.32), sólo se aprecian diferencias significativas en la posición mínima durante los tres niveles del juego y en la posición máxima en el Nivel 2. La posición media mínima del Grupo Control está orientada a la parte izquierda de la pantalla (MTotal=93,80; DT= 70,92) mientras que el Grupo Clínico la posición media mínima se

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS



(a) Correlación entre el tiempo empleado y los aciertos

(b) Correlación entre el tiempo empleado y los errores

**Ilustración 4.27:** Correlación entre el tiempo medio necesitado para solicitar ayuda y las puntuaciones obtenidas

encuentra más hacia la parte derecha ( $MT_{Total}=235,27$ ;  $DT= 219,35$ ), determinando como el área de selección de los objetos en el eje horizontal es mayor por parte del Grupo Control.

**Tabla 4.32:** Posiciones X obtenidas por los dos grupos

Nivel	Estadístico Correcto	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	126,00	195,50	121,50	143,00	132,00	160,00
	W de Wilcoxon	336,00	405,50	331,50	353,00	342,00	370,00
	Z	-2,00	-0,12	-2,12	-1,54	-1,84	-1,08
	Sig. Asintót	0,05	0,90	0,03	0,12	0,07	0,28
Nivel 2	U de Mann-Whitney	175,00	112,50	112,00	120,00	188,00	193,50
	W de Wilcoxon	365,00	322,50	322,00	310,00	398,00	403,50
	Z	-0,42	-2,37	-2,38	-1,97	-0,32	-0,18
	Sig. Asintót	0,67	0,02	0,02	0,05	0,75	0,86
Nivel 3	U de Mann-Whitney	147,00	158,00	78,00	143,00	147,00	165,00
	W de Wilcoxon	357,00	348,00	288,00	333,00	357,00	375,00
	Z	-1,21	-0,90	-3,15	-1,09	-1,21	-0,70
	Sig. Asintót	0,23	0,37	0,00	0,27	0,23	0,48

Al analizar el eje vertical (ver Tabla 4.33), se comprueba que el Grupo Control selecciona los objetos a una altura significativamente menor que el Grupo Clínico tanto en el Nivel 3. Esto se debe a que el Grupo Control realiza un número mayor de interacciones que el Grupo Clínico y durante el último nivel procuran seleccionar todos los objetos posibles antes

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

**Tabla 4.33:** Posiciones Y obtenidas por los dos grupos

Nivel	Estadístico Correcto	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	196,00	156,50	89,00	170,00	133,50	184,00
	W de Wilcoxon	406,00	366,50	299,00	380,00	343,50	394,00
	Z	-0,11	-1,18	-3,00	-0,81	-1,80	-0,43
	Sig. Asintót	0,91	0,24	0,00	0,42	0,07	0,67
Nivel 2	U de Mann-Whitney	175,00	86,00	148,50	171,00	157,50	185,00
	W de Wilcoxon	385,00	296,00	358,50	361,00	367,50	395,00
	Z	-0,42	-3,08	-1,39	-0,53	-1,15	-0,41
	Sig. Asintót	0,67	0,00	0,16	0,59	0,25	0,68
Nivel 3	U de Mann-Whitney	42,00	180,00	76,50	132,00	81,00	39,00
	W de Wilcoxon	252,00	390,00	286,50	322,00	291,00	249,00
	Z	-4,16	-0,28	-3,19	-1,42	-3,06	-4,24
	Sig. Asintót	0,00	0,78	0,00	0,16	0,00	0,00

de que desaparezcan de la pantalla independientemente de si se realiza de forma correcta o incorrecta. Ocurre de forma similar en el Nivel 1 dónde la altura mínima del Grupo Control (M=59,15; DT= 43,38) es significativamente menor que la del Grupo Clínico (M=180,15; DT=128,64).

Sin embargo, en el Nivel 2, las diferencias están relacionadas con la altura máxima dónde los jugadores seleccionan los objetos siendo significativamente mayor la altura máxima del Grupo Control (M=982,60; DT=54,34) que del Grupo Clínico (M=786,65; DT=289,58). Este hecho puede estar sujeto a la anticipación del Grupo Control ante la aparición de los objetos en la pantalla.

Una vez analizada la información genérica sobre el modo exploratorio de la pantalla mediante el puntero, se comprueban las diferencias de comportamiento entre los eventos correctos e incorrectos.

### 3-Posiciones Correctas

En las tablas 4.34 y 4.35 se resaltan los indicadores significativos vinculados a las posiciones X e Y respectivamente, en las cuales los usuarios han seleccionado un objeto de forma correcta.

Al comprobar los resultados del eje horizontal, se han localizado diferencias significativas en las posiciones mínimas en los Niveles 1 (Grupo Control: M=132,45; DT= 182,35 ; Grupo Clínico:M=287,80; DT=245,87) y Nivel 3 (Grupo Control: M=406,70; DT= 375,78 ; Grupo

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Clínico:  $M=591,47$ ;  $DT=378,22$ ) siendo en ambos casos la posición mínima del Grupo Control la más orientada a la sección izquierda de la pantalla, pudiendo estar relacionado con el modo de exploración natural de las personas con neurodesarrollo.

**Tabla 4.34:** Posiciones X correctas obtenidas por los dos grupos

Nivel	Estadístico Correcto	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	122,00	183,50	123,50	153,00	182,00	147,00
	W de Wilcoxon	332,00	393,50	333,50	363,00	392,00	357,00
	Z	-1,91	-0,45	-2,07	-1,27	-0,49	-1,43
	Sig. Asintót	0,06	0,66	0,04	0,20	0,63	0,15
Nivel 2	U de Mann-Whitney	171,00	102,00	131,00	93,00	103,00	144,00
	W de Wilcoxon	361,00	312,00	341,00	246,00	313,00	354,00
	Z	-0,53	-2,65	-1,87	-2,17	-2,62	-1,52
	Sig. Asintót	0,59	0,01	0,06	0,03	0,01	0,13
Nivel 3	U de Mann-Whitney	166,00	154,50	117,00	136,00	171,00	156,50
	W de Wilcoxon	356,00	344,50	327,00	272,00	381,00	346,50
	Z	-0,67	-1,00	-2,05	-0,28	-0,53	-0,94
	Sig. Asintót	0,50	0,32	0,04	0,78	0,59	0,35

En el Nivel 2 se encuentran diferencias pero en la posición máxima donde se seleccionan los objetos de forma correcta, siendo por parte del Grupo Control mayor que por el Grupo Clínico ( $M=1143,5$ ;  $DT=406,84$ ). Esta diferencia indica que la exploración que realiza de la pantalla el Grupo Control es más amplia que la del Grupo Clínico pudiendo estar vinculado con la tendencia de no mirar a los ojos.

**Tabla 4.35:** Posiciones Y correctas obtenidas por los dos grupos

Nivel	Jugador Correcto	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	153,00	152,00	140,00	179,00	161,50	137,00
	W de Wilcoxon	343,00	362,00	350,00	389,00	371,50	347,00
	Z	-1,04	-1,30	-1,62	-0,57	-1,04	-1,70
	Sig. Asintót	0,30	0,19	0,10	0,57	0,30	0,09
Nivel 2	U de Mann-Whitney	181,00	144,00	199,00	127,00	139,00	185,00
	W de Wilcoxon	371,00	354,00	409,00	280,00	349,00	395,00
	Z	-0,25	-1,51	-0,03	-1,09	-1,65	-0,41
	Sig. Asintót	0,80	0,13	0,98	0,27	0,10	0,68
Nivel 3	U de Mann-Whitney	85,00	161,50	86,50	119,00	121,50	94,00
	W de Wilcoxon	295,00	371,50	296,50	290,00	331,50	304,00
	Z	-2,95	-0,80	-2,91	-0,86	-1,92	-2,70
	Sig. Asintót	0,00	0,42	0,00	0,39	0,05	0,01

En cuanto a la altura de los objetos correctos seleccionados sólo se presentan diferencias

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

significativas en el Nivel 3, siendo la altura media inferior en el Grupo Control (M=396,18; DT= 170,59) que la del Grupo Clínico (M=510,37; DT=171,98).

### 3-Posiciones Incorrectas

El último bloque analizado del set de interacción con el sistema hace referencia a las posiciones en las que han seleccionado un objeto de forma incorrecta. En la tabla 4.36 se reflejan los resultados del eje horizontal y en la tabla 4.37 los correspondientes al eje vertical.

**Tabla 4.36:** Posiciones X incorrectas obtenidas por los dos grupos

Nivel	Jugador Correcto	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	174,00	139,00	109,50	144,00	183,00	194,50
	W de Wilcoxon	384,00	349,00	319,50	354,00	393,00	404,50
	Z	-0,70	-1,65	-2,45	-1,51	-0,46	-0,15
	Sig. Asintót	0,48	0,10	0,01	0,13	0,65	0,88
Nivel 2	U de Mann-Whitney	159,00	104,50	118,00	142,00	179,00	189,00
	W de Wilcoxon	330,00	314,50	328,00	352,00	389,00	399,00
	Z	-0,61	-2,58	-2,22	-1,57	-0,57	-0,30
	Sig. Asintót	0,54	0,00	0,03	0,12	0,57	0,77
Nivel 3	U de Mann-Whitney	152,00	136,50	66,50	168,00	146,00	150,00
	W de Wilcoxon	342,00	326,50	276,50	339,00	356,00	360,00
	Z	-0,83	-1,50	-3,47	-0,35	-1,24	-1,12
	Sig. Asintót	0,41	0,13	0,00	0,73	0,22	0,26

De forma similar a lo ocurrido en las posiciones de los eventos correctos, existen diferencias significativas en las posiciones mínimas del eje horizontal dónde han ejecutado un intento de seleccionar objetos, orientando dicha selección a la parte más izquierda de la pantalla el Grupo Control (M=101; DT=53,01) que el Grupo Clínico (M=266,101; DT=267,67), pudiendo volver a estar relacionado con la exploración de las personas sin diagnóstico.

En cuanto al eje vertical se han encontrado diferencias por ejemplo en el Nivel 3, dónde el Grupo Control (M=272,68; DT=59,25) marca los objetos en una posición significativamente inferior que el Grupo Clínico (M=472,27; DT=161,90). Esto se debe a que el Grupo Control realiza un mayor número de intentos durante este nivel por lo que selecciona objetos a lo largo de todo el eje Y.

### Conclusiones

En esta sección se han comprobado las diferencias que existen en el modo de juego entre el Grupo Control y Grupo Clínico en los tres niveles de dificultad.

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

**Tabla 4.37:** Posiciones Y incorrectas obtenidas por los dos grupos

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Moda	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	181,00	129,50	72,00	161,00	135,00	199,00
	W de Wilcoxon	391,00	339,50	282,00	371,00	345,00	409,00
	Z	-0,51	-1,91	-3,46	-1,05	-1,76	-0,03
	Sig. Asintót	0,61	0,06	0,00	0,29	0,08	0,98
Nivel 2	U de Mann-Whitney	175,00	67,00	133,00	158,00	182,50	188,00
	W de Wilcoxon	385,00	277,00	343,00	368,00	392,50	398,00
	Z	-0,15	-3,60	-1,81	-1,14	-0,47	-0,32
	Sig. Asintót	0,88	0,00	0,07	0,26	0,64	0,75
Nivel 3	U de Mann-Whitney	44,00	160,00	64,00	142,00	41,00	61,00
	W de Wilcoxon	234,00	350,00	274,00	352,00	251,00	271,00
	Z	-3,99	-0,84	-3,54	-1,11	-4,19	-3,63
	Sig. Asintót	0,00	0,40	0,00	0,27	0,00	0,00

Las mayores diferencias encontradas entre ambos grupo vienen dadas en las posiciones máximas y mínimas dónde han interactuado con el sistema.

El Grupo Control tiende a abarcar más región de la pantalla, registrando los mínimos más cercanos a la posición 0 del eje horizontal y sus máximas a la posición 19015, ocurriendo de forma similar en el eje vertical. Asimismo, las puntuaciones obtenidas por cada grupo muestran de forma similar diferencias, ya que el Grupo Control realiza una cantidad superior de aciertos como de errores, al procurar seleccionar el mayor número de objetos posibles. Sin embargo, este número se reduce en el Grupo Clínico ya que el tiempo superior empleado tras cada parada, repercute en que el jugador posea menos tiempo de juego.

Por tanto, se puede concluir el análisis de este set de con la siguiente afirmación:

*Se han detectado diferencias en el modo en que el Grupo Clínico captura elementos de la pantalla, abarcando una región significativamente menor que el Grupo Control, así como en el número de errores y aciertos, viéndose afectados y relacionados por el número de segundos que necesitan para interactuar provocando una reducción del tiempo de juego.*

#### 3. Set Indicadores Significativos EyeTracker(S3')

Esta sección se corresponde con el análisis obtenido del Set del EyeTracker, explicando aquellas características significativas y que forman parte del Set de indicadores significativos (S3') que formará parte de la entrada de la segunda fase.

Para ello, se ha analizado la información dividiéndola en los indicadores capturados cuando en la pantalla estaban los objetos y en el periodo de tiempo dónde los elementos han des-

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

aparecido. Para ejecutar el análisis de los indicadores, se mantiene la división de la pantalla en cinco regiones : 1) Región izquierda; 2) Región derecha; 3) Región superior; 4) Región inferior y por último 5) Región central

### Indicadores cuando existen elementos en la pantalla

#### (a) Región izquierda

En la tabla 4.38 se resaltan los indicadores que presentan diferencias significativas en relación al eje horizontal y en la tabla 4.39 los correspondientes al eje vertical de la región izquierda de la pantalla.

**Tabla 4.38:** Posiciones X fijaciones Región Izquierda obtenidas por los dos grupos

Nivel	Estadístico	Pos. Media	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	164,00	188,00	190,00	183,00	147,00
	W de Wilcoxon	374,00	398,00	400,00	393,00	357,00
	Z	-0,97	-0,32	-0,27	-0,46	-1,43
	Sig. Asintót	0,33	0,75	0,79	0,65	0,15
Nivel 2	U de Mann-Whitney	85,00	160,00	120,00	85,00	82,00
	W de Wilcoxon	295,00	370,00	330,00	295,00	292,00
	Z	-3,12	-1,09	-2,17	-3,12	-3,21
	Sig. Asintót	0,001	0,28	0,02	0,00	0,00
Nivel 3	U de Mann-Whitney	85,00	160,00	120,00	85,00	82,00
	W de Wilcoxon	295,00	370,00	330,00	295,00	292,00
	Z	-3,12	-1,09	-2,17	-3,12	-3,21
	Sig. Asintót	0,00	0,28	0,02	0,00	0,00

En relación al eje horizontal (ver tabla 4.38), y siguiendo en concordancia con los resultados obtenidos en las posiciones de los eventos al seleccionar objetos; el Grupo Control (M=-88,15; DT=22,55) muestra la tendencia significativa de explorar la pantalla más desde la izquierda que el Grupo Clínico (M=-65,22; DT=52,33). De esta manera el Grupo Control abarca la mayor parte de la pantalla.

Como se observa en la tabla 4.39 también existen diferencias significativas a la hora de explorar la pantalla en el eje vertical, siendo la posición media significativamente más alta en el Grupo Control (M=183,33; DT=48,44) que el Grupo Clínico (M=131,92; DT=94,87).

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

**Tabla 4.39:** Posiciones Y fijaciones Región Izquierda obtenidas por los dos grupos

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	164,00	188,00	190,00	183,00	147,00
	W de Wilcoxon	374,00	398,00	400,00	393,00	357,00
	Z	-0,97	-0,32	-0,27	-0,46	-1,43
	Sig. Asintót	0,33	0,75	0,79	0,65	0,15
Nivel 2	U de Mann-Whitney	85,00	160,00	120,00	85,00	82,00
	W de Wilcoxon	295,00	370,00	330,00	295,00	292,00
	Z	-3,12	-1,09	-2,17	-3,12	-3,21
	Sig. Asintót	0,001	0,28	0,02	0,00	0,00
Nivel 3	U de Mann-Whitney	85,00	160,00	120,00	85,00	82,00
	W de Wilcoxon	295,00	370,00	330,00	295,00	292,00
	Z	-3,12	-1,09	-2,17	-3,12	-3,21
	Sig. Asintót	0,00	0,28	0,02	0,00	0,00

(b) Región Derecha La siguiente región a examinar corresponde con la región derecha de la pantalla.

La tabla 4.40 presenta los resultados de las posiciones en el eje X.

Las diferencias significativas se dan en las posiciones máximas dentro de la región derecha, teniendo una media de  $M=299,64$  ( $DT=115,06$ ) el Grupo Control frente a la posición media de  $193,10$  ( $DT=143,96$ ) del Grupo Control.

Analizando la posición máxima de la región de la derecha y de la izquierda, se puede sugerir que la exploración de la pantalla del Grupo Control es más amplia que la del Grupo Clínico abarcando prácticamente toda la pantalla.

**Tabla 4.40:** Posiciones X fijaciones Región Derecha obtenidas por los dos grupos

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	196,00	173,00	200,00	178,00	167,00
	W de Wilcoxon	406,00	383,00	410,00	388,00	377,00
	Z	-0,11	-0,73	0,00	-0,60	-0,89
	Sig. Asintót	0,91	0,47	1,00	0,55	0,37
Nivel 2	U de Mann-Whitney	170,00	98,00	151,00	122,00	159,00
	W de Wilcoxon	380,00	308,00	361,00	332,00	369,00
	Z	-0,81	-2,76	-1,33	-2,12	-1,11
	Sig. Asintót	0,42	0,00	0,18	0,03	0,27
Nivel 3	U de Mann-Whitney	170,00	98,00	151,00	122,00	159,00
	W de Wilcoxon	380,00	308,00	361,00	332,00	369,00
	Z	-0,81	-2,76	-1,33	-2,12	-1,11
	Sig. Asintót	0,42	0,00	0,18	0,03	0,27

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

La tabla 4.41 formula los resultados alcanzados tras los tests no paramétricos.

Las diferencias significativas se dan en el Nivel 3 en el que la complejidad es superior, como por ejemplo sucede en la posición media de la exploración en el eje vertical, donde la posición media del Grupo Control se encuentra en la posición 1996,81 (DT=48,08), frente a la posición media de 117,75(DT=101,16). Esto sugiere que el Grupo Control centra más la atención en la parte central de la pantalla.

**Tabla 4.41:** Posiciones Y fijaciones Región Derecha obtenidas por los dos grupos

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	196,00	179,00	183,00	135,00	160,00
	W de Wilcoxon	406,00	389,00	393,00	345,00	370,00
	Z	-0,11	-0,57	-0,46	-1,76	-1,08
	Sig. Asintót	0,91	0,57	0,65	0,08	0,28
Nivel 2	U de Mann-Whitney	179,00	183,00	179,00	135,00	160,00
	W de Wilcoxon	389,00	393,00	389,00	345,00	370,00
	Z	-0,57	-0,46	-0,57	-1,76	-1,08
	Sig. Asintót	0,57	0,65	0,57	0,08	0,28
Nivel 3	U de Mann-Whitney	110,00	149,00	110,00	198,00	113,00
	W de Wilcoxon	320,00	359,00	320,00	408,00	323,00
	Z	-2,44	-1,38	-2,44	-0,05	-2,36
	Sig. Asintót	0,01	0,17	0,01	0,96	0,02

### (c) Región Superior

A continuación se analizan los indicadores pertenecientes a la región superior de la pantalla tanto en el eje horizontal (ver tabla 4.42) como en el eje vertical (ver Tabla 4.43)).

Como se muestra en la tabla 4.42, existen diferencias significativas en la posición mínima del eje horizontal, siendo el Grupo Control los que exploran más a la izquierda.

Sin embargo, no existen diferencias significativas de las posiciones en el eje vertical (ver Tabla 4.43), por lo que la parte superior de la pantalla la exploran de forma similar.

### (d) Región inferior

La tabla 4.44 y la tabla 4.45 exponen los resultados del área inferior de la pantalla, la primera de ellas haciendo referencia al eje X y la segunda al eje Y.

En esta región se encuentran diferencias significativas tanto en la posición máxima como en la posición mínima del eje horizontal (ver tabla 4.44), sucediendo como en los casos

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

**Tabla 4.42:** Posiciones X fijaciones Región Superior obtenidas por los dos grupos

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	158,00	191,00	193,00	178,50	192,00
	W de Wilcoxon	368,00	401,00	403,00	388,50	402,00
	Z	-1,14	-0,24	-0,19	-0,58	-0,22
	Sig. Asintót	0,26	0,81	0,85	0,56	0,83
Nivel 2	U de Mann-Whitney	163,50	141,50	95,50	182,00	103,00
	W de Wilcoxon	373,50	351,50	305,50	392,00	313,00
	Z	-1,00	-1,59	-2,85	-0,49	-2,66
	Sig. Asintót	0,32	0,11	0,00	0,62	0,00
Nivel 3	U de Mann-Whitney	163,50	141,50	95,50	103,00	182,00
	W de Wilcoxon	373,50	351,50	305,50	313,00	392,00
	Z	-1,00	-1,59	-2,85	-2,66	-0,49
	Sig. Asintót	0,32	0,11	0,00	0,00	0,62

**Tabla 4.43:** Posiciones Y fijaciones Región Superior obtenidas por los dos grupos

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	146,00	169,00	155,00	170,50	139,00
	W de Wilcoxon	356,00	379,00	365,00	380,50	349,00
	Z	-1,46	-0,84	-1,22	-0,80	-1,65
	Sig. Asintót	0,14	0,40	0,22	0,42	0,10
Nivel 2	U de Mann-Whitney	146,00	169,00	155,00	170,50	139,00
	W de Wilcoxon	356,00	379,00	365,00	380,50	349,00
	Z	-1,46	-0,84	-1,22	-0,80	-1,65
	Sig. Asintót	0,14	0,40	0,22	0,42	0,10
Nivel 3	U de Mann-Whitney	146,50	150,00	137,00	169,00	141,00
	W de Wilcoxon	356,50	360,00	347,00	379,00	351,00
	Z	-1,46	-1,36	-1,72	-0,85	-1,61
	Sig. Asintót	0,14	0,17	0,09	0,40	0,11

anteriores que el Grupo Control ( $M=267,73$ ;  $DT=96,59$ ) abarca más ancho de pantalla que el Grupo Clínico ( $M=166,09$ ;  $DT=129,69$ ) cubriendo más espectro de elementos.

En cuanto al eje vertical (ver tabla 4.45) sólo se presentan diferencias en la posición media del Nivel 3, donde el Grupo Clínico ( $M=102,43,69$ ;  $DT=79,31$ ) presta más atención en la parte inferior de la pantalla que el Grupo Control ( $M=179,69$ ;  $DT=40,32$ ).

(e) Región Central

La última región analizada cuando existen elementos en la pantalla, está relacionada con la parte central de la pantalla.

La tabla 4.46 resalta aquellos indicadores significativos relativos al eje horizontal de

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

**Tabla 4.44:** Posiciones X fijaciones Región Inferior obtenidas por los dos grupos

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	185,00	111,00	174,00	106,00	175,00
	W de Wilcoxon	395,00	321,00	384,00	316,00	385,00
	Z	-0,41	-2,41	-0,70	-2,54	-0,68
	Sig. Asintót	0,68	0,01	0,48	0,01	0,50
Nivel 2	U de Mann-Whitney	196,00	90,00	114,00	79,00	191,00
	W de Wilcoxon	406,00	300,00	324,00	289,00	401,00
	Z	-0,11	-2,98	-2,33	-3,28	-0,24
	Sig. Asintót	0,91	0,00	0,01	0,00	0,81
Nivel 3	U de Mann-Whitney	196,00	90,00	114,00	79,00	191,00
	W de Wilcoxon	406,00	300,00	324,00	289,00	401,00
	Z	-0,11	-2,98	-2,33	-3,28	-0,24
	Sig. Asintót	0,91	0,00	0,01	0,00	0,81

**Tabla 4.45:** Posiciones Y fijaciones Región Inferior obtenidas por los dos grupos

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	120,00	195,00	176,00	89,00	115,00
	W de Wilcoxon	330,00	405,00	386,00	299,00	325,00
	Z	-2,16	-0,14	-0,65	-3,00	-2,30
	Sig. Asintót	0,03	0,89	0,52	0,00	0,02
Nivel 2	U de Mann-Whitney	120,00	195,00	176,00	89,00	115,00
	W de Wilcoxon	330,00	405,00	386,00	299,00	325,00
	Z	-2,16	-0,14	-0,65	-3,00	-2,30
	Sig. Asintót	0,03	0,89	0,52	0,00	0,02
Nivel 3	U de Mann-Whitney	77,00	145,00	116,00	187,00	76,00
	W de Wilcoxon	287,00	355,00	326,00	397,00	286,00
	Z	-3,33	-1,49	-2,28	-0,35	-3,36
	Sig. Asintót	0,00	0,14	0,02	0,72	0,00

la región central. Se puede observar que las diferencias significativas se presentan en los niveles 2 y 3 cuando al complejidad del juego aumenta. El Grupo Control tanto la posición media, como la posición y mínima se centran más en la parte más izquierda de la región que el Grupo Clínico.

En la tabla 4.47 se analizan los resultados referentes al eje vertical. Se comprueba que el Grupo Control (M=223,21; DT=29,23) explora a una altura significativamente mayor que el Grupo Clínico (M=102,47; DT=111,93)

Además de las posiciones comparadas, se han analizado las diferencias que existen en el tiempo dedicado a cada región así como la cantidad de información capturada en cada región de la

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

**Tabla 4.46:** Posiciones X fijaciones Región Central obtenidas por los dos grupos

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	184,50	199,50	186,50	196,00	157,50
	W de Wilcoxon	394,50	409,50	396,50	406,00	367,50
	Z	-0,42	-0,01	-0,37	-0,11	-1,15
	Sig. Asintót	0,67	0,99	0,71	0,91	0,25
Nivel 2	U de Mann-Whitney	82,00	122,00	108,00	83,00	88,00
	W de Wilcoxon	292,00	332,00	318,00	293,00	298,00
	Z	-3,21	-2,13	-2,50	-3,19	-3,05
	Sig. Asintót	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00
Nivel 3	U de Mann-Whitney	82,00	122,00	108,00	88,00	83,00
	W de Wilcoxon	292,00	332,00	318,00	298,00	293,00
	Z	-3,21	-2,13	-2,50	-3,05	-3,19
	Sig. Asintót	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00

**Tabla 4.47:** Posiciones Y fijaciones Región Central obtenidas por los dos grupos

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	181,50	186,50	138,50	125,00	166,50
	W de Wilcoxon	391,50	396,50	348,50	335,00	376,50
	Z	-0,50	-0,37	-1,66	-2,03	-0,91
	Sig. Asintót	0,62	0,71	0,10	0,04	0,36
Nivel 2	U de Mann-Whitney	181,50	186,50	138,50	157,50	125,00
	W de Wilcoxon	391,50	396,50	348,50	367,50	335,00
	Z	-0,50	-0,37	-1,66	-1,15	-2,03
	Sig. Asintót	0,62	0,71	0,10	0,25	0,04
Nivel 3	U de Mann-Whitney	82,00	125,00	54,00	142,00	87,00
	W de Wilcoxon	292,00	335,00	264,00	352,00	297,00
	Z	-3,21	-2,04	-3,98	-1,58	-3,08
	Sig. Asintót	0,00	0,04	0,00	0,11	0,00

pantalla. Gracias a esta información, se intuye qué área es la más interesante para los grupos. En la tabla 4.48, se comparan las diferencias existentes entre el número de fijaciones realizados en cada área. Por tanto, una vez comparados los indicadores pertenecientes a las áreas analizadas, se comprueba cómo existen diferencias significativas en el modo exploratorio de la pantalla, ya que por un lado, el Grupo Control recorre con la mirada las regiones más extremas de la pantalla en el eje horizontal, y por otro lado, el Grupo Clínico se centra en la parte más inferior de la misma, coincidiendo con diversos autores [JK13], [VdGKVVE02] que indican cómo las personas con autismo, realizan una exploración de abajo-arriba. Además del número de fijaciones que presentan ambos grupos, siendo por parte de Grupo Control superior en todas las áreas (ver Ilustración 4.12- 4.16).

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

**Tabla 4.48:** Resultados del número de fijaciones en las cinco áreas

Nivel	Mann-Whitney	Reg. Derecha	Reg. Izquierda	Reg. Superior	Reg. Inferior	Reg. Central
Nivel 1	U de Mann-Whitney	46,50	57,50	56,00	43,50	44,50
	W de Wilcoxon	256,50	267,50	266,00	253,50	254,50
	Z	-4,15	-3,86	-3,90	-4,24	-4,21
	Sig. asintót.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nivel 2	U de Mann-Whitney	93,00	91,00	92,50	84,00	92,00
	W de Wilcoxon	303,00	301,00	302,50	294,00	302,00
	Z	-2,90	-2,96	-2,94	-3,15	-2,93
	Sig. asintót.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nivel 3	U de Mann-Whitney	64,00	61,00	77,50	64,00	56,50
	W de Wilcoxon	274,00	271,00	287,50	274,00	266,50
	Z	-3,70	-3,79	-3,40	-3,70	-3,90
	Sig. asintót.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

La tabla 4.49 expone las diferencias referentes a los tiempos que han permanecido observando cada área durante los tres niveles de dificultad.

En los Niveles 1 y 3, el Grupo Clínico mantiene su mirada un tiempo significativamente menor que el Grupo Control en cada una de las regiones exploradas. Sin embargo, en el Nivel 2, las diferencias vienen dadas en la región derecha, inferior y central. Por lo que, ambos grupos emplean tiempos similares en la exploración de la región izquierda y superior de la pantalla.

**Tabla 4.49:** Resultados del tiempo total en las cinco áreas

Nivel	Mann-Whitney	Reg. Derecha	Reg. Izquierda	Reg. Superior	Reg. Inferior	Reg. Central
Nivel 1	U de Mann-Whitney	88,00	83,00	127,00	113,00	40,00
	W de Wilcoxon	298,00	293,00	337,00	323,00	250,00
	Z	-3,03	-3,17	-1,98	-2,36	-4,33
	Sig. asintót.	0,00	0,00	0,04	0,02	0,00
Nivel 2	U de Mann-Whitney	112,00	178,00	152,50	121,00	125,00
	W de Wilcoxon	322,00	388,00	362,50	331,00	335,00
	Z	-2,38	-0,60	-1,29	-2,15	-2,03
	Sig. asintót.	0,02	0,55	0,20	0,03	0,04
Nivel 3	U de Mann-Whitney	83,00	78,00	115,00	107,00	61,50
	W de Wilcoxon	273,00	268,00	305,00	297,00	251,50
	Z	-3,02	-3,17	-2,15	-2,37	-3,62
	Sig. asintót.	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00

Este hecho puede deberse a que tanto en el Nivel 1 como en el 3, el experimento está configurado para que se muestre el soporte visual, ocurriendo que al prestar menos atención a este

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

área las paradas provocadas por errores sean mayores.

##### *Indicadores cuando no existen elementos en la pantalla*

Una vez analizadas las fijaciones cuando existen elementos en las pantallas, se procede a estudiar los indicadores calculados cuando el juego ha sufrido una parada. La presentación de la información se realiza de forma similar que en el apartado anterior, es decir, dividiendo la pantalla en 5 regiones.

##### (a) Región izquierda

En esta sección se exponen los resultados de los test no paramétricos Mann-Whitney y Wilcoxon en relación al área izquierda de la pantalla.

En la tabla 4.50 se muestra los resultados del eje horizontal de la región izquierda.

La diferencia significativa se encuentra en el Nivel 3 en el valor central observado situándose en el Grupo Clínico (Me=-15,83; M=-30,44; DT=37,10) más hacia la derecha que el Grupo Control (Me=-50,20; M=-52,45; DT=32,79), comprobándose cómo el Grupo Control realiza la exploración desde toda la pantalla.

**Tabla 4.50:** Posiciones X fijaciones Región Izquierda obtenidas por los dos grupos tras una parada

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	175,5	196,5	156,5	179	129,5
	W de Wilcoxon	385,5	406,5	366,5	389	339,5
	Z	-0,66	-0,09	-1,17	-0,56	-1,91
	Sig. Asintót	0,51	0,92	0,24	0,57	0,06
Nivel 2	U de Mann-Whitney	184	194	192	177	181
	W de Wilcoxon	394	404	402	387	391
	Z	-0,43	-0,16	-0,21	-0,62	-0,51
	Sig. Asintót	0,66	0,87	0,83	0,53	0,61
Nivel 3	U de Mann-Whitney	138,5	175,5	159,5	164	126,5
	W de Wilcoxon	348,5	385,5	369,5	374	336,5
	Z	-1,67	-0,66	-1,10	-0,98	-2
	Sig. Asintót	0,09	0,50	0,27	0,33	0,05

En la tabla 4.51 se pueden observar los resultados en el eje vertical. En esta ocasión. existen diferencias significativas tanto en la altura media en la cual realizan la exploración de la región izquierda y la altura mínima.

El Grupo Control analiza la región izquierda desde una posición significativamente más alta en los niveles (M=139,88; DT=62,49) que el Grupo Clínico cuya mirada se centra en la más inferior de la pantalla (M=86,94; DT=73,22), confirmando que la altura media

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

**Tabla 4.51:** Posiciones Y fijaciones Región Izquierda obtenidas por los dos grupos tras una parada

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	126,50	165,50	55,50	195,00	129,50
	W de Wilcoxon	336,50	375,50	265,50	405,00	339,50
	Z	-1,99	-0,93	-3,92	-0,14	-1,91
	Sig. Asintót	0,04	0,35	0,00	0,89	0,06
Nivel 2	U de Mann-Whitney	134,00	184,00	107,00	149,00	128,00
	W de Wilcoxon	344,00	394,00	317,00	359,00	338,00
	Z	-1,79	-0,43	-2,52	-1,39	-1,95
	Sig. Asintót	0,07	0,66	0,01	0,17	0,05
Nivel 3	U de Mann-Whitney	109,50	165,50	91,50	191,00	108,50
	W de Wilcoxon	319,50	375,50	301,50	401,00	318,50
	Z	-2,47	-0,94	-2,96	-0,25	-2,49
	Sig. Asintót	0,01	0,35	0,00	0,81	0,01

mínima es significativamente más baja ( $M=16,61$  ;  $DT=24,76$ ) que la del Grupo Control ( $M=62,40$ ;  $DT=47,11$ ).

### (b) Región Derecha

A continuación se resaltan en las tabla 4.52 y 4.53 los indicadores con diferencias significativas en el eje horizontal y vertical respectivamente que pertenecerán al set final S3'. En el eje horizontal de la región derecha, las diferencias significativas ocurren en

**Tabla 4.52:** Posiciones X fijaciones Región Derecha obtenidas por los dos grupos tras una parada

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	139,50	116,50	119,50	125,00	157,50
	W de Wilcoxon	349,50	326,50	329,50	335,00	367,50
	Z	-1,64	-2,26	-2,18	-2,03	-1,15
	Sig. Asintót	0,10	0,02	0,02	0,04	0,25
Nivel 2	U de Mann-Whitney	150,00	162,00	143,00	150,00	140,00
	W de Wilcoxon	360,00	372,00	353,00	360,00	350,00
	Z	-1,36	-1,03	-1,55	-1,36	-1,63
	Sig. Asintót	0,18	0,30	0,12	0,18	0,10
Nivel 3	U de Mann-Whitney	125,00	130,00	190,00	157,00	110,00
	W de Wilcoxon	335,00	340,00	400,00	367,00	320,00
	Z	-2,03	-1,90	-0,27	-1,17	-2,44
	Sig. Asintót	0,04	0,06	0,79	0,24	0,01

las posiciones máximas y mínimas del Nivel 1 y en la posición media del Nivel 3 y en el valor central observado. Estas diferencias se dan debido a que el Grupo Control abarca más rango de pantalla que el Grupo Clínico.

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Ocurre de forma similar en el eje vertical (ver Tabla 4.53), donde las diferencias vienen dadas en la posición media y en la posición central del Nivel 3.

La posición media del Grupo Clínico ( $M=110,29$ ;  $DT=90,46$ ) en este nivel es significativamente menor que el Grupo Control ( $M=154,62$ ;  $DT=58,25$ ), por lo que la exploración de la pantalla puede que no sea completa.

**Tabla 4.53:** Posiciones Y fijaciones Región Derecha obtenidas por los dos grupos tras una parada

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	170,50	181,50	142,50	185,00	163,50
	W de Wilcoxon	380,50	391,50	352,50	395,00	373,50
	Z	-0,80	-0,50	-1,56	-0,41	-0,99
	Sig. Asintót	0,42	0,62	0,12	0,68	0,32
Nivel 2	U de Mann-Whitney	183,00	195,00	172,00	177,00	168,00
	W de Wilcoxon	393,00	405,00	382,00	387,00	378,00
	Z	-0,46	-0,14	-0,76	-0,62	-0,87
	Sig. Asintót	0,64	0,89	0,45	0,53	0,39
Nivel 3	U de Mann-Whitney	127,00	157,00	185,00	195,00	121,00
	W de Wilcoxon	337,00	367,00	395,00	405,00	331,00
	Z	-1,98	-1,16	-0,41	-0,14	-2,14
	Sig. Asintót	0,04	0,24	0,68	0,89	0,03

##### (c) Región superior

El siguiente bloque de indicadores a analizar corresponde con la región superior. Para ello se han analizado los estadísticos en el eje horizontal (ver Tabla 4.54) y vertical (ver Tabla 4.55) En el eje horizontal se encuentran diferencias significativas las posiciones medias, máximas y centrales del Nivel 3.

Se verifica como la posición media esta significativamente orientada más hacia la derecha por parte del Grupo Control ( $M=91,64$ ;  $DT=105,21$ ) que por el Grupo Clínico ( $M=21,37$ ;  $DT=75,47$ ), así como la posición máxima (Grupo control:  $\max=365,21$ ; Grupo Clínico:  $\max=304$ ) y la posición central.

En cuanto al eje vertical (ver Tabla 4.55) en la región superior de la pantalla no existen diferencias significativas entre ambos Grupo Control.

##### (d) Región inferior

A continuación se analizan los indicadores significativos de la región inferior de la pantalla. La tabla 4.56 se exponen los resultados del eje X y en la tabla 4.57 los correspondientes al eje Y.

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

**Tabla 4.54:** Posiciones X fijaciones Región Superior obtenidas por los dos grupos tras una parada

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	160,50	395,50	185,50	198,00	176,50
	W de Wilcoxon	370,50	178,50	-0,06	408,00	386,50
	Z	-1,09	388,50	-0,40	0,69	-0,65
	Sig. Asintót	0,27	-0,60	0,55	0,96	0,52
Nivel 2	U de Mann-Whitney	181,50	400,50	190,50	179,00	189,50
	W de Wilcoxon	391,50	115,00	400	389,00	399,50
	Z	-0,52	325,00	-0,27	0,79	-0,29
	Sig. Asintót	0,61	-2,39	0,79	0,55	0,77
Nivel 3	U de Mann-Whitney	123,00	0,02	189,00	136,00	129,00
	W de Wilcoxon	333,00	375,50	399,00	346,00	339,00
	Z	-2,17	-0,94	-0,31	-1,82	-2,00
	Sig. Asintót	0,03	0,04	0,76	0,07	0,05

**Tabla 4.55:** Posiciones Y fijaciones Región Superior obtenidas por los dos grupos tras una parada

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	197,50	187,50	153,50	190,00	194,50
	W de Wilcoxon	407,50	397,50	363,50	400,00	404,50
	Z	-0,07	-0,35	-1,29	-0,28	-0,15
	Sig. Asintót	0,94	0,73	0,20	0,78	0,88
Nivel 2	U de Mann-Whitney	138,50	142,50	154,50	139,00	141,50
	W de Wilcoxon	348,50	352,50	364,50	349,00	351,50
	Z	-1,72	-1,61	-1,27	-1,72	-1,64
	Sig. Asintót	0,09	0,11	0,20	0,09	0,10
Nivel 3	U de Mann-Whitney	192,00	192,00	186,00	186,00	195,00
	W de Wilcoxon	402,00	402,00	396,00	396,00	405,00
	Z	-0,23	-0,23	-0,39	-0,40	-0,14
	Sig. Asintót	0,82	0,82	0,69	0,69	0,89

En el eje horizontal (ver Tabla 4.56), el Grupo Control a lo largo del Nivel 3 presentan diferencias significativas en la posición media.

Esta diferencia se da ya que el Grupo Control tiende a observar más hacia la derecha (M=64,88; DT=56,91) que el Grupo Control (M=38,97; DT=60,54) ocurriendo de forma similar en la posición máxima (Grupo de control: M=287,41; DT=110,22; Grupo clínico :M=188,30; DT=152,44) y en la posición central.

Coincidiendo con diversos estudios,[WHVF<sup>+</sup> 13b] que sostienen como las personas con autismo analizan las imágenes estáticas de abajo a arriba, las diferencias encontradas tanto en el tiempo con en las posiciones, en el eje vertical, los grupos presentan diferencias significativas ya que el Grupo Clínico(M=89,82; DT=60,33) realiza la exploración

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

**Tabla 4.56:** Posiciones X fijaciones Región Inferior obtenidas por los dos grupos tras una parada

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	139	130	160	169,5	137
	W de Wilcoxon	349	340	370	379,5	347
	Z	-1,65	-1,89	-1,08	-0,82	-1,70
	Sig. Asintót	0,10	0,06	0,28	0,41	0,09
Nivel 2	U de Mann-Whitney	140	159	200	163	137
	W de Wilcoxon	350	369	410	373	347
	Z	-1,62	-1,11	0	-1,00	-1,70
	Sig. Asintót	0,10	0,27	1,00	0,32	0,09
Nivel 3	U de Mann-Whitney	124	127	151	137	116
	W de Wilcoxon	334	337	361	347	326
	Z	-2,05	-1,97	-1,32	-1,70	-2,27
	Sig. Asintót	0,03	0,04	0,18	0,09	0,02

**Tabla 4.57:** Posiciones Y fijaciones Región Inferior obtenidas por los dos grupos tras una parada

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	109,00	182,00	98,00	195,50	115,00
	W de Wilcoxon	319,00	392,00	308,00	405,50	325,00
	Z	-2,46	-0,49	-2,76	-0,12	-2,30
	Sig. Asintót	0,01	0,63	0,00	0,90	0,02
Nivel 2	U de Mann-Whitney	143,00	187,00	141,00	155,00	130,00
	W de Wilcoxon	353,00	397,00	351,00	365,00	340,00
	Z	-1,55	-0,35	-1,60	-1,22	-1,90
	Sig. Asintót	0,12	0,72	0,11	0,22	0,06
Nivel 3	U de Mann-Whitney	102,00	128,00	172,00	181,00	105,00
	W de Wilcoxon	312,00	338,00	382,00	391,00	315,00
	Z	-2,65	-1,95	-0,76	-0,51	-2,57
	Sig. Asintót	0,00	0,05	0,45	0,61	0,01

dirigiendo su mirada a la parte inferior de la pantalla que el Grupo Control (M=136,56; DT=39,21).

(e) Región central

La última región que se examina en este experimento, es la región central de la pantalla; analizando tanto su eje horizontal (ver Tabla 4.58) como su eje vertical (ver Tabla 4.59).

Las diferencias vienen dadas en las posiciones mínimas tanto en el eje vertical como en el eje horizontal. En esta ocasión el Grupo Control dirige su mirada significativamente más hacia la región izquierda (Grupo Control: M=-129,29; DT=82,67; Grupo Clínico: M=-72,95; DT=98,21) y superior (Grupo Control: M=118,97; DT=61,89; Grupo Clínico: M=65,82;

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

**Tabla 4.58:** Posiciones X fijaciones Región Central obtenidas por los dos grupos tras una parada

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	188,00	184,00	181,00	194,00	172,00
	W de Wilcoxon	398,00	394,00	391,00	404,00	382,00
	Z	-0,33	-0,43	-0,52	-0,16	-0,76
	Sig. Asintót	0,74	0,66	0,61	0,87	0,45
Nivel 2	U de Mann-Whitney	154,00	148,00	169,00	176,50	149,00
	W de Wilcoxon	364,00	358,00	379,00	386,50	359,00
	Z	-1,26	-1,43	-0,85	-0,65	-1,40
	Sig. Asintót	0,21	0,15	0,40	0,52	0,16
Nivel 3	U de Mann-Whitney	144,00	151,00	128,00	114,50	142,00
	W de Wilcoxon	354,00	361,00	338,00	324,50	352,00
	Z	-1,56	-1,36	-2,00	-2,39	-1,61
	Sig. Asintót	0,12	0,17	0,04	0,01	0,11

**Tabla 4.59:** Posiciones Y fijaciones Región Central obtenidas por los dos grupos tras una parada

Nivel	Estadístico	Pos. Medio	Pos. Max	Pos. Min	DT	Mediana
Nivel 1	U de Mann-Whitney	139,00	165,00	149,00	175,00	128,00
	W de Wilcoxon	349,00	375,00	359,00	385,00	338,00
	Z	-1,66	-0,95	-1,39	-0,68	-1,96
	Sig. Asintót	0,10	0,34	0,17	0,50	0,05
Nivel 2	U de Mann-Whitney	189,00	185,00	171,00	187,50	180,00
	W de Wilcoxon	399,00	395,00	381,00	397,50	390,00
	Z	-0,30	-0,41	-0,80	-0,35	-0,55
	Sig. Asintót	0,76	0,68	0,43	0,73	0,58
Nivel 3	U de Mann-Whitney	140,00	151,00	121,00	136,50	132,00
	W de Wilcoxon	350,00	361,00	331,00	346,50	342,00
	Z	-1,67	-1,36	-2,20	-1,78	-1,89
	Sig. Asintót	0,10	0,17	0,02	0,08	0,06

DT=92,53) de la pantalla que el Grupo Clínico

A continuación se analizan el número de fijaciones (ver Tabla 4.60 y los tiempos realizados (ver Tabla 4.61) por cada grupo en cada región. Durante las paradas del juego, se han registrado un número mayor de fijaciones por parte del Grupo Control que el Grupo Clínico en la región derecha, izquierda e inferior en el Nivel 2 y en el Nivel 3, más en la región central de este último nivel.

Sin embargo, al evaluar el tiempo que emplean en cada región (ver Tabla 4.61), se comprueba cómo el Grupo Control fija su mirada significativamente más tiempo en el área central durante el Nivel 1 (M=26,44; DT=30,33) y Nivel 3 (M=49,33; DT=37,84) que el Grupo Clínico

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

**Tabla 4.60:** Resultados del número de fijaciones totales en las cinco áreas tras una parada del sistema

Nivel	Mann-Whitney	Reg. Derecha	Reg. Izquierda	Reg. Superior	Reg. Inferior	Reg. Central
Nivel 1	U de Mann-Whitney	177	195	182,5	181	130
	W de Wilcoxon	387	405	392,5	391	340
	Z	-0,626	-0,136	-0,50	-0,51	-1,9
	Sig. asintót.	0,53	0,89	0,61	0,61	0,06
Nivel 2	U de Mann-Whitney	128	117	181	115	143
	W de Wilcoxon	338	327	391	325	353
	Z	-1,97	-2,27	-0,54	-2,33	-1,56
	Sig. asintót.	0,04	0,02	0,59	0,01	0,12
Nivel 3	U de Mann-Whitney	79	76	155	79	66,5
	W de Wilcoxon	289	286	365	289	276,5
	Z	-3,36	-3,44	-1,40	-3,36	-3,710315869
	Sig. asintót.	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00

(Nivel 1: M=10,82; DT=15,80; Nivel 3 : M=6,67; DT=12,36). Esta diferencia ocurre de forma similar en la región izquierda de la pantalla dónde el Grupo Clínico(M=7,84; DT=15,04) emplea significativamente menos tiempo en observar dicho área que el Grupo Control (M=18; DT=19,96).

Coincidiendo con diversos estudios [VF15] el tiempo dedicado a cada región presenta diferencias significativas, siendo en esta ocasión en la región izquierda y en el área central. Asimismo, existen diferencias en el número de fijaciones en las diversas regiones analizadas, coinciden con los niveles 2 y 3 dónde la dificultad de los juegos es mayor y el número de paradas aumenta.

**Tabla 4.61:** Resultados del tiempo total en las cinco áreas tras sufrir una parada el juego

Nivel	Mann-Whitney	Reg. Derecha	Reg. Izquierda	Reg. Superior	Reg. Inferior	Reg. Central
Nivel 1	U de Mann-Whitney	178,00	195,00	185,00	197,50	122,00
	W de Wilcoxon	388,00	405,00	395,00	407,50	332,00
	Z	-0,60	-0,14	-0,42	-0,07	-2,12
	Sig. asintót.	0,55	0,89	0,67	0,94	0,03
Nivel 2	U de Mann-Whitney	168,00	183,00	176,50	187,50	140,00
	W de Wilcoxon	378,00	393,00	386,50	397,50	350,00
	Z	-0,87	-0,46	-0,66	-0,35	-1,63
	Sig. asintót.	0,38	0,64	0,51	0,73	0,10
Nivel 3	U de Mann-Whitney	164,00	103,00	131,50	124,00	53,00
	W de Wilcoxon	354,00	293,00	321,50	314,00	243,00
	Z	-0,73	-2,46	-1,73	-1,92	-3,86
	Sig. asintót.	0,46	0,01	0,08	0,05	0,00

### *Conclusiones*

El último apartado de esta fase ha analizado las diferencias significativas referentes al modo de exploración de la pantalla con la mirada, gracias a la información obtenida del dispositivo hardware EyeTracker.

Para ello, se ha dividido la pantalla en 5 regiones : Región izquierda, Región derecha, Región Superior y Región Inferior y por último la Región Central.

Coincidiendo con la información obtenida en la interacción con el sistema, la exploración visual que realiza el Grupo Control abarca una mayor región de la pantalla que el Grupo Clínico, tanto cuando existen elementos en la pantalla, como cuando han desaparecido todos los elementos [SCBS08] En relación al área superior, se ha comprobado cómo ambos grupos realizan una exploración similar, sin embargo las diferencias se centran en la región inferior. El Grupo Clínico tiende a mantener la mirada en la parte más inferior de la pantalla, coincidiendo con las investigaciones realizadas por diversos autores [MYOR07], [JK213].

Por tanto, esta sección se puede concluir con:

*Existen diferencias significativas entre el Grupo Clínico y el Grupo Control a la hora de explorar la pantalla con la mirada, tanto en el número de fijaciones, como en el tiempo empleado en cada área y en la posición de la mirada. Estas desigualdades se localizan especialmente en la región inferior donde el primer grupo centra su mirada en el área más baja de la pantalla, y en la región izquierda y derecha abarcando el Grupo Control una superficie mayor que el Grupo Clínico.*

#### 4.2.2.2 2º Fase: Selección de características

Para realizar la segunda fase de selección de características o indicadores, las características seleccionadas en la fase anterior son procesadas por los cinco algoritmos empleados seleccionándose los mejores resultados y fusionándose los indicadores extraídos de cada set de indicadores . Para ello, se ha seguido el estudio realizado por Kosmicki et al [KSDW15] en el que emplean los algoritmos que se nombran a continuación para realizar la reducción de características y la investigación de Latkowski et al. [LO15] para la fusión de los indicadores : ADTree, NaiveBayes, J48, Random Forest, SVM.

##### 1. Resultados del Set Interacción con los responsables (S1')

Los resultados de los algoritmos empleados junto con las características seleccionadas se recogen en la tabla 4.62.

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Como muestra la tabla, se han seleccionado las características obtenidas por los algoritmos J48 (83 %), Naive Bayes (88 %) y el ADTree (85 %), debido a que corresponden al mayor porcentaje de sensibilidad.

**Tabla 4.62:** Resultados Selección de características del Set Interacción con los responsables

Algoritmos	TPR	FPR	Precisión	Area ROC	Nº Características
ADTree	0,85	0,15	0,85	0,86	2/70
J48	0,83	0,17	0,834	0,886	3/70
RandomForest	0,75	0,25	0,75	0,791	1/70
SVM	0,83	0,17	0,826	0,826	3/70
NaiveBayes	0,88	0,13	0,876	0,895	3/70

Tras determinar qué algoritmos presentan mejores resultados, se procede a comparar las características seleccionadas por estos métodos con el fin de asignar pesos, ordenar y eliminar indicadores duplicados [LO15]. La tabla (ver 4.63) muestra los indicadores en común seleccionados por cada algoritmo.

**Tabla 4.63:** Comparación de características seleccionadas del Set Interacción con los responsables

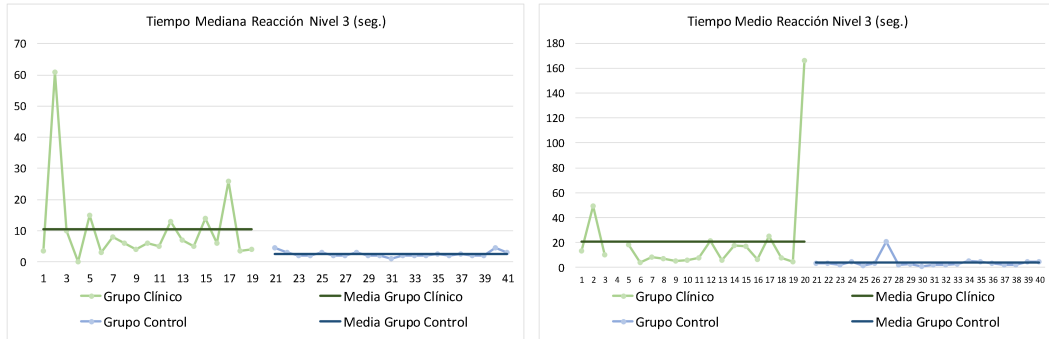
Métodos	ADTREE	J48	Naive Bayes
ADTREE	2	0	1
J48	0	3	0
Naive Bayes	1	0	3

Como se puede observar, sólo una característica ha sido seleccionada por más de un método, coincidiendo con los algoritmos con mayor porcentaje de sensibilidad obtenido, siendo esta característica la de mayor peso dentro del set de interacción con el responsable.

*Los indicadores seleccionados y ordenados tras aplicar la fórmula de pesos para este set de características, denominado SI', se corresponden con 7 indicadores, que serán los indicadores a evaluar para la detección precoz del autismo: (1) el estadístico mediana del tiempo de interacción total empleado por los/as usuarios /as durante el nivel 3, (2) tiempo medio que han necesitado los jugadores en interaccionar durante el Nivel 3, (3) el número de ocasiones en que los jugadores han mirado a los ojos al responsable durante el Nivel 3, (4) tiempo medio transcurrido desde una parada provocada por el sistema hasta que se ha vuelto a reiniciar el juego durante el Nivel 1, (5) y (6) tiempo mínimo transcurrido desde una parada provocada por el sistema hasta que se ha vuelto a reiniciar el juego durante el Nivel 1 y nivel 2 respectivamente y por último (6) el tiempo medio empleado tras una parada provocada por los jugadores en el Nivel 3.*

A continuación se realiza una representación gráfica (ver Ilustraciones 4.28 - 4.31) de los indicadores seleccionados dónde se comprueba las diferencias que existen entre el Grupo Control y el Grupo Clínico en las características seleccionadas.

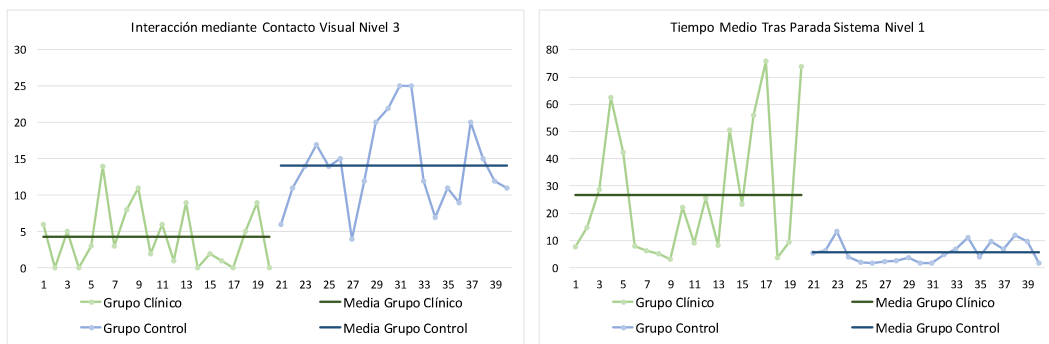
## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema



(a) Tiempo Mediana Nivel3

(b) Tiempo Medio Nivel 3

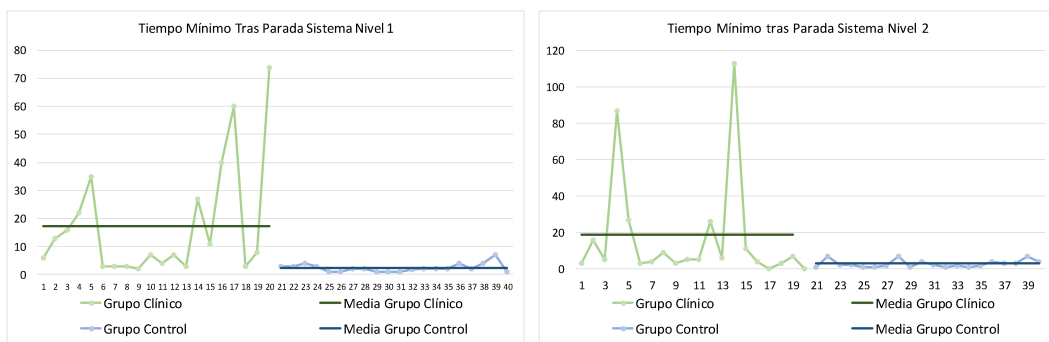
**Ilustración 4.28:** Indicadores Críticos Interacción con el responsable (1)



(a) Interacción Contacto Visual Nivel3

(b) Tiempo Medio Parada provocada por el Sistema Nivel 1

**Ilustración 4.29:** Indicadores Críticos Interacción con el responsable (2)

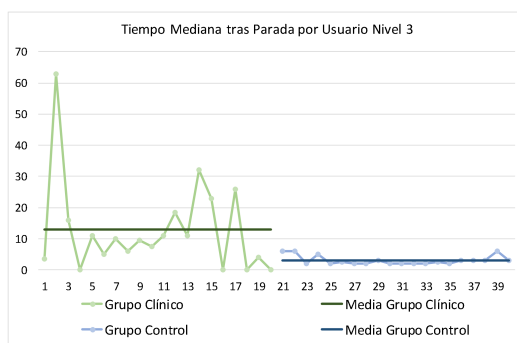


(a) Tiempo Mínimo Parada Sistema Nivel 1

(b) Tiempo Mínimo Parada Sistema Nivel 2

**Ilustración 4.30:** Indicadores Críticos Interacción con el responsable (3)

## 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS



**Ilustración 4.31:** Indicadores Críticos Interacción con el responsable (4)

### 2. Resultados del Set de Interacción con el Sistema(S2')

Esta sección muestra los resultados obtenidos en la segunda fase de selección de características en el set de interacción con el sistema. La tabla 4.64 compara los resultados obtenidos tras procesar los indicadores por cada algoritmo empleado de selección de características empleados.

**Tabla 4.64:** Resultados Selección de características del Set de Interacción con el Sistema

Algoritmos	TPR	FPR	Precisión	Area ROC	Nº Características
ADTree	0,83	0,18	0,83	0,89	2/70
J48	0,85	0,15	0,854	0,91	3/70
RandomForest	0,68	0,33	0,687	0,686	1/70
SVM	0,93	0,08	0,935	0,925	5/70
NaiveBayes	0,95	0,05	0,95	0,945	3/70

Los algoritmos Naive Bayes con un 95 % de sensibilidad, el SVM con un 93 % y el J48 con un 85 % de sensibilidad han sido los algoritmos que han obtenido mejores resultados, por lo que se han seleccionado los atributos reducidos por éstos. Una vez determinados los indicadores, se ha comprobado el número de características seleccionadas que tienen en común para calcular de esta forma el peso de cada uno de ellas y eliminar duplicados. La tabla 4.65 muestra el número de características similares elegidas por cada método.

**Tabla 4.65:** Comparación de características seleccionadas del Set de Interacción con el Sistema

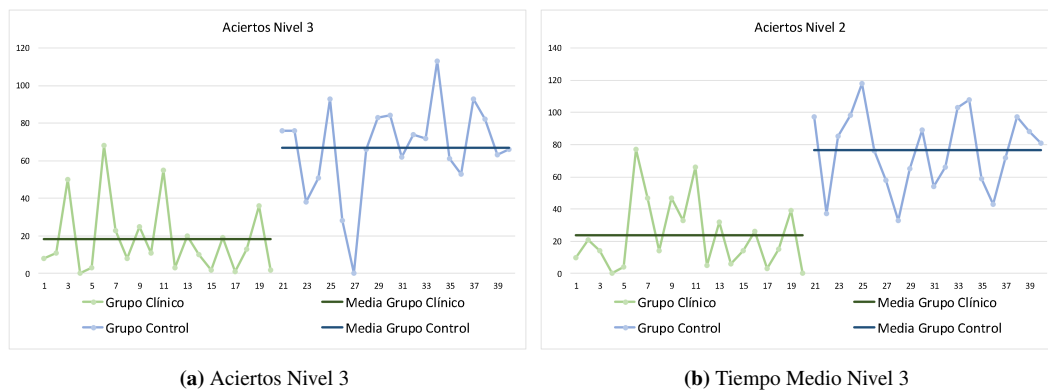
Métodos	J48	SVM	Naive Bayes
J48	3	1	1
SVM	1	5	2
Naive Bayes	1	2	3

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

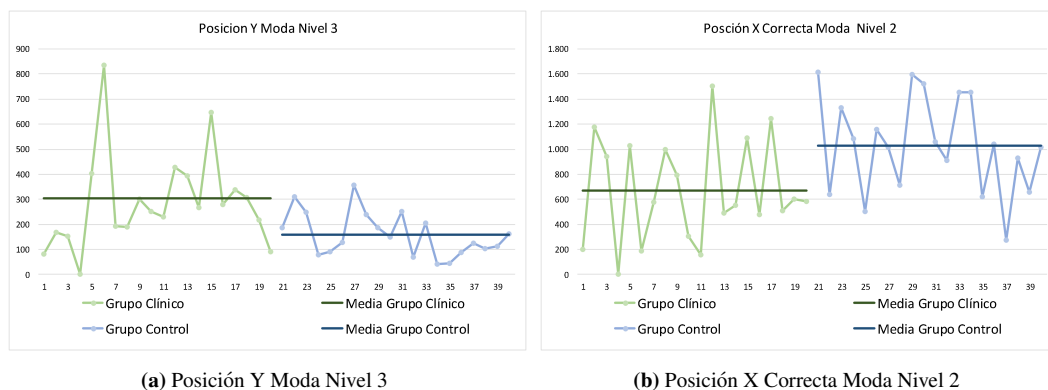
En esta ocasión, los tres algoritmos seleccionados tienen por lo menos 1 característica en común.

*Los indicadores seleccionados y ordenados tras aplicar la fórmula de pesos para este set de características, denominado S2', se corresponden con 7 indicadores :(1) aciertos producidos durante el Nivel 3,(2) los aciertos durante el Nivel 2, (3) el estadístico Moda de la posición en el eje Y durante el Nivel 3, (4) el estadístico Moda de la posición en el eje Y cuando se selecciona un elemento de forma correcta durante el Nivel 2, (5) el estadístico Moda de la posición en el eje Y cuando se selecciona un elemento de forma incorrecta en el Nivel 3, (6) los aciertos realizados durante el Nivel 1 y por último (7) la posición máxima en el eje Y cuando se selecciona un elemento de forma incorrecta en el Nivel 2.*

Siguiendo con el criterio del autor Latkowski et al. [LO15], se exponen en las ilustraciones 4.32-4.35 los indicadores extraídos para comprobar las diferencias existentes.

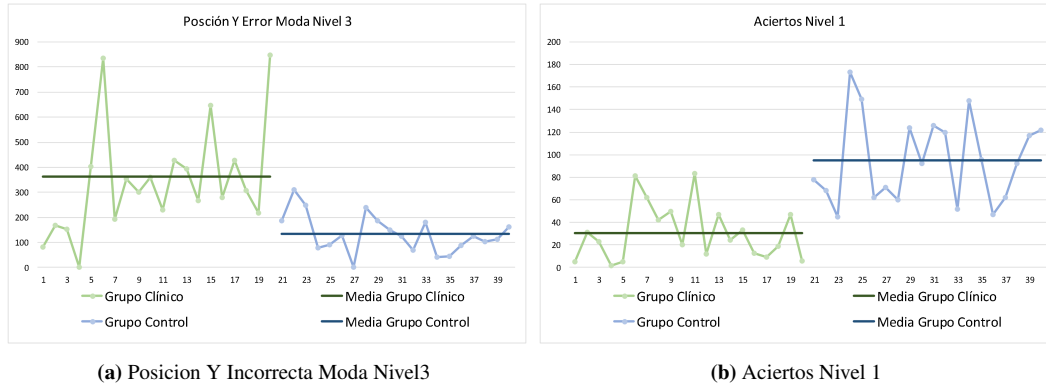


**Ilustración 4.32:** Indicadores Críticos Interacción con el sistema (1)

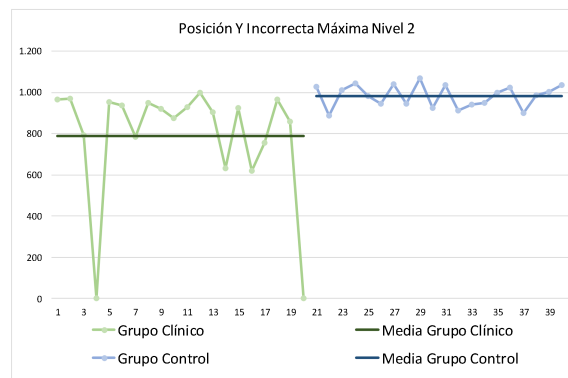


**Ilustración 4.33:** Indicadores Críticos Interacción con el sistema (2)

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS



**Ilustración 4.34:** Indicadores Críticos Interacción con el sistema (3)



**Ilustración 4.35:** Indicadores Críticos Interacción con el sistema (4)

### 3. Resultados del Set EyeTracker (s3')

El conjunto de indicadores S3' proveniente del análisis estadístico realizado en la fase anterior ha sido evaluado por los cinco algoritmos de reducción de características.

La tabla 4.66 expone los resultados obtenidos por los algoritmos de Inteligencia Artificial.

**Tabla 4.66:** Resultados Selección de características del Set EyeTracker

Algoritmos	TPR	FPR	Precisión	Area ROC	Nº Características
ADTree	0,68	0,336	0,684	0,77	2/70
J48	0,88	0,119	0,886	0,883	2/71
RandomForest	0,65	0,324	0,677	0,738	1/70
SVM	0,914	0,098	0,915	0,908	2/114
NaiveBayes	0,857	0,14	0,859	ene-00	3/114

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

Los métodos con mejor resultado, corresponden con el SVM con un 91.4 % de sensibilidad, seguido del J48 con un 88 % y por último el Naive Bayes con un 85.7 % (ver tabla 4.66).

Tras conocer los métodos seleccionados para la obtención de los indicadores relevantes del Set del EyeTracker, se comprueba los pesos que se les asigna a los indicadores partiendo de la fórmula de pesos.

La tabla 4.67 resumen los indicadores comunes seleccionados por cada algoritmo.

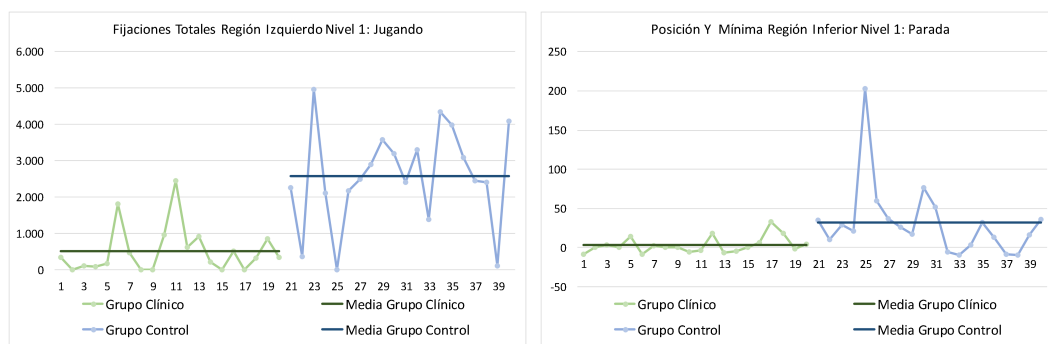
**Tabla 4.67:** Comparación de las características seleccionadas del Set EyeTracker

Métodos	J48	SVM	Naive Bayes
J48	2	0	0
SVM	0	2	0
Naive Bayes	0	0	3

En esta ocasión, los métodos con mayor sensibilidad han seleccionado indicadores diferentes, convirtiéndose todos ellos en relevantes.

*Los indicadores que forman parte del Set S3'son siete: (1)el número total de fijaciones realizadas en la región izquierda durante el Nivel 1 cuando existen elementos en la pantalla, (2) la altura mínima observada durante el Nivel 1 al desaparecer los elementos en la región izquierda de la pantalla, (3) el estadístico mediana de la posición X en la región Izquierda de la pantalla a lo largo del Nivel 3 mientras están jugando, (4) número de fijaciones totales realizados en la región inferior durante el Nivel 1 , (5) posición X mínima observada en la región izquierda en el Nivel 3,(6) número de fijaciones totales realizadas en la región central durante el Nivel 1 y por último (7) tiempo total observando la región izquierda durante el Nivel 3.*

En las Ilustraciones 4.36-4.39 se exponen las diferencias entre los indicadores seleccionados de ambos grupos.

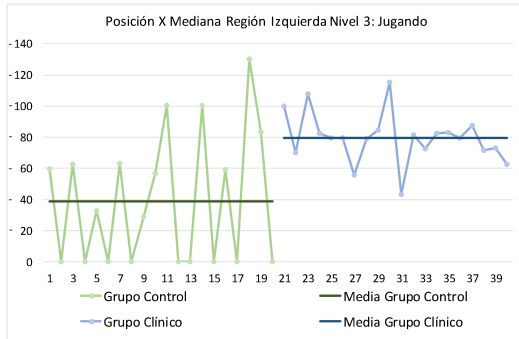


(a) Fijaciones Totales Región Izquierdo Nivel1: Jugando

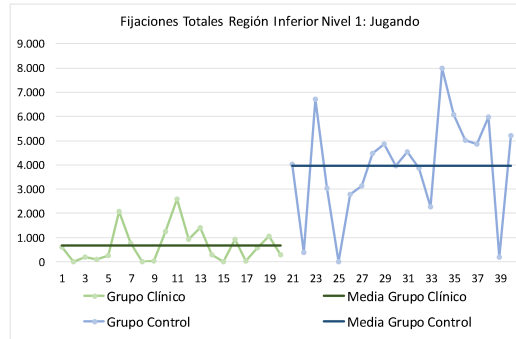
(b) Posición Y Mínima Región Inferior Nivel 1: Parada

**Ilustración 4.36:** Indicadores Críticos set EyeTracker (1)

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

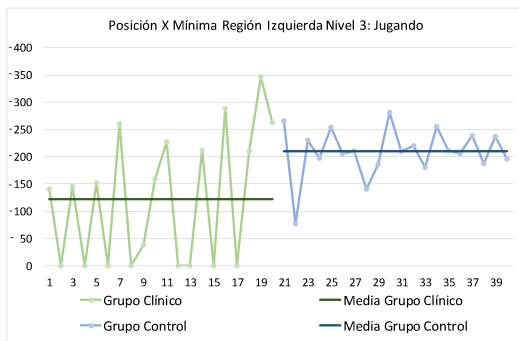


(a) Posición X Mediana Región Izquierda Nivel 3: Jugando

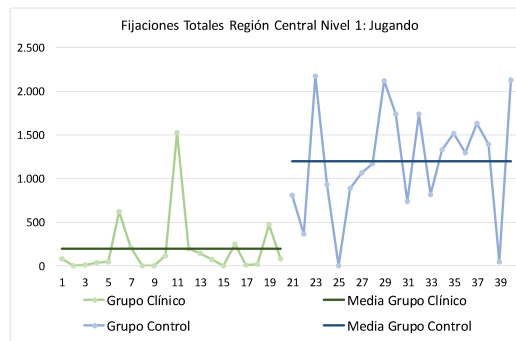


(b) Fijaciones Totales Región Inferior Nivel 1: Jugando

**Ilustración 4.37:** Indicadores Críticos set EyeTracker (2)

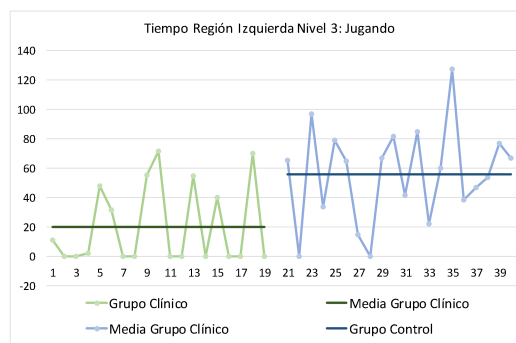


(a) Posición X Mínima Región Izquierda Nivel 3: Jugando



(b) Fijaciones Totales Región Central Nivel 1: Jugando

**Ilustración 4.38:** Indicadores Críticos set EyeTracker (3)



**Ilustración 4.39:** Indicadores Críticos set EyeTracker (4)

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

### 4.2.2.3 Resultado Set final de indicadores (Sx') - TEAgrama

Una vez se han creado los nuevos conjuntos de indicadores con aquellos más importantes o significativos, se han fusionado en un solo set de características dando lugar a los indicadores que deben ser evaluados en la detección precoz del autismo.

Para ello, se ha calculado el peso de cada conjunto partiendo de su sensibilidad (ver Tabla 4.68)

**Tabla 4.68:** Resultados de los conjuntos de datos y orden

Conjunto de datos	Precisión media	Orden
S1'	85 %	3
S2'	91 %	1
S3'	88 %	2

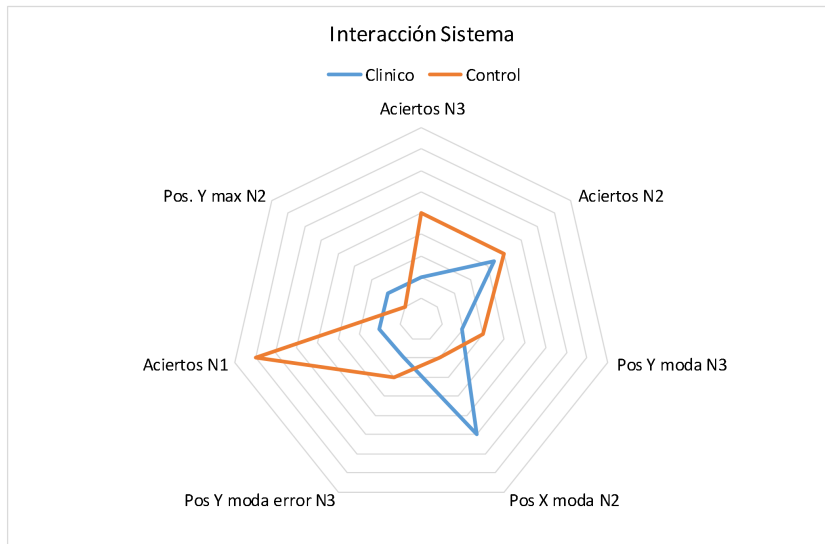
Como se muestra en la tabla 4.68, el Set con mayor peso corresponde con el set de interacción con el sistema, seguido del set proveniente del EyeTracker de y por último el set interacción con el responsable. Estos resultados son justificados ya que los datos que forman el set S2' son datos capturados de forma objetiva, sin embargo los datos del S1' es información recogida con la ayuda del responsable, y es él el que determina si se ha realizado una interacción por ejemplo con contacto visual o no. Este hecho hace que los datos posean mayor subjetividad que el resto de los conjuntos por lo que la sensibilidad puede verse modificada. En cuanto a los datos del set del EyeTracker, S3', a pesar de ser capturados mediante un dispositivo externo, como se ha comentado en el capítulo anterior, se han presentado ciertas dificultades para generar dicho set, ya que algunos de los participantes no han sido capaces de calibrar el dispositivo hardware, obligando a emplear la calibración de otra persona de características físicas parecidas. A pesar de estas dificultades, el S3', ha obtenido un 88 % de precisión media.

#### **TEAgrama**

Las características que forman parte del conjunto final de datos, como se ha mencionado, son las características que deben evaluarse y analizarse al utilizar el sistema propuesto como herramienta de detección del autismo. Estos indicadores se reflejan en un gráfico llamado para esta investigación "TEAgrama", gracias al cual se muestran las diferencias entre los patrones del Grupo Clínico y Grupo Control.

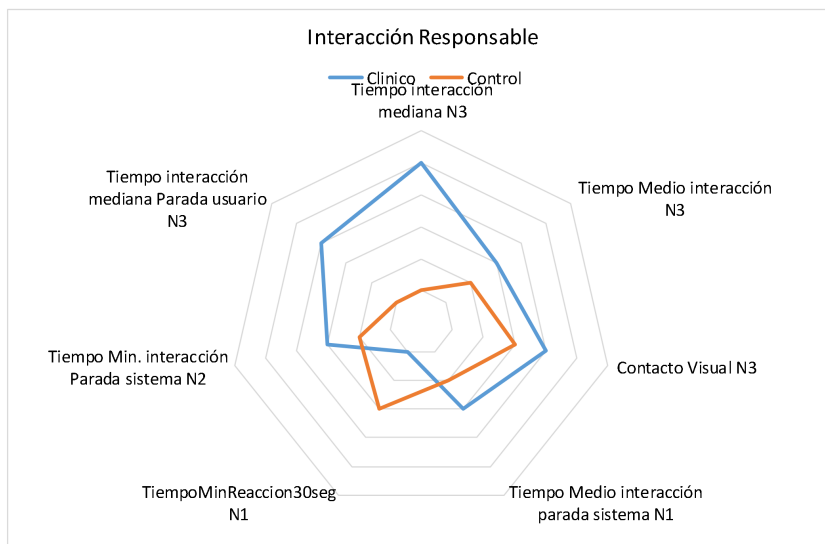
En la ilustración 4.40 se comprueba la tendencia del Grupo Clínico a la hora de interactuar con el sistema. Se observa como el número de aciertos en los tres niveles son inferiores al Grupo Control. Así como las posiciones X e Y en el Nivel 2.

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS



**Ilustración 4.40:** TEAgrama I: Interacción con el sistema

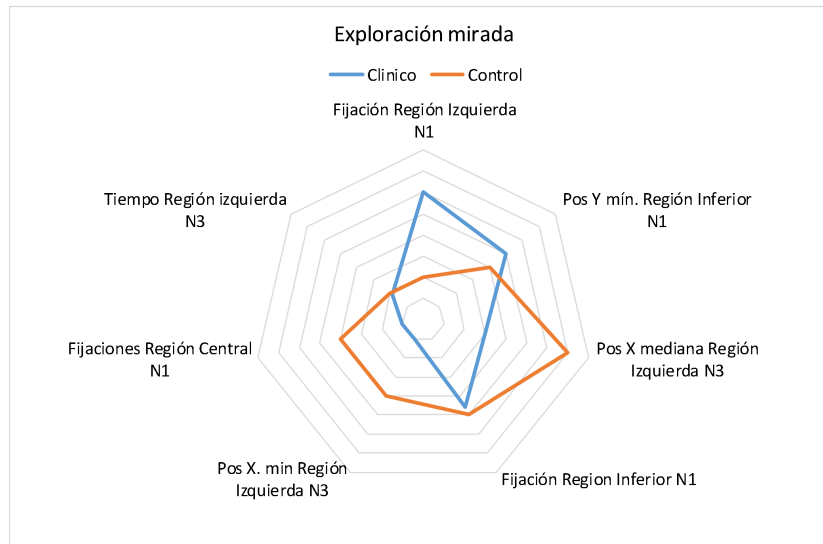
En relación a la interacción con el responsable (ver Ilustración 4.41) se comprueba como el patrón es más uniforme por parte del Grupo Control y cómo existe un aumento de forma drástica en el tiempo de comunicación en el Nivel 3 por parte del Grupo Clínico.



**Ilustración 4.41:** TEAgrama II. Interacción con el responsable

La ilustración 4.42 refleja las diferencias a la hora de explorar la pantalla. Se observa cómo el Grupo Clínico dista tanto en los tiempos como en las posiciones del Grupo Control.

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema



**Ilustración 4.42:** TEAgrama III. Exploración de la pantalla

### 4.2.2.4 Conclusiones

La fase de Procesado se ha llevado a cabo con el objetivo de efectuar una reducción de características para facilitar y mejorar la clasificación y determinar con mayor eficacia la detección precoz del autismo. Para ello, se han seguido los estudios realizados por los autores Kosmicki et al. [KSDW15] y Latkowski et al. [LO15] que han fusionado los métodos de Inteligencia Artificial logrando resultados muy positivos en este campo. En este experimento, se ha ejecutado una primera selección de indicadores basándose en las diferencias significativas existentes entre ambos grupos, siendo ordenadas a posteriori por su valor de significancia. A continuación, gracias a los métodos de Inteligencia Artificial se ha producido una segunda reducción basándose en criterios de sensibilidad, logrando reducir de forma significativa los indicadores. Finalmente, han sido fusionados para crear un único Set de indicadores que recoge las características críticas para la detección del autismo.

*Mediante la fase de Procesado, se han obtenido el Set de indicadores (Sx) críticos que deben ser analizadas para realizar una detección precoz del autismo. El Set está formado por 21 características, divididas en 7 indicadores relacionados con la interacción con el sistema, 7 características 7 vinculados a la exploración de la pantalla y por último 7 indicadores generados por la interacción entre el jugador y el responsable.*

## 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

---

### 4.2.3 C- Clasificación

La última fase del módulo de validación del juego, corresponde con la clasificación de los indicadores seleccionados en las fases anteriores.

Para mostrar los resultados de esta fase, se van a analizar por un lado los resultados que se obtienen cuando fusionamos los set de interacción con el sistema (S2') y con el responsable (S1'), y los resultados que se consiguen al fusionar los tres set de indicadores.

Para ello, la evaluación se ha realizado gracias a 4 parámetros:

- True Positive Ratio (TPR), o Sensibilidad. Este parámetro es calculado dividiendo el número de usuarios sin autismo correctamente clasificados (TP) entre el número total de personas participantes.

$$TPR = TP / (TP + FN)$$

- False Positive Ratio (FPR). El FPR se calcula dividiendo el número de usuarios con TEA cuya clasificación es errónea, es decir, los falsos positivos (FP) entre el número total de muestras (FP +TN).  $TPR = FP / (FP + TN)$

- Precisión. Se calcula dividiendo el total de aciertos en entre el número total de participantes.

$$Prec = TP + TN / (P + N)$$

- Area Bajo la ROC Curve, establece la relación existente entre los falsos negativos y los falsos positivos.

El primer paso que se ha llevado a cabo, es comprobar si la extracción de factores es relevante realizarla. Para ello se ha realizado el test KMO (Kaiser, Meyer y Olkin). Este test relaciona los coeficientes de correlación,  $r_{jh}$ , observados entre las variables  $X_j$  y  $X_h$ .  $A_{jh}$  son los coeficientes de correlación parcial entre las variables  $X_j$  y  $X_h$ . Por tanto cuanto más cerca se encuentre el valor obtenido por el test, implica que la relación entre las variables es alta.

Además se ha tenido en cuenta la prueba de esfericidad de Bartlett que evalúa la aplicabilidad del análisis factorial de las variables estudiadas; es decir; si el modelo es significativo, se acepta la Hipótesis nula (la matriz de correlaciones observada corresponde con una matriz de identidad), y se aplica el PCA.

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

### 4.2.3.1 Resultados clasificación Set interacción sistema más Set interacción Responsable

En este experimento se ha obtenido como resultado del test KMO una medida de adecuación muestral de 0.783, lo que implica que la relación entre variables es baja ( $KMO > 0.6$ ). Pero en la prueba de Bartlett, se ha obtenido un valor de  $p = 0.000$  por lo que se acepta la Hipótesis nula asegurando de que el PCA es adecuado para explicar los datos de este experimento (ver Tabla 4.69).

**Tabla 4.69:** Resultados KMO y test Bartlett: Set interacción sistema más Set interacción Responsable

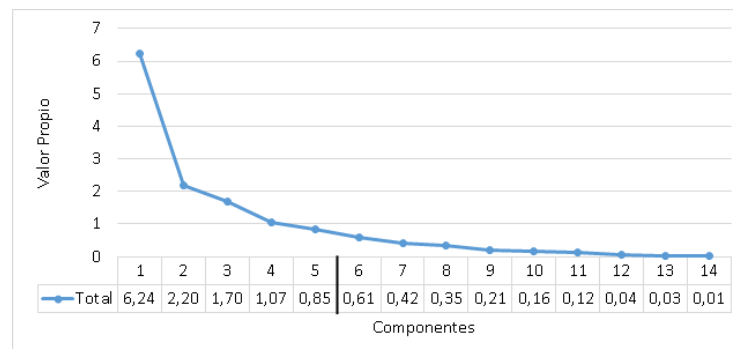
Medida de adecuación muestral de KMO.		0,637
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	500,53 0,00
	Sig.(p)	

La tabla 4.70 refleja el resumen de los componentes seleccionados junto con su valor propio, el % de varianza que supone cada componente y su % de varianza acumulado tras aplicar dicho método. En este experimento el punto de corte para seleccionar los componentes se ha establecido en aquellos que explican el 85 % de la varianza acumulada [EBW<sup>+</sup>15].

**Tabla 4.70:** Resultados PCA: Set interacción sistema más Set interacción Responsable

Componente	Valor Propio	% de la varianza	% acumulado
1	6,23	44,54	44,54
2	2,19	15,71	60,25
3	1,70	12,17	72,42
4	1,07	7,64	80,07
5	0,85	6,072	86,14

Por tanto, se han seleccionado los primeros 5 componentes por cumplir dicha condición (86.143 %)(ver Ilustración 4.43).

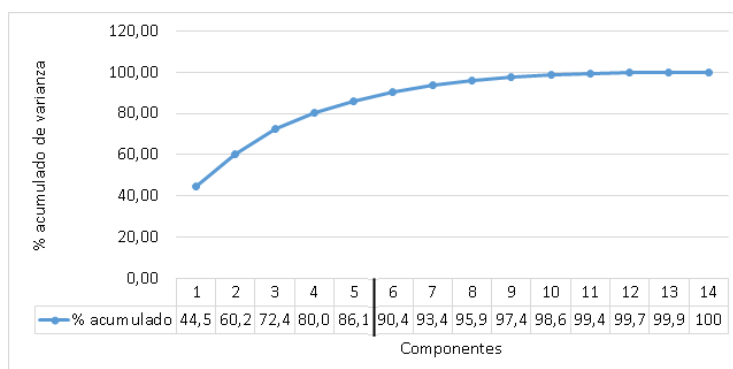


**Ilustración 4.43:** PCA resultados: Set interacción sistema más Set interacción Responsable

## 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

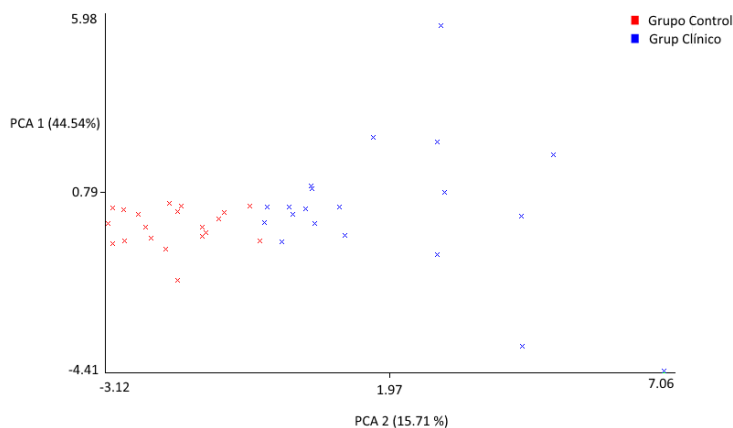
Asimismo, como se expone en la Ilustración 4.44, se puede comprobar como son los que mayor valor propio poseen en comparación con los componentes no seleccionados.

En la ilustración 4.44 se muestra el % de varianza acumulado por cada componente.



**Ilustración 4.44:** Resultado % acumulado de varianza : Set interacción sistema más Set interacción Responsable

Como se puede observar a partir del 5º componente el porcentaje de la varianza acumulado comienza a ser menor, produciéndose un menor incremento en la varianza desde este componente. La ilustración 4.45 expone la relación existente entre el componente 1 y el componente 2 del Set interacción sistema más Set interacción Responsable.



**Ilustración 4.45:** Representación gráfica relación PCA1 y PCA2: Set interacción sistema más Set interacción Responsable

Una vez obtenidos los componentes más significativos, se ha procedido a realizar la clasificación. Para ello, se ha empleado un Cross - validation de 33 folds. La tabla 4.71 muestra los resultados que se han obtenido de cada clasificador empleados en la fase anterior.

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema

Como se puede observar se ha obtenido mediante todos los algoritmos un % de sensibilidad superior o igual al 90 %, pero el algoritmo J48 ha logrado el mejor resultado con un 97,5 % y con una especificidad también del 97,5 %.

**Tabla 4.71:** Resultados de la clasificación mediante Inteligencia Artificial partiendo del Set formado por los indicadores de interacción con el sistema y con el responsable

Algoritmos	TPR	FPR	Precisión	Area ROC
ADTree	0,95	0,05	0,95	0,911
J48	0,975	0,09	0,937	0,975
RandomForest	0,95	0,05	0,95	0,995
SVM	0,925	0,075	0,935	0,925
NaiveBayes	0,90	0,1	0,9	0,988

### 4.2.3.2 Resultados clasificación Set completo de indicadores

El primer paso para proceder con la clasificación de los datos, se ha calculado el test KMO obteniendo una medida de adecuación del 0.682. Esta medida indica que la relación entre las variables es baja (  $KMO > 0.6$  ). Sin embargo, el resultado del test de Bartlett indica que es adecuado emplear el PCA para explicar los datos ya que tienen una significancia de 0.00 (ver Tabla 4.72 ).

**Tabla 4.72:** Resultados KMO y test Bartlett: Set completo de indicadores

Medida de adecuación muestral de KMO.		0.682
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	775.386 0,00
	Sig.(p)	

Una vez analizados los resultados del test KMO y Bartlett, se ha procedido a ejecutar el PCA. En la tabla 4.73 se muestra los resultados tras aplicar dicho método.

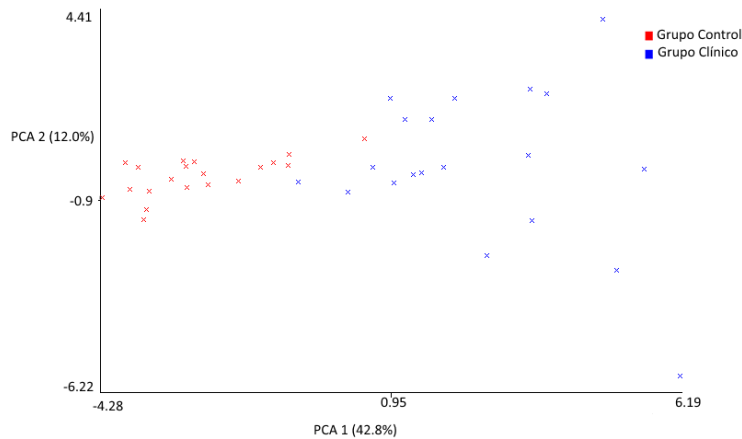
**Tabla 4.73:** Resultados técnica PCA: Set completo de indicadores

Componente	Valor Propio	% de la varianza	% acumulado
1	8,98	42,80	42,80
2	2,52	12,01	54,82
3	1,71	8,18	63
4	1,61	7,71	70,71
5	1,35	6,47	77,19
6	0,89	4,26	81,45
7	0,78	3,73	85,19

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

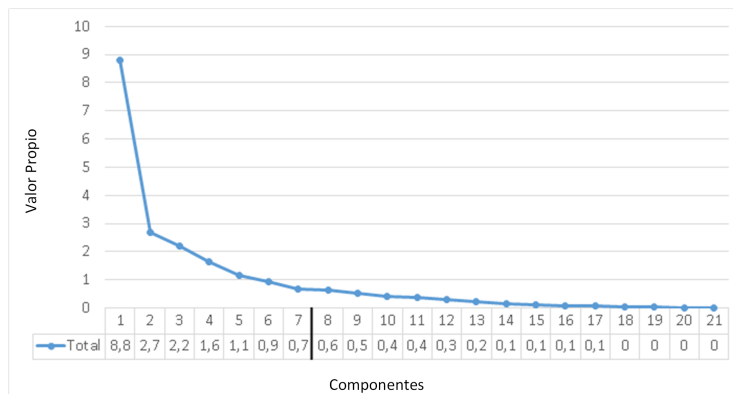
Al igual que en el apartado anterior, el punto de corte para seleccionar los componentes se ha establecido en aquellos que expliquen el 85 % de la varianza acumulada, por tanto, se han seleccionado los primeros 7 componentes por cumplir dicha condición (85.19 %).

La ilustración 4.46 expone la relación existente entre el componente 1 y el componente 2 generados con el algoritmo PCA.



**Ilustración 4.46:** Representación gráfica relación PCA1 y pCA2 Set completo de indicadores

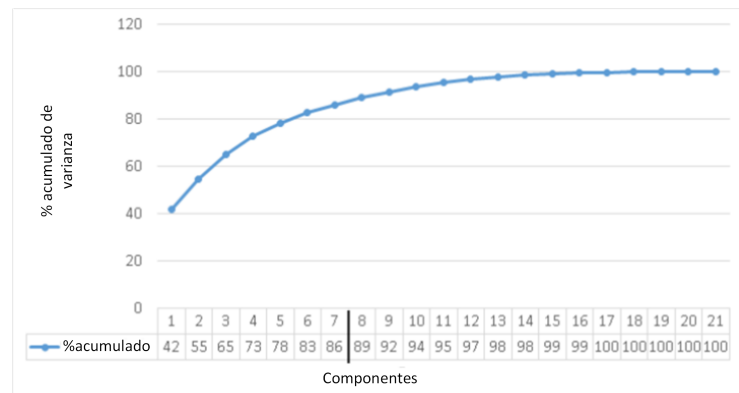
En la ilustración 4.47, se comprueba cómo los 7 componentes seleccionados son los que poseen mayor valor propio.



**Ilustración 4.47:** Representación gráfica del valor propio de los componentes Set completo de indicadores

Asimismo, se ha representado en la ilustración 4.48 la evolución del acumulado de la varianza de los componentes generados gracias a la cual se observa cómo hasta el componente 7 existe un gran incremento en la varianza, y a partir de éste el porcentaje acumulado no sufre una gran variación.

## 4.2 Resultados del módulo de validación del sistema



**Ilustración 4.48:** Representación gráfica del valor acumulado de varianza de los componentes: Set completo de indicadores

Tras analizar los componentes obtenidos una vez realizado el método PCA, se procede a la clasificación de los mismos. Se ha empleado el Cross-Validation de 33 folds junto con los algoritmos empleados durante todo el proceso de validación. En la tabla 4.74 se muestran los resultados obtenidos tras los algoritmos de Inteligencia Artificial.

**Tabla 4.74:** Resultados de la clasificación mediante Inteligencia Artificial del Set completo de indicadores

Algoritmos	TPR	FPR	Precisión	Area ROC
ADTree	0,95	0,05	0,95	0,936
J48	0,95	0,05	0,95	0,928
RandomForest	0,95	0,05	0,95	0,975
SVM	0,95	0,05	0,95	0,95
NaiveBayes	0,90	0,1	0,904	0,978

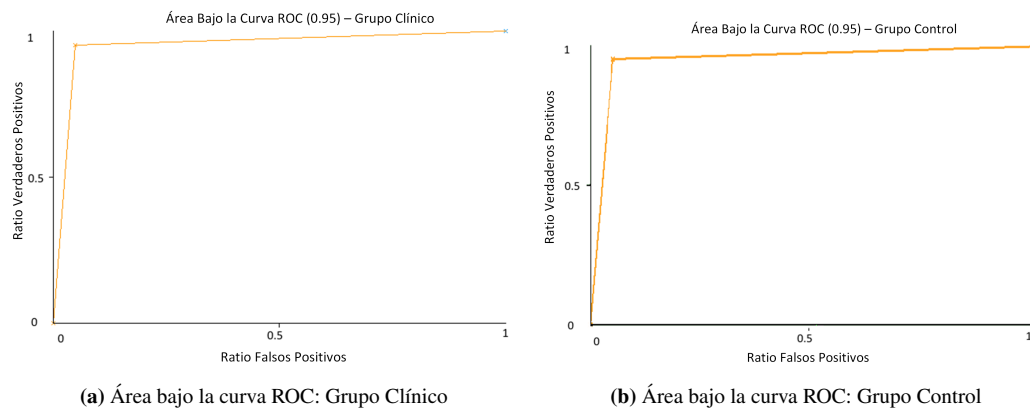
Como se puede observar 4 de los 5 algoritmos han obtenido una sensibilidad del 95 %. Si embargo, se considera mejor algoritmo para este experimento el Random Forest ya que por presenta un área bajo la curva ROC superior (0,975) (ver Ilustración 4.42).

A continuación se muestra la matriz de confusión del método Random Forest. Esta matriz muestra cómo de los 20 participantes pertenecientes al Grupo Control sólo 1 es clasificado como perteneciente al Grupo Clínico, dándose lugar de igual manera en el caso del grupo Clínico, sólo 1 de los participantes ha sido clasificado dentro del Grupo Control.

### 4.2.3.3 Conclusiones

El último paso completado para llevar a cabo una clasificación de los participantes es el encargado de emplear algoritmos de Inteligencia Artificial con los indicadores más significativos obtenidos de

## 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS



**Ilustración 4.49:** Área bajo la curva

**Tabla 4.75:** Matriz de confusión del algoritmo Random Forest.

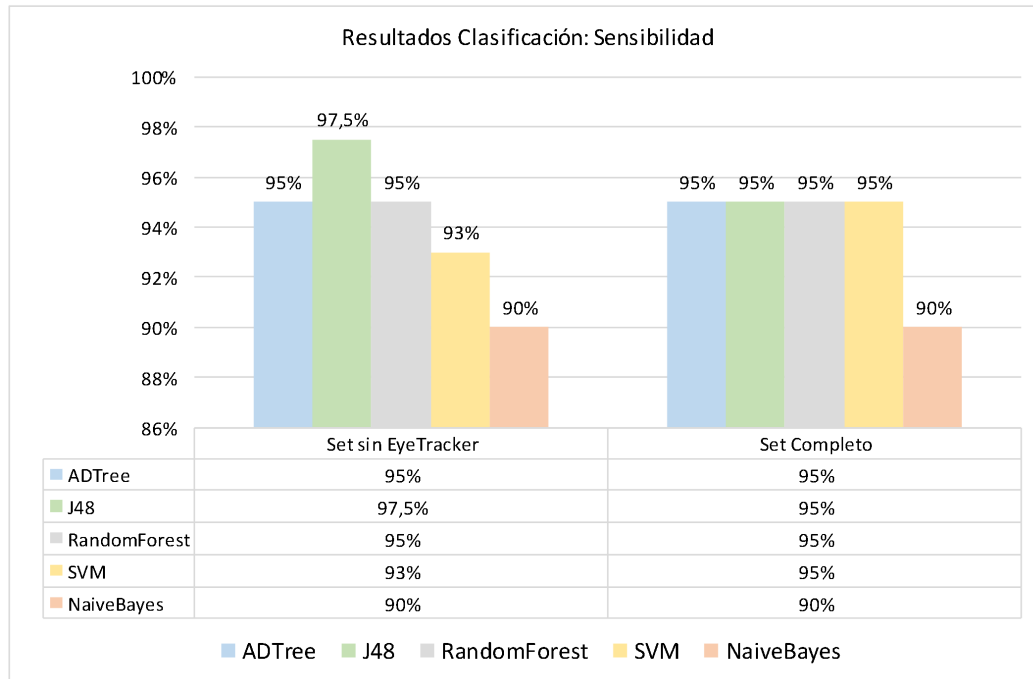
Grupo	Control	Clínico
Control	19	1
Clínico	1	19

la fase de “Procesado”.

En la ilustración 4.50 se expone la comparación de los resultados conseguidos por cada algoritmo de Inteligencia Artificial empleados en la clasificación de ambos grupos en relación a cada set clasificado, es decir, la comparación entre el set compuesto por los indicadores de interacción con responsable y con el sistema y el set formado por los indicadores de interacción más los indicadores obtenidos por el EyeTracker.

Como se observa, el set sin los indicadores del EyeTracker, ha obtenido un porcentaje mayor de acierto con un 97.5 % gracias al algoritmo J48. Sin embargo, el set de indicadores compuesto por el eyetracker más interacción, se puede considerar más fiable ya que se consigue que 4 de 5 algoritmos con diferentes criterios para realizar la clasificación obtengan la misma sensibilidad, un 95 %.

*Por tanto, los indicadores seleccionados gracias a la fusión de las características obtenidas, tanto de la interacción con el responsable, como con el sistema y la información proveniente del dispositivo hardware EyeTracker, pueden ser considerados como indicadores claves a tener en cuenta en la detección precoz del Trastorno del Espectro Autista, obteniéndose un 95 % de sensibilidad y especificidad.*



**Ilustración 4.50:** Comparativa resultados de los algoritmos de IA

### 4.3 Resultados test de usabilidad

Una vez finalizadas las pruebas con los usuarios y analizado los resultados, se ha procedido a la cumplimentación de un test adaptado al presente trabajo sobre la usabilidad del sistema. El test ha sido cumplimentado por los 3 pedagogas que han participado en las pruebas con los usuarios. A pesar de tratarse de un grupo reducido de responsables y por tanto no dar información significativa, se considera importante reflejar sus opiniones sobre el trabajo. El test ha constado de 5 preguntas en las que debían indicar mediante una puntuación de 0 a 5 si estaban totalmente en desacuerdo, desacuerdo, ni de acuerdo ni en desacuerdo, en de acuerdo o totalmente de acuerdo respectivamente, justificar la opción seleccionada y una última pregunta de observaciones generales.

A continuación se enumeran las preguntas y se detalla las respuestas razonadas por cada pedagoga a cada una de ellas.

- **Pregunta 1 :** ¿Considera que el juego es apto para lo/as niño/as participantes?
  - Pedagoga 1: De acuerdo. Gracias a él podemos trabajar los objetivos propuestos con los niños.
  - Pedagoga 2: Ni de acuerdo ni en desacuerdo. No para todos.

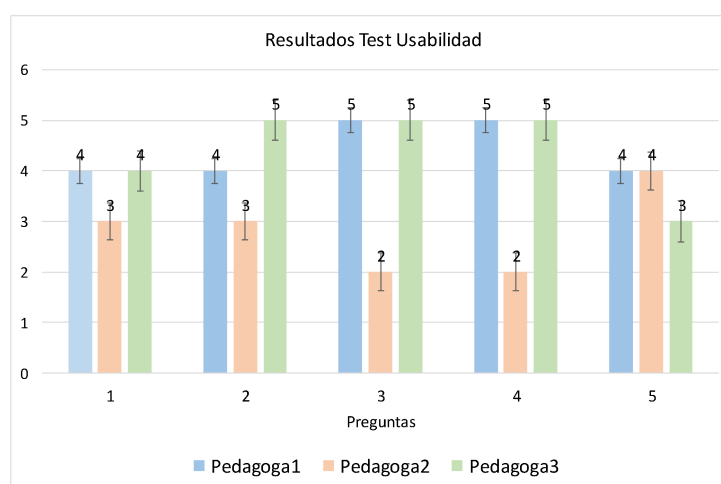
#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

---

- Pedagoga 3: De acuerdo. Para algunos era muy sencillo y no tenía gran interés
- Pregunta 2 : ¿Considera que el manejo del juego es sencillo?
  - Pedagoga 1: De acuerdo. Tan solo es necesario usar un par de teclas. Importante que sea fácil el uso ya que en las sesiones tenemos que tener muchos factores en cuenta además de la actividad.
  - Pedagoga 2: Ni de acuerdo ni en desacuerdo. En el mismo sentido depende del nivel del niño.
  - Pedagoga 3: Totalmente de acuerdo. No requiere habilidad motriz fina.
- Pregunta 3 : ¿Considera que el juego trabaja la interacción con lo/as niño/as?
  - Pedagoga 1: Totalmente de acuerdo. El juego permite que el niño necesite ayuda para continuar jugando y por lo tanto tenga que pedírsela al adulto.
  - Pedagoga 2: En desacuerdo. Se enganchan excesivamente con pantalla ,etc...
  - Pedagoga 3: Totalmente de acuerdo. Porque al no dar respuesta tienen que solicitar nuestra ayuda.
- Pregunta 4 : ¿Usaría el juego de una forma cotidiana en las sesiones como complemento para trabajar la interacción?
  - Pedagoga 1: Totalmente de acuerdo. Me permitiría trabajar la interacción con los niños.
  - Pedagoga 2: En desacuerdo. -
  - Pedagoga 3: Totalmente de acuerdo. -
- Pregunta 5 : ¿ Considera que el tiempo de duración del juego es suficiente?
  - Pedagoga 1: De acuerdo. Se tiene tiempo suficiente para trabajar con los niños sin que lleguen a aburrirse por ser excesivamente largo.
  - Pedagoga 2: De acuerdo.-
  - Pedagoga 3: Ni de acuerdo ni en desacuerdo. Depende del nivel del niño
- Pregunta 6 : Observaciones generales
  - Pedagoga 1: Me parece una herramienta de fácil manejo con la que poder trabajar la interacción. Al tener soporte informático motiva a los niños.

- Pedagoga 2: No adecuado para los niños de nivel bajo.
- Pedagoga 3: Como el nivel de los niños ha sido muy variado, es difícil valorarlo en general, pero la interacción (que era lo que más nos interesaba), creo que se ha podido trabajar muy bien. Me parece también positivo el no usar música o sonidos que les pueden distraer y no buscar la ayuda en la persona.

En la ilustración 4.51 se muestran de forma gráfica las puntuaciones dadas por las pedagogas a cada pregunta.



**Ilustración 4.51:** Resultados del Test de Usabilidad

Al analizar los resultados de las pedagogas, 2 de ellas han realizado una puntuación media superior a 4.3 indicando que el sistema facilita el trabajar la interacción con los niños/as con autismo y su facilidad de uso. Sin embargo, la tercera pedagoga ha calificado con un 2.8 de media el sistema. Este dato se debe a que considera las terapias tradicionales más óptimas que las terapias que incorporan tecnología. A pesar de este dato, el resto de puntuaciones han sido muy elevadas aportando validez al sistema. Sin embargo, sería conveniente llevar a cabo pruebas con un mayor número de profesionales para corroborar la usabilidad del sistema.

## 4.4 Conclusiones

Este capítulo ha expuesto los resultados obtenidos durante la investigación. Para ello, se han definido las características de ambos grupos, estableciendo el número de participantes y los criterios de

#### 4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

---

inclusión y exclusión. Asimismo, ha sido necesario establecer la metodologías y protocolo de pruebas con el fin de que todos los participantes ejecutaran el experimento bajo las mismas condiciones. Este hecho permite que los valores generados puedan ser comparados entre ellos.

Una vez explicados los requisitos se han descrito los resultados obtenidos del módulo de validación del sistema, gracias al cual se han extraído los indicadores críticos.

La primera fase del módulo ha transformado la información almacenada en los XMLs en indicadores estadísticos aportando información del comportamiento de ambos grupos. Estos indicadores han sido agrupados por el tipo de interacción en tres sets de características. El primero de ellos está relacionado con la interacción con el responsable (S1), dónde se ha podido apreciar como el tiempo empleado en interaccionar por lo/as usuarios ha sido mayor por parte del Grupo Clínico que por el Grupo Control. Sin embargo, un hecho importante a remarcar es cómo ha predominado la comunicación mediante contacto visual, en vez de mediante gestos o palabras, viéndose reducido a medida que los jugadores avanzan por los niveles, pudiendo ser un impulso a mejorar las habilidades sociales.

El segundo set (S2) está relacionado con la interacción con el sistema, dónde se ha evaluado la puntuación obtenida y la tendencia del área de selección de objetos. Se ha comprobado cómo el Grupo Control procura seleccionar un mayor número de elementos a lo largo de todo la pantalla realizando en consecuencia un mayor número de intentos por una región superior que el Grupo Clínico.

El último set obtenido de esta fase se corresponde con la exploración con la mirada de la pantalla. Para ello, se han generado los mapas de calor dónde se aprecia las áreas de interés de los Grupos. Se comprueba que el Grupo Clínico mantiene su atención por menor tiempo que el Grupo Control en todas las áreas, viéndose reducido por tanto el número de fijaciones realizado por ello durante el juego. Esto hecho puede estar relacionado con el tiempo que han permanecido jugando, ya que el tiempo que han permanecido los objetos en la pantalla han sido menores por necesitar más segundos en realizad la interacción. Asimismo, se observa cómo existe una concentración mayor de la mirada en la región izquierda - inferior, coincidiendo con los estudios realizados por diversos autores que indican que la exploración la realizan de abajo a arriba [WHVF<sup>+</sup>13a].

La segunda fase de la validación, se ha centrado en la reducción de los tres set de indicadores, empleando técnicas estadísticas y de inteligencia artificial.

Gracias a las técnicas estadísticas se ha determinado las diferencias significativas existentes entre cada indicador, corroborando las conclusiones obtenidas en la fase anterior. Del S1 se ha detectado cómo las diferencias existentes entre los tiempos de interacción son significativamente

superiores ( $p < .005$ ) en el Grupo Clínico así como el modo de interacción, realizando dicho grupo un número menor de interacciones con contacto visual [KI13]. En el S2, las diferencias se han establecido en las puntuaciones logradas y en el modo en que el Grupo Clínico selecciona objetos a lo largo de la pantalla, empleando una región significativamente menor que el Grupo Control. Por último, las diferencias obtenidas en la exploración de la pantalla (S3) se encuentran tanto en el número de fijaciones, como en el tiempo empleado en cada área y en la posición de la mirada, abarcando más área de visión el Grupo Control. En cuanto a la región inferior, se comprueba y siguiendo la línea de otros autores que indican cómo realizan la exploración de abajo a arriba [WHVF<sup>+</sup>13a], el Grupo Clínico centra su mirada en la parte más baja de la pantalla.

En relación a los resultados obtenidos en la selección de características mediante Inteligencia Artificial, se han fusionado entre los 5 métodos que emplean diferentes criterios de selección los mejores resultados obtenidos según el criterio de la Sensibilidad. Gracias a estos algoritmos, se ha conseguido reducir la gran cantidad de indicadores generados, seleccionando sólo aquellos relevantes. El set final que deben ser evaluados al emplear esta herramienta como sistema de ayuda a la detección precoz está compuesto por 21 indicadores críticos creando y dando lugar al TEAgrama final.

Por último, se ha llevado a cabo la clasificación generando en primer lugar 7 componentes con los 21 indicadores finales, obteniendo un resultado de un 95 % de sensibilidad y de especificidad, demostrando como el sistema desarrollado, puede ser utilizado como un sistema más en la detección de autismo de forma eficiente.

*El Serious Game desarrollado para esta investigación genera características críticas que dan información sobre las diferencias existentes entre personas con afectación de TEA y personas con desarrollo neurotípico, evaluando una de las áreas de afectación de este trastorno como es la habilidad social. Por esta razón, el sistema puede ser incorporado como una herramienta a utilizar en el campo de la detección precoz del autismo.*



*Después de escalar una gran colina, uno se encuentra sólo con que hay muchas más colinas que escalar*

Nelson Mandela

Capítulo

# 5

## Conclusiones

**L**os capítulos previos recogen de forma detallada los pasos llevados a cabo durante la investigación de la presente tesis doctoral. Para su realización, se ha presentado la problemática abordada junto con la hipótesis y objetivos a perseguir. Asimismo, se ha examinado de forma detallada los estudios tecnológicos más importantes realizados en los últimos años determinando las limitaciones existentes. A continuación, se ha detallado la solución propuesta diseñada con objeto de cubrir las carencias detectadas junto con el módulo de validación del sistema mediante Inteligencia Artificial que permite identificar los indicadores objetivos a evaluar en la detección precoz del TEA. Finalmente, se han detallado los resultados obtenidos del experimento.

Este último capítulo recoge las conclusiones finales analizando las contribuciones de la tesis, detalladas en los capítulos de “Solución Propuesta” y “Experimentación y Resultados”, que han permitido validar la hipótesis planteada al inicio de la tesis junto con el impacto científico generado por la investigación. Por último, las líneas de actuación futuras que exponen mejoras y nuevas líneas de investigación en torno a esta tesis.

### 5.1 Cumplimiento de objetivos

En los últimos años, el Trastorno del Espectro Autista (TEA) ha generado un gran interés en el mundo científico, logrando un aumento de investigaciones, tanto a nivel médico como a nivel tecnológico.

## 5. CONCLUSIONES

---

En el ámbito de la tecnología, las herramientas desarrolladas están teniendo un impacto muy positivo y una gran aceptación, ya que son un gran apoyo para trabajar los puntos fuertes y débiles de las personas con TEA.

Sin embargo, en su mayoría, las herramientas desarrolladas están pensadas para trabajar de forma individualizada con el sistema, disminuyendo la relación social. Asimismo, están enfocadas a ser utilizadas una vez realizado el diagnóstico, olvidando lo primordial de llevar a cabo una detección precoz para poder comenzar a trabajar las áreas de afectación del TEA lo antes posible, mejorando de esta forma su calidad de vida.

Por tanto, esta tesis, se centra en la problemática que implica la falta de herramientas objetivas que ayudan a realizar una detección precoz gracias a indicadores objetivos mediante herramientas colaborativas que puedan adaptarse a las necesidades de cada individuo.

Partiendo de esta problemática, se ha planteado la hipótesis de partida de este trabajo *“es posible obtener indicadores objetivos que ayuden a detectar el Trastorno del Espectro Autismo mediante las tecnologías de seguimiento ocular y Serious Game colaborativos”*.

Por ello, el trabajo de investigación ha tenido como objetivo principal: ***El diseño y desarrollo de un sistema basado en Serious Games y tecnología eyetracking que ayuda a la detección precoz del TEA evaluando las habilidades sociales.***

Para alcanzar el objetivo principal se ha implementado un sistema colaborativo basado en juegos siguiendo el enfoque “Diseño Centrado en el Usuario” [JIMK03] creando un juego adaptado a las necesidades de estas personas, en el que se trabaja la comunicación, la atención visual y la memoria, evaluándose las habilidades sociales entre el jugador - responsable - sistema mediante paradas controladas del juego, forzando la comunicación con el responsable para poder volver a jugar. Debido a las características de los usuarios finales a los que está orientada la investigación, las interfaces finales del Serious Game han sido diseñadas con colores con una tonalidad suave que benefician el mantenimiento de la concentración, así como la incorporación de elementos conocidos, y de un avatar que les guía durante el juego ayudando a reducir un posible estrés a los niños/as. Otro aspecto importante ha sido el refuerzo positivo integrado al final de cada nivel que aumenta la motivación para continuar jugando.

Mediante la integración del Serious game en el que ha sido indispensable la comunicación e interacción entre el responsable de la sesión y el niño/a participante para poder superar los niveles y la tecnología de seguimiento ocular, eyetracking, se ha almacenado información objetiva en forma de puntuaciones, tiempos de comunicación con el responsable, modo de interacción con el juego y datos relativos al proceso de exploración de la mirada, como áreas de interés y tiempos dedicados

a cada una de ellas. Una vez recogida la información ha sido analizada y procesada a través de un algoritmo que integra métodos estadísticos descriptivos y no paramétricos y técnicas de inteligencia artificial. Dicho algoritmo ha sido capaz de encontrar las diferencias significativas existentes en los patrones de comportamiento entre el Grupo Control y Grupo Clínico, en concreto se han obtenido como resultado 21 indicadores críticos (“TEAgrama”), agrupados en: 7 indicadores relacionados con la interacción con el sistema, 7 características relacionadas con la interacción con el responsable y 7 con la exploración de la pantalla. Los indicadores que forman parte de la interacción con el responsable han revelado cómo las personas con TEA además de necesitar más tiempo en comunicarse con el responsable, el modo de interactuar mediante contacto visual es significativamente menor que el Grupo Control, detectando posibles alteraciones en las relaciones sociales. En relación a la interacción con el sistema, se ha comprobado como las personas con TEA realizan un menor número de aciertos que el Grupo Control y abarcan una región menor a la hora de seleccionar objetos. Los puntuaciones obtenidas por el Grupo Clínico están correlacionadas con el tiempo que necesitan en solicitar ayuda, ya que a mayor tiempo empleado en la comunicación menos tiempo poseen para capturar los elementos. Por último, la exploración de la pantalla se lleva a cabo de forma dispar ya que su fijación se realiza en la zona más inferior de la pantalla. Estos indicadores obtenidos se encuentran relacionados con los problemas asociados al TEA en las habilidades sociales siguiendo los criterios del DSM-V [DV] y la trayectoria de las investigaciones realizadas por diversos autores como por ejemplo Tanaka et al. [TWK<sup>+</sup>12] o Rutherford et al [RT08] dónde comprobaron que las personas con TEA prestan más atención en la región más inferior. Estos indicadores determinan un posible riesgo de TEA alcanzando en su totalidad el cumplimiento del objetivo planteado.

Por considerarse de gran importancia que los participantes disfruten y no sufran estrés durante el juego, se ha establecido una metodología para llevar a cabo la investigación con los usuarios finales, en este caso 20 niño/as diagnosticados con TEA que acuden a la asociación APNABI y 20 niño/as con desarrollo neurotípico del Colegio Vizcaya. Para ello, y alcanzado en su totalidad el **segundo objetivo: Diseñar un protocolo de pruebas**, se ha definido en primer lugar la configuración del Serious Game que ha permitido que los participantes partan de las mismas condiciones con objeto de realizar una comparación objetiva entre todos los participantes. Para ello, se han establecido tanto los objetos a recoger, como la velocidad de caída, duración de los niveles y tiempos de parada, entre otros. En segundo, se ha determinado un entorno seguro y controlado en el que se ha llevado a cabo la investigación con los usuarios finales. Gracias a este protocolo, los niño/as se han encontrado cómodos y han disfrutado durante el experimento.

## 5. CONCLUSIONES

---

El sistema propuesto trata además, de cubrir la limitación detectada relacionada con un número bajo de desarrollos adaptados a la necesidad individual de cada individuo, logrando alcanzar totalmente el *tercer objetivo: Desarrollar un Serious Game que permita configurar parámetros del juego que evalúan y trabajan el área de afectación de la habilidad social*. Por este motivo, y a pesar de que en esta investigación se haya llevado a cabo bajo una configuración determinada para todos/as, se ha desarrollado un sistema de configuración, que permite modificar parámetros del juego, como velocidad de caída de los objetos, aspecto de los elementos a recoger, tiempos de paradas automáticas, entre otros que permite adaptar el sistema a cada persona, pudiendo ser empleado no sólo para la detección del autismo sino como parte del tratamiento, logrando una mayor flexibilidad del Serious Game al poder cubrir gran parte del Trastorno del Espectro Autista.

Gracias al carácter colaborativo del Serious Game por la necesidad de comunicarse con el responsable, y la integración de la tecnología eyetracking, se obtiene información relevante, que tras ser procesada por un módulo compuesto por métodos estadísticos e inteligencia artificial han permitido identificar los indicadores objetivos críticos a analizar en la detección precoz del autismo.

El *cuarto objetivo: Diseñar algoritmos de validación del sistema* se ha cumplido en su totalidad gracias a la integración en un mismo algoritmo diversas técnicas de procesado de datos. En primer lugar, los métodos estadísticos descriptivos han permitido la transformación de la información capturada por el Serious Game y el dispositivo hardware EyeTracker en características, agrupándolas en tres grandes sets, set de interacción con el responsable, set de interacción con el sistema y set EyeTracker. A continuación los indicadores han sido procesados mediante métodos de reducción y selección de los indicadores críticos que forman parte del "TEAgrama". Para ello, se han empleado tests no paramétricos como Mann-Whitney y Wilcoxon que han establecido aquellos indicadores significativamente diferentes y mediante la fusión e integración de técnicas de inteligencia artificial como ADTree, J48, Random Forest, Naive Bayes y SVM, cuyo papel principal ha correspondido con la selección de las características más relevantes. La última fase, corresponde con la validación del sistema, por lo que se ha comprobado como los indicadores obtenidos en las fases anteriores permiten realizar una clasificación entre personas con desarrollo neurotípico o con TEA, siendo necesario la realización de más pruebas de detección por parte de los profesionales para llevar a cabo un diagnóstico concreto. Por ello, se ha hecho uso de algoritmos de inteligencia artificial que han permitido realizar la clasificación de la información. Gracias a estos, se ha comprobado con un 95 % de sensibilidad y de especificidad como las características críticas obtenidas en la fase anterior, son indicadores objetivos a tener en cuenta en la detección precoz del autismo, corroborando la hipótesis de partida planteada en este trabajo de investigación.

## 5.2 Impacto científico

En esta sección se recogen las actuaciones realizadas durante los años de investigación invertidos en la realización de este experimento.

Por tanto, se reflejan los artículos científicos publicados en revistas internacionales, artículos en congresos internacionales, capítulos de libros y registros de propiedad intelectual.

### 5.2.1 Artículos en revistas científicas

En este apartado se exponen los artículos publicados en revistas científicas internacionales.

Título	Cognitive rehabilitation system for children with autism spectrum disorder using serious games: A pilot study
Autores	Nuria Aresti Bartolomé, Begoña García Zapirain
Revista	Bio-Medical Materials and Engineering
IF(2015)	1.091
Quartil	Q4
Fecha Publicación	17 de Agosto de 2015
DOI	10.3233/BME-151373

Título	Technologies as Support Tools for Persons with Autistic Spectrum Disorder: A Systematic Review
Autores	Nuria Aresti Bartolomé, Begoña García Zapirain
Revista	International Journal of Environmental Research and Public Health
IF(2014)	2.063
Quartil	Q2
Fecha Publicación	4 de Agosto de 2014
DOI	10.3390/ijerph110807767

## 5. CONCLUSIONES

---

Título	Can New Abilities Be Acquire Thanks to Serious Games? Improvementof the Social Skills and Eating Habits Case study
Autores	Nuria Aresti Bartolomé , Amaia Mendez Zorrilla Begoña García Zapirain
Revista	International Journal of Multimedia Technology
Fecha Publicación	Septiembre 2012

### 5.2.2 Artículos presentados en congresos internacionales

A continuación, se indican cronológicamente las ponencias realizadas en los siguientes congresos internacionales.

Título	Autism Spectrum Disorder children interaction skills measurement using computer games
Autores	Nuria Aresti Bartolomé, Amaia Mendez Zorrilla , Begoña García Zapirain
Congreso	18th International Conference on Computer Games - CGAMES , 2013
Fecha de celebración	30/07/2013 -01/08/2013
Fecha Publicación	4 de Agosto de 2014
ISBN	978-1-4799-0818-9
DOI	10.1109/CGames.2013.6632634
Publisher	IEEE

## 5.2 Impacto científico

Título	Can Game-Based Therapies be trusted? Is Game-Based Education effective? A systematic review of the Serious Games for Health and Education
Autores	Nuria Aresti Bartolomé, Amaia Mendez Zorrilla , Begoña García Zapirain
Congreso	16th International Conference on Computer Games - CGAMES , 2011
Fecha de celebración	27/07/2011 -30/07/2011
Fecha Publicación	27 de Julio de 2011
ISBN	978-1-4577-1451-1
DOI	10.1109/CGAMES.2011.6000353
Publisher	IEEE

Título	A serious game to improve human relationships in patients with neuro-psychological disorders
Autores	Nuria Aresti Bartolomé, Amaia Mendez Zorrilla , Begoña García Zapirain
Congreso	Games Innovations Conference (ICE-GIC), 2010 International IEEE Consumer Electronics Society's
Fecha de celebración	21/12/2010 - 23/12/2010 1
Fecha Publicación	Diciembre de 2010
ISBN	978-1-4244-7178-2
DOI	10.1109/ICEGIC.2010.5716881
Publisher	IEEE

## 5. CONCLUSIONES

---

### 5.2.3 Capítulos de libro

Durante la realización de la tesis doctoral, se ha participado en un capítulo de libro.

Título	Detection of Gaze Atypical Pattern: A Systematic Review of Eye Tracking in the Autistic Spectrum Disorders
Autores	Nuria Aresti Bartolomé ,Begoña García Zapirain
Libro	Advances in Medicine and Biology. Volume 69
Editorial	Nova Science Publishers
ISBN	978-1-62618-982-9
Fecha Publicación	Septiembre 2013
Enlace web	<a href="http://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=45648">www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=45648</a>

### 5.2.4 Proyectos relacionados

Por último, la investigación ha estado sujeta a proyectos que han ayudado a la ejecución de la misma, generando difusión del proyecto en la página web de la Asociación de Padres de Afectados de Autismo y otros Trastornos de Espectro Autista y en la plataforma online de Euskadinnova.

Título	jolasTEA: Solución tecnológica de ayuda al tratamiento de los trastornos del espectro autista (TEA) siguiendo los criterios del DSM - V
Convocatoria	Diputación Foral de Bizkaia (DFB). Dpto. de promoción de la innovación
Duración	01/07/2012 - 30/06/2013
Financiación	33.682,50 euros

## 5.3 Futuras líneas de investigación

Las investigaciones llevadas a cabo en el campo tecnológico sobre el Trastorno del Espectro Autista están comenzando a crecer, generando información relevante sobre este trastorno, ayudando a

mejorar la calidad de las personas con TEA. Por esta razón, el experimento propuesto se trata de una investigación abierta permitiendo crear nuevas líneas de investigación que ayuden a completar y mejorar la solución tecnológica presentada.

Las líneas de actuación están encaminadas tanto al módulo de Serious Game cómo al módulo de Validación del Sistema.

Relacionado con el primer módulo, se considera de importancia, continuar con la experimentación de actividades en las que se trabaje la exploración de los rostros y la Teoría de la Mente (ToM), es decir, la habilidad para comprender y predecir la conducta de otras personas, sus conocimientos, sus intenciones y sus creencias [CM15]. Esta línea de actuación ya se ha iniciado y se han realizado las primeras pruebas con el Grupo Control.

Estas actividades desarrolladas constan de rostros reales en los que se expresan emociones tales como alegría, tristeza, enfado y sorpresa y tiene como objetivo seguir la línea de investigación de la exploración de rostros mediante el uso de tecnología eyetracking, como los realizados por Hedley et al. [HBY15] o Falck-Ytter et al. [FY15], y ejercicios en los que el jugador debe predecir la conducta de otras personas. Asimismo, para completar el sistema propuesto, sería interesante estudiar la actividad eléctrica cerebral mientras se lleva a cabo el Serious Game [JLS<sup>+</sup>15]. Gracias a estas incorporaciones propuestas se pueden obtener nuevos indicadores que mejorarían la detección precoz del autismo.

En cuanto al módulo de Validación del Sistema, sería interesante realizar una clasificación posterior a la propuesta en la que se determine además de si un niño/a tiene riesgo de autismo, el posible grado de afectación siguiendo los criterios del DSM-V. Para ello, es necesario una ampliación del número de participantes pertenecientes al Grupo Clínico para lograr un sistema más fiable y poder abarcar más rango del espectro. En consonancia con esta línea, sería importante combinar diversas técnicas de reducción de características con el fin de mejorar la clasificación final. Asimismo, sería interesante realizar un análisis de mayor profundidad de la información proveniente del EyeTracker como puede ser mediante técnicas de procesamiento de imágenes de los mapas de calor obteniendo de esta forma información más detallada sobre la mirada.

Una última línea de investigación importante es la realización de un experimento longitudinal con el objeto de estudiar cómo las personas con TEA mejoran en los indicadores críticos obtenidos gracias al trabajo continuado con el sistema. Esta actuación permitiría determinar si el sistema propuesto puede ser una herramienta más a emplear en las terapias con los niño/as.



ANEXO



## Consentimiento Informado y M-CHAT

**E**ste anexo recoge la carta informativa entregada a los responsables de cada niño/a en el que se resume las características de la investigación, el consentimiento informado necesario para la participación de los niño/as así como el cuestionario M-CHAT mediante el cual se ha comprobado que los participantes del Grupo Control presentan un desarrollo neurotípico.

El cuestionario M-CHAT es un test centrado en la detección de síntomas relacionados con el TEA. Este test puede ayudar a una primera detección y por lo tanto a encaminar a padres y profesionales hacia la búsqueda de un diagnóstico especializado.

## *Información sobre la tesis (padres-madres)*

Estimada señor/señora,

Las personas con un diagnóstico de Trastornos del Espectro Autista (TEA) sufren una gran variedad de dificultades (en perfil y grado) que sobre todo centran en tres áreas: la interacción social recíproca, la comunicación e intereses y comportamientos. Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) son un medio tecnológico de compensación y apoyo en la intervención que pueden ser enfocados hacia los siguientes campos: educación, comunicación, ocio y tiempo libre, valoración y diagnóstico. Mediante este tipo de soluciones se ponen en práctica los puntos fuertes de las personas con TEA y se trabajan sus debilidades, ayudando a incrementar el vocabulario, la comunicación para que mejoren en estas habilidades.

En relación a este tema, se está desarrollando una investigación realizada por la doctoranda Nuria Aresti Bartolomé de la Universidad de Deusto bajo la supervisión de su directora de tesis Begoña García Zapirain.

Pedimos vuestra colaboración en esta tesis que tiene como objetivo el desarrollo de una herramienta tecnológica que dé apoyo a los expertos/ psicólogos en el tratamiento de personas con Trastorno del Espectro Autista, empleando el uso de nuevas tecnologías, concretamente sistemas de seguimiento ocular (técnica NO invasiva). Para ello consideramos imprescindible tanto la participación de niños con diagnóstico TEA como la de niños sin dicho diagnóstico. Con el objetivo de establecer un grupo control, os pedimos en consentimiento para que vuestros/as hijos/as puedan participar en la investigación. Asimismo, pedimos vuestra colaboración para cumplimentar el test adjunto que permite obtener indicadores de comportamientos relacionados con el TEA. Si prefieren el cuestionario puede ser rellenado por el/la profesor/a.

Los/as niños que participen se repartirán en dos grupos aleatoriamente. Para ambos grupos la participación consistirá en una sesión de prueba en la que durante aproximadamente 15 minutos los niños jugarán individualmente a un juego de ordenador con la asistencia de investigadores. La información que se obtendrá de estas sesiones estará relacionada con datos sociodemográficos y con datos objetivos de las pruebas del sistema (para Grupo 1: resultados en el juego. Y para Grupo 2: resultados en el juego y datos respectivos al seguimiento ocular). En ningún momento se pedirán datos identificatorios, manteniendo así la confidencialidad de los participantes.

Agradeciendo de antemano vuestra colaboración y quedamos a vuestra disposición para lo que consideréis oportuno.

Nuria Aresti: 94 413 90 00 - ext. 2051, [nuria.aresti@deusto.es](mailto:nuria.aresti@deusto.es)  
Amaia Méndez: 94 413 90 00 - ext. 2051, [amaia.mendez@deusto.es](mailto:amaia.mendez@deusto.es)  
Begoña García: 94 413 90 00 - ext. 2051, [mbgarciazapi@deusto.es](mailto:mbgarciazapi@deusto.es)

Bilbao, 28 de octubre de 2013



Fdo.- Begoña García Zapirain  
Directora de la Unidad Deustotech-LIFE de la Universidad de Deusto

## Cuestionario Adjunto

### Instrucciones

El cuestionario consta de 23 ítems. Seleccione la respuesta que le parece que refleja mejor cómo su hijo o hija actúa **NORMALMENTE**. Si el comportamiento no es el habitual (por ejemplo, usted solamente se lo ha visto hacer una o dos veces) conteste que el niño o niña **NO** lo hace.

Al final del cuestionario, se incorpora un campo libre opcional a rellenar con observaciones o aportaciones que se deseen realizar.

El cuestionario puede ser rellenado bien por un/a familiar o en su defecto por el profesor/a del niño/a. Si la persona que va a cumplimentar el cuestionario es un familiar, marque la casilla "Rellenado por los/as familiares", si por el contrario, la persona encargada de rellenar el cuestionario es el/la profesor/a, marque la casilla "Rellenado por el/la profesor/ra". Para rellenar el campo "Código del niño" el/la profesor/a os entregará un número asignado a vuestro/a hijo/a.

Por favor, conteste a todas las preguntas.

### Cuestionario

Código del niño _____
Rellenado por los/as familiares <input type="checkbox"/>
Rellenado por el/la profesor/ra <input type="checkbox"/>

Pregunta	Si	No
1 ¿Le gusta que le balanceen, o que el adulto le haga el "caballito" sentándole en sus rodillas, etc.?		
2 ¿Muestra interés por otros niños o niñas?		
3 ¿Le gusta subirse a sitios como, por ejemplo, sillones, escalones, juegos del parque...?		
4 ¿Le gusta que el adulto juegue con él o ella al "cucú-tras" (taparse los ojos y luego descubrirlos; jugar a esconderse y aparecer de repente)		
5 ¿Alguna vez hace juegos imaginativos, por ejemplo haciendo como si hablara por teléfono, como si estuviera dando de comer a una muñeca, como si estuviera conduciendo un coche o cosas así?		
6 ¿Suele señalar con el dedo para pedir algo?		
7 ¿Suele señalar con el dedo para indicar que algo le llama la atención?		

8	¿Puede jugar adecuadamente con piezas o juguetes pequeños (por ejemplo cochecitos, muñequitos o bloques de construcción) sin únicamente chuparlos, agitarlos o tirarlos?		
9	¿Suele traerle objetos para enseñárselos?		
10	¿Suele mirarle a los ojos durante unos segundos?		
11	¿Le parece demasiado sensible a ruidos poco intensos? (por ejemplo, reacciona tapándose los oídos, etc.)		
12	¿Sonríe al verle a usted o cuando usted le sonríe?		
13	¿Puede imitar o repetir gestos o acciones que usted hace? (por ejemplo, si usted hace una mueca él o ella también la hace)		
14	¿Responde cuando se le llama por su nombre?		
15	Si usted señala con el dedo un juguete al otro lado de la habitación... ¿Dirige su hijo o hija la mirada hacia ese juguete?		
16	¿Ha aprendido ya a andar?		
17	Si usted está mirando algo atentamente, ¿su hijo o hija se pone también a mirarlo?		
18	¿Hace su hijo o hija movimientos raros con los dedos, por ejemplo, acercándose a los ojos?		
19	¿Intenta que usted preste atención a las actividades que él o ella está haciendo?		
20	¿Alguna vez ha pensado que su hijo o hija podría tener sordera?		
21	¿Entiende su hijo o hija lo que la gente dice?		
22	¿Se queda a veces mirando al vacío o va de un lado al otro sin propósito?		
23	Si su hijo o hija tiene que enfrentarse a una situación desconocida, ¿le mira primero a usted a la cara para saber cómo reaccionar?		

Observaciones (opcional)

# Bibliografía

- [AC09] C.J. Anderson and J. Colombo. Larger tonic pupil size in young children with autism spectrum disorder. *Developmental psychobiology. IF 2011:2.977 (Q2 17/40)*, 51(2):207–211, 2009. 75
- [ACS06] C.J. Anderson, J. Colombo, and D.J. Shaddy. Visual scanning and pupillary responses in young children with autism spectrum disorder. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28(7):1238–1256, 2006. 64, 67
- [AGHGDPCH08] Lilia Albores-Gallo, Laura Hernández-Guzmán, Juan Antonio Díaz-Pichardo, and Beatriz Cortes-Hernández. Dificultades en la evaluación y diagnóstico del autismo. una discusión. *Salud Mental*, 31(1):37–44, 2008. 20
- [AGR04] F. Díaz Atienza, C. García, and A. Martín Romera. Diagnóstico precoz de los trastornos generalizados del desarrollo. *Revista de Psiquiatría y Psicología del Niño y del Adolescente*, pages 127–144, 2004. 18, 19
- [AKT<sup>+</sup>99] Cox A, Klein K, Charman T, Baird G, Baron-Cohen S, and Swettenham J. Autism spectrum disorders at 20 and 42 months of age: stability of clinical and adult diagnosis. *J Child Psychol Psychiatry*, 40:719–732, 1999. 19
- [AP01] J. Artigas-Pallarés. Las fronteras del autismo. *Revista de Neurología Clínica*, 2:211–24, 2001. 20
- [ASR<sup>+</sup>15] Diana Arellano, Ulrich Max Schaller, Reinhold Rauh, Volker Helzlsouer, Marc Spicker, and Oliver Deussen. On the trail of facial processing in autism spectrum disorders. In *Intelligent Virtual Agents*, pages 432–441. Springer, 2015. 31, 35
- [Ass60] American Psychiatric Association, editor. *DSM II Diagnostic and Statistical Manual*. 1960. 12

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [Ass80] American Psychiatric Association, editor. *DSM III Diagnostic and Statistical Manual*. 1980. 12
- [Ass87] American Psychiatric Association, editor. *DSM III-R Diagnostic and Statistical Manual*. 1987. 12
- [Ass94] American Psychiatric Association, editor. *DSM IV- Diagnostic and Statistical Manual*. 1994. 12
- [Ass00] American Psychiatric Association, editor. *DSM IV-R Diagnostic and Statistical Manual*. 2000. 12, 15
- [Bai12] Jon Baio. Prevalence of autism spectrum disorders: Autism and developmental disabilities monitoring network, 14 sites, united states, 2008. morbidity and mortality weekly report. surveillance summaries. volume 61, number 3. *Centers for Disease Control and Prevention*, 2012. 1, 2, 12
- [BB07] Z. Boraston and S.J. Blakemore. The application of eye-tracking technology in the study of autism. *The Journal of physiology*, 581(3):893–898, 2007. 75
- [BCGG07] Eva Billstedt, I Carina Gillberg, and Christopher Gillberg. Autism in adults: symptom patterns and early childhood predictors. use of the disco in a community sample followed from childhood. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48(11):1102–1110, 2007. 20
- [BCS03] Guillian Baird, Hilary Cass, and Vicky Slonims. Diagnosis of autism. *Clinical Review*, 39(1):327–488, 2003. 18, 19
- [BFCB11] M. Bellani, L. Fornasari, L. Chittaro, and P. Brambilla. Virtual reality in autism: state of the art. *Epidemiology and Psychiatric Sciences*, 20(03):235–238, 2011. 27
- [BGB<sup>+</sup>15] Daniel Bone, Matthew S Goodwin, Matthew P Black, Chi-Chun Lee, Kartik Audhkhasi, and Shrikanth Narayanan. Applying machine learning to facilitate autism diagnostics: Pitfalls and promises. *Journal of autism and developmental disorders*, 45(5):1121–1136, 2015. 123

- [BJB<sup>+</sup>05] CM Botella, MC Juan, RM Baños, M. Alcañiz, V. Guillen, and B. Rey. Mixing realities? an application of augmented reality for the treatment of cockroach phobia. *CyberPsychology & Behavior*, 8(2):162–171, 2005. 23
- [Bla10] A Blanc. Brigadoon: An innovative online community for people dealing with asperger’s syndrome and autism. [http://braintalk.blogs.com/brigadoon/Last accessed](http://braintalk.blogs.com/brigadoon/Last%20accessed), 17(9):2010, 2010. 24
- [Ble50] Eugen Bleuler. Dementia praecox or the group of schizophrenias. 1950. 10
- [BLS<sup>+</sup>12] Luigi Boccuto, Maria Lauri, Sara M Sarasua, Cindy D Skinner, Daniela Buccella, Alka Dwivedi, Daniela Orteschi, Julianne S Collins, Marcella Zollino, Paola Visconti, et al. Prevalence of shank3 variants in patients with different subtypes of autism spectrum disorders. *European Journal of Human Genetics*, 2012. 11
- [BLS<sup>+</sup>13a] Ephrem T Bekele, Uttama Lahiri, Amy R Swanson, Julie Crittendon, Zachary E Warren, Niladri Sarkar, et al. A step towards developing adaptive robot-mediated intervention architecture (aria) for children with autism. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*, 21(2):289–299, 2013. 46, 48
- [BLS<sup>+</sup>13b] Luigi Boccuto, Maria Lauri, Sara M Sarasua, Cindy D Skinner, Daniela Buccella, Alka Dwivedi, Daniela Orteschi, Julianne S Collins, Marcella Zollino, Paola Visconti, et al. Prevalence of shank3 variants in patients with different subtypes of autism spectrum disorders. *European Journal of Human Genetics*, 21(3):310–316, 2013. 1
- [BMH<sup>+</sup>11] Jojanneke A Bastiaansen, Harma Meffert, Simone Hein, Petra Huizinga, Cees Ketelaars, Marieke Pijnenborg, Arnold Bartels, Ruud Minderaa, Christian Keyzers, and Annelies de Bildt. Diagnosing autism spectrum disorders in adults: the use of autism diagnostic observation schedule (ados) module 4. *Journal of autism and developmental disorders*, 41(9):1256–1266, 2011. 20
- [BMS<sup>+</sup>13] Laurence C Baker, Dendy S Macaulay, Rachael A Sorg, Melissa D Diener, Scott J Johnson, and Howard G Birnbaum. Effects of care management and telehealth: a longitudinal analysis using medicare data. *Journal of the American Geriatrics Society*, 61(9):1560–1567, 2013. 39

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [BR10] Eva Baharav and Carly Reiser. Using telepractice in parent training in early autism. *Telemedicine and e-Health*, 16(6):727–731, 2010. 39, 41, 43
- [Bri12] M. Kuehn Bridget. Data on autism prevalence, trajectories illuminate socioeconomic disparities. *The journal of the American Medical Association JAMA*. *IF 2011:30.026 (Q1 3/155)*, 307(20):2137–2138, 2012. 11
- [Bus35] Guy Thomas Buswell. How people look at pictures: a study of the psychology and perception in art. *American Psychological Association*, 1935. 50
- [BV02] A.C. Rodríguez Barrionuevo and M.A. Rodríguez Vives. Diagnóstico clínico del autismo. *Revista de neurología. IF 2011:0.790 (Q4 165/192)*, 34(1):72–77, 2002. 11
- [CAB<sup>+</sup>13] Narelle S Cox, Jennifer A Alison, Brenda M Button, John W Wilson, and Anne E Holland. Assessing exercise capacity using telehealth: A feasibility study in adults with cystic fibrosis. *Respiratory care*, 58(2):286–290, 2013. 39, 70
- [CC13] Sumalee Chanchalor and Krislada Chusinkunawut. Integrated learning of autistics in primary school through computer. In *Proceedings of the International Conference on Information, Business and Education Technology (ICIBIT'13)*, Beijing, China, pages 14–15, 2013. 32, 35, 72
- [CCH11] Yao-Jen Chang, Shu-Fang Chen, and Jun-Da Huang. A kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. *Research in developmental disabilities*, 32(6):2566–2570, 2011. 23
- [CCM<sup>+</sup>12] Marco Cambiaghi, Marco Cursi, Laura Magri, Valerio Castoldi, Giancarlo Comi, Fabio Minicucci, Rossella Galli, and Letizia Leocani. Behavioural and eeg effects of chronic rapamycin treatment in a mouse model of tuberous sclerosis complex. *Neuropharmacology*, 2012. 21
- [CK10] Serkan Cankaya and Abdullah Kuzu. Investigating the characteristics of educational computer games developed for children with autism: a project proposal. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 9:825–830, 2010. 73
- [CIPAP<sup>+</sup>05] M. Belinchón Carmona, M. PosadaDe la Paz, J. Artigas-Pallarés, R. Hervás Zúñiga, M.A. Idiazábal Aletxa, J. Martos-Pérez, F. Mulas, J.A. Muñoz-Yunta,

- S. Palacios, J. Tamarit, and J.R. Valdizán. Guía de buena práctica para la investigación de los trastornos del espectro autista. *Revista de neurología. IF 2011:0.790 (Q4 165/192)*, 41(6):371–377, 2005. 9, 70
- [CM15] Patricia Cordella and Catalina Moore. Patrón adaptativo obesogénico cerebral: una propuesta para comprender y evaluar la obesidad en la práctica clínica. *Revista chilena de nutrición*, 42(1):60–69, 2015. 225
- [CTGV04] J. Cabanyes-Truffino and D. García-Villamizar. Identification and early diagnosis of the autistic spectrum disorders. *Revista de neurología. IF 2011:0.790 (Q4 165/192)*, 39(1):81–90, 2004. 19, 20
- [CVC12] Juan J Cerrolaza, Arantxa Villanueva, and Rafael Cabeza. Study of polynomial mapping functions in video-oculography eye trackers. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI). IF 2011:0.838 (Q3 81/135)*, 19(2):10, 2012. 51
- [DCMYFB<sup>+</sup>05] A. Díez-Cuervo, J.A. Muñoz-Yunta, J. Fuentes-Biggi, R. Canal-Bedia, M.A. Idiazábal-Aletxa, M.J. Ferrari-Arroyof, F. Mulas, J. Tamarit, J.R. Valdizán, A. Hervás-Zúñiga, J. Artigas-Pallarés, M. Belinchón-Carmona, J.M. Hernández, J. Martos-Pérez, S. Palacios, and M. Posada-De la Paz. Best practice guidelines for the diagnosis of autistic spectrum disorders. *Revista Neurología. IF 2011:0.790 (Q4 165/192)*, 41(5):299–310, 2005. 18, 19, 20
- [Del07] Monica E Delano. Improving written language performance of adolescents with asperger syndrome. *Journal of applied behavior analysis*, 40(2):345–351, 2007. 31, 36
- [dia13] Autismo diario. Piktplus. 2013. 31, 36
- [Dit73] Robert William Ditchburn. Eye-movements and visual perception. 1973. 52
- [dL12] Jean Garrabé de Lara. El autismo. historia y clasificaciones. *Salud Mental*, 35(3):257–261, 2012. 13
- [dIIGP07] Myriam de la Iglesia Gutierrez and Jose Sixto Olivar Parra, editors. *Autismo y síndrome de Asperger. Trastornos del espectro autista de alto funcionamiento. Guía para educadores y familiares*. Editorial CEPE, 2007. 11, 13, 14, 21

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [DLL08] Gianluca De Leo and Gondy Leroy. Smartphones to facilitate communication and improve social skills of children with severe autism spectrum disorder: special education teachers as proxies. In *Proceedings of the 7th international conference on Interaction design and children*, pages 45–48. ACM, 2008. 2
- [DLS15] Miranda D’Amico, Corinne Lalonde, and Stephen Snow. Evaluating the efficacy of drama therapy in teaching social skills to children with autism spectrum disorders. *Drama Therapy Review*, 1(1):21–39, 2015. 168
- [DTSP07] Jaime Ann DeQuinzio, Dawn Buffington Townsend, Peter Sturmey, and Claire L Poulson. Generalized imitation of facial models by children with autism. *Journal of applied behavior analysis*, 40(4):755, 2007. 31
- [DU12] Gayle Dillon and Jean Underwood. Computer mediated imaginative storytelling in children with autism. *International Journal of Human-Computer Studies*, 70(2):169–178, 2012. 33, 36
- [DV] DSM-V. Dsm-v. 14, 16, 219
- [EBW<sup>+</sup>15] Mayada Elsabbagh, Ruth Bruno, Ming Wai Wan, Tony Charman, Mark H Johnson, Jonathan Green, BASIS Team, et al. Infant neural sensitivity to dynamic eye gaze relates to quality of parent–infant interaction at 7-months in infants at risk for autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 45(2):283–291, 2015. 2, 12, 167, 205
- [EDD13] Bilgehan Eren, Jale Deniz, and Ayten Duzkantar. The effectiveness of embedded teaching through the most-to-least prompting procedure in concept teaching to children with autism within orff-based music activities. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 13(3):1877–1885, 2013. 32
- [EGP<sup>+</sup>12] Mayada Elsabbagh, Teodora Gliga, Andrew Pickles, Kristelle Hudry, Tony Charman, and Mark H Johnson. The development of face orienting mechanisms in infants at-risk for autism. *Behavioural Brain Research*, 2012. 69
- [EM09] J.A. Ehrlich and J.R. Miller. A virtual environment for teaching social skills: Aviss. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 29(4):10–16, 2009. 25, 29

- [ETQ<sup>+</sup>14] L. Escobedo, M. Tentori, E. Quintana, J. Favela, and D. Garcia-Rosas. Using augmented reality to help children with autism stay focused. *Pervasive Computing, IEEE*, 13(1):38–46, Jan 2014. 26, 28
- [EV09] Gianluca Esposito and Paola Venuti. Symmetry in infancy: analysis of motor development in autism spectrum disorders. *Symmetry*, 1(2):215–225, 2009. 71
- [FCI<sup>+</sup>13] Livia Fornasari, Luca Chittaro, Lucio Ieronutti, Lucio Cottini, Sebastiano Dassi, Silvana Cremaschi, Massimo Molteni, Franco Fabbro, and Paolo Brambilla. Navigation and exploration of an urban virtual environment by children with autism spectrum disorder compared to children with typical development. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 7(8):956–965, 2013. 3, 26, 28
- [FCRM10] M. Freeth, P. Chapman, D. Ropar, and P. Mitchell. Do gaze cues in complex scenes capture and direct the attention of high functioning adolescents with asd? evidence from eye-tracking. *Journal of autism and developmental disorders IF 3.341*, 40(5):534–547, 2010. 63, 66
- [fDCP14] Center for Disease Control and Prevention. Prevalence of autism spectrum disorder. 2014. 1, 11
- [FEM07] M. Fabri, S. Elzouki, and D. Moore. Emotionally expressive avatars for chatting, learning and therapeutic intervention. *Human-Computer Interaction. HCI Intelligent Multimodal Interaction Environments*, pages 275–285, 2007. 3, 25, 27, 29
- [FLBF10] M. Falkmer, M. Larsson, A. Bjällmark, and T. Falkmer. The importance of the eye area in face identification abilities and visual search strategies in persons with asperger syndrome. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 4(4):724–730, 2010. 3
- [FNBS10] S. Finkelstein, A. Nickel, T. Barnes, and E.A. Suma. Astrojumper: motivating children with autism to exercise using a vr game. In *Proceedings of the 28th of the international conference extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 4189–4194. ACM, 2010. 26, 27, 29, 74

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [FRM<sup>+</sup>11] M. Freeth, D. Ropar, P. Mitchell, P. Chapman, and S. Loher. Brief report: how adolescents with asd process social information in complex scenes. combining evidence from eye movements and verbal descriptions. *Journal of autism and developmental disorders IF 2001 3.341*, 41(3):364–371, 2011. 58, 60
- [FS93] U. Frith and I. Soares. Research into earliest detectable signs of autism what parents say. *27(1):17–18*, 1993. 18
- [FWLB<sup>+</sup>09] S. Fletcher-Watson, SR Leekam, V. Benson, MC Frank, and JM Findlay. Eye-movements reveal attention to social information in autism spectrum disorder. *Neuropsychologia. IF 2011:3.636 (Q1 7/48)*, 47(1):248–257, 2009. 75
- [FY08] T. Falck-Ytter. Face inversion effects in autism: a combined looking time and pupillometric study. *Autism research*, 1(5):297–306, 2008. 64, 66
- [FY15] Terje Falck-Ytter. Gaze performance during face-to-face communication: A live eye tracking study of typical children and children with autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 17:78–85, 2015. 225
- [FYFH<sup>+</sup>12] T. Falck-Ytter, E. Fernell, Å.L. Hedvall, C. von Hofsten, and C. Gillberg. Gaze performance in children with autism spectrum disorder when observing communicative actions. *Journal of autism and developmental disorders*, pages 1–10, 2012. 65, 66, 154
- [FYvH11] T. Falck-Ytter and C. von Hofsten. How special is social looking in asd: a review. *Progress in brain research. IF 2011:3.040 (Q2 110/244)*, 189:209, 2011. 64
- [GBC06] Ofer Golan and Simon Baron-Cohen. Systemizing empathy: Teaching adults with asperger syndrome or high-functioning autism to recognize complex emotions using interactive multimedia. *Development and psychopathology*, 18(02):591–617, 2006. 3, 38
- [GCB<sup>+</sup>12] Michael A Goodrich, Mark Colton, Bonnie Brinton, Martin Fujiki, J Alan Ather-ton, Lee Robinson, Daniel Ricks, Margaret Hansen Maxfield, and Aersta Acer-son. a robot into an autism therapy team. 2012. 44, 46, 49, 71
- [GGVR08] Alessandra Gorini, Andrea Gaggioli, Cinzia Vigna, and Giuseppe Riva. A second life for ehealth: prospects for the use of 3-d virtual worlds in clinical psy-chology. *Journal of medical Internet research*, 10(3), 2008. 40, 43

- [GHG13] Jennifer B Ganz, Ee Rea Hong, and Fara D Goodwyn. Effectiveness of the peccs phase iii app and choice between the app and traditional peccs among preschoolers with asd. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 7(8):973–983, 2013. 31, 35, 71
- [GJG04] L.A. Granka, T. Joachims, and G. Gay. Eye-tracking analysis of user behavior. *SIGIR*, page 25–29, 2004. 56
- [GL04] Tina R Goldsmith and Linda A LeBlanc. Use of technology in interventions for children with autism. *Journal of Early and Intensive Behavior Intervention*, 1(2):166, 2004. 2
- [GMAS15] Alma Gharib, Daniela Mier, Ralph Adolphs, and Shinsuke Shimojo. Eyetracking of social preference choices reveals normal but faster processing in autism. *Neuropsychologia*, 72:70–79, 2015. 59, 60
- [GMN08] O. Grynszpan, J.C. Martin, and J. Nadel. Multimedia interfaces for users with high functioning autism: An empirical investigation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(8):628–639, 2008. 30, 37, 71
- [GNC<sup>+</sup>09] O. Grynszpan, J. Nadel, J. Constant, F. Le Barillier, N. Carbonell, J. Simonin, J.C. Martin, and M. Curgeon. A new virtual environment paradigm for high functioning autism intended to help attentional disengagement in a social context bridging the gap between relevance theory and executive dysfunction. In *Virtual Rehabilitation International Conference, 2009*, pages 51–58. IEEE, 2009. 57, 61
- [Gol03] A.M. Goldberg, J.H.; Wichansky. Eye tracking in usability evaluation: A practitioner’s guide. *Proceedings of SBGames*, 2003. 53, 56
- [GRR<sup>+</sup>11] C. Talero Gutiérrez, M. Rodríguez, D. De La Rosa, G. Morales, and A. Vélez Van Meerbeke. Caracterización de niños y adolescentes con trastornos del espectro autista en una institución de bogotá. *Revista Asociación Esp. Neuropsiquiatría*, 27(02):90–96, 2011. 10
- [GTA09a] Santiago López Gómez, Rosa María Rivas Torres, and Eva María Taboada Ares. Revisiones sobre el autismo. revista latinoamericana de psicología. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 41(3):555–570, 2009. 11

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [GTA09b] Santiago Lopez Gomez, Rosa María Rivas Torres, and Eva María Taboada Ares. Revisiones sobre el autismo. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 41(3):555–570, 2009. 10
- [GWMS11] H.Z. Gastgeb, D.A. Wilkinson, N.J. Minshew, and M.S. Strauss. Can individuals with autism abstract prototypes of natural faces? *Journal of autism and developmental disorders IF 3.341*, 41(12):1609–1618, 2011. 58, 60
- [HAJ<sup>+</sup>08] G. Herrera, F. Alcantud, R. Jordan, A. Blanquer, G. Labajo, and C. De Pablo. Development of symbolic play through the use of virtual reality tools in children with autistic spectrum disorders two case studies. *Autism*, 12(2):143–157, 2008. 25, 29
- [HAPMP<sup>+</sup>05] J.M. Hernández, J. Artigas-Pallarrés, J. Martos-Pérez, S. Palacios-Antrón, J. Fuentes-Biggi, M. Belinchrón-Carmona, R. Canal-Bedia, A. Dríez Cuervo, M.J. Ferrari Arroyo, A. Hervrás Zrúñiga, M.A. Idiazrábal Alecha, F. Mulas, J.A. Murrioz-Yunta, J. Tamarit, J.R. Valdizrán, and M. Posada De la Paz. Guía de buena práctica para la detección temprana de los trastornos del espectro autista. *Revista Neurología*, 41(5):299–310, 2005. 3, 18, 19
- [HBY15] Darren Hedley, Neil Brewer, and Robyn Young. The effect of inversion on face recognition in adults with autism spectrum disorder. *Journal of autism and developmental disorders*, 45(5):1368–1379, 2015. 225
- [HCS<sup>+</sup>12] Gerardo Herrera, Xavier Casas, Javier Sevilla, Luis Rosa Escribano, Carlos Pardo Carpio, Javier Plaza, Rita Jordan, and Sylvain Le Groux. Pictogram room: Aplicación de tecnologías de interacción natural para el desarrollo del niño con autismo. *Anuario de psicología clínica y de la salud= Annuary of Clinical and Health Psychology*, (8):41–46, 2012. 26, 28
- [HDD09] Wan Ching Ho, Megan Davis, and Kerstin Dautenhahn. Supporting narrative understanding of children with autism: A story interface with autonomous autobiographic agents. In *Rehabilitation Robotics, 2009. ICORR 2009. IEEE International Conference on*, pages 905–911. IEEE, 2009. 32, 73
- [HDMW09] M. Hölzl, G. Denker, M. Meier, and M. Wirsing. Constraint-muse: A soft-constraint based system for music therapy. *Algebra and Coalgebra in Computer Science*, pages 423–432, 2009. 32, 37, 72

- [HF96] Francesca Happé and Uta Frith. The neuropsychology of autism. *Brain a journal of neurology*. Oxford University Press, 119(4):1377–1400, 1996. 17
- [HFH<sup>+</sup>09] Mark Hall, Eibe Frank, Geoffrey Holmes, Bernhard Pfahringer, Peter Reutemann, and Ian H Witten. The weka data mining software: an update. *ACM SIGKDD explorations newsletter*, 11(1):10–18, 2009. 123
- [HHH<sup>+</sup>13] Kevin A Hommel, Elizabeth Hente, Michele Herzer, Lisa M Ingerski, and Lee A Denson. Telehealth behavioral treatment for medication nonadherence: a pilot and feasibility study. *European journal of gastroenterology & hepatology*, 25(4):469, 2013. 39, 70
- [HJ10] Dan Witzner Hansen and Qiang Ji. In the eye of the beholder: A survey of models for eyes and gaze. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 32(3):478–500, 2010. 51
- [HJV06] G. Herrera, R. Jordan, and L. Vera. Abstract concept and imagination teaching through virtual reality in people with autism spectrum disorders. *Technology and Disability*, 18(4):173–180, 2006. 27
- [HMHS07] Yusef Hassan Montero and Víctor Herrero Solana. Eye-tracking en interacción persona-ordenador. *No solo usabilidad*, (6), 2007. 50, 56
- [HMM<sup>+</sup>09] N. Hernandez, A. Metzger, R. Magné, F. Bonnet-Brilhault, S. Roux, C. Barthelemy, and J. Martineau. Exploration of core features of a human face by healthy and autistic adults analyzed by visual scanning. *Neuropsychologia. IF 2011:3.636 (Q1 7/48)*, 47(4):1004–1012, 2009. 64, 66
- [HND<sup>+</sup>15] Charles E Hughes, Arjun Nagendran, Lisa A Dieker, Michael C Hynes, and Gregory F Welch. Applications of avatar mediated interaction to teaching, training, job skills and wellness. In *Virtual Realities*, pages 133–146. Springer, 2015. 24, 28
- [HP12] Vedad Hulusic and Nirvana Pistoljevic. “Iefca”: Learning framework for children with autism. *Procedia Computer Science*, 15:4–16, 2012. 32, 36
- [HSHS05] C.E. Hughes, C.B. Stapleton, D.E. Hughes, and E.M. Smith. Mixed reality in education, entertainment, and training. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 25(6):24–30, 2005. 23

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [HTA11] Hanan Hussein, Ghada RA Taha, and Afrah Almanasef. Characteristics of autism spectrum disorders in a sample of egyptian and saudi patients: transcultural cross sectional study. *Child and adolescent psychiatry and mental health*, 5(1):1–12, 2011. 21
- [HVG<sup>+</sup>13] Bibi Huskens, Rianne Verschuur, Jan Gillesen, Robert Didden, and Emilia Barakova. Promoting question-asking in school-aged children with autism spectrum disorders: Effectiveness of a robot intervention compared to a human-trainer intervention. *Developmental neurorehabilitation*, 16(5):345–356, 2013. 44, 46, 49, 71
- [HWM<sup>+</sup>13] Juan Pablo Hourcade, Stacy R Williams, Ellen A Miller, Kelsey E Huebner, and Lucas J Liang. Evaluation of tablet apps to encourage social interaction in children with autism spectrum disorders. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 3197–3206. ACM, 2013. 2
- [IW13] Brooke Ingersoll and Allison Wainer. Initial efficacy of project impact: A parent-mediated social communication intervention for young children with asd. *Journal of autism and developmental disorders*, 43(12):2943–2952, 2013. 2
- [JBCFW08] N. Josman, H.M. Ben-Chaim, S. Friedrich, and P.L. Weiss. Effectiveness of virtual reality for teaching street-crossing skills to children and adolescents with autism. *International Journal on Disability and Human Development*, 7(1):49–56, 2008. 25, 29, 72
- [JCK08] W. Jones, K. Carr, and A. Klin. Absence of preferential looking to the eyes of approaching adults predicts level of social disability in 2-year-old toddlers with autism spectrum disorder. *Archives of General Psychiatry. IF 2011: 12.016 (Q1 3/130)*, 65(8):946, 2008. 68, 69
- [JD94] J.Osterling and G. Dawson. Early recognition of children with autism: a study of first birthday home videotapes. *Journal of Autism and Developmental Disorders IF 2011:3.341*, 24(3):247–257, 1994. 18
- [Jen15] Curtis Reilly Jensen. A machine learning approach for identifying subtypes of autism. 2015. 81

- [JIMK03] Timo Jokela, Netta Iivari, Juha Matero, and Minna Karukka. The standard of user-centered design and the standard definition of usability: analyzing iso 13407 against iso 9241-11. In *Proceedings of the Latin American conference on Human-computer interaction*, pages 53–60. ACM, 2003. 83, 218
- [JK13] Warren Jones and Ami Klin. System and method for quantifying and mapping visual salience. 2013. US Patent 8,343,067. 184
- [JKH<sup>+</sup>13] Kimberlee Jordan, Marcus King, Sophia Hellersteth, Anna Wiren, and Hilda Mulligan. Feasibility of using a humanoid robot for enhancing attention and social skills in adolescents with autism spectrum disorder. *International journal of rehabilitation research*, 36(3):221–227, 2013. 45, 48
- [JLS<sup>+</sup>15] Delphine Jochaut, Katia Lehongre, Ana Saitovitch, Anne-Dominique Devauchelle, Itsaso Olasagasti, Nadia Chabane, Monica Zilbovicius, and Anne-Lise Giraud. Atypical coordination of cortical oscillations in response to speech in autism. *Frontiers in human neuroscience*, 9, 2015. 225
- [JMPJ07] A. Fernandez Jaén, D.Martin Fernandez Mayoralas, B. Calleja Pérez, and N.Muñoz Jareño. Síndrome de asperger: diagnóstico y tratamiento. *Revista de neurología. IF 2011:0.790 (Q4 165/192)*, pages S53–S55, 2007. 22
- [JS12] Sunhwa Jung and Diane M Sainato. Teaching play skills to young children with autism. *Journal of Intellectual and Developmental Disability*, (0):1–17, 2012. 3, 22
- [KBB<sup>+</sup>13] Elizabeth S Kim, Lauren D Berkovits, Emily P Bernier, Dan Leyzberg, Frederick Shic, Rhea Paul, and Brian Scassellati. Social robots as embedded reinforcers of social behavior in children with autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 43(5):1038–1049, 2013. 2, 48
- [KDH<sup>+</sup>10] D. Kliemann, I. Dziobek, A. Hatri, R. Steimke, and H.R. Heekeren. Atypical reflexive gaze patterns on emotional faces in autism spectrum disorders. *The Journal of Neuroscience.*, 30(37):12281–12287, 2010. 65, 66, 140
- [KDK<sup>+</sup>13] Michelle R Kandalaft, Nyaz Didehbani, Daniel C Krawczyk, Tandra T Allen, and Sandra B Chapman. Virtual reality social cognition training for young adults

## BIBLIOGRAFÍA

---

- with high-functioning autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(1):34–44, 2013. 26
- [KHHD11] J.C. Kirchner, A. Hatri, H.R. Heekeren, and I. Dziobek. Autistic symptomatology, face processing abilities, and eye fixation patterns. *Journal of autism and developmental disorders IF 3.341*, 41(2):158–167, 2011. 68, 69, 169
- [KI13] Fengfeng Ke and Tami Im. Virtual-reality-based social interaction training for children with high-functioning autism. *The Journal of Educational Research*, 106(6):441–461, 2013. 23, 28, 71, 135, 215
- [KIK<sup>+</sup>14] Yoko Kamio, Naoko Inada, Tomonori Koyama, Eiko Inokuchi, Kenji Tsuchiya, and Miho Kuroda. Effectiveness of using the modified checklist for autism in toddlers in two-stage screening of autism spectrum disorder at the 18-month health check-up in japan. *Journal of autism and developmental disorders*, 44(1):194–203, 2014. 27
- [KJS<sup>+</sup>02] A. Klin, W. Jones, R. Schultz, F. Volkmar, and D. Cohen. Visual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism. *Archives of general psychiatry. IF 2011: 12.016 (Q1 3/130)*, 59(9):809, 2002. 63, 67
- [KKC<sup>+</sup>14] Hyun-Joo Kim, Hyung-Sik Kim, Mi-Hyun Choi, In-Hwa Lee, Sang-Pyo Hong, Na-Rae You, Soon-Cheol Chung, Dae-Woon Lim, and Jeong-Han Yi. Response time of visual matching task and heart rate in children with attention deficit hyperactivity disorder (adhd). *Bio-medical materials and engineering*, 24(1):987–991, 2014. 1
- [KSDW15] JA Kosmicki, V Sochat, M Duda, and DP Wall. Searching for a minimal set of behaviors for autism detection through feature selection-based machine learning. *Translational psychiatry*, 5(2):e514, 2015. 127, 193, 203
- [KSW<sup>+</sup>11] Kenneth A Kobak, Wendy L Stone, Elizabeth Wallace, Zachary Warren, Amy Swanson, and Kraig Robson. A web-based tutorial for parents of young children with autism: results from a pilot study. *TELEMEDICINE and e-HEALTH*, 17(10):804–808, 2011. 40, 41, 42, 74

- [Kue12] Bridget M Kuehn. Data on autism prevalence, trajectories illuminate socioeconomic disparities. *JAMA*, 307(20):2137–2138, 2012. 1, 2, 12
- [KvdMR<sup>+</sup>13] Debora M Kagohara, Larah van der Meer, Sathiyaprakash Ramdoss, Mark F O’Reilly, Giulio E Lancioni, Tonya N Davis, Mandy Rispoli, Russell Lang, Peter B Marschik, Dean Sutherland, et al. Using ipods and ipads in teaching programs for individuals with developmental disabilities: A systematic review. *Research in developmental disabilities*, 34(1):147–156, 2013. 2
- [IA07] Elsa Álvarez Alcantara. Trastornos del espectro autista. *Revista Mexicana de Pediatría*, 74(6):269 – 276, 2007. 10, 11, 14, 18
- [LBD<sup>+</sup>13] Uttama Lahiri, Esubalew Bekele, Elizabeth Dohrmann, Zachary Warren, and Niladri Sarkar. Design of a virtual reality based adaptive response technology for children with autism. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*, 21(1):55–64, 2013. 2, 44
- [LBNS13] Lawrence Santiago Lipana, Deepika Bindal, Jasmine Nettiksimmons, and Ulfat Shaikh. Telemedicine and face-to-face care for pediatric obesity. *Telemedicine and e-Health*, 19(10):806–808, 2013. 73
- [LBZ<sup>+</sup>98] G. Lanzy, U. Balottin, C.A Zambrino, A. Gerardo, E. Bettaglio, and P. Manfredi. Comparación de las sistemas diagnósticos clasificatorios del desarrollo: un estudio de veinte caso. *V Congreso internacional de autismo-europa*, 1998. 12
- [Lew46] Kurt Lewin. Action research and minority problems. *Journal of social issues*, 2(4):34–46, 1946. 5
- [Lew98] David D Lewis. Naive (bayes) at forty: The independence assumption in information retrieval. In *Machine learning: ECML-98*, pages 4–15. Springer, 1998. 123
- [LGRTTA09] Santiago López Gómez, Rosa María Rivas Torres, and Eva María Taboada Ares. Reviews on autism. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 41(3):555–570, 2009. 1, 11
- [LHT12] David J Lewkowicz and Amy M Hansen-Tift. Infants deploy selective attention to the mouth of a talking face when learning speech. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(5):1431–1436, 2012. 68

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [LO15] Tomasz Latkowski and Stanislaw Osowski. Data mining for feature selection in gene expression autism data. *Expert Systems with Applications*, 42(2):864–872, 2015. 124, 127, 193, 194, 197, 203
- [LRL<sup>+</sup>00] Catherine Lord, Susan Risi, Linda Lambrecht, Edwin H Cook, Bennett L Leventhal, Pamela C DiLavore, Andrew Pickles, and Michael Rutter. The autism diagnostic observation schedule—generic: A standard measure of social and communication deficits associated with the spectrum of autism. *Journal of autism and developmental disorders*. *IF 2011:3.341*, 30(3):205–223, 2000. 20
- [LST<sup>+</sup>13] Kenneth L Lichstein, Forrest Scogin, S Justin Thomas, Elizabeth A DiNapoli, Haley R Dillon, and Anna McFadden. Telehealth cognitive behavior therapy for co-occurring insomnia and depression symptoms in older adults. *Journal of clinical psychology*, 69(10):1056–1065, 2013. 39, 70
- [LTN<sup>+</sup>12] Jaeryoung Lee, Hiroki Takehashi, Chikara Nagai, Goro Obinata, and Dimitar Stefanov. Which robot features can stimulate better responses from children with autism in robot-assisted therapy? *Int. J. Adv. Robot. Syst*, 9, 2012. 45, 47, 48
- [LW06] D. Lisa and M.S Wiggins. Examination of the time between first evaluation and first autism spectrum diagnosis in a population based. *Developmental and Behavioral Pediatrics*, 27(2):17–18, 2006. 17
- [LWZ<sup>+</sup>12] Y. Lou, W. Wu, H. Zhang, H. Zhang, and Y. Chen. A multi-user interaction system based on kinect and wii remote. In *Multimedia and Expo Workshops (ICMEW), 2012 IEEE International Conference on*, pages 667–667. IEEE, 2012. 32
- [MB96] Mayer L Max and John C Burke. Virtual reality for autism communication and education, with lessons for medical training simulators. *Studies in health technology and informatics*, 39:46–53, 1996. 23
- [MBH<sup>+</sup>12] Johnny L Matson, Brian C Belva, Max Horovitz, Alison M Kozlowski, and Jay W Bamburg. Comparing symptoms of autism spectrum disorders in a developmentally disabled adult population using the current dsm-iv-tr diagnostic

- criteria and the proposed dsm-5 diagnostic criteria. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, pages 1–12, 2012. 13
- [MBM<sup>+</sup>12] Ricardo A Munoz, Nelson H Burbano, María V Motoa, Gabriel Santiago, Matthew Klevemann, and Jeanne Casilli. Telemedicine in pediatric cardiac critical care. *Telemedicine and e-Health*, 18(2):132–136, 2012. 39, 70
- [MCADFM13] Maggie McGonigle-Chalmers, Ben Alderson-Day, Joanna Fleming, and Karl Mosen. Profound expressive language impairment in low functioning children with autism: An investigation of syntactic awareness using a computerised learning task. *Journal of autism and developmental disorders*, 43(9):2062–2081, 2013. 34, 35
- [MCM<sup>+</sup>12] Susan Dickerson Mayes, Susan L Calhoun, Michael J Murray, Jill D Morrow, Kirsten KL Yurich, Shiyoko Cothren, Heather Purichia, Fauzia Mahr, James N Boudier, and Christopher Petersen. Use of the childhood autism rating scale (cars) for children with high functioning autism or asperger syndrome. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 27(1):31–38, 2012. 20
- [MCMP05] David Moore, Yufang Cheng, Paul McGrath, and Norman J Powell. Collaborative virtual environment technology for people with autism. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 20(4):231–243, 2005. 27
- [MGC13] Linda C Murdock, Jennifer Ganz, and Jessica Crittendon. Use of an ipad play story to increase play dialogue of preschoolers with autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, 43(9):2174–2189, 2013. 32, 35
- [Mie08] Klaus Miesenberger. *Computers Helping People with Special Needs: 11th International Conference, ICCHP 2008, Linz, Austria, July 9-11, 2008, Proceedings*, volume 5105. Springer Science & Business Media, 2008. 33
- [MK94] P. Milgram and F. Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12):1321–1329, 1994. 23
- [MMB<sup>+</sup>06] M.T. Mercadante, E.C. Macedo, P.M. Baptista, C.S. Paula, and J.S. Schwartzman. Saccadic movements using eye-tracking technology in individuals with autism spectrum disorders: pilot study. *Arquivos de neuro-psiquiatria. IF 2011:0.722 (Q4 225/244)*, 64(3A):559–562, 2006. 57, 61

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [MOR<sup>+</sup>10] Wendy Machalicek, Mark F O'Reilly, Mandy Rispoli, Tonya Davis, Russell Lang, Jessica Hetlinger Franco, and Jeffrey M Chan. Training teachers to assess the challenging behaviors of students with autism using video tele-conferencing. *Education and Training in Autism and Developmental Disabilities*, pages 203–215, 2010. 41
- [MPL07] P. Mitchell, S. Parsons, and A. Leonard. Using virtual environments for teaching social understanding to 6 adolescents with autistic spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, 37(3):589–600, 2007. 24, 29
- [MRM<sup>+</sup>13] Leslie A Morland, Michelle Raab, Margaret-Anne Mackintosh, Craig S Rosen, Clara E Dismuke, Carolyn J Greene, and B Christopher Frueh. Telemedicine: a cost-reducing means of delivering psychotherapy to rural combat veterans with ptsd. *TELEMEDICINE and e-HEALTH*, 19(10):754–759, 2013. 41
- [MW47] H. B. Mann and D. R. Whitney. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Ann. Math. Statist.*, 18(1):50–60, 03 1947. 167
- [MWKD11] J.C. McPartland, S.J. Webb, B. Keehn, and G. Dawson. Patterns of visual attention to faces and objects in autism spectrum disorder. *Journal of autism and developmental disorders IF 3.341*, 41(2):148–157, 2011. 60
- [MYOR07] N. Merin, G.S. Young, S. Ozonoff, and S.J. Rogers. Visual fixation patterns during reciprocal social interaction distinguish a subgroup of 6-month-old infants at-risk for autism from comparison infants. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(1):108–121, 2007. 68, 69, 193
- [Nad07] S. Nadel. Early detection of autism spectrum disorders: screening between 12 and 24 months of age. *Journal of Autism and Developmental Disorders IF 2011:3.341*, 19:408–417, 2007. 18
- [NAG84] David L Nelson, Virginia G Anderson, and Anna D Gonzales. Music activities as therapy for children with autism and other pervasive developmental disorders. *Journal of Music Therapy*, 21(3):100–116, 1984. 31

- [NBC<sup>+</sup>09] C.F. Norbury, J. Brock, L. Cragg, S. Einav, H. Griffiths, and K. Nation. Eye-movement patterns are associated with communicative competence in autistic spectrum disorders. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*. *IF 2011:4.281 (Q1 8/75)*, 50(7):834–842, 2009. 68
- [Nor] 31
- [NSPA06] D. Neumann, M.L. Spezio, J. Piven, and R. Adolphs. Looking you in the mouth: abnormal gaze in autism resulting from impaired top-down modulation of visual attention. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 1(3):194–202, 2006. 63, 67
- [OEBH<sup>+</sup>06] Ron Oberleitner, Patt Elison-Bowers, John Harrington, Ron Hendren, Luis Kun, and Uwe Reischl. Merging video technology with personal health records to facilitate diagnosis and treatment of autism. In *Distributed Diagnosis and Home Healthcare, 2006. D2H2. 1st Transdisciplinary Conference on*, pages 164–167. IEEE, 2006. 40, 43
- [OEBRB07] Ron Oberleitner, Patt Elison-Bowers, Uwe Reischl, and Jim Ball. Optimizing the personal health record with special video capture for the treatment of autism. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 19(5):513–518, 2007. 40, 41, 43, 74
- [OLS<sup>+</sup>04] R Oberleitner, S Laxminarayan, J Suri, J Harrington, and J Bradstreet. The potential of a store and forward tele-behavioral platform for effective treatment and research of autism. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2004. IEMBS'04. 26th Annual International Conference of the IEEE*, volume 2, pages 3294–3296. IEEE, 2004. 40, 43
- [Ora] F. Fundación Orange Orang. E-mintza. url <http://fundacionorange.es/emintza.html> . 31, 37
- [OWN95] D. Opdyke, J.S. Williford, and M. North. Effectiveness of computer-generated (virtual reality) graded exposure in the treatment of acrophobia. *Am J Psychiatry*, 1:52, 1995. 23

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [PBB09] Bertram O Ploog, Snigdha Banerjee, and Patricia J Brooks. Attention to prosody (intonation) and content in children with autism and in typical children using spoken sentences in a computer game. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 3(3):743–758, 2009. 33, 37, 73
- [PC97] José Sixto Olivar Parra and Mercedes Belinchón Carmona. Ineficacia en la comunicación referencial de personas con autismo y otros trastornos relacionados. *Anuario de Psicología*, 75:119–146, 1997. 13
- [PC08] Cynthia Putnam and Lorna Chong. Software and technologies designed for people with autism: what do users want? In *Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, pages 3–10. ACM, 2008. 2
- [PLM06] S. Parsons, A. Leonard, and P. Mitchell. Virtual environments for social skills training: comments from two adolescents with autistic spectrum disorder. *Computers & Education*, 47(2):186–206, 2006. 24, 29
- [PM02] S. Parsons and P. Mitchell. The potential of virtual reality in social skills training for people with autistic spectrum disorders. *Journal of Intellectual Disability Research*, 46(5):430–443, 2002. 27
- [PMH<sup>+</sup>15] Karen Pierce, Steven Marinero, Roxana Hazin, Benjamin McKenna, Cynthia Carter Barnes, and Ajith Malige. Eye tracking reveals abnormal visual preference for geometric images as an early biomarker of an autism spectrum disorder subtype associated with increased symptom severity. *Biological psychiatry*, 2015. 55, 58, 60
- [Pow96] S. Powell. The use of computers in teaching people with autism. In *Autism on the agenda: papers from a National Autistic Society Conference*. London, 1996. 2
- [Poy04] Poynter. Eyetrack iii: online news consumer behavior in age of multimedia. *SIGIR*, page 25–29, 2004. 56
- [PPS<sup>+</sup>13] Bambang Parmanto, I Wayan Pulantara, Jamie L Schutte, Andi Saptono, and Michael P McCue. An integrated telehealth system for remote administration of

- an adult autism assessment. *Telemedicine and e-Health*, 19(2):88–94, 2013. 40, 42, 74
- [PSNB13] Bertram O Ploog, Alexa Scharf, DeShawn Nelson, and Patricia J Brooks. Use of computer-assisted technologies (cat) to enhance social, communicative, and language development in children with autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, 43(2):301–322, 2013. 2, 22
- [Rap02] Isabelle Rapin. The autistic spectrum disorders. *New England Journal of Medicine. IF 2011: 53.298 (Q1:1/155)*, 347(5):302–303, 2002. 14
- [RBB<sup>+</sup>99] G. Riva, M. Bacchetta, M. Baruffi, S. Rinaldi, and E. Molinari. Virtual reality based experiential cognitive treatment of anorexia nervosa. *Journal of behavior Therapy and experimental Psychiatry*, 30(3):221–230, 1999. 23
- [RBGLRD13] German Rodriguez-Bermudez, Pedro J Garcia-Laencina, and Joaquin Roca-Dorda. Efficient automatic selection and combination of eeg features in least squares classifiers for motor imagery brain–computer interfaces. *International journal of neural systems*, 23(04):1350015, 2013. 122, 167
- [RBRV02] AC Rodríguez-Barrionuevo and MA Rodríguez-Vives. Diagnóstico clínico del autismo. *Revista de Neurología*, 34:72–77, 2002. 1
- [RD09] D.M. Riby and M.J. Doherty. Tracking eye movements proves informative for the study of gaze direction detection in autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 3(3):723–733, 2009. 57, 60
- [RDD09] Ben Robins, Kerstin Dautenhahn, and Paul Dickerson. From isolation to communication: a case study evaluation of robot assisted play for children with autism with a minimally expressive humanoid robot. In *Advances in Computer-Human Interactions, 2009. ACHI'09. Second International Conferences on*, pages 205–211. IEEE, 2009. 46
- [RDF<sup>+</sup>12] Ben Robins, Kerstin Dautenhahn, Ester Ferrari, Gernot Kronreif, Barbara Prazak-Aram, Patrizia Marti, Iolanda Iacono, Gert Jan Gelderblom, Tanja Bernd, Francesca Caprino, et al. Scenarios of robot-assisted play for children with cognitive and physical disabilities. *Interaction Studies*, 13(2):189–234, 2012. 46, 72, 73

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [RDTBB05] Ben Robins, Kerstin Dautenhahn, R Te Boekhorst, and Aude Billard. Robotic assistants in therapy and education of children with autism: can a small humanoid robot help encourage social interaction skills? *Universal Access in the Information Society*, 4(2):105–120, 2005. 3, 44
- [Ren04] J.A Renshaw. Understanding visual influence in graph design through temporal and spatial eye movement characteristics. *Interacting with computers*, 16:557–578, 2004. 56
- [Rep10] Lucía Fiz Repeto, editor. *El síndrome de Asperger en adultos*. 2010. 10
- [RGCS13] José L Rodrigues, Nuno Gonçalves, Sandra Costa, and Filomena Soares. Stereotyped movement recognition in children with asd. *Sensors and Actuators A: Physical*, 202:162–169, 2013. 81
- [RH09] D. Riby and P.J.B. Hancock. Looking at movies and cartoons: eye-tracking evidence from williams syndrome and autism. *Journal of Intellectual Disability Research*, 53(2):169–181, 2009. 75
- [Riv07] Francisco Balbuena Rivera. Breve revisión histórica del autismo. *Revista Asociación Esp. Neuropsiquiatría*, 27(100):333–353, 2007. 10
- [RJW<sup>+</sup>13] R Matthew Reese, Rene Jamison, Maura Wendland, Kandace Fleming, Matthew J Braun, Jessica Oeth Schuttler, and Josh Turek. Evaluating interactive videoconferencing for assessing symptoms of autism. *Telemedicine and e-Health*, 19(9):671–677, 2013. 40, 42
- [RMH<sup>+</sup>12] S Ren, HW Ma, M Hu, LB Wang, L Wang, F Li, Y Song, YH Tan, et al. [clinical application of m-chat and chat-23 for autism screening]. *Zhongguo dang dai er ke za zhi= Chinese journal of contemporary pediatrics*, 14(12):946–950, 2012. 19
- [RMJK12] K. Rice, J.M. Moriuchi, W. Jones, and A. Klin. Parsing heterogeneity in autism spectrum disorders: Visual scanning of dynamic social scenes in school-aged children. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 2012. 66

- [RT08] MD Rutherford and A.M. Towns. Scan path differences and similarities during emotion perception in those with and without autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, 38(7):1371–1381, 2008. 65, 66, 219
- [SA11] Licínio Roque Óscar Mealha Samuel Almeida, Ana Veloso. The eyes and games: A survey of visual attention and eye tracking input in video games. *Proceedings of SBGames*, 2011. 50, 51, 56
- [SA13] Constantine Stephanidis and Margherita Antona. *Universal Access in Human-computer Interaction: User and Context Diversity: 7th International Conference, UAHCI 2013, Held as Part of HCI International 2013, Las Vegas, NV, USA, July 21-26, 2013, Proceedings*, volume 8010. Springer, 2013. 2
- [SAB<sup>+</sup>13] Katie E Slocombe, Ivan Alvarez, Holly P Branigan, Tjeerd Jellema, Hollie G Burnett, Anja Fischer, Yan Hei Li, Simon Garrod, and Liat Levita. Linguistic alignment in adults with and without asperger’s syndrome. *Journal of autism and developmental disorders*, 43(6):1423–1436, 2013. 30
- [SAHP07] M.L. Spezio, R. Adolphs, R.S.E. Hurley, and J. Piven. Abnormal use of facial information in high-functioning autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 37(5):929–939, 2007. 57, 61
- [SAM12] B. Scassellati, H. Admoni, and M. Mataric. Robots for use in autism research. *Annual Review of Biomedical Engineering. IF 2011: 12.214 (Q1 1/72)*, 14:275–294, 2012. 22
- [San04] M.A. Javaloyes Sanchís. Autismo: criterios diagnósticos y diagnóstico diferencial. *Pediatr.Integral*, 19(8):655–662, 2004. 1, 11, 19, 20
- [Sar12] Jeremy Sarachan. Virtual floortime using games to engage children with autism spectrum disorder. In *Games Innovation Conference (IGIC), 2012 IEEE International*, pages 1–4. IEEE, 2012. 33, 36
- [SCBS08] F. Shic, K. Chawarska, J. Bradshaw, and B. Scassellati. Autism, eye-tracking, entropy. In *Development and Learning, 2008. ICDL 2008. 7th IEEE International Conference on*, pages 73–78. IEEE, 2008. 58, 61, 169, 193

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [SCMC07] L.L. Speer, A.E. Cook, W.M. McMahon, and E. Clark. Face processing in children with autism effects of stimulus contents and type. *Autism*, 11(3):265–277, 2007. 74, 75
- [SCS13] Dorothy C Strickland, Claire D Coles, and Louise B Southern. Jobtips: A transition to employment program for individuals with autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, 43(10):2472–2483, 2013. 24, 28, 71
- [SDW<sup>+</sup>08] L. Sterling, G. Dawson, S. Webb, M. Murias, J. Munson, H. Panagiotides, and E. Aylward. The role of face familiarity in eye tracking of faces by individuals with autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders IF 3.341*, 38(9):1666–1675, 2008. 61, 65
- [SE12] Jillian M Schuh and Inge-Marie Eigsti. Working memory, language skills, and autism symptomatology. *Behavioral Sciences*, 2(4):207–218, 2012. 2
- [Sie04] B Siegal. Pervasive developmental disorders screening test ii, 2004. 19
- [SLB<sup>+</sup>13] Sudha M Srinivasan, Kathleen A Lynch, Deborah J Bubela, Timothy D Gifford, and Anjana N Bhat. Effect of interactions between a child and a robot on the imitation and praxis performance of typically developing children and a child with autism: A preliminary study 1, 2. *Perceptual & Motor Skills*, 116(3):885–904, 2013. 46, 48, 49, 72, 101
- [SLG<sup>+</sup>11] Sudha Srinivasan, Kathleen Lynch, Timothy Gifford, Deborah Bubela, and Anjana Bhat. The effects of robot-child interactions on imitation and praxis performance of typically developing children and children with autism spectrum disorders (asds) between 4 and 10 years of age. In *JOURNAL OF SPORT & EXERCISE PSYCHOLOGY*, volume 33, pages S41–S42. HUMAN KINETICS PUBL INC 1607 N MARKET ST, PO BOX 5076, CHAMPAIGN, IL 61820-2200 USA, 2011. 46, 49, 72
- [SLI12] Miodrag Stanković, Aneta Lakić, and Neda Ilić. Autism and autistic spectrum disorders in the context of new dsm-v classification, and clinical and epidemiological data. *Srpski arhiv za celokupno lekarstvo*, 140(3-4):236–243, 2012. 14

- [SLTW04] Vladimir Svetnik, Andy Liaw, Christopher Tong, and Ting Wang. Application of breiman's random forest to modeling structure-activity relationships of pharmaceutical molecules. In *Multiple Classifier Systems*, pages 334–343. Springer, 2004. 124
- [SPD<sup>+</sup>11] Gnakub Norbert Soke, Amy Philofsky, Carolyn Diguiseppi, Dennis Lezotte, Sally Rogers, and Susan Hepburn. Longitudinal changes in scores on the autism diagnostic interview—revised (adi-r) in pre-school children with autism implications for diagnostic classification and symptom stability. *Autism*, 15(5):545–562, 2011. 20
- [SSS12] Meghan R Swanson, Gayle C Serlin, and Michael Siller. Broad autism phenotype in typically developing children predicts performance on an eye-tracking measure of joint attention. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, pages 1–12, 2012. 55, 57, 60
- [STBH<sup>+</sup>08] N.J. Sasson, L.M. Turner-Brown, T.N. Holtzclaw, K.S.L. Lam, and J.W. Bodfish. Children with autism demonstrate circumscribed attention during passive viewing of complex social and nonsocial picture arrays. *Autism Research*, 1(1):31–42, 2008. 58, 61
- [Tho13] Travis Thompson. Autism research and services for young children: History, progress and challenges. *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities*, 26(2):81–107, 2013. 10
- [TONI13] Ipei Torii, Kiyonobu Ohtani, Takashi Niwa, and Naohiro Ishii. Development and study of support applications for autistic children. In *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD), 2013 14th ACIS International Conference on*, pages 420–425. IEEE, 2013. 31, 35, 71
- [Tor04] F Tortosa. Tecnologías de ayuda en personas con trastornos del espectro autista: Guía para docentes. *Centros de Profesores y*, 2004. 2
- [TOS<sup>+</sup>12] Ipei Torii, Kaoruko Ohtani, Nahoko Shirahama, Takahito Niwa, and Naohiro Ishii. Voice output communication aid application for personal digital assistant for autistic children. In *Computer and Information Science (ICIS), 2012*

## BIBLIOGRAFÍA

---

- IEEE/ACIS 11th International Conference on*, pages 329–333. IEEE, 2012. 31, 71
- [TPA<sup>+</sup>12] Adriana Tapus, Andreea Peca, Amir Aly, Cristina Pop, Lavinia Jisa, Sebastian Pintea, Alina S Rusu, and Daniel O David. Children with autism social engagement in interaction with nao, an imitative robot—a series of single case experiments. *Interaction studies*, 13(3):315–347, 2012. 45, 49, 71
- [Tsa12] Luke Y Tsai. Sensitivity and specificity: Dsm-iv versus dsm-5 criteria for autism spectrum disorder. *American Journal of Psychiatry*, 169(10):1009–1011, 2012. 71
- [TSP02] C. Trepagnier, M.M. Sebrechts, and R. Peterson. Atypical face gaze in autism. *Cyberpsychology & Behavior*, 5(3):213–217, 2002. 63, 67
- [Tux13] Janis S Tuxbury. The experience of presence among telehealth nurses. *Journal of Nursing Research*, 21(3):155–161, 2013. 39
- [TV04] J. Cabanyes Truffino and D. García Villamizar. Identification and early diagnosis of the autistic spectrum disorders. *Revista de neurología. IF 2011:0.790 (Q4 165/192)*, 39(1):81–90, 2004. 17
- [TWK<sup>+</sup>12] James W Tanaka, Julie M Wolf, Cheryl Klaiman, Kathleen Koenig, Jeffrey Cockburn, Lauren Herlihy, Carla Brown, Sherin S Stahl, Mikle South, James C McPartland, et al. The perception and identification of facial emotions in individuals with autism spectrum disorders using the let’s face it! emotion skills battery. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 53(12):1259–1267, 2012. 32, 36, 72, 219
- [VdGKC<sup>+</sup>02] JN Van der Geest, C. Kemner, G. Camfferman, MN Verbaten, and H. Van Engeland. Looking at images with human figures: comparison between autistic and normal children. *Journal of autism and developmental disorders*, 32(2):69–75, 2002. 56, 62
- [VdGKVVE02] JN Van der Geest, C. Kemner, MN Verbaten, and H. Van Engeland. Gaze behavior of children with pervasive developmental disorder toward human faces: a fixation time study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry. IF 2011:4.281 (Q1 8/75)*, 43(5):669–678, 2002. 64, 67, 184

- [VF15] Andrius Vabalas and Megan Freeth. Brief report: Patterns of eye movements in face to face conversation are associated with autistic traits: Evidence from a student sample. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, pages 1–10, 2015. 192
- [VNO<sup>+</sup>08] G. Vivanti, A. Nadig, S. Ozonoff, S.J. Rogers, et al. What do children with autism attend to during imitation tasks? *Journal of experimental child psychology*, 101(3):186, 2008. 58, 61
- [VSS<sup>+</sup>12] Bram Vanderborght, Ramona Simut, Jelle Saldien, Cristina Pop, Alina S Rusu, Sebastian Pinteá, Dirk Lefeber, and Daniel O David. Using the social robot probó as a social story telling agent for children with asd. *Interaction Studies*, 13(3):348–372, 2012. 46, 49
- [VYR12] Laurie A Vismara, Gregory S Young, and Sally J Rogers. Telehealth for expanding the reach of early autism training to parents. *Autism research and treatment*, 2012, 2012. 39, 42
- [VZZ13] María Viqueira, Begoña García Zapirain, and Amaia Mendez Zorrilla. Ocular movement and cardiac rhythm control using eeg techniques. 2013. xvii, 52
- [WDH01] Iain Werry, Kerstin Dautenhahn, and William Harwin. Investigating a robot as a therapy partner for children with autism. *Procs AAATE 2001*, 2001. 44, 46
- [WG97] Lorna Wing and Judith Gould. Prevalence of autistic spectrum disorder in the uk: E. frombonne autism. *SAGE Publications*, 2(1):227–229, 1997. 13
- [Whi04] Jennifer Whipple. Music in intervention for children and adolescents with autism: A meta-analysis. *Journal of music therapy*, 41(2):90–106, 2004. 32
- [WHVF<sup>+</sup>13a] J.B. Wagner, S.B. Hirsch, V.K. Vogel-Farley, E. Redcay, and C.A. Nelson. Eye-tracking, autonomic, and electrophysiological correlates of emotional face processing in adolescents with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, pages 1–12, 2013. 55, 66, 75, 214, 215
- [WHVF<sup>+</sup>13b] Jennifer B Wagner, Suzanna B Hirsch, Vanessa K Vogel-Farley, Elizabeth Redcay, and Charles A Nelson. Eye-tracking, autonomic, and electrophysiological

## BIBLIOGRAFÍA

---

- correlates of emotional face processing in adolescents with autism spectrum disorder. *Journal of autism and developmental disorders*, 43(1):188–199, 2013. 189
- [Wil45] Frank Wilcoxon. Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics bulletin*, pages 80–83, 1945. 167
- [Win81] Lorna Wing. Asperger’s syndrome: a clinical account. *Psychological Medicine. IF 2011: 6.159 (Q1 6/75)*, 11(01):115–129, 1981. 11
- [WLD<sup>+</sup>13] David P Wacker, John F Lee, Yaniz C Padilla Dalmau, Todd G Kopelman, Scott D Lindgren, Jennifer Kuhle, Kelly E Pelzel, Shannon Dyson, Kelly M Schieltz, and Debra B Waldron. Conducting functional communication training via telehealth to reduce the problem behavior of young children with autism. *Journal of developmental and physical disabilities*, 25(1):35–48, 2013. 39, 42
- [WLL<sup>+</sup>09] Karla Conn Welch, Uttama Lahiri, Changchun Liu, Rebecca Weller, Nilanjan Sarkar, and Zachary Warren. An affect-sensitive social interaction paradigm utilizing virtual reality environments for autism intervention. In *Human-Computer Interaction. Ambient, Ubiquitous and Intelligent Interaction*, pages 703–712. Springer, 2009. 2, 27
- [WLO<sup>+</sup>13] Janelle L Wagner, Paul M Levisohn, Charles N Onufer, Gloria C Uchegbu, Linda Fletcher, Mary Zupanc, and Mimi Browne. Project access: Strategies to improve care for children and youth with epilepsy: Illustrations of recommendations in the iom report on the epilepsies. *Epilepsy & Behavior*, 29(1):121–127, 2013. 39, 70
- [WM12] Julie A Worley and Johnny L Matson. Comparing symptoms of autism spectrum disorders using the current *içdsm-iv-tr*/*içd* diagnostic criteria and the proposed *içdsm-v*/*içd* diagnostic criteria. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 6(2):965–970, 2012. 15
- [WR11] M. Wang and D. Reid. Virtual reality in pediatric neurorehabilitation: Attention deficit hyperactivity disorder, autism and cerebral palsy. *Neuroepidemiology*, 36(1):2–18, 2011. 22, 27

- [WTRC10] Monique C Waite, Deborah G Theodoros, Trevor G Russell, and Louise M Cahill. Assessment of children's literacy via an internet-based telehealth system. *Telemedicine and e-Health*, 16(5):564–575, 2010. 39, 70
- [WWA<sup>+</sup>04] Amy M Wetherby, Juliann Woods, Lori Allen, Julie Cleary, Holly Dickinson, and Catherine Lord. Early indicators of autism spectrum disorders in the second year of life. *Journal of autism and developmental disorders*, 34(5):473–493, 2004. 17
- [YMRO09] G.S. Young, N. Merin, S.J. Rogers, and S. Ozonoff. Gaze behavior and affect at 6 months: Predicting clinical outcomes and language development in typically developing infants and infants at risk for autism. *Developmental science*, 12(5):798–814, 2009. 68, 69