



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Doctorado en Innovación, Tecnología y Hábitat

**Propuesta de aporte tecnológico para la
medición de niveles de atención en niños**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Doctora en Innovación, Tecnología y Hábitat

Presenta

María del Carmen Cabrera Hernández

Dirigido por:

Marco Antonio Aceves Fernández

Dr. Marco Antonio Aceves Fernández

Presidente

Dra. Cintli Carolina Carbajal Valenzuela

Secretaria

Dr. Jesús Carlos Pedraza Ortega

Vocal

Dr. Manuel Toledano Ayala

Sinodal

Dra. Reina Isabel Loredo Cansino

Sinodal

Centro Universitario, Querétaro, Qro.

junio, 2024 México

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

Contenido

| | |
|--|----|
| Agradecimientos..... | 6 |
| Resumen..... | 8 |
| Abstract | 8 |
| 1. Introducción | 10 |
| 1.1. Descripción del problema..... | 11 |
| 1.2. Problema de investigación | 13 |
| 2. Antecedentes..... | 13 |
| 2.1. Atención | 13 |
| 2.1.1. Tipos de atención | 14 |
| 2.2. Trastornos de atención..... | 17 |
| 2.2.1. Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) | 18 |
| 2.3. Espacio y atención | 21 |
| 2.3.1. Espacios escolares | 22 |
| 2.3.2. Ambiente construido y trastornos del neurodesarrollo..... | 25 |
| 2.3.3. Indicadores del déficit de Atención..... | 28 |
| 2.4. Herramientas tecnológicas para la evaluación de la atención..... | 29 |
| 2.4.1. Medidas Psicofisiológicas | 30 |
| 2.5. Inteligencia Artificial y la salud mental..... | 32 |
| 2.5.1. Algoritmos de clasificación | 35 |
| 2.5.2. Métodos de validación | 39 |
| 3. Hipótesis y objetivos..... | 41 |
| 3.1. Hipótesis | 41 |
| 3.2. Objetivo general | 41 |
| 3.3. Objetivos específicos | 41 |
| 4. Metodología | 41 |
| 4.1. Herramienta de recolección de datos | 42 |
| 4.1.1. Arquitectura de la herramienta..... | 42 |
| 4.1.2. Software de recolección de datos | 48 |
| 4.2. Recolección de datos..... | 57 |
| 4.2.1. Estudio experimental..... | 57 |
| 4.2.2. Variables del hábitat..... | 60 |
| 4.3. Análisis de datos..... | 65 |
| 4.3.1. Motor de Inteligencia Artificial..... | 65 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5. | Resultados y discusión..... | 69 |
| 5.1. | Resultados de análisis de seguidor ocular..... | 69 |
| 5.1.1. | Resultados de la clasificación | 73 |
| 5.1.2. | Resultado de las variables del hábitat..... | 76 |
| 6. | Conclusiones y trabajo futuro | 79 |
| 6.1. | Conclusiones..... | 79 |
| 6.2. | Trabajo futuro..... | 80 |
| | Referencias | 80 |
| A. | Carta de Consentimiento | 91 |
| B. | Carta de Confidencialidad | 94 |
| C. | Artículo Publicado en el Journal Data In Brief | 95 |
| D. | Artículo publicado en la Revista “Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología” | 100 |
| E. | Registro de Software..... | 102 |
| | | 102 |
| F. | Transferencia de Tecnología | 104 |
| | | 104 |
| G. | Participación en la Convocatoria de Fondo de Proyectos Especiales de Rectoría 2021 | 111 |
| H. | Actividades de Retribución Social | 112 |

Índice de Figuras

| | | |
|--------------|---|----|
| Figura 2.1 | Clima de la escuela (Loukas,2007)..... | 23 |
| Figura 2.2 | Imagen con registros de seguimiento ocular (Tomada de Mohamed, 2007) | 31 |
| Figura 2.3 | Seguidor Eyetribe de infrarrojo (tomado de Alstrup, 2016) | 31 |
| Figura 2.4 | Ramas de la Inteligencia artificial adaptado de (Leyva-Vazquez, 2018) | 33 |
| Figura 2.5 | Algoritmos de Aprendizaje Automático (Adaptado y traducido de (Mahesh, 2020)) | 36 |
| Figura 2.6 | Ejemplo de algoritmo de clasificación adaptado de (Kotsiantis, 2007) | 36 |
| Figura 4.1 | Fases de desarrollo de la herramienta Neuro Innova Kids..... | 42 |
| Figura 4.2 | Capas de la arquitectura de la herramienta | 42 |
| Figura 4.3 | . Diagrama para crear el Sistema (imagen editada para proteger la identidad del niño) | 43 |
| Figura 4.4 | . Uso del seguidor ocular Eyetribe (tomada de Alstrup, 2016) | 44 |
| Figura 4.5 | Pantallas de calibración del eyetracker | 44 |
| Figura 4.6 | Diagrama de flujo de datos del sistema | 46 |
| Figura 4.7. | Diagrama de flujo de datos de las pruebas | 46 |
| Figura 4.8 | . Diagrama Entidad-Relación simplificado de la base de datos | 47 |
| Figura 4.9 | Vista parcial de las tablas de la BD | 47 |
| Figura 4.10 | Análisis de colores y concepto del NIK | 48 |
| Figura 4.11 | Pantalla principal de NIK..... | 49 |
| Figura 4.12. | Pantalla de inicio de sesión en NIK..... | 49 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.13 . Diagrama de actividades de la herramienta | 50 |
| Figura 4.14 Módulo de registro | 51 |
| Figura 4.15 Detalle del registro de usuario | 51 |
| Figura 4.16 Prueba de las figuras superpuestas | 53 |
| Figura 4.17 Prueba de series numéricas de dominó | 53 |
| Figura 4.18 Prueba de los cubos desplegados..... | 54 |
| Figura 4.19 Vista parcial de una pantalla de la ENI-2 | 56 |
| Figura 4.20 Detalle del menú del módulo de información básica..... | 56 |
| Figura 4.21 Pantalla del menú del módulo de información básica | 57 |
| Figura 4.22. Preguntas del test de Magallanes | 58 |
| Figura 4.23 Pruebas en niños | 59 |
| Figura 4.24 Vista del tríptico y video informativos..... | 60 |
| Figura 4.25 Espacio "taller" | 62 |
| Figura 4.26 Fotografías del “TALLER” | 62 |
| Figura 4.27 Espacio de donde se realiza la toma de datos..... | 63 |
| Figura 4.28 Planos del espacio: “OFICINA” | 63 |
| Figura 4.29 Fotografías de la “OFICINA”..... | 64 |
| Figura 4.30 Zona de recolección de datos en “OFICINA” | 64 |
| Figura 4.31 muestra de un archivo de datos del seguidor ocular | 66 |
| Figura 4.32 Algoritmo I-VT (Traducido de Salvucci, 2000) | 67 |
| Figura 4.33 Cálculo del ángulo visual (Traducido de Matos 2010) | 68 |
| Figura 5.1 Resultados gráficos del análisis | 71 |
| Figura 5.2 . Nivel alto de atención..... | 72 |
| Figura 5.3 . Nivel bajo de atención | 72 |
| Figura 5.4 Hiperparámetros optimizados para la prueba de dominó | 73 |
| Figura 5.5 . Accuracy del modelo | 74 |
| Figura 5.6 F1 score del modelo | 74 |
| Figura 5.7 Precisión del modelo | 75 |
| Figura 5.8 Recall del modelo | 75 |
| Figura 5.9 Desviación estándar de las pruebas | 78 |
| Figura 5.10 Promedio de las pruebas 2 | 79 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1.1 Datos del tipo de tratamiento (CDC, 2019)..... | 11 |
| Tabla 2.1 Tipos de Atención dependiendo del criterio ^{Adaptada de(Lago, 2014)} | 14 |
| Tabla 2.2 Síntomas para diagnóstico (Bruchmüller,2012)..... | 19 |
| Tabla 2.3 Matriz sensorial ^(traducido de Mostafa, 2018) | 26 |
| Tabla 2.4 Ejes de la matriz sensorial | 27 |
| Tabla 2.5 Aplicaciones de IA para medir atención | 35 |
| Tabla 2.6 Hiperparámetros de bosque aleatorio | 37 |
| Tabla 2.7 Tipificación de resultados de la clasificación | 40 |
| Tabla 2.8 Métricas validez de la clasificación y su equivalente en pruebas diagnósticas | 40 |
| Tabla 4.1 Resultados de calibración | 45 |
| Tabla 4.2 Rango de edades de los participantes | 57 |
| Tabla 4.3 Datos test de Magallanes..... | 58 |

| | |
|--|----|
| Tabla 4.4 Matriz sensorial de los Trastornos de Atención | 61 |
| Tabla 4.5 Datos de mirada del Eye Tribe | 65 |
| Tabla 4.6 Algoritmos de identificación de fijaciones ^{adaptado de (Salvucci, 2000)} | 66 |
| Tabla 5.1 Variables calculadas para la clasificación | 70 |
| Tabla 5.2 Resultados del etiquetado..... | 71 |
| Tabla 5.3 Evaluación de los espacios: Taller | 76 |

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Autónoma de Querétaro por todas las oportunidades y apoyo que me brindó para poder desarrollar este proyecto que es apenas una semilla que espero que germine y así poder regresarle a la UAQ y la sociedad lo mucho que me otorgó.

A la Facultad de Ingeniería que es como otro hogar para mí, y que con su comunidad tan vibrante y productiva me ha impulsado e inspirado para continuar estudiando y realizar este proyecto que fue un reto muy importante en mi carrera. También la FI me ha hecho crecer personal y profesionalmente como profesora e ingeniera, por eso es que le tengo un gran cariño a esta facultad tan grande en todos sentidos. ¡Muchas gracias!

Agradezco infinitamente a mi familia porque sin su apoyo no hubiera podido lograr esta tarea tan importante en mi vida, ellos son quienes siempre están para mí, en los momentos felices y en los difíciles y que me tuvieron paciencia cuando no pude estar para ellos por estar absorta en mis proyectos. A mis papás, Joel Cabrera y Carmen Hernández, que son mi ejemplo de cómo ser una mejor persona cada día y cómo eso es parte importante para ser mejor profesionista, estoy muy orgullosa de ellos que han hecho el mejor de los esfuerzos para que sus hijos logren sus sueños y objetivos y que nos educaron con mucho amor, paciencia y con entusiasmo. A mis hermanos José María, Joel ,Jorge y Ana que por ser mayores son mi modelo a seguir en muchos aspectos, los admiro mucho y aún más importante me han apoyado, guiado y acompañado toda mi vida, son mis mejores amigos en la vida, y una mención especial a mi hermana menor Rosita con quien convivo la mayor parte del tiempo, es mi cómplice, mi terapeuta, mi mejor amiga por siempre, mi apoyo principal y que ha vivido miles de aventuras conmigo y en esta aventura en específico recibí mucha paciencia, ayuda y comprensión de su parte. ¡Muchas gracias por todo!

Gracias a mi asesor el Dr. Marco Antonio Aceves Fernández, mi mentor, maestro Jedi, el Sensei Supremo e Iluminado, a él por tener paciencia cuando parecía que no estaba avanzando en el proyecto, el nunca dejó de creer en mí, por integrarme en sus proyectos para ayudarme a crecer más, por compartir conmigo sus conocimientos y sus sabios

consejos,y por su amistad que creció y se vio reforzada por tantos momentos optimistas y otros tantos difíciles, pero que siempre pensó que yo lo lograría.

A mis profesores y guías que me ayudaron a ver el mundo y aprender cosas muy importantes que no imaginaba que existieran y que sin ellos y su apoyo no hubiera llegado lejos: Dra. Reina Isabel Loredó Cansino, gracias por creer en mí y por esa guía rigurosa pero comprensiva, Dr. Miguel Bartorila, Dr. Avatar Flores, Dr. Carlos Pedraza, Dr. Manuel Toledano ¡Gracias doc Manuel por todo!

A mis amigos por estar ahí siempre cuando necesitaba de su compañía, en las buenas y las malas: Franz, Tony, Luis, Luisita, Yerett, Juve, Isra, Jorge Javier, Juan Carlos, Abif, Sai, Sofi, Pepe, Abi, Gus, Carlos, Gaby, Jane, Andy, Andrés, Arancita y Andrés, Sandy, Dani y Caro.

Resumen

El presente trabajo de investigación aborda la problemática de los trastornos de atención en la población infantil en edad escolar, que afecta aproximadamente al 7% a nivel mundial. Se propone una herramienta innovadora basada en un sistema de seguimiento ocular con un motor de inteligencia artificial para medir los niveles de atención. Esta herramienta combina la Evaluación Neuropsicológica Infantil 2 (ENI-II) con pruebas de carga cognitiva para evaluar la atención durante tareas de dificultad media. Además, se desarrolla una metodología para analizar la influencia del entorno físico, especialmente los espacios construidos, en la atención de los niños.

El motor de inteligencia artificial emplea el algoritmo de Bosques Aleatorios como clasificador. Los resultados obtenidos muestran una exitosa implementación de la herramienta, con una obtención satisfactoria de datos para alimentar el motor de IA, así como el registro del software ante Indautor y la posterior transferencia de tecnología. En cuanto a la medición de los niveles de atención, se logra una clasificación con una precisión cercana al 92% en algunas métricas de validación.

Por otro lado, en relación con la integración de variables del hábitat, se obtienen resultados parciales debido a la insuficiencia de datos recolectados. Sin embargo, estos resultados preliminares sugieren la presencia de elementos en el entorno considerados distractores o poco propicios para apoyar la atención. Este estudio proporciona una contribución significativa para comprender y abordar los trastornos de atención infantil, así como para diseñar entornos más propicios para el desarrollo cognitivo.

Abstract

The present research addresses the issue of attention disorders in the school-aged population, affecting approximately 7% globally. An innovative tool is proposed, based on an eye-tracking system with an artificial intelligence engine to measure attention levels. This tool combines the Children's Neuropsychological Assessment 2 (ENI-II) with cognitive load tests to assess attention during tasks of medium difficulty. Additionally, a methodology is developed to analyze the influence of the physical environment, especially built spaces, on children's attention.

The artificial intelligence engine employs the Random Forest algorithm as a classifier. The results obtained show a successful implementation of the tool, with satisfactory data acquisition to feed the AI engine, as well as the software's registration with Indautor and subsequent technology transfer. Regarding the measurement of attention levels, a classification with accuracy close to 92% is achieved in some validation metrics.

On the other hand, in terms of integrating environmental variables, partial results are obtained due to insufficient collected data. However, these preliminary results suggest the presence of elements in the environment considered distracting or unsupportive of attention. This study provides a significant contribution to understanding and addressing childhood attention disorders, as well as designing more conducive environments for cognitive development.

1. Introducción

De los problemas de atención el que tiene más visibilidad es el TDAH con una prevalencia a nivel mundial de entre el 2% y el 7%, con un promedio de 5%, esto en la población infantil (Sayal, 2018). En la población adulta, el porcentaje de la población es de 2.8% en promedio, llegando a elevarse hasta un 3.6% en países donde los ingresos son elevados (Fayyad, 2017). En México, sin embargo, no existen cifras oficiales exactas de la prevalencia del trastorno, sin embargo, se calcula que cerca de 1 millón y medio de niños menores de 14 años padecen el trastorno (Ostrosky, 2018). Sin embargo, la cantidad de casos diagnosticados que no están relacionados con TDAH, pero con diagnóstico positivo es desconocida.

La presente propuesta de trabajo de investigación busca desarrollar una herramienta tecnológica que provea un diagnóstico certero y oportuno para aquellas personas que padezcan de trastornos de atención, así como llevar el seguimiento de la progresión del trastorno en los pacientes que lleven algún tipo de tratamiento.

La herramienta desarrollada a partir de esta investigación servirá de apoyo para los especialistas del área, esto con el fin de que les ayude a tomar mejores decisiones acerca de los tratamientos que debe llevar cada paciente. También, con esta herramienta se espera reducir o eliminar los diagnósticos falsos positivos ya que se ha detectado un aumento de los mismos, de acuerdo a algunos documentos, como el Manual de diagnóstico y estadística de trastornos mentales de la Asociación Americana de Psiquiatría (DSM-5) (APA, 2013), así como también existen registro de que se ha llegado a confundir el TDAH con las variaciones normales en la tasa de desarrollo del infante (Wakefield, 2015).

El desarrollo tecnológico derivado de esta investigación, además de ser certero tiene como objetivo no ser invasivo ya que se aplicarán técnicas de inteligencia artificial (IA) en conjunto con pruebas como los EEG, seguimiento ocular, o el uso de IMUs entre otros, y cuyo desempeño se espera será mejorado con IA al encontrar mejores maneras de procesamiento y análisis de los datos.

Es por esto que también se espera que el desarrollo de la investigación pueda contribuir con un método robusto y medible para el diagnóstico de TDAH, que no sólo aportará la herramienta de diagnóstico, ya que se va a hacer una evaluación sobre cuál es el método de adquisición de los datos del paciente que más convengan tanto al

paciente y al desarrollo de la investigación, así como también se explorará entre diversas técnicas de inteligencia artificial y se hará un estudio para determinar cuál presenta mejor rendimiento para el problema que nos ocupa.

1.1. Descripción del problema

Dado que el TDAH es lo primero que se busca diagnosticar cuando existen problemas e atención es importante hablar de cómo es su tratamiento, el cual está enfocado a reducir los síntomas, y se trata comúnmente con medicamentos, educación o capacitación, terapia o una combinación de los tratamientos.

Además, cabe mencionar que de esa población de niños diagnosticados el TDAH sólo un porcentaje recibe tratamiento en caso de que sea realmente TDAH u otro padecimiento. Es importante hacer notar que no existen datos completos sobre la cantidad de personas que reciben tratamiento, dado que estos datos provienen de fuentes como los reportes que hacen los padres y de los servicios de salud por eso las estimaciones de los patrones de tratamiento son variables. Sin embargo, en la tabla 2 se muestran los reportes de parte de los padres y los servicios de salud, sobre el tipo de tratamiento que están llevando pacientes que presentan el trastorno.

Tabla 1.1 Datos del tipo de tratamiento (CDC, 2019)

| Padres | | Servicios Médicos | |
|---------|-------------|-------------------|-------------|
| Terapia | Medicamento | Terapia | Medicamento |
| 47% | 62% | <50% | 75% |

En cuanto al tratamiento del TDAH, vemos en la tabla 2.1 que la medicación es el tratamiento que más se usa en contraste con la terapia o tratamiento conductual, la cual se define como el intento de encontrar el origen de los hábitos indeseables en una persona y con ese conocimiento prevenir y tratar las anormalidades en el comportamiento (Yates, 1970).

No obstante, sin importar su uso efectivo en el control de los síntomas, hay evidencia de que un porcentaje de los pacientes en tratamiento de medicamentos para el trastorno, lo abandonan, ya sea por creencias personales, por ejemplo, el temor a crear una dependencia al medicamento o debido a efectos adversos del medicamento en el paciente (Charach, 2013). Esto crea la necesidad de buscar una forma de mejorar los tratamientos, ya sea terapia conductual o la forma en que se percibe el medicamento,

como lo podrían ser herramientas educativas o de tratamiento en sí, eso en caso de que se trate de TDAH, pero si se tratara de otro trastorno psicológico o por causas de ambiente el niño estaría recibiendo tratamiento para un padecimiento que no tiene.

Así mismo, es importante señalar que, aunque el trastorno de TDAH que también forma parte de los padecimientos que se buscan mejorar su diagnóstico, comienza a desarrollarse en la infancia, este prevalece durante la adultez en cierto porcentaje de los niños que les fue diagnosticado el TDAH. Sin embargo, el diagnóstico para un adulto se puede ver afectado por el hecho de que para los niños es de rutina que se les hagan pruebas para detectar el TDAH en cambio para un adulto no forma parte de la rutina, lo cual puede crear un sesgo al ser escépticos sobre síntomas que llevarían a un diagnóstico obvio del trastorno pero que son desestimados ya sea por la falta de capacitación en cuanto al diagnóstico del trastorno en adultos, ya sea que hayan sido diagnosticados en su niñez o sin un diagnóstico previo (Faraone, 2005).

Además, de las problemáticas del diagnóstico y el tratamiento del TDAH, es importante notar que a través de algunos estudios se ha detectado un aumento en los casos del trastorno, aumentando los casos diagnosticados desde un 6.1% en los años 1997-1998, a un 10.2% en los años 2015-2016 en una población de niños de 4 a 17 años (Visser, 2014; Xu, 2018). Sin embargo, dichos estudios no mencionan las causas del notable aumento de diagnósticos, esto podría deberse a un real aumento de casos o un sobrediagnóstico o un sobretratamiento del trastorno como lo sugieren los resultados obtenidos en algunos trabajos acerca de la relación de la estación del año en que nació un niño y la edad relativa de los sujetos de estudio afectan el diagnóstico positivo del TDAH (Morrow, 2012), así como también se ha documentado que el género del paciente conlleva a una sobrediagnosis ya que los niños de género masculino tiene características más comunes con el arquetipo del niño con TDAH (Bruchmüller, 2012).

A lo mencionado anteriormente, se le incorpora una corriente de pensamiento que considera que el Trastorno de déficit de atención e hiperactividad es una construcción social y que incluso los criterios para el diagnóstico son parte de un consenso de un conjunto de expertos en el área, y como consecuencia de esto convirtiendo el diagnóstico del TDAH en una falacia (Timimi, 2004). Esto podría confirmar que puede tratarse de otros problemas los que causan un problema de atención en los niños.

Es por estas razones que se hace necesario el desarrollo de herramientas que generen un diagnóstico basado en criterios cuantificables y libres de sesgos para los problemas de atención. Sin embargo, ya se anticipa que estas herramientas deben ser basadas en tecnología ya que los problemas de atención tienen una heterogeneidad clínica incluso para trastornos tan definidos como el TDAH (Pérez-Álvarez, 2017) y el desarrollo de herramientas analíticas para múltiples variables ayudarán a comprender señales neuronales como la de EEG (Sjöwall, 2013).

1.2. Problema de investigación

Dada la existencia de imprecisión y dudas que generan los diagnósticos sobre los trastornos de atención, se busca desarrollar una metodología que sirva para detectar los niveles de atención y su relación con el ambiente y características propias del niño.

2. Antecedentes

2.1. Atención

Dado que la atención es tema de estudio del presente trabajo lo más importante es empezar con una definición que nos sirva de guía, así como para entender de manera adecuada cuál es el problema que nos ocupa. Deberíamos de decir que la definición de atención que se toma como la primera o la clásica es la de William James que la explica como “La toma de posesión de la mente en forma clara y vívida de uno de los que parecen varios objetos o líneas de pensamiento simultáneas” (James, 1909) sin embargo, desde que James dio esa definición algunos otros expertos del área como Edward Titchener, Wilhelm Wundt entre otros reflexionaron sobre la atención y lo que era y que podría decirse que de manera resumida la definían como una fuerza interna que sirve para tener conciencia de los objetos que nos rodean y que seleccionamos (Melero, 2008). Pero al tratarse de un concepto complejo por la cantidad de mecanismos involucrados no era sencillo formalizar una definición unificada que satisficiera a todos aquellos dedicados al estudio de la mente.

No obstante, aunque a través de los años se ha logrado hacer mayores estudios de la atención aún no se ha llegado a concluir de manera concreta si existen mecanismos

puramente atencionales o son solo los sistemas sensoriales y motor encargándose de ciertas tareas en conjunto, es por esto que definiciones la de Posner que ve “la atención como un sistema de órganos, es decir, como la participación de redes especializadas para llevar a cabo funciones tales como lograr y mantener el estado de alerta, orientar a eventos sensoriales y controlar pensamientos y sentimientos” (Posner, 2001) ,tienden a bosquejar la atención como diferentes órganos o sistemas trabajando en conjunto para producir ese constructo que conocemos como atención, sin embargo debemos conocer más acerca de estos mecanismos u órganos atencionales y cómo funcionan para establecer qué sistema en específico es de nuestro interés.

2.1.1. Tipos de atención

En la introducción de este capítulo mencionamos el por qué el concepto de atención no es sencillo de definir, pero esta dificultad se manifiesta también en el momento de clasificar los tipos de atención, por eso es que la clasificación no es única si no que se basa en criterios relacionados con sus funciones, el grado control que se tiene en los procesos atencionales o dependiendo del estímulo que desencadenen los mecanismos atencionales, tabla 2.1.

Tabla 2.1 Tipos de Atención dependiendo del criterio Adaptada de(Lago, 2014)

| Selectiva, Dividida, Sostenida | Mecanismos participantes |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Exógena, Endógena | Objeto al que va dirigida la atención |
| Visual, Auditiva | De acuerdo al estímulo sensorial |
| Global, selectiva | Amplitud e intensidad de la atención |
| Controlada, dispersa | Amplitud y control |
| Manifiesta, encubierta | Manifestaciones de los procesos |
| Voluntaria, involuntaria | Grado de control voluntario |

Consciente, inconsciente

Grado de procesamiento de información no
atendida

Esta clasificación nos sirve para entender qué tipos de atención existen y cuáles son los posibles indicadores que nos sirvan para medir los niveles de atención y detectar posibles trastornos de la atención, a continuación, veremos cómo se definen algunos de estos tipos que son tema de interés para el presente trabajo.

2.1.1.1. Atención sostenida

La atención sostenida se define como aquella que se encarga de los mecanismos que mantienen el foco de la atención por un tiempo prolongado en tareas ya sean monótonas o no y que la persona tenga la capacidad de permanecer alerta (Soroa, 2009)

Un punto importante a aclarar sobre la atención sostenida es que el desempeño de la atención sostenida, aunque se mantiene, sí presenta fluctuaciones (Fortenbaugh, 2017). Algunos trabajos de investigación sostienen que estas fluctuaciones tienen diversas causas como la motivación, el esfuerzo y la recompensa entre otros. La atención oscila entre dos tipos de periodos, uno llamado “estar en la zona” en donde la atención varía poco, es más precisa y los ajustes de errores son pequeños, y está el periodo “fuera de la zona” donde la atención varía en un grado mayor, hay menor precisión y hay mayores ajustes en los errores (Esterman, 2019).

La atención sostenida forma parte del criterio de clasificación relacionado con los mecanismos participantes.

2.1.1.2. Atención de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba

En la clasificación de los tipos de atención que mencionamos anteriormente pareciera que cada criterio para clasificar la atención excluye al otro, no obstante, veremos que un tipo incluye a otro u otros de estos tipos dependiendo del criterio. Por ejemplo, en relación con el criterio de grado de control voluntario, tenemos el concepto de atención de arriba hacia abajo, este tipo de atención es asignada de manera voluntaria a regiones en el espacio, objetos o ciertas características, en contra posición la atención de abajo hacia arriba es aquella atención dirigida involuntariamente (Pinto, 2013). Tomando como

base los conceptos anteriores, pensemos en alguien que recoge fruta en el campo, si la fruta es roja centrará su atención en el color rojo o cualquier otra característica propia de la fruta, esta es la atención de arriba hacia abajo en acción, y ahora imaginemos que estando en el campo se escucha un fuerte estruendo causado por un relámpago y la persona mira hacia donde se produjo el sonido, a esto se le llama estímulo saliente y la persona no tenía la intención de ponerle atención sin embargo logra atraerla de manera involuntaria.

Ahora, habiendo establecido que significa el criterio de voluntad en la atención, se ha investigado que la atención de arriba hacia abajo y la de abajo hacia arriba interactúan de forma continua para un mejor desempeño de la atención, entre ellas atención sostenida en donde procesos del cerebro para atención de arriba hacia abajo intervienen en la atención sostenida (Sarter, 2001).

2.1.1.3. Atención de acuerdo al estímulo

Podría simplificarse la atención como un proceso cognitivo que procesa los estímulos e información que le llegan a través de los sentidos, en específico a través de la vista y el oído, y que se organizan en diferentes procesos mentales (Coneo, 2019).

2.1.1.3.1. Atención Visual

La atención visual es un tipo de atención basada en el criterio del tipo de estímulo y que se le considera de manera metafórica como un foco de luz que nos permite seleccionar o dirigir ese foco a zonas específicas (Styles, 2010). Sin embargo, las metáforas no son suficientes para explicar cómo funcionan los mecanismos de la atención visual, algunos autores refieren que se ha comprobado de manera experimental que la atención visual involucra los mecanismos de la atención de *abajo hacia arriba*, el cual depende de que tan prominentes o llamativos son los objetos y que no tiene relación con las tareas que ejecute una persona, el otro mecanismo atencional es el de *arriba hacia abajo*, este sí depende de la tarea que se ejecuta y que se considera voluntario (Ramírez-Villegas, 2010).

2.1.1.3.1.1. Movimientos oculares y atención

Otro aspecto importante a tomar en cuenta es que los movimientos oculares y la atención tienen una relación estrecha, los movimientos oculares ocurren durante las fijaciones, que son la estabilización de los ojos en una posición, sin embargo durante esta

estabilización aún ocurren movimientos como los movimientos microsacádicos que son espasmódicos e involuntarios que ocurren durante las fijaciones, y los movimientos sacádicos son movimientos voluntarios de mayor longitud ocurridos durante las fijaciones (Martínez-Conde, 2004).

La relación entre la atención y los movimientos oculares se origina en la oportunidad que ofrecen para observar eventos internos y estados cognitivos, ya que son un medio o salida sensorial que tiene el cerebro porque son relativamente observables de una manera directa además de que se puede medir su comportamiento de acuerdo a un estímulo proporcionado (Mulvey, 2014).

2.1.1.4. Atención Viso-Espacial

La atención espacial está relacionada con la atención visual ya que ambas dependen de lo que se percibe a través de los ojos y utilizan los mismos mecanismos atencionales: *abajo hacia arriba*, y de *arriba hacia abajo*, sin embargo, la atención espacial es la que permite que se le conceda prioridad en el procesamiento de información a cierta ubicación determinada (Carrasco, 2018).

2.1.1.5. Atención basada en características

La atención basada en características (ABC) tiene su definición en el comportamiento en donde se busca una característica específica de un estímulo, la ABC se encarga de mejorar la representación de esas características en el campo visual. La ABC dedica recursos de procesamiento limitados para todas aquellas entradas sensoriales que pueden ser relevantes para la tarea actual, por ejemplo, una forma o un color particular. Este tipo de atención es útil en la vida diaria sabemos que buscamos, aunque no sabemos dónde está, un objeto grande con forma de vehículo al cruzar la calle, pero es importante señalar que una vez que se ha encontrado el objeto, la ABC asiste en la decisión de que el objeto seleccionado es en realidad el objeto buscado (Theeuwes, 2013).

2.2. Trastornos de atención

Un trastorno de la atención está catalogado como un desorden conductual y que se presenta principalmente en la infancia, sus síntomas principales son dificultad para mantener la atención, distracción frecuente y dificultad para terminar tareas, pero pueden

incluir también impulsividad y actividad motora en exceso (American Academy of Pediatrics., 2000).

Un trastorno de la atención puede ser temporal o permanente dependiendo de lo que la esté causando, sin embargo, en el presente trabajo nos interesan los trastornos que tienen presencia cotidiana y afecta la vida social y escolar de que lo padece como es el caso del Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH).

2.2.1. Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH)

El TDAH es el desorden neuroconductual diagnosticado más comúnmente en los niños en edad escolar. Los síntomas principales son que la persona que lo padece tenga dificultad para prestar atención y controlar comportamientos impulsivos, así como también se puede mostrar inquieto y casi siempre se encuentra activo (Shaughnessy,2015). Esto puede causar también problemas escolares y bajo rendimiento académico, problemas de autoestima, aflicción e irritabilidad (American Psychiatric Association, APA, 2012).

Según la Asociación Americana de Psiquiatría (APA) El porcentaje de niños (2 a 17 años) que presentan el trastorno son cerca del 5% (NSCH,2013), sin embargo, algunos otros estudios han mostrado que esta cifra es más alta, cerca del 6.5% de los niños presentan el trastorno (Chung, 2019).

En cuanto a los adultos, los datos no son muy claros debido a la falta de un diagnóstico preciso. Sin embargo, la prevalencia del TDAH varía entre el 2.5% y 5.2% del total de la población, dependiendo de la etnicidad y lugar donde habita, entre otros factores (Timimi, 2005).

Por otro lado, existe la preocupación de que los diagnósticos de TDAH están alcanzando un carácter epidémico, principalmente en los países occidentales, en donde el concepto que se tiene de la niñez podría estar contribuyendo al aumento de los diagnósticos sin ser necesariamente correctos (Noterdaeme,2001). Así como también existen otras condiciones que podrían estar generando problemas de atención entre los niños como lo pueden ser niños con problemas específicos del lenguaje y los niños con autismo, en donde el tipo de déficit de atención es heterogéneo y no es fácil determinar cuál es el

origen de sus problemas de atención (Becker,2002), de la misma manera, existen problemas de atención causados por factores de ambiente de los niños cómo lo puede ser su contexto familiar por ejemplo si existe violencia intrafamiliar (Landhuis, 2007) y que no necesariamente supone que la falta de atención sea una condición permanente del niño, incluso algunos estudios indican que ciertos distractores como la televisión juegan un papel importante en los niveles de atención en niños (American Psychiatric Association, 2013).

2.2.1.1. Diagnósticos de TDAH y otros trastornos de atención

El diagnóstico del TDAH, el trastorno de atención más diagnosticado, se basa principalmente en síntomas evaluados a partir de listas de verificación sobre el comportamiento del individuo, los síntomas evaluados se clasifican en síntomas relativos a la falta de atención, hiperactividad, entre otros como se muestra en la tabla 2.3, y se deben de presentar seis o más de estos síntomas para recibir un diagnóstico de TDAH (Gualtieri, 2005; Narad, 2015). Las encuestas que se toman como apoyo para el diagnóstico son respondidas primariamente por los padres o tutores y profesores de los pacientes y algunas veces las evaluaciones difieren entre sí (NCBDDD, 2019).

Tabla 2.2 Síntomas para diagnóstico (Bruchmüller,2012)

| Inatención: | Hiperactividad e impulsividad |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ○ “A menudo no presta mucha atención a los detalles o comete errores descuidados en el trabajo escolar, en el trabajo o con otras actividades.” ○ “A menudo tiene problemas para mantener la atención en tareas o actividades de juego.” ○ “A menudo no parece escuchar cuando se le habla directamente.” ○ “A menudo no sigue las instrucciones y no termina el | <ul style="list-style-type: none"> ○ “A menudo se inquieta con o golpea las manos o los pies, o se retuerce en el asiento.” ○ “A menudo deja el asiento en situaciones en las que se espera permanecer sentado.” ○ “A menudo corre o sube en situaciones en las que no es apropiado (los adolescentes o adultos pueden limitarse a sentirse inquietos).” |

| | |
|---|--|
| <p>trabajo escolar, las tareas o los deberes en el lugar de trabajo (por ejemplo, pierde el enfoque, se desvía).”</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ “A menudo tiene problemas para organizar tareas y actividades.” ○ “A menudo evita, no le gusta o es reacio a realizar tareas que requieren esfuerzo mental durante un largo período de tiempo (como el trabajo escolar o la tarea).” ○ “A menudo pierde cosas necesarias para tareas y actividades (por ejemplo, materiales escolares, lápices, libros, herramientas, billeteras, llaves, papeleo, anteojos, teléfonos móviles).” ○ “A menudo se distrae fácilmente” ○ “A menudo se olvida en las actividades diarias.” | <ul style="list-style-type: none"> ○ “A menudo no puede jugar o participar en actividades de ocio en silencio.” ○ “A menudo está "en movimiento" actuando como si "fuera impulsado por un motor".” ○ “A menudo habla en exceso.” ○ “A menudo suelta una respuesta antes de que se complete una pregunta.” ○ “A menudo tiene problemas para esperar su turno.” ○ “A menudo interrumpe o se entromete en otros (por ejemplo, entrometerse en conversaciones o juegos)” |
|---|--|

Sin embargo, algunos estudios sugieren que, aunque existan herramientas como las encuestas de síntomas, no todos los especialistas siguen estas guías o manuales para diagnóstico de manera más estricta, ya que algunos casos que incluían varios síntomas de TDAH pero no los satisfacían completamente fueron diagnosticados como TDAH de manera indistinta e incluso se encontró un sesgo de género, en donde se diagnostican en mayor proporción(3:1) con TDAH los individuos de sexo masculino que los de sexo femenino (Schwarz, 2017) .

Es importante señalar que existen expertos del área de la salud mental que han documentado en algunos estudios la hipótesis de que las herramientas de diagnóstico

como las encuestas se han vuelto laxas para extender cada vez más el diagnóstico de trastornos mentales como el TDAH, que tienen muchos síntomas confusos y así favorecer el mercado de los fármacos (DSM-5 American Psychiatric Association, 2013).

También, cabe mencionar que los problemas de atención no asociados a TDAH como los relacionados con el autismo o de lenguaje, mencionados anteriormente, podrían ser mal diagnosticados ya que el TDAH tiene subtipos que no incluyen la impulsividad, pero si la inatención entre sus síntomas por lo cual hace estos padecimientos susceptibles a ser confundidos con TDAH (Carlson, 2002; Niedermeyer, 2005).

2.2.1.2. Tipos de atención afectadas por el TDAH

Dado la naturaleza del TDAH en donde la incapacidad para mantener la atención, una de las modalidades de la atención que se analiza principalmente para detectar y diagnosticar si se trata de este trastorno en específico, es la atención sostenida ya que este tipo de atención utiliza los mecanismos que hacen posible mantener el foco de la atención por un tiempo prolongado en tareas consideradas monótonas y en donde se ha demostrado que los pacientes con TDAH tienen dificultad de mantener la atención durante estos periodos de tiempo relativamente prolongados en donde no existen estímulos constantes que estén obligando la atracción de la atención hacia la tarea como lo es realizar una tarea monótona (Brown, 2005).

2.3. Espacio y atención

Las actividades que realizamos las personas siempre están asociadas a espacios, ya sean contruidos o naturales, en el presente trabajo se estudiarán los espacios en donde los niños realizan sus actividades y su influencia en los niveles de atención. Teniendo en cuenta que entre las actividades que realizan los niños las que se ejecutan en el ambiente escolar son las que principalmente tienen como requerimiento un nivel de atención alto, el estudio del espacio para el presente trabajo será delimitado a los espacios educativos o escolares.

Con respecto a los estudios que relacionan la influencia del espacio sobre los procesos de la atención en niños, son pocos los que se centran en la organización del espacio a

pequeña escala, sin embargo, los que existen están fundamentados por las neurociencias y ligan la influencia de los espacios a grande escala como lo son los espacios verdes (Mozaffar, 2012).

2.3.1. Espacios escolares

Los espacios escolares o de aprendizaje (EE) son los lugares donde se contextualizan la mayor parte de las observaciones y diagnóstico de trastornos de atención en niños (Scahill, 2000; Evans, 2010; Wolraich, 2014), sin embargo, no se registran datos de las características de dichos espacios y cómo es que influyen en las actividades de los niños, y en específico, nos interesa cuáles de estas características de los espacios escolares tienen una relación directa con los niveles de atención en niños, ya sean típicos o deficientes.

Por otro lado, cabe aclarar que existen variados aspectos de los espacios escolares que pueden ser estudiados, sin embargo, existen elementos que son considerados como las variables comunes de los espacios escolares y cuyas relaciones nos interesan estudiar por su impacto en la atención de los niños en dichos espacios.

Hay que mencionar también que los espacios escolares están en relación con el concepto que se llama Clima de la Escuela (CDE), que se define como las actitudes y sentimientos que provoca un entorno escolar (Loukas, 2007), este Clima escolar contiene tres dimensiones principales para calificarlo: la dimensión física, dimensión social y la dimensión académica, figura 2.1.

En el Clima Escolar las tres dimensiones interactúan entre sí para crear un ambiente física y emocionalmente seguro, que incentive al aprendizaje, al desarrollo intelectual y al buen desarrollo de las relaciones personales. (Thapa, 2013).

| Física | Social | Académica |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> •Aspecto del edificio escolar y sus aulas •Tamaño de la escuela y proporción de alumnos por docente en el aula •Orden y organización de las aulas en la escuela •Disponibilidad de recursos •Seguridad y comodidad. | <ul style="list-style-type: none"> •Calidad de las relaciones interpersonales entre estudiantes, profesores y personal; •Trato equitativo y justo de los estudiantes por parte de los maestros y el personal; •Grado de competencia y comparación social entre estudiantes; y •Grado en que los estudiantes, profesores y personal contribuyen a la toma de decisiones en la escuela. | <ul style="list-style-type: none"> •Calidad de la instrucción; •Expectativas de los maestros para el rendimiento de los estudiantes; •Supervisar el progreso de los estudiantes e informar de inmediato los resultados a los estudiantes y los padres. |

Figura 2.1 Clima de la escuela (Loukas,2007)

2.3.1.1. Variables de los espacios escolares

Una vez que establecimos que en los EE suceden interacciones complejas producto de las actividades académicas, no obstante, en el presente capítulo se pretende explorar la dimensión física del Clima escolar ya que nos interesa estudiar las variables físicas que podrían influir sobre los procesos cognitivos de los niños en los EE, sobre todo aquellos procesos que participan en los mecanismos de la atención.

En el modelo de CDE se agrupan las variables físicas en las siguientes categorías:

- Aspecto del edificio escolar y sus aulas
- Tamaño de la escuela y proporción de alumnos por docente en el aula
- Orden y organización de las aulas en la escuela
- Disponibilidad de recursos
- Seguridad y comodidad.

Por otro lado, quienes han estudiado las variables de los EE en procesos cognitivos como lo es la creatividad (Warner, 2009) han establecido variables específicas y los valores seleccionados como ideales para el desarrollo cognitivo de la creatividad:

- Iluminación: La iluminación natural es preferida, en caso de que esto sea posible se puede sustituir con luz artificial con un espectro parecido al natural.
- Color: Usar el color para provocar o disminuir reacciones y que la elección puede depender de la edad de los alumnos
- Decoraciones: En el caso de la creatividad las decoraciones o una pared vacía pueden servir de estímulo, pero depende del tipo de estímulo que se busca tener en el espacio.
- Recursos: elementos del espacio y suministros con los que se puede interactuar, que bien podrían tener un uso específico, dependiendo de lo que se quiere incentivar.
- Mobiliario: Debe de tener durabilidad, usabilidad y psicológicamente atractivo.
- Variables sensoriales: Temperatura ambiental, aire fresco, estímulos auditivos.
- Configuración del espacio: altura de los techos, disposición de las paredes, los muebles y recursos también sirven para cambiar la configuración del espacio.
- Tamaño de la clase: la cantidad de personas que comparten el espacio influye en la interacción que tienen las personas con el EE, el ideal propuesto es un número entre 13 y 17 alumnos en cuanto a la cantidad de alumnos que pueden recibir atención de parte de su profesor, pero dependerá de las dimensiones del EE.

Por otro lado, Juan Manuel Hernández (Hernández, 2010) propone el concepto de Habitabilidad Educativa de la Escuela (HEE) que es un marco de referencia que sirve para definir indicadores de la habitabilidad de los EE y que se puede aplicar a país en desarrollo y con extrema pobreza como lo es considerado México, el marco HEE se compone de ocho dimensiones:

1. *Disponibilidad de instalaciones y equipamiento en la escuela*: asegura que estén disponibles las instalaciones, servicios, mobiliario, materiales y equipo educativos.
2. *Condiciones físicas de instalaciones y equipamiento*: Percepción de las condiciones físicas de diseño, funcionamiento, mantenimiento y antigüedad.
3. *Confort físico en el aula*: confort térmico, ventilación, acústica, iluminación y calidad del mobiliario.
4. *Espacio educativo*: amplitud, versatilidad y apariencia estética

5. *Sustentabilidad de la escuela*: Uso de materiales sustentables para la construcción de la escuela, aprovechamiento eficiente de los recursos naturales, así como manejo adecuado de los desechos generados en los espacios.
6. *Higiene y seguridad física en la escuela*.
7. *Accesibilidad de la escuela*: accesibilidad para estudiantes con discapacidades, para estudiantes en general y para la comunidad donde la escuela se asienta.
8. *Disponibilidad de infraestructura y servicios de apoyo en la zona de asentamiento*: Las condiciones del vecindario donde se asienta la escuela pueden afectarla de manera negativa o positiva.

En suma, los EE pueden ser analizados desde categorías generales que comparten entre sí, aunque, no se pueden desdeñar las particularidades culturales que pueden presentar los EE en una región y su influencia en las personas que usan dichos espacios acostumbrados a esas particularidades.

2.3.2. Ambiente construido y trastornos del neurodesarrollo

Como mencionábamos anteriormente el estudio de los espacios relacionados con los trastornos de atención son escasos, excepto por aquellos que relacionan una mejora en los síntomas de los trastornos de atención con la interacción de espacios verdes (Kuo, 2011) e incluso se ha formulado una Teoría de la Restauración de la Atención (TRA) en donde se plantea que el contacto con el ambiente natural o entornos verdes, promueven la restauración de la atención voluntaria, la cual es la que se ve afectada por los trastornos de atención, ya que propone que este tipo de entornos inducen al uso la atención involuntaria la existir estímulos con mayor saliencia o más llamativos, lo cual supone que permite que los mecanismos responsables de la atención voluntaria descansen al no ser requeridos (Kaplan, 1995).

Por otra parte, existe una investigación desarrollada por Magda Mostafa en donde propone una guía para la creación de espacios arquitectónicos adecuados para personas con trastornos del espectro autista (TEA) (Mostafa, 2008).

Mostafa parte de una encuesta que responden los cuidadores de niños con TEA y que responden a preguntas de cómo reaccionan los niños a elementos de diseño arquitectónico para determinan cuales influyen más y luego realiza una intervención en una escuela con niños que padecen TEA y así probar si estos elementos arquitectónicos

en la práctica influyen en el comportamiento de los niños, realizando un seguimiento de indicadores específicos como capacidad de atención, tiempo de respuesta y temperamento conductual, para determinar el progreso de cada niño antes y después de la intervención.

Los síntomas que presentan los niños con TEA no son todos iguales al tratarse de un espectro, sin embargo, estos síntomas se pueden clasificar dentro de dos dominios: Déficits de comunicación social y conductas sensorimotoras repetitivas e inusuales (Lord, 2018).

Mostafa propone entonces una matriz sensorial, tabla 2.3, donde explica las relaciones que existen entre las características sensoriales del ambiente construido y los problemas sensoriales que se encuentran en personas con TEA.

Tabla 2.3 Matriz sensorial (traducido de Mostafa, 2018)

| | | | Problemas sensoriales | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------|---|-----------------------|---|---|----------|---|---|----------|---|---|------------|---|---|---------------|---|---|
| | | | Auditivos | | | Visuales | | | Táctiles | | | Olfatorios | | | Propiocepción | | |
| Atributo arquitectural | Estructura | A | a | b | c | a | b | c | a | b | c | a | b | c | a | b | c |
| | | B | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | C | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | D | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | E | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Balance | F | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | G | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | H | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | I | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Calidad | J | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | K | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | L | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | M | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | N | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Dinámica | O | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | P | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Q | | | | | | | | | | | | | | | |

En la tabla anterior se muestran las necesidades sensoriales del TEA en el eje horizontal de la matriz, y los atributos arquitectónicos en el eje vertical, cada atributo arquitectónico,

tabla 2.4, se analiza con respecto a su capacidad para responder a las diversas necesidades sensoriales autistas.

Esto ayudaría a generar pautas para la intervención de los espacios y adecuarlos a las necesidades de los individuos.

Tabla 2.4 Ejes de la matriz sensorial

| Problemas sensoriales | | | |
|---------------------------|-------------|-------------|----------------|
| a. Hiper | b. Hipo | c. Idóneo | |
| Atributos arquitectónicos | | | |
| A. Claustro | E. Enfoque | I. Balance | N. Ventilación |
| B. Proporción | F. Simetría | J. Color | O. Secuencia |
| C. Escala | G. Ritmo | L. Acústica | P. Proximidad |
| D. Orientación | H. Armonía | M. Textura | Q. Rutina |

Los atributos arquitectónicos evaluados de cada de uno de los espacios se dividen en categorías (Mostafa, 2014; Altenmüller, 2017; Mostafa, 2018):

ESTRUCTURA

- **Función:** El espacio es adecuado para lo que fue construido.
- **Proporción:** De acuerdo con la escala con base al espacio construido con el mobiliario y el usuario (medidas mínimas y antropometría).
- **Escala:** medias mínimas y máximas utilizadas al momento de construir para el usuario.
- **Orientación:** Con base en las condiciones climáticas y aprovechamiento de estas.
- **Distribución:** Aprovechamiento del espacio para crear áreas con utilización óptima.

COMPOSICIÓN ESPACIAL

- **Ritmo:** secuencia que existe en los espacios que se perciben en la construcción, por ejemplo, colocación de ventanas en un orden.
- **Armonía:** Percepción de que el espacio funciona con lo construido y lo que lo ocupa
- **Balance:** Ante la vista humana se perciben los propósitos de diseño y función.

CARACTERÍSTICAS ESPACIALES

- Color: colorimetría escogida para el espacio que aporta diseño o un propósito, por ejemplo, colores neutros que se perciban como calmantes.
- Luminosidad: proporcionada a través de luz natural o artificial para ambientar el lugar.
- Acústica: característica auditiva proveniente dentro y fuera del lugar
- Textura: Esta característica es proporcionada por el mobiliario, cancelería y muros.
- Ventilación: Disposición de entradas de aire natural o artificial al lugar.

DINÁMICA ESPACIAL

- Accesibilidad: el espacio tiene la disponibilidad de acceder a él de manera segura y eficiente.
- Interacción: como el usuario se relaciona con los espacios para llegar a su punto.
- Rutina: Actividades que se hacen alrededor del espacio que interfieren con el espacio a estudiar.

En el caso de estudio uno de los indicadores que fueron evaluados entre otros es la capacidad atencional, durante el estudio Mostafa sólo intervino dos pautas arquitectónicas, modificación acústica y la secuenciación espacial, en ambas intervenciones se detecta una mejoría en la capacidad atencional de los niños con TEA, lo cual es de interés para el trabajo presente ya que se menciona como un aspecto diferente de estudiar la atención con respecto a los espacios.

2.3.3. Indicadores del déficit de Atención

Un aspecto importante a tomar en cuenta es que existen estudios que validan que hay características compartidas entre los TEA y TDAH incluyéndose en una larga lista: déficit de atención e hiperactividad, problemas de comportamiento y la dificultad con habilidades sociales, problemas de enojo e irritabilidad, déficits de las funciones ejecutivas, baja velocidad de procesamiento, problemas de aprendizaje en la expresión escrita, déficit en el control motor y percepción, retraso en el lenguaje y problemas de sueño (Mayes, 2012).

Esta superposición de características, aunque no son suficientes para sugerir que el TEA se puede confundir con TDAH (Craig, 2015), si son suficientes para que se aproveche el estudio de las características del TEA con respecto a un espacio construido y educativo, que coinciden con las características del TDAH y trasladarlas al estudio y medición de los trastornos de atención explorando nuevas formas de asociar las dimensiones del espacio con trastornos de atención.

2.4. Herramientas tecnológicas para la evaluación de la atención

Desde principios del siglo XX se hacían investigaciones acerca de cómo medir la atención y se proponían varios métodos como el tomar en cuenta los distractores e incluso su hablaba de la sensibilidad retinal como un indicador de la atención (Woodrow, 1914).

Sin embargo, la llegada de la tecnología ha cambiado los métodos con los cuales se trata de obtener una medición precisa, la principal herramienta tecnológica usada para el diagnóstico de trastornos de atención y que generalmente derivan en un diagnóstico de TDAH es el uso de Electroencefalogramas (del inglés electroencephalography, EEG), que es una forma de monitorear la actividad eléctrica del cerebro, en específico, la fluctuación de electricidad de las neuronas (Niedermeyer, 2005), se ha utilizado EEG para el diagnóstico de problemas de atención principalmente para TDAH desde hace 75 años, hasta la actualidad (Lenartowicz, 2014). Sin embargo, se sigue cuestionando si EEG, es útil para el diagnóstico de TDAH (Weder, 2013) por lo tanto ahí entra el margen de error que podría catalogar erróneamente como TDAH, otros problemas de atención. Además, se han propuesto otro tipo de herramientas para apoyar al diagnóstico del TDAH como lo es el Conners Continuous Performance Test (CPT-II) (Conners, 1990; Holmqvist, 2011), que es una prueba automatizada que evalúa la capacidad de atención global del individuo. Sin embargo, se ha descubierto que no es una prueba del todo confiable para el diagnóstico de TDAH, ya que se ha demostrado que diagnostica como TDAH los casos de sujetos con desórdenes de lectura, convirtiéndolos en falsos positivos (McGee, 2000).

2.4.1. Medidas Psicofisiológicas

2.4.1.1. Seguimiento ocular

Así como también, se ha documentado el uso de pruebas de seguimiento ocular (eye tracking en inglés) que es una técnica para hacer seguimiento de la mirada y los eventos relacionados con el movimiento de los ojos (Lis, 2010), el cual ha sido aplicado en conjunto con técnicas de aprendizaje automático para el diagnóstico de TDAH (Tseng, 2013) ya que ha demostrado ser de gran utilidad a la hora de registrar los movimientos del ojo durante el monitoreo de emociones, durante el proceso de lectura, en sistemas de detección de fatiga en conductores, cómo percibe un usuario la publicidad de un sitio web, ya que registra y analiza el movimiento constante de los ojos de alguien que mira una pantalla, detectando de esta manera cuando el usuario deja de mirar una zona en particular (Chandra, 2015), esto lo hace una herramienta útil cuando se quiere registrar el status de la atención visual de un usuario, en el caso de este proyecto, se podría hacer seguimiento de la atención visual de los niños.

La historia de los seguidores oculares se remonta al año 1947 en donde a través de un filme de película fueron recolectados datos de mirada de pilotos aviadores, y desde entonces el uso de video para hacer seguimiento ocular ha continuado, sin embargo, no es la única tecnología disponible para hacer este seguimiento ocular, la oculografía es el uso de sensores o electrodos que detectan las diferencias de potenciales mioeléctricos en la piel al realizar movimientos de los ojos. Figura 2.2, adicionalmente existe otra tecnología que es de las más utilizadas, en donde se hace uso de luz infrarroja o cerca del espectro de la luz infrarroja y que emiten luz que se refleja en los ojos y así el dispositivo registrando el comportamiento de los ojos durante la realización de una tarea, algunos sistemas de seguimiento ocular requieren que la cabeza esté estable (figura 2.3), y con respecto a la adquisición de la velocidad de fotogramas, la mayoría utiliza una frecuencia de muestreo de al menos 30 Hz hasta 50/60 Hz (Mohamed, 2007).

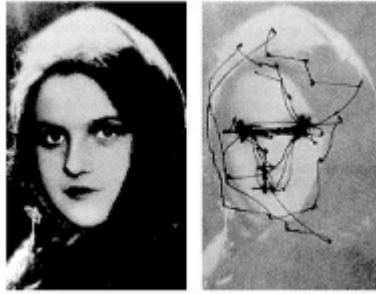


Figura 2.2 Imagen con registros de seguimiento ocular (Tomada de Mohamed, 2007)

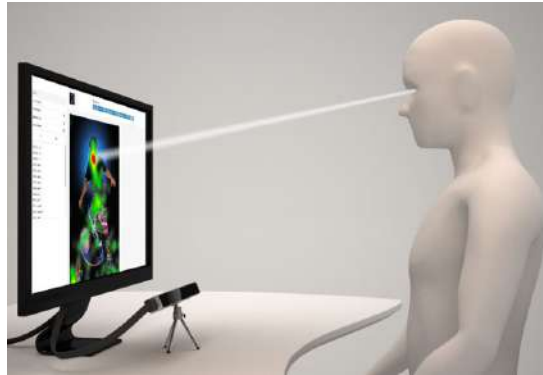


Figura 2.3 Seguidor Eyetrabe de infrarrojo (tomado de Alstrup, 2016)

Estudios indican que las métricas relacionadas a los movimientos oculares pueden estar relacionadas a tres categorías de actividad mental: a la atención visual, excitación emocional y carga de trabajo cognitiva (Skaramagkas, 2021).

Los seguidores oculares ayudan a evaluar la atención visual de un participante al registrar los movimientos oculares que muestran dónde está mirando un participante, la duración y la secuencia en la que su atención cambia de un lugar a otro. Algunas de las métricas principales

Fijación: La estabilización del ojo en parte de un estímulo durante un período de tiempo (200-300 ms). El vínculo entre fijaciones y procesos cognitivos se basa en el supuesto de inmediatez, que establece que, tan pronto como un participante ve un objeto, intenta interpretarla, y el Supuesto ojo-mente, que establece que un participante fija su atención en el objeto hasta que la comprende (Underwood, 1992).

Sacádicos: Los movimientos oculares rápidos (y continuos) de una fijación a otra. Los movimientos sacádicos del ojo son extremadamente rápidos (dentro de los 40-50 ms). Los movimientos sacádicos suelen ser voluntarios.

Por otro lado, las microsacádicas son pequeños movimientos oculares espasmódicos que son involuntarios y ocurren durante una fijación prolongada para refrescar la memoria visual del participante.

Dilatación de la pupila: ensanchamiento de la pupila, que permite que entre más luz al ojo en condiciones de poca luz. También ocurre cuando el estado de ánimo o la actitud de un participante cambia o durante tareas cognitivas complejas

Scanpath: una serie de fijaciones en orden cronológico que representa el patrón de movimientos oculares de un participante

Áreas de interés (AOI): Se estudian los datos de la mirada con respecto a ciertas áreas de los estímulos (por ejemplo, diagramas o imágenes). Una AOI puede ser relevante para la respuesta correcta necesaria del participante que realiza una tarea o puede ser irrelevante.

Transiciones: Son los movimientos oculares que se realizan entre dos AOI (Borys, 2017)

Para medir atención, principalmente se hace uso de las fijaciones, y aunque otras métricas también pueden ser útiles, se ha demostrado que las fijaciones son más largas en estímulos dinámicos como lo son videos con muchas transiciones de imágenes y cuando se les pedía a los sujetos hacer una búsqueda visual (Skaramagkas, 2021)

2.5. Inteligencia Artificial y la salud mental

La Inteligencia Artificial (IA) es un concepto que puede tener varias acepciones en sus detalles, pero en su aspecto general se puede definir como el conjunto de técnicas que implementan comportamientos considerados inteligentes, ya sea por la imitación de la inteligencia humana o la imitación de comportamientos inteligentes de organismos que se mueven en colonias o enjambres como las abejas o las hormigas (Kennedy, 2006).

Y aunque la IA puede ser un concepto que no se comprende en su funcionamiento y que es visto como una caja negra que puede causar resultados catastróficos, y que presenta cierta opacidad relacionada con la ignorancia sobre el tema, opacidad causada a propósito e incluso provocada por un desajuste cognitivo relacionado con la forma de razonar de las personas y las operaciones matemáticas complejas realizadas por los algoritmos de la IA (Carabantes, 2020). No obstante, una manera de dilucidar la IA es través de sus aplicaciones y los problemas que se resuelven a través de sus algoritmos. La IA consta de diferentes ramas, figura 2.4, ofrecen una solución específica para aplicaciones diferentes, utilizando sólo una rama de la IA o en combinación ya que no se excluyen mutuamente.

Entre las aplicaciones de la IA se encuentran dentro de la rama de la IA, Aprendizaje automático, el uso de la visión por computadora la detección de metástasis en secciones histológicas de imágenes radiológicas, así como la clasificación de estas imágenes en categorías de diagnóstico establecidas (Nichols, 2019). Sin embargo, las aplicaciones no se limitan a el campo de la medicina, sino que también existen aplicaciones en la gestión de cadenas de suministro usando técnicas de lógica difusa, sistemas expertos y optimización (Pournader, 2021).

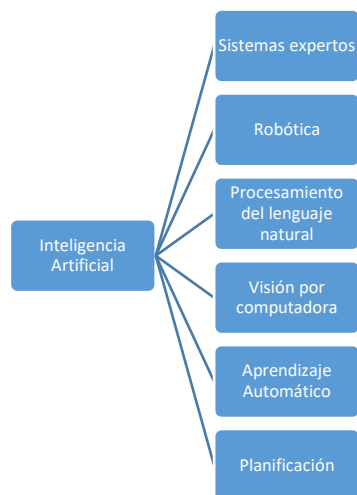


Figura 2.4 Ramas de la Inteligencia artificial adaptado de (Leyva-Vazquez, 2018)

También existen aplicaciones de la IA en la industria, por ejemplo, se puede hacer uso de la IA en las áreas de nuevos medios de manufactura como los robots, modelos de

manufactura e interacción con los clientes usando servicios inteligentes en la nube, servicios de finanzas inteligentes, servicios de bases de conocimientos en donde se almacena información sobre productos o servicios, todo esto haciendo uso de las ramas de la AI como aprendizaje automático y la robótica (Li, 2017).

En cuanto al cuidado de la salud mental y del comportamiento, ya se ha realizado el desarrollo de aplicaciones para facilitar el acceso a cuidados de salud mental, así como auxiliar en el autocuidado para aquellas personas que no tienen servicios de salud mental y de comportamiento, así mismo, se considera que algunos pacientes podrían aceptar más fácilmente hablar de sus problemas personales con un agente de AI que con una persona, agregando además que un agente de AI no cuenta con un sesgo como lo podría tener un terapeuta humano, estos agentes de AI pueden ser desde un robot dotado de inteligencia artificial hasta sistemas expertos en forma de software que son capaces incluso de diagnosticar (Luxton, 2016).

Por otro lado, los trastornos de atención se han estudiado utilizando medidas psicofisiológicas como el seguimiento ocular, el EEG, entre otros, y analizando los datos recabados con distintas técnicas de IA, en la tabla 2.5 podemos observar tres trabajos realizados utilizando técnicas de aprendizaje automático como el algoritmo de K vecinos cercanos (K nearest neighbors, KNN) en sus diferentes implementaciones como el KNN con pesos específicos (Weighted KNN), Máquinas de soporte vectores (Support vector machines, SVM), Aprendizaje profundo (Deep Learning), en algunos de estos trabajos se comparó el desempeño de los algoritmos de IA con métodos estadísticos reportándose en algunos una mayor precisión de la técnica de IA, Aprendizaje profundo con 95.54 % comparado con el 76.38 del Análisis Discriminante Lineal.

Tabla 2.5 Aplicaciones de IA para medir atención

| Título | Autores | Año | Enfoque de atención | Tipo de Análisis | Tecnología de recolección | Resultados |
|---|--------------------|------|---|--|---|---|
| Estimating visual attention from a head mounted IMU. | Leelasawassuk, T.. | 2015 | Atención visual temporal y espacial. | Kernel regression | ASL Mobile Eye gaze tracker, Google Glas and IMU's | alta precisión temporal (>0,8 TPR) y una buena precisión espacial (<10 grados), así como una estabilidad de atención espacial (>5 % sobre los métodos alternativos) |
| Statistical Regularities Attract Attention when Task-Relevant | Alamia, A. | 2016 | Distribución de atención visual | Generalized linear mixed models (GLMM)for the validity of Mahalanobis distance for eye movement, SAS 9.3 | Eyelink 1000 500hz | La atención estaba sesgada por las regularidades sólo cuando el objetivo era predicho. |
| The attentional 'zoom-lens' in 8-month-old infants | Ronconi, L. | 2016 | Orientación y zoom de la atención espacial para seleccionar información visual. | ANOVA | Eye-tracking camera (Model 504, Applied Science Laboratories, Bedford, MA | Los mecanismos de atención de acercamiento y alejamiento ya están desarrollados en un infante de 8 meses. |
| Estimation of Students' Attention in the Classroom from Kinect Features | Zaletelj, J. | 2017 | Comportamiento visualmente observable de estado atento, tres niveles de atención. | Simple Tree Medium Tree Coarse KNN Medium KNN Weighted KNN Bagged Trees Subspace KNN | Seguidor ocular: Kinect One sensor | Precisión: Bagged Trees: 85.0 y 86.9%. 61% para el método Subspace K-Nearest Neighbor y 69% para el método Simple Tree. |
| Experience of use of eye tracking technology with children who have attention problems | Navarro, O. | 2018 | Capacidad de atención | ANOVA test | Tobii Device (model X60) | Los estudiantes con TDAH tienen muchas más fijaciones que el resto de grupos. Los valores obtenidos son $F=11.303$ y $p=0.04$ |
| Classification of attention levels using a Random Forest algorithm optimized with Particle Swarm Optimization | Bedolla-Ibarra, G. | 2022 | Comportamiento visualmente observable de estado atento, tres niveles de atención. | Random Forest algorithm optimizado con PSO (Particle Swarm Optimization) | Seguidor ocular: Eye Tribe | Accuracy 96% |

2.5.1. Algoritmos de clasificación

El aprendizaje automático (AA) o Machine Learning es la rama de la IA que incluye a todos aquellos algoritmos que aprenden o evolucionan sin una programación explícita de los pasos que se deben de tomar, su propósito es aprender de un conjunto de datos, como no hay un solo algoritmo para analizar los diferentes tipos de conjuntos de datos (Mahesh, 2020), el AA está compuesto por diferentes algoritmos, figura 2.5, que se ajustan a las necesidades de los problemas que se quieran resolver.

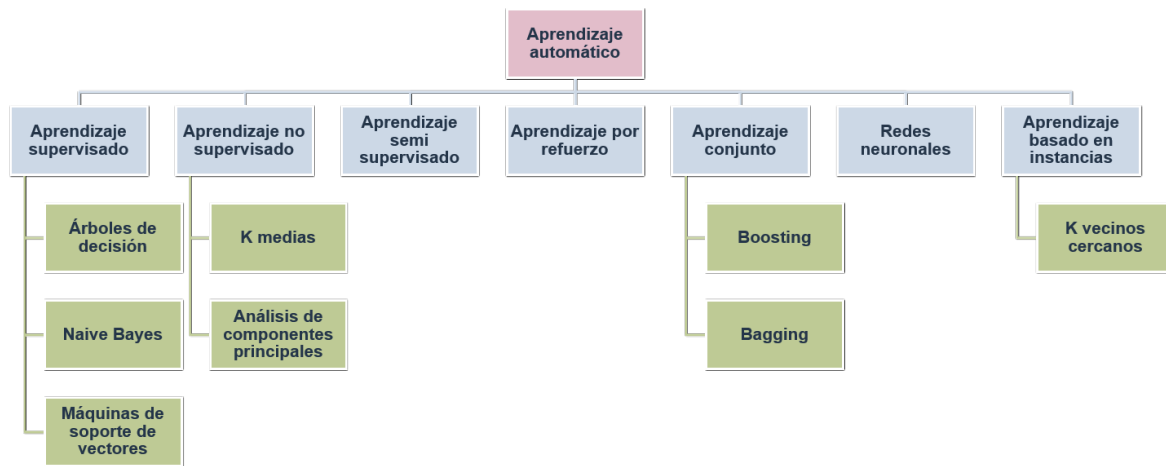


Figura 2.5 Algoritmos de Aprendizaje Automático (Adaptado y traducido de (Mahesh, 2020))

Los datos que usan los algoritmos de AA se componen de instancias o casos y cada uno de estos se representa usando un conjunto de características, estas características pueden ser datos continuos, discretos o binarios, si los casos vienen acompañados de una etiqueta que es conocida y que se interpreta como una salida correcta, a esto se le llama aprendizaje supervisado, si por el contrario no existen etiquetas, se le llama aprendizaje no supervisado, y aunque no se sabe qué tipo de elementos son, las instancias o casos se agrupan de forma que se descubren clases que de otra forma un humano no logra siempre identificar, figura 2.6. Es así entonces cómo funcionan los algoritmos de clasificación o agrupamiento, estos también pueden ser considerados algoritmos de predicción (Kotsiantis, 2007).

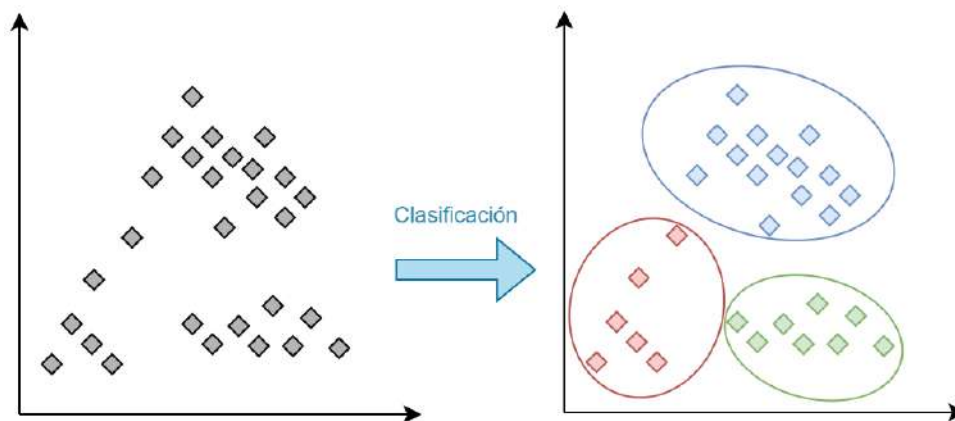


Figura 2.6 Ejemplo de algoritmo de clasificación adaptado de (Kotsiantis, 2007)

2.5.1.1. Bosques Aleatorios

Los bosques aleatorios («Random forest») son un algoritmo de AA, y de ensamble o en conjunto, que se aplica para problemas de regresión y de clasificación que se usa con sats continuos o categóricos. Su base son los árboles de decisión en donde se mezclan múltiples árboles de decisión para obtener resultados estables y precisos. Es importante aclarar que un bosque aleatorio (BA) es diferente a solo una colección de árboles de decisión, para los árboles de decisión, formula un conjunto de reglas que serán usadas para generar las predicciones, y en el bosque aleatorio como lo dice su nombre selecciona de manera aleatoria las observaciones o casos, así como las características para crear un árbol de decisión promediando después el resultado (Aceves-Fernández, 2021). Para lograr su objetivo los BA hacen uso de hiperparámetros o variables de configuración, tabla 2.6 :

Tabla 2.6 Hiperparámetros de bosque aleatorio

| Hiperparámetro | Efecto |
|----------------------------------|--|
| Número de estimadores | Número de árboles de decisión a construir |
| Número máximo de características | Cuántas características toma en cuenta el bosque aleatorio |
| Número mínimo de hojas | Mínimo de hojas internas requerido para separar un nodo internamente |
| Número de trabajos | Cuántos procesadores puede usar al mismo tiempo |
| Estado aleatorio | Medida de aleatoriedad del bosque |

El algoritmo de RF, fue propuesto por Leo Breiman, y el menciona entre sus ventajas su capacidad para resistir a datos con ruido o con valores atípicos, es más eficaz que los algoritmos de bagging o boosting, y proporciona estimaciones internas como el error, fuerza, la correlación y la importancia de las variables (Breiman, 2001).

El algoritmo de BA es un conjunto basado en árboles con cada árbol dependiendo de una colección de variables aleatorias. Formalmente, es un vector aleatorio con p-dimensiones $X=(X_1...X_p)^T$ y que representa las variables predictoras o de entrada de valor real y una variable aleatoria Y que representa la respuesta de valor real, se asume

una distribución en conjunto que es desconocida $P_{XY}(X,Y)$, entonces el objetivo es encontrar una función de predicción $f(X)$ para predecir Y . La función de predicción está determinada por una función de pérdida $L(Y, f(X))$ y definida para minimizar el valor esperado de la pérdida. (Cutler, 2012).

$$E_{XY}(L(Y, f(X))) \quad (1)$$

donde los subíndices indican expectativa con respecto a la distribución conjunta de X e Y .

Intuitivamente, $L(Y, f(X))$ es una medida de qué tan cerca está $f(X)$ de Y ; penaliza los valores de $f(X)$ que están muy lejos de Y . Las opciones típicas de L son pérdida por error al cuadrado $L(Y, f(X)) = (Y - f(X))^2$ para regresión y pérdida cero-uno. para clasificación:

$$L(Y, f(X)) = I(Y \neq f(X)) = \begin{cases} 0 & \text{si } Y = f(X) \\ 1 & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (2)$$

Los conjuntos construyen a la función f en términos de una colección de lo que se denominan *aprendices base* $h_1(x), \dots, h_J(x)$ y estos aprendices base se combinan para dar el *predictor de conjunto* $f(x)$. En la regresión (3), se promedian los aprendices base, mientras que, en la clasificación, $f(x)$ es la clase predicha con más frecuencia (“votación”) (4)

$$f(x) = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J h_j(x) \quad (3)$$

$$f(x) = \operatorname{argmax}_{y \in Y} \sum_{j=1}^J I(y = h_j(x)) \quad (4)$$

El aprendiz base j es un árbol denotado $h_j(X, \Theta_j)$, donde Θ_j es una colección de variables aleatorias y las Θ_j son independientes para $j = 1, \dots, J$.

Optimización del modelo

Un modelo generado con Bosques aleatorios o random forest, puede ser optimizado a través de sus hiperparámetros, que pueden ajustarse o afinarse, esta optimización es dependiente de los datos con los cuales se alimenta para conseguir una clasificación válida (Probst-Wright, 2019).

Para afinar estos parámetros existen diferentes métodos desde los más sencillos de implementar que son la implementación de diferentes modelos con diferentes configuraciones de los hiperparámetros hasta conseguir los mejores resultados, sin

embargo, este proceso puede ser tedioso hacerlo a mano para conseguir la mejor configuración.

Así mismo, la afinación de hiperparámetros se debe de hacer con cuidado ya que se debe evitar el sobre entrenamiento (overfitting), que es el fenómeno que sucede cuando el modelo se ajusta específicamente para los datos de entrenamiento pero que no funcionan para datos independientes.

Una de las formas de encontrar los mejores parámetros se usa la Búsqueda Aleatoria (Random Search) en donde los Hiperparámetros se extraen de forma aleatoria de un espacio de hiperparámetros, utilizando alguna distribución de probabilidad, por ejemplo, la distribución uniforme (Probst, 2019), esta estrategia de optimización ha demostrado ser eficiente para usar con los algoritmos de clasificación (Bergstra, 2012).

Entonces el problema general global de optimización (P) (Zabinsky, 2009) del que hablamos al decir que se optimizará el modelo se define como:

$$(P) \min_{x \in S} f(x)$$

Donde x es un vector de n variables de decisión, S es una región factible de n dimensiones y se supone que no está vacía, y f es una función de valor real definida sobre S y el objetivo es encontrar un valor para x contenido en S que minimice f .

2.5.2. Métodos de validación

Las técnicas o métodos de AA como lo son los métodos de clasificación deben asegurar que los resultados de su clasificación sean confiables, sin embargo, a veces es difícil seleccionar la métrica que será usada para asegurar esta confiabilidad y todo va a depender del propósito de nuestro algoritmo. Los clasificadores son entrenados de forma que reducen el error de clasificación, para seleccionar una métrica adecuada para evaluar el desempeño del clasificador se debe de tomar en cuenta entre otros la interpretabilidad, el costo computacional, la diferenciabilidad y popularidad de esta métrica en un campo específico (Yacoubi, 2020).

Las métricas más comunes son precisión, exactitud, recuperación, puntuación $f1$ y que son utilizadas generalmente en el idioma inglés (precision, accuracy, recall, $f1$ score). Estas métricas se pueden explicar a través de la tabla 2.7, donde se muestra su

configuración para clasificación binaria, donde vp son verdaderos positivos, fp – falso positivo, fn – falso negativo y vn: recuentos de verdaderos negativos. (Sokolova, 2006)

Tabla 2.7 Tipificación de resultados de la clasificación

| | | Reconocido como | |
|-------|----------|-----------------|----------|
| | | Positivo | Negativo |
| Clase | Positivo | vp | fn |
| | Negativo | fp | vn |

La forma en que se calculan estas métricas usando la tipificación de resultados de la clasificación se presentan en las fórmulas (5) a (8):

$$accuracy = \frac{vp + vn}{vp + fp + fn + vn} \quad (5)$$

$$precision = \frac{vp}{vp + fp} \quad (6)$$

$$recall = \frac{vp}{vp + fn} \quad (7)$$

$$f1score = \frac{2 \times precision \times recall}{precision + recall} \quad (8)$$

Estas medidas además tienen su símil en las pruebas diagnósticas en áreas de la salud, Tabla 2.8, lo cual incluye los diagnósticos de la salud mental, en donde una de las condiciones para que una prueba sea considerada como útil y aceptable para un diagnóstico debe cumplir con la validez entre otras características (Pita, 2003), la validez entonces se prueba calculando la sensibilidad, la especificidad, exactitud, valor predictivo negativo y valor predictivo positivo (Vizcaíno, 2021). La importancia de resaltar estas métricas paralelas entre disciplinas apoya en la aceptación del uso de estos algoritmos para aplicaciones médicas.

Tabla 2.8 Métricas validez de la clasificación y su equivalente en pruebas diagnósticas

| Métricas validez de los Algoritmos de Clasificación | Métricas validez de las Pruebas diagnósticas |
|---|--|
| Precision | Valor predictivo positivo |

Recall

Sensibilidad

Accuracy

Exactitud

3. Hipótesis y objetivos

3.1. Hipótesis

Se puede crear una herramienta basada en técnicas de inteligencia artificial para medir los niveles de atención en niños, a través de observaciones de las características del niño y del ambiente en donde se desenvuelve.

3.2. Objetivo general

Diseñar un sistema de evaluación basado en Inteligencia artificial de implementación factible en vistas de que contribuya a comprender el nivel de atención en niños.

3.3. Objetivos específicos

- Hacer inteligible la noción de inteligencia artificial en relación a estudios de la salud.
- Comprender las dinámicas de atención en niños y niñas según sus variables internas y externas.
- Comprender la relación de variables internas y externas en la población del caso de estudio.
- Proponer un sistema de relación de variables basado en inteligencia artificial.
- Validar el sistema al hacer su implementación.

4. Metodología

El objetivo del proyecto es crear una herramienta que asista en la medición de la atención con el objetivo de que los especialistas que diagnostican y tratan trastornos de atención cuenten con una herramienta no invasiva, fiable y sin sesgo humano que apoye en la toma de decisiones al momento de emitir un diagnóstico.

4.1. Herramienta de recolección de datos

Para lograr los objetivos, la metodología está formada por fases de desarrollo de la herramienta que fue nombrada “Neuro Innova Kids”, como se muestra en la figura 4.1, donde dichas fases envuelven las diferentes partes o módulos de la herramienta final y a la vez muestran la secuencia de pasos para llegar al objetivo primordial.

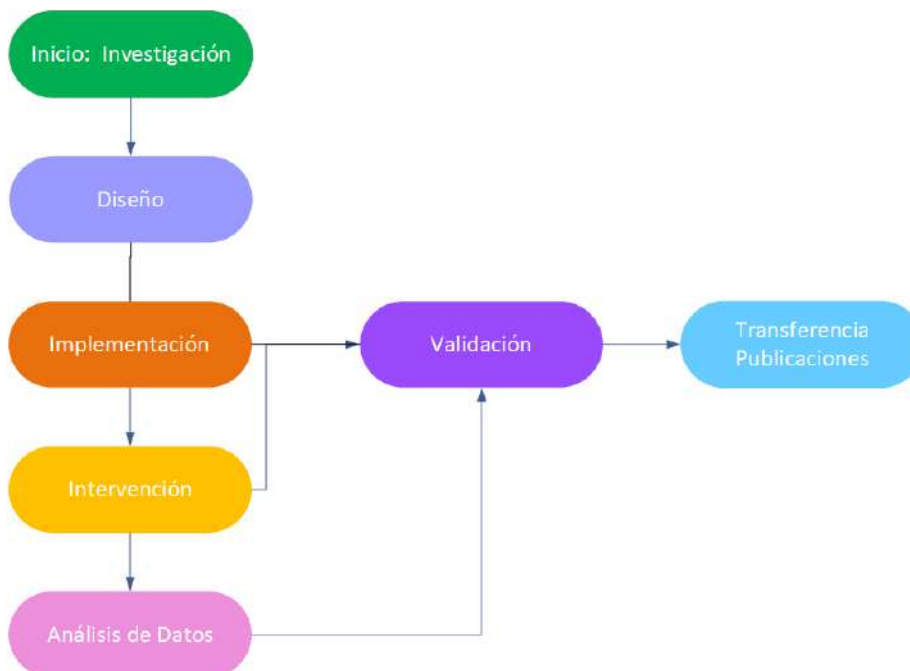


Figura 4.1 Fases de desarrollo de la herramienta Neuro Innova Kids

4.1.1. Arquitectura de la herramienta

El sistema se compone de 3 capas (figura 4.2): la capa de hardware consta de un seguidor ocular, una computadora donde se instaló el software de recolección de datos que es la capa de aplicación y la capa de datos que está conformada por la base de datos y los datos generados por el seguidor ocular.

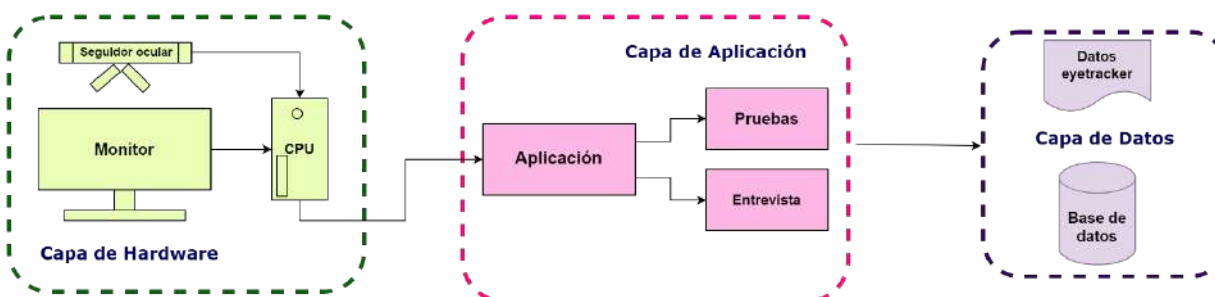


Figura 4.2 Capas de la arquitectura de la herramienta

En la Figura 4.3, se muestra el diagrama de cómo se arma el sistema que conforma la herramienta propuesta.



Figura 4.3 . Diagrama para crear el Sistema (imagen editada para proteger la identidad del niño)

4.1.1.1. Capa de Hardware

El hardware o soporte físico del sistema consta del seguidor ocular que es el que registra el comportamiento visual del paciente mientras realiza las tareas de carga cognitiva, y también la computadora donde reside el software que conforma la herramienta.

Computadora:

Requerimientos mínimos - Procesador Intel Core i5 o más rápido, 8 GB RAM, Windows 7, 8.1 o 10, Monitor con tamaño mínimo de 15 pulgadas.

Seguidor ocular:

Modelo - EyeTribe

Características - 0,5 - 1 grado de precisión del ángulo visual, velocidad de muestreo de 60 Hz, calibración de 5 o 9 puntos, movimiento de 25 cm (horizontal) x 11 cm (vertical) rango de movimiento de profundidad de +15 cm, Figura 4.4, dimensiones: 235 x 45 x 40mm (115 g), colocar a la persona de 45 - 75 cm de distancia del monitor (Alstrup, 2016).

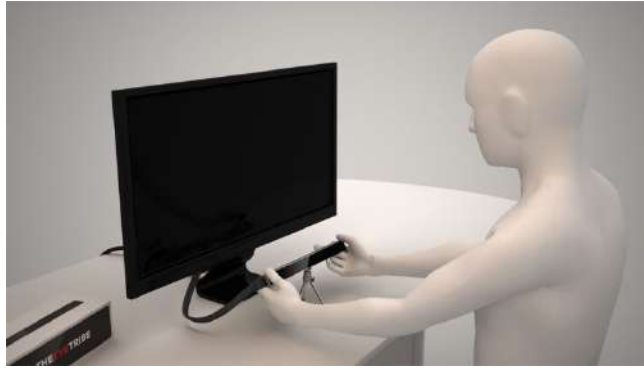


Figura 4.4 . Uso del seguidor ocular Eyetribe (tomada de Alstrup, 2016)

Los datos que se pueden obtener con este seguidor ocular (Alstrup, 2016) son:

- Coordenadas en bruto en píxeles para cada uno de los dos ojos
- Coordenadas normalizadas para cada uno de los dos ojos
- Tamaño de la pupila para cada uno de los ojos

El seguidor ocular debe de calibrarse de manera personal antes de ser usado en cada prueba ya que las personas poseen diferentes características oculares, así como también influye la posición en que las personas se sienten cómodas ya que completar un conjunto de pruebas puede durar alrededor de 5 minutos.

En la figura 4.5, observamos una pantalla de calibración que contiene la API del seguidor ocular, Eye Tribe, la calibración de 9 puntos, en donde muéstralos puntos donde la mirada está fija, en rojo,y un informe de la calidad de la calibración de acuerdo a los datos de la tabla 4.1.



Figura 4.5 Pantallas de calibración del eyetracker

Tabla 4.1 Resultados de calibración

| Clasificación | Mensaje | Descripción |
|---|--------------|---|
|  | Perfecto | Este es un resultado de calibración óptimo. No es necesaria ninguna recalibración. ($< 0,5^\circ$). |
|  | Bien | Este resultado de calibración es muy adecuado para el seguimiento ocular ($< 0,7^\circ$). |
|  | Moderado | Este resultado de calibración es aceptable, pero debe intentar mejorar su resultado con una recalibración ($< 1^\circ$). |
|  | Pobre | Este no es un resultado de calibración óptimo. Debería intentar mejorar su resultado recalibrando ($< 1,5^\circ$). |
|  | Recalibrar | El resultado de su calibración actual no es bueno para el seguimiento ocular. Vuelva a calibrar después de verificar que tiene un buen seguimiento. |
|  | Sin calibrar | No estás calibrado. Si ve esto después de una calibración, deberá reiniciar la interfaz de usuario de EyeTribe. |

4.1.1.2. Aplicación y Datos

La capa de aplicación que fue descrita anteriormente en todos sus módulos, en conjunto con el seguidor ocular va generando datos que después serán procesados para generar la información sobre los niveles de atención del paciente en la figura 4.6 se observa el flujo de datos que ocurren entre usuarios y módulos, y entre módulos.

Los datos que se generan pueden ser clasificados de dos tipos, Figura 4.7:

Datos de los puntos de mirada que se almacenan en un archivo de texto separado por comas, formato tsv en una carpeta señalada por la aplicación.

Datos de las entrevistas, registros de las pruebas, que contienen: fecha de realización, quien aplicó la prueba, las pruebas que realizó, dónde está guardado su archivo de puntos de mirada (tsv), todos estos datos se almacenan en una base de datos, Figura 14, construida en el manejador de bases de datos de código abierto, MySQL.

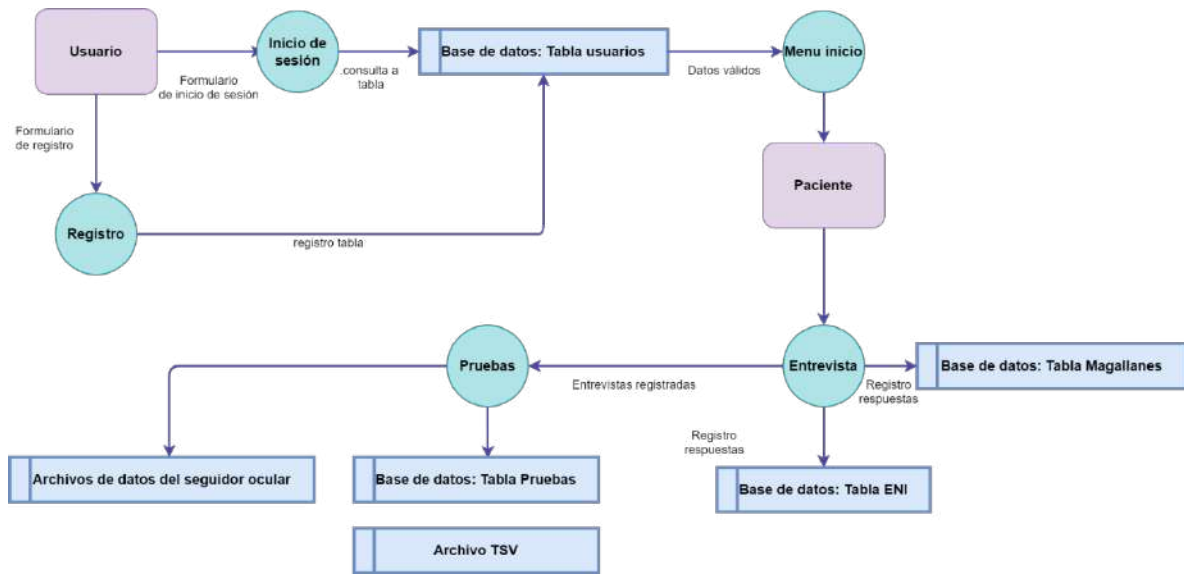


Figura 4.6 Diagrama de flujo de datos del sistema

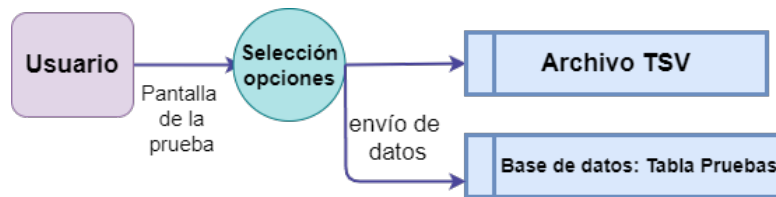


Figura 4.7. Diagrama de flujo de datos de las pruebas

La base de datos consta de 50 tablas que almacenan los datos de la aplicación, en la Figuras 4.8 y 4.9 se muestra una vista parcial de la base de datos, y existen tablas secundarias que se derivan de las tablas principales:

- Usuario
- Entrevista
- Pruebas
- Paciente
- Magallanes
- ENI

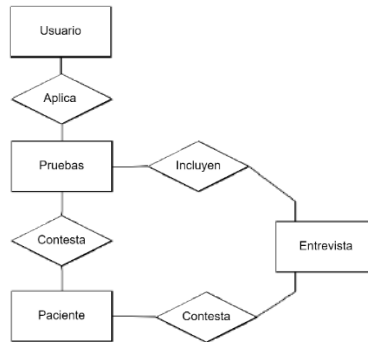


Figura 4.8 . Diagrama Entidad-Relación simplificado de la base de datos

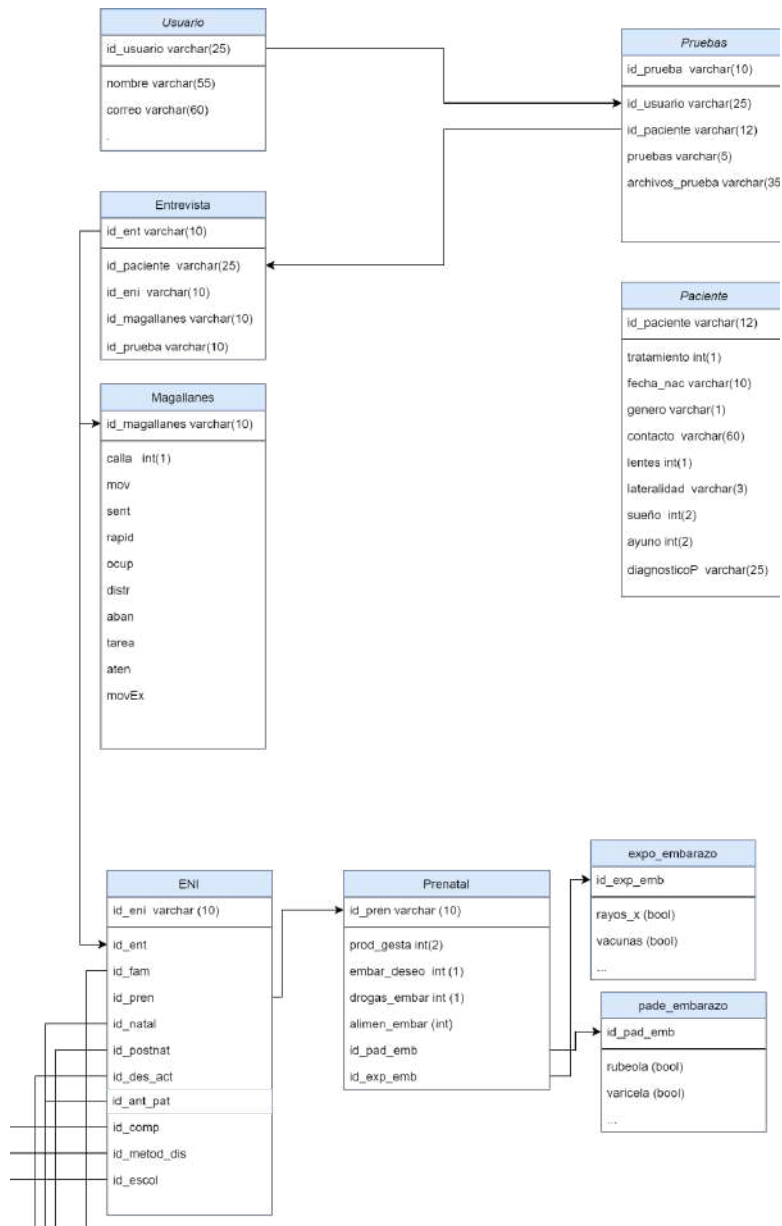


Figura 4.9 Vista parcial de las tablas de la BD

A continuación, se explicarán a detalle los módulos del sistema, sus funciones y estructura interna.

4.1.2. Software de recolección de datos

El software Neuro Innova Kids (NIK) que se propone en el presente trabajo tiene como objetivo recolectar de manera ordenada, información del comportamiento visual de pacientes niños durante actividades de carga cognitiva, así como recolectar información del historial clínico mental del paciente mediante una implementación de la evaluación Neuropsicológica Infantil II (ENI-2), (Matute, 2014). El software se diseñó pensando en la comodidad del usuario y tomando en cuenta que tanto los especialistas como los pacientes, en especial los niños harían uso del software, además era necesario que las pantallas enviaran un mensaje de calma, pero también de precisión para que los especialistas sientan la confianza de usar la herramienta con la certeza de que tendrán resultados precisos, figura 4.10. Los colores usados en las pantallas y logotipo que representa a NIK fueron seleccionados con el objetivo de que se asocien con la juventud, la niñez, la vida y la calma (Heller,2004), en las figuras 4.11 a 4.12 podemos ver el uso que se dio a ambos colores y cómo interactúan entre ellos.

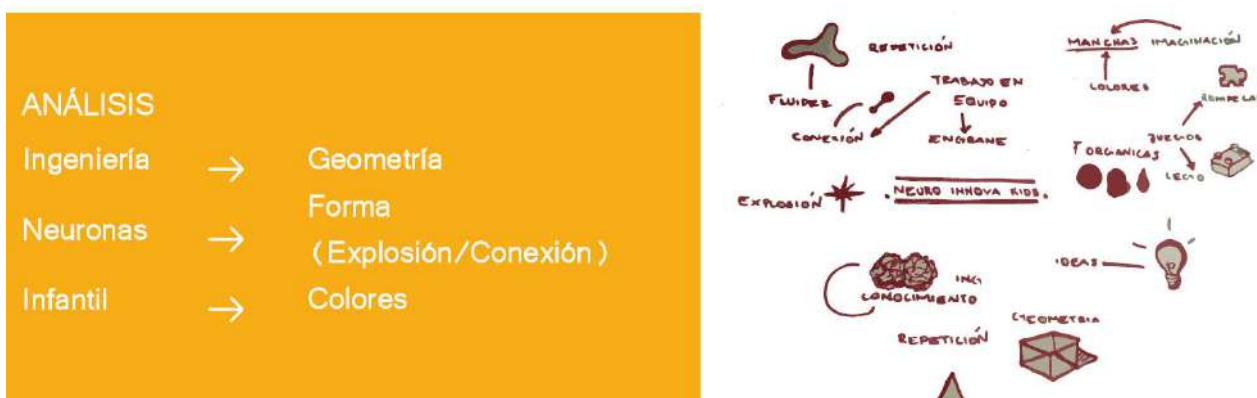


Figura 4.10 Análisis de colores y concepto del NIK



Figura 4.11 Pantalla principal de NIK

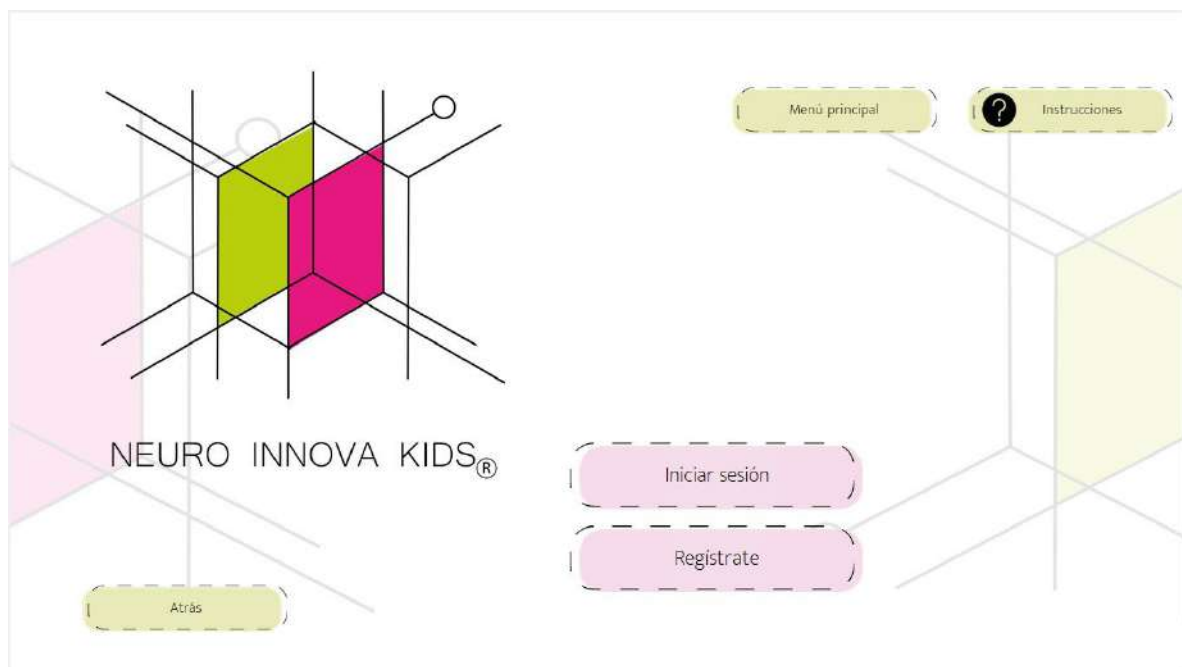


Figura 4.12. Pantalla de inicio de sesión en NIK

Python es el lenguaje seleccionado para el desarrollo del software ya que ofrece una amplia variedad de bibliotecas para el trabajo con datos y seguidores oculares como la biblioteca PyGaze, la cual fue incluida en este proyecto (Dalmaijer, 2014).

4.1.2.1. Módulos del software

Como es una herramienta que sirve de apoyo para los especialistas a la hora de diagnosticar algún padecimiento y darle seguimiento, la herramienta cuenta con varios módulos, el módulo de registro de usuario, el módulo de la ENI-2 y el módulo de pruebas, así como el módulo de información básica, y cuyo diagrama de flujo de datos entre dichos módulos se puede observar a detalle en la Figura 4.13.



Figura 4.13 . Diagrama de actividades de la herramienta

4.1.2.1.1. Módulo de registro de usuario

Para obtener un seguimiento adecuado del paciente y así obtener un historial de uso por cada uno, es necesario tener una cuenta personalizada como responsable de la

aplicación de la evaluación. Para acceder a la cuenta de usuario hay dos opciones, crear una cuenta o ingresar a una cuenta ya existente, Figuras 4.14 a 4.15.

Todos los resultados de las pruebas guardan el registro de quién fue el responsable que aplicó las pruebas en cada ocasión.

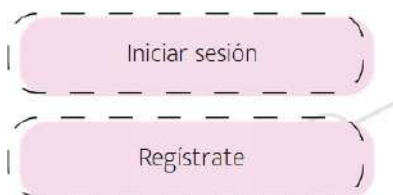


Figura 4.14 Módulo de registro



Figura 4.15 Detalle del registro de usuario

4.1.2.1.2. Módulo de pruebas

Las pruebas que realizan los pacientes para medir su atención, fueron seleccionadas con el objetivo de que representen tareas con cierta carga cognitiva, para las cuales es necesario que la persona que las realiza concentre su atención en esa tarea. De esta forma se puede medir la atención cuando es requerida en una zona delimitada.

Así como también, se estableció cuál será la versión implementada, ya que algunas de estas pruebas tienen diferentes formas de implementarse.

Sin embargo, es importante aclarar que las versiones implementadas en la herramienta siguen los lineamientos establecidos por los autores de cada una de las pruebas, para que así los resultados puedan ser analizados y validados de la forma correcta.

Para realizar esta validación se implementa una calibración del seguidor ocular con respecto a la pantalla, para poder calcular el margen de error con los puntos de mirada y las imágenes desplegadas.

Prueba de las Figuras Superpuestas

En esta prueba se le mostrará una serie de dibujos superpuestos, Figura 4.16 recuadro naranja y otro grupo de dibujos que se mostrarán separados o de forma individual que serán las posibles respuestas, Figura 4.16 recuadro verde.

El paciente tendrá que seleccionar cuales dibujos que están en el segundo grupo (respuestas) aparecen en el grupo de figuras superpuestas, Figura 4.16 recuadro verde, una vez que el paciente selecciona una figura del grupo de respuestas ésta cambia de color para indicar que fue seleccionada

Está basada en el Test de las Figuras Superpuestas de Poppelreuter-Ghent, la cual fue creada como una medida de reconocimiento visual y que integra dentro de la misma prueba, figuras objetivo y distractores (Sala, 1995), lo cual lo hace útil para nuestro trabajo de investigación ya que se hace la medición de la atención a través del seguidor ocular que recoge varias métricas basadas en la vista.

En este test es importante el tiempo de respuesta así que la prueba puede durar 30, 40 o 50 segundos, se eligió que dure 40 segundos por ser el tiempo promedio del definido por los autores de la prueba.

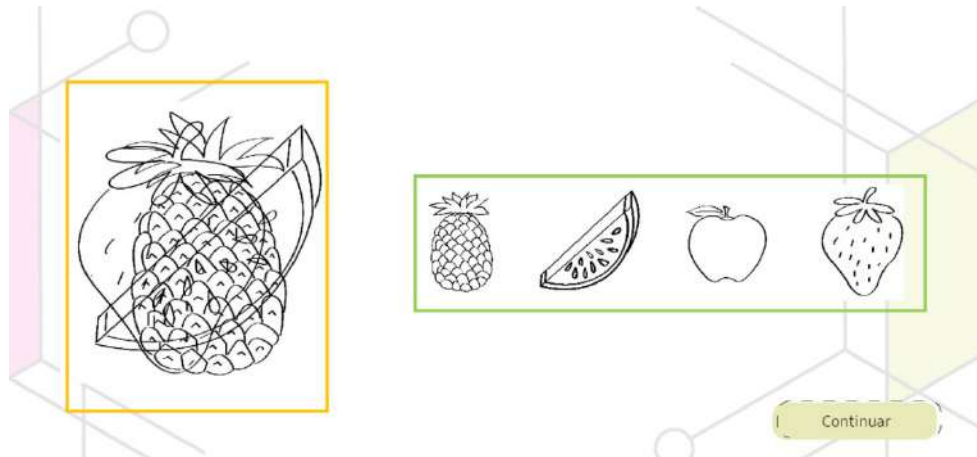


Figura 4.16 Prueba de las figuras superpuestas

Prueba de las fichas de dominó

Se le dará al paciente una secuencia numérica con ayuda de fichas de dominó, y se le proporcionará una serie de posibles respuestas para seguir con la secuencia numérica por lo tanto sólo podrá seleccionar una ficha de respuesta, Figura 4.17.

Esta prueba está basada en la prueba Dominó de D-48 de Anstey, consta de 44 problemas agrupados por dificultad (Anstey, 1999) este test fue diseñado para medir el factor g de inteligencia, es decir de inteligencia en general y que se considera que solo teniendo una buena capacidad intelectual se puede resolver (Thorne, 1985), es por eso que es relevante para nuestra aplicación, por la carga elevada de atención que se debe de aplicar para realizarlo.

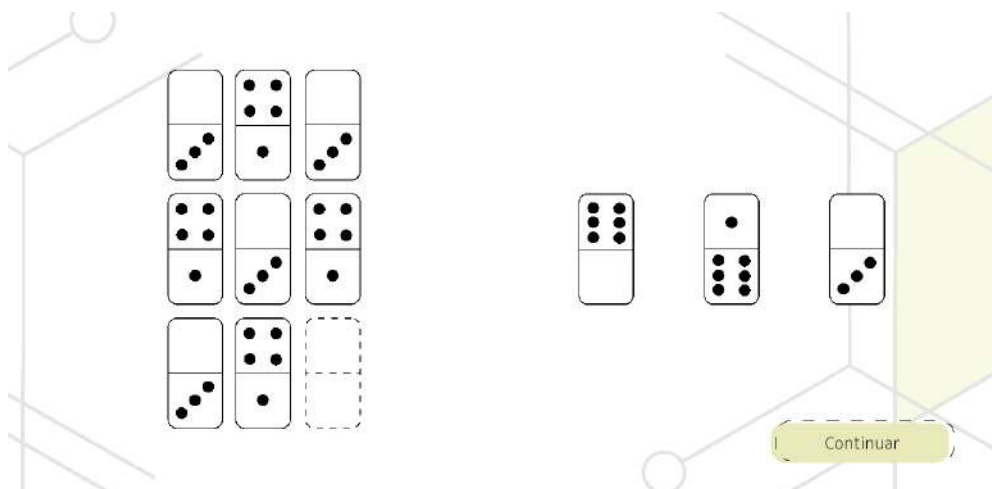


Figura 4.17 Prueba de series numéricas de dominó

Prueba de los cubos desplegados

Se mostrará la imagen de un cubo desplegado con figuras y colores en cada uno de sus lados, después se le dará opciones de otros cubos plegados y se tendrá que elegir cuál es el cubo que coincide con la imagen del cubo desplegado, Figura 4.18.

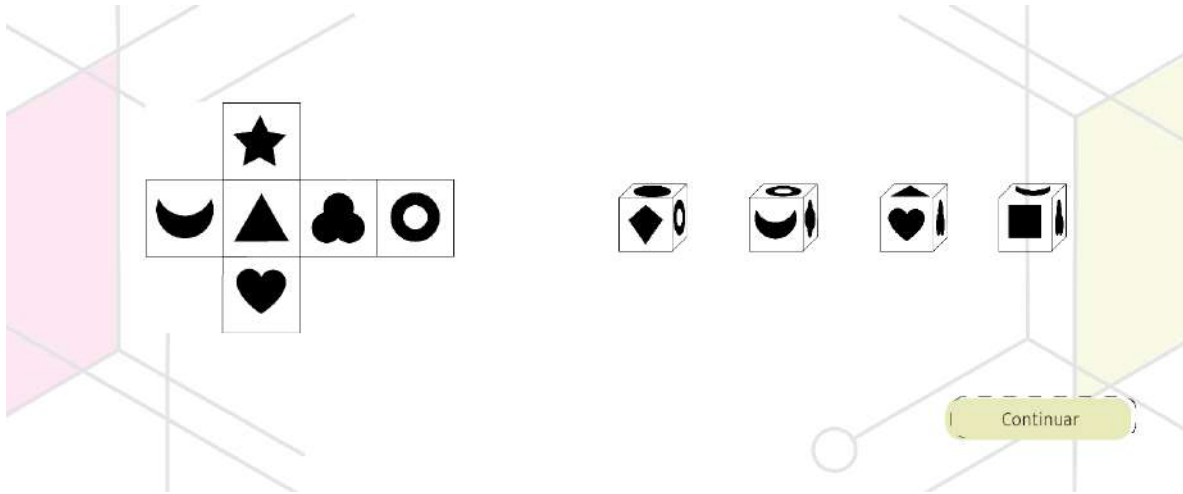


Figura 4.18 Prueba de los cubos desplegados

El test que será implementado está basado en el test Medida de la capacidad para formar imágenes mentales espaciales (Measure of the Ability to Form Spatial Mental Imagery, MASMI), que es un instrumento para medir los diferentes tipos de imágenes mentales (Campos, 2009)

Se eligió este test para integrarlo a la herramienta porque está relacionado con examinar visualmente un objeto para crear una imagen mental, así que gran parte de la tarea es la examinación visual.

4.1.2.1.3. Módulo de Entrevistas

El módulo de entrevistas contiene dos tipos de entrevistas:

- Test de Magallanes
- Evaluación Neuropsicológica Infantil

Sección del Test de Magallanes

El test de Magallanes es una escala que tiene el propósito de identificar la existencia de indicadores de trastornos de atención e hiperactividad.

Las variables que evalúa (Bodoque, 2015) son las siguientes:

- Déficit de atención sostenida e
- HiperKinesia-Hiperactividad
- Déficit de Eficacia Atencional y lentitud motriz y cognitiva
- Agresividad
- Retraimiento Social
- Ansiedad
- Rendimiento académico

Esta escala también es guardada como parte de la evaluación e historial clínico del paciente.

Sección de ENI-2

La Evaluación Neuropsicológica Infantil, ENI-2, (Matute, 2014), es un cuestionario para los padres, puede auto administrarse y recopilar los datos generales sobre los padres y hermanos, así como la información acerca del motivo de la evaluación y la presencia trastornos, en la Figura 4.19, podemos observar una vista parcial de la implementación de la ENI-2.

Las partes que constituyen esta entrevista son:

- Historial Clínico
- Historial Familiar
- Antecedentes prenatales, natales y posnatales
- Comportamiento
- Método de disciplina
- Escolaridad



Figura 4.19 Vista parcial de una pantalla de la ENI-2

Módulo de información básica

Contiene múltiples opciones acerca de la información necesaria del programa. Dichas opciones que se muestran, abrirán un video y una explicación breve de cada punto.

En la Figura 4.20, se muestran las opciones de la información básica sobre el funcionamiento del software que incluye: información de qué se trata el software, una breve explicación del seguidor ocular, como se realizan las pruebas e instrucciones de posición usando una animación con un personaje infantil, Figura 4.21.



Figura 4.20 Detalle del menú del módulo de información básica



Figura 4.21 Pantalla del menú del módulo de información básica

4.2. Recolección de datos

4.2.1. Estudio experimental

Se realizaron pruebas a adultos y niños para observar la interacción que tuvieron con la herramienta, los datos de los participantes se muestran en las tablas 4.1. y 4.2., donde reportan el rango de edades y los participantes de cada sexo. En el caso de los niños se les hizo acompañar de padres o tutores para que estos pudieran contestar las entrevistas de Magallanes y ENI-2 así como que ellos pudieran comprobar la integridad de los niños y que no se graban los rostros ni se guardan los datos personales de los niños, figura 4.22, así mismo en la herramienta no se guardan datos personales de ningún tipo como nombres y direcciones, tabla 4.3.

Tabla 4.1. Datos de los participantes

| | | |
|-----------------------------|----|-----------------|
| Cantidad de personas | 50 | |
| Genero | | Promedio |
| Mujeres | 22 | 0.44 |
| Hombres | 28 | 0.56 |
| Edad | | 22.92 |

Tabla 4.2 Rango de edades de los participantes

| | |
|-------------|----|
| Edad mínima | 5 |
| Edad máxima | 51 |

Tabla 4.3 Datos test de Magallanes

| No. de Registro | Pruebas a realizar | Nombre Completo | Dirección | Fecha de nacimiento | Sexo | Edad | Datos de contacto | Uso de lentes | Diestro/Zurdo | Diagnóstico de TDAH u otro trastorno |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------|-----------|---------------------|-----------|------|-------------------|---------------|---------------|--------------------------------------|
| 52 | Cubos Dominó Figuras superpuestas | sujeto 52 | Vacío | 21/01/1997 | Masculino | 24 | Vacío | NO | Zurdo | Vacío |
| 51 | Cubos Dominó Figuras superpuestas | sujeto 51 | Vacío | 01/01/1994 | Femenino | 51 | Vacío | NO | Diestro | No |
| 50 | Cubos Dominó Figuras superpuestas | sujeto 50 | Vacío | 18/12/1993 | Masculino | 28 | Vacío | NO | Diestro | No |

Las preguntas que se contestan en el test de Magallanes se muestran en la figura 4.22.

| | Nunca | Ocasionalmente | Frecuentemente | Muy Frecuentemente |
|--|-------|----------------|----------------|--------------------|
| Habla mucho, parece que no puede estar callado | | | | |
| Se mueve de manera innecesaria, como si le sobrase energía | | | | |
| Parece que le cuesta trabajo permanecer sentado en situaciones que lo requieren | | | | |
| Sus movimientos son rápidos y bruscos | | | | |
| Está ocupado en algo, no deja de hacer cosas | | | | |
| Cualquier persona (objeto o ruido) lo distrae de lo que está haciendo en ese momento | | | | |
| Le cuesta mantener la atención un tiempo razonable | | | | |
| Abandona lo que está haciendo antes de terminarlo | | | | |
| Cuando se le encarga una tarea, la realiza de manera distinta a como se le indica | | | | |
| Cuando se le habla, parece que no presta atención o que no escucha | | | | |
| Cuando está sentado se mueve excesivamente | | | | |

Figura 4.22. Preguntas del test de Magallanes

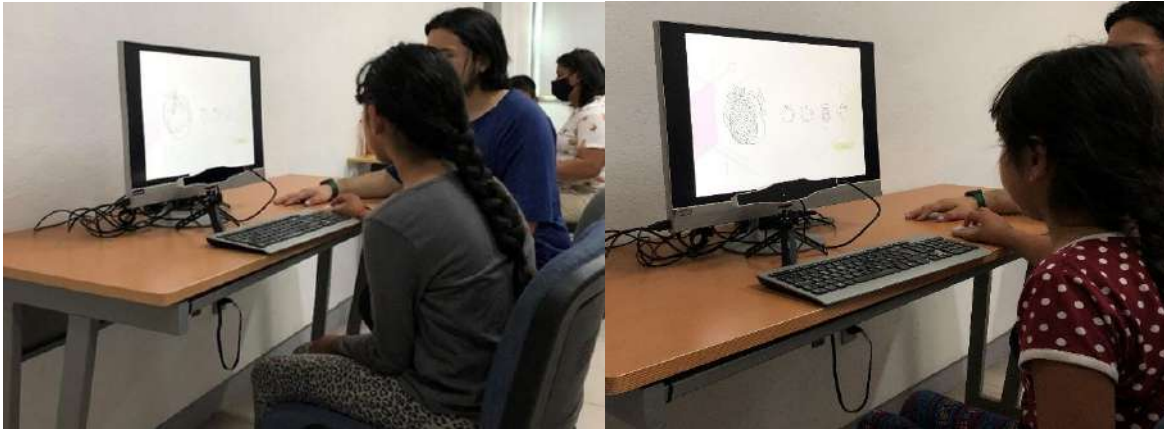


Figura 4.23 Pruebas en niños

El procedimiento entonces para adquirir los datos. Figura 4.23 y que fue descrito a detalle en cada una de sus etapas se resume de la siguiente manera:

1. Se invita a los participantes previamente y se les proporciona información en una plática, video o un folleto informativo dependiendo de su elección (figura 4.24).
2. Una vez que se encuentran en el lugar de recolección de datos se les vuelve a informar de cómo se realiza la prueba y se responden sus dudas, en ese momento pueden decidir no participar, en caso de que quieran continuar con su participación se les da a firmar el convenio de consentimiento, para el caso de los niños participantes siempre está presente un padre o tutor.
3. El aplicador de la prueba debe registrar si no tiene una cuenta en el software de recolección, en caso de contar con una cuenta debe iniciar sesión, ya que el sistema almacena quien aplicó las pruebas.
4. Una vez que se inicia sesión se registra al participante con un id como “p1” y se guardan algunos datos como su sexo, fecha de nacimiento, diagnóstico previo, uso de lentes, lateralidad, uso de medicamentos. Si el participante o los padres o tutores quieren contestar la Entrevista ENI o el Test de Magallanes se presenta como opcional.
5. En este punto el participante ya puede realizar las pruebas, las cuales se pueden seleccionar de manera individual, y se le informa sobre su forma de sentarse frente al seguidor ocular, en un rango de 45 a 60 cm de distancia y se le comunica verbalmente la necesidad de mantener la postura adecuada, así como también

se le puede mostrar las animaciones que contienen los módulos de información del software NIK.

6. Antes de cada prueba se realiza una calibración para asegurar que los datos son válidos y donde se espera que se encuentran.
7. Al finalizar un tipo de prueba, se puede realizar otra o se puede salir del sistema y los archivos ya se encontrarán en la carpeta de seleccionada.



Figura 4.24 Vista del tríptico y video informativos

Los datos que son almacenados en la tabla del test de Magallanes son además datos propios del test y los datos: Fecha de Identificación, No. de Registro, Pruebas a realizar, Nombre Completo, Dirección, Fecha de nacimiento, Sexo, Edad, Datos de contacto, Uso de lentes, Diestro/Zurdo, Diagnostico de TDAH u otro trastorno, Bajo tratamiento médico, Nombre de los medicamentos, Nombre de los medicamentos, Tiempo de uso de los medicamentos, Horas de sueño, Horas de ayuno.

4.2.2. Variables del hábitat

El estudio de las variables del hábitat y su relación con los trastornos de atención forma parte del objetivo de conocer cuál es la influencia que los espacios donde se desarrollan las actividades humanas y sobre todo los espacios construidos donde los niños desempeñan sus actividades, esto con la finalidad de contribuir tanto en el diagnóstico

de trastornos de atención como en la adecuación de espacios para niños y personas con estos trastornos.

La intervención para evaluar estos espacios constó de las etapas de selección de espacios, toma de datos en los espacios seleccionados, evaluación del espacio de acuerdo a la matriz sensorial (Mostafa, 2008) que fue adaptada de la original para evaluar únicamente los problemas sensoriales detectados en los trastornos de atención, excluyendo aquellos síntomas sensoriales propios del TEA y que fue llamada Matriz sensorial de los trastornos de atención (MSTA), tabla 4.4, y la última etapa de la intervención fue el análisis de los datos de acuerdo al espacio donde fue recabada la información.

Tabla 4.4 Matriz sensorial de los Trastornos de Atención

| Nombre espacio a evaluar | | | problemas sensoriales | | | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|---------------|-----------------------|------|--------|--------|------|--------|---------------|------|--------|
| | | | Auditivo | | | Visual | | | Propiocepción | | |
| | | | hyper | hypo | idóneo | hyper | hypo | idóneo | hyper | hypo | idóneo |
| Atributos arquitectónicos | ESTRUCTURA | función | | | | | | | | | |
| | | proporción | | | | | | | | | |
| | | escala | | | | | | | | | |
| | | orientación | | | | | | | | | |
| | | distribución | | | | | | | | | |
| | COMPOSICIÓN ESPACIAL | simetría | | | | | | | | | |
| | | ritmo | | | | | | | | | |
| | | armonía | | | | | | | | | |
| | | balance | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | CARACTERÍSTICAS ESPACIALES | color | | | | | | | | | |
| | | luminosidad | | | | | | | | | |
| | | acústica | | | | | | | | | |
| | | textura | | | | | | | | | |
| | | ventilación | | | | | | | | | |
| | DINAMICA ESPACIAL | accesibilidad | | | | | | | | | |
| | | interacción | | | | | | | | | |
| | | rutina | | | | | | | | | |

4.2.2.1. Espacios de prueba

Espacio no intervenido

El primer espacio donde se realizaron las pruebas corresponde a un espacio que es usado como un taller donde se realizan tareas de reparación de computadoras y

enseñanza de soporte técnico, este espacio es el que identificaremos como “TALLER”, en la figura 4.25 podemos observar sus dimensiones y planos. El “TALLER” no es un espacio optimizado para el aprendizaje o concentración, ya que es un espacio de trabajo y con un perfil dinámico, en donde se atienden casos de emergencia por lo tanto la configuración de mobiliario de dimensiones pequeñas como mesas podría cambiar de un día para otro, y se usó en su estado natural, es decir no fue intervenido para la realización de las pruebas.

En la figura 4.26. se pueden observar fotografías del espacio en cuestión donde se observan las características reales del espacio como entradas de ventilación, luz natural, también cuenta con luz artificial blanca de LED. En la figura 4.27 podemos observar la computadora de pruebas y su mobiliario.

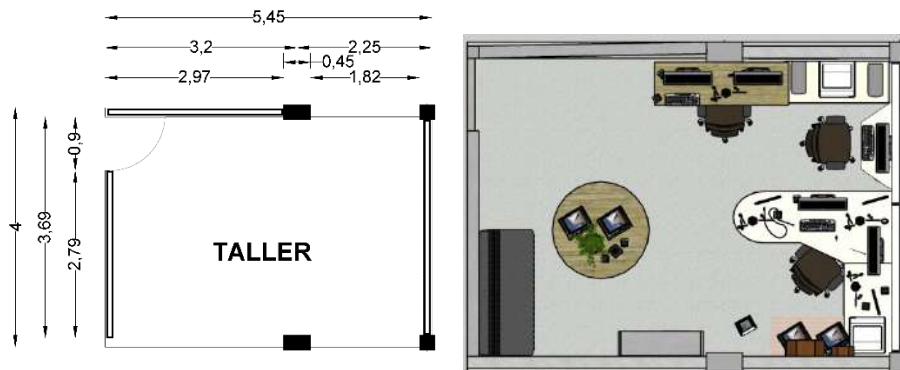


Figura 4.25 Espacio "taller"



Figura 4.26 Fotografías del “TALLER”



Figura 4.27 Espacio de donde se realiza la toma de datos

Espacio intervenido

El segundo espacio donde se hizo recolección de datos es un espacio que fue preparado e intervenido para la recolección de datos con la finalidad de que fuera percibido como placentero y adecuado para la recolección de datos, al cual llamamos “OFICINA”, así mismo se integraron elementos naturales siguiendo la teoría de la restauración de la atención (Kaplan, 1995; Ohly, 2016).

En la figura 4.28, se observan los planos con las dimensiones de la “OFICINA” y la distribución de muebles dentro de la misma, así mismo en la figura 4.29 se muestran fotografías del espacio, donde además se colocaron espacios informales con sillones, libros, música ambiental, ventilación natural y aromatizante para hacer sentir cómodos a los participantes en lo que esperaban que comenzara su turno de formar parte del estudio.

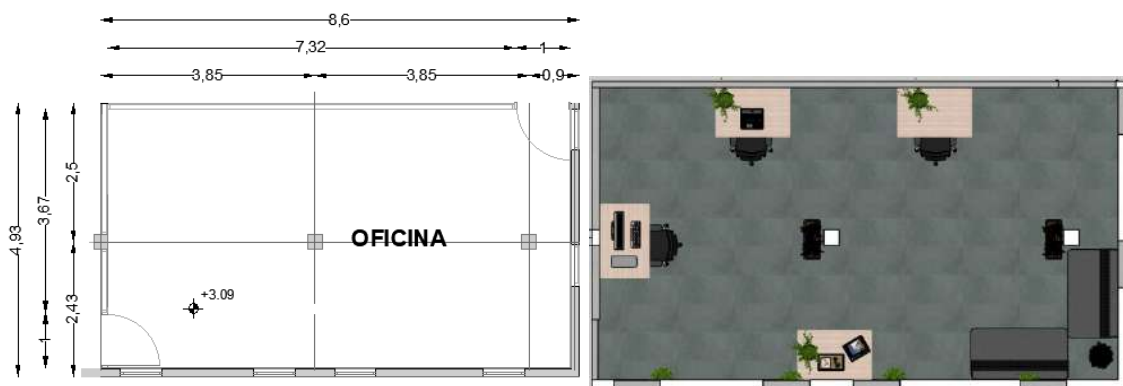


Figura 4.28 Planos del espacio: “OFICINA”



Figura 4.29 Fotografías de la “OFICINA”

Dentro de la “oficina” se colocó la mesa donde se realizaron las pruebas, y solo eso fue colocado en esa parte de la “Oficina”, figura 4.30.



Figura 4.30 Zona de recolección de datos en “OFICINA”

4.3. Análisis de datos

4.3.1. Motor de Inteligencia Artificial

Los datos con los que se alimenta el motor de inteligencia artificial provienen del módulo de pruebas el cual a través del seguidor ocular recoge los puntos de la mirada y se usa la API del servidor y driver que debe instalarse para que el seguidor ocular funcione, se crea un objeto Frame que contiene los datos del comportamiento de la mirada como coordenadas y tamaño de pupilas, tabla 4.5, y que son almacenados en un archivo de valores separados por tabuladores (. tsv), en la figura 4.31. se muestra una vista parcial de uno de estos archivos. tsv que se crean cada vez que un participante realiza algunas de las pruebas de carga cognitiva.

Tabla 4.5 Datos de mirada del Eye Tribe

| Nombre de la variable | Tipo de dato | Descripción |
|-----------------------|--------------|--|
| statuscode | int | estado del eyetracker |
| timestamp | string | representación de tiempo de cadena, p. '2014-04-15 15:28:46.628' |
| time | int | marca de tiempo en milisegundos |
| fix | bool | ¿Está fijo? |
| state | int | Entero de estado enmascarado de 32 bits |
| rawx | int | coordenada x de mirada sin procesar en píxeles |
| rawy | int | coordenada y de mirada sin procesar en píxeles |
| avgx | int | coordenada x suavizada en píxeles |
| avgy | int | coordenada y suavizada en píxeles |
| psize | float | tamaño de la pupila |
| Lrawx | int | coordenada x de mirada sin procesar en píxeles, ojo izquierdo |
| Lrawy | int | coordenada y de mirada sin procesar en píxeles, ojo izquierdo |
| Lavgx | int | coordenada x suavizada en píxeles, ojo izquierdo |
| Lavgy | int | coordenada y suavizada en píxeles, ojo izquierdo |
| Lpsize | float | tamaño de la pupila, ojo izquierdo |
| Rrawx | int | coordenada x de mirada sin procesar en píxeles, ojo derecho |
| Rrawy | int | coordenada y de mirada sin procesar en píxeles, ojo derecho |
| Ravgx | int | coordenada x suavizada en píxeles, ojo derecho |
| Ravgy | int | coordenada y suavizada en píxeles, ojo derecho |
| Rpsize | float | tamaño de la pupila, ojo derecho |

| timestamp | time | fix | state | rawx | rawy | avgx |
|-----------|---------------------------|-----------|--|------|------|------|
| MSG | 2022-08-26 10:46:39.314.0 | | pygaze initiation report start | | | |
| MSG | 2022-08-26 10:46:39.314.0 | | display resolution: 1536x864 | | | |
| MSG | 2022-08-26 10:46:39.314.0 | | display size in cm: 48x28 | | | |
| MSG | 2022-08-26 10:46:39.314.0 | | samplerate: 30 Hz | | | |
| MSG | 2022-08-26 10:46:39.314.0 | | sampletime: 33.333333333333336 ms | | | |
| MSG | 2022-08-26 10:46:39.314.0 | | fixation threshold: 1.5 degrees | | | |
| MSG | 2022-08-26 10:46:39.314.0 | | speed threshold: 35 degrees/second | | | |
| MSG | 2022-08-26 10:46:39.314.0 | | acceleration threshold: 9500 degrees/second**2 | | | |
| MSG | 2022-08-26 10:46:39.314.0 | | pygaze initiation report end | | | |
| MSG | 2022-08-26 10:46:39.314.0 | 450228900 | pygaze calibration report start | | | |
| MSG | 2022-08-26 10:46:39.314.0 | 450228901 | accuracy (degrees): LX=0.0, LY=0.0, RX=0.0, RY=0.0 | | | |
| MSG | 2022-08-26 10:46:39.314.0 | 450228901 | accuracy (in pixels): LX=0.0, LY=0.0, RX=0.0, RY=0.0 | | | |

Figura 4.31 muestra de un archivo de datos del seguidor ocular

4.3.1.1. Análisis de los datos de seguimiento ocular

Con estas métricas generadas por el seguidor ocular ya se puede hacer un procesamiento de los datos para clasificarlos y determinar los niveles de atención de acuerdo a su comportamiento de movimientos oculares.

Como ya habíamos mencionado antes existen las métricas basadas en fijaciones, en las Áreas de Interés (AOI's). Los algoritmos basados en fijaciones pueden dividirse en dos categorías: los que identifican las fijaciones por sus características espaciales y por las temporales (tabla 4.6)

Tabla 4.6 Algoritmos de identificación de fijaciones adaptado de (Salvucci, 2000)

| Espaciales | Temporales |
|---------------------------------------|---|
| Basadas en la velocidad (I-VT, I-HMM) | Sensibles a la duración (I-DT, I-AOI) |
| Basados en dispersión (I-DT, I-MST) | Localmente adaptable (I-DT, I-MST, I-HMM) |
| Basados en áreas (I-AOI) | |

El algoritmo de Identificación de umbral de velocidad (Velocity-Threshold Identification, I-VT) es considerado el más sencillo de implementar y entender. Las velocidades de los puntos hacen que sean clasificados como fijaciones o movimientos sacádicos (Karthik, 2018).

El algoritmo I-VT comienza con el cálculo de las velocidades entre puntos consecutivos en el conjunto de datos de movimiento ocular. Si la velocidad de un punto está por debajo

de un umbral, se marca como punto de fijación, de lo contrario, se marca como un movimiento sacádico.

Los puntos de fijación entre puntos sacádicos sucesivos se agrupan en un grupo de fijación. Las coordenadas de los puntos centroides de cada grupo de fijación se calculan encontrando la media de todos los puntos de ese grupo de fijación. (Salvucci, 2000)

En la figura 4.32, se muestra el algoritmo I-VT en pseudocódigo

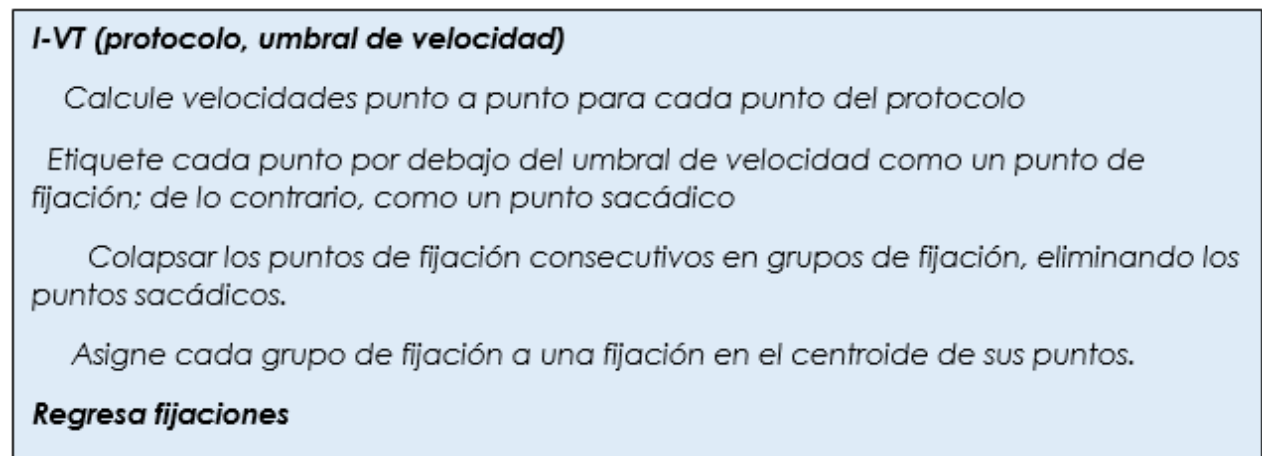


Figura 4.32 Algoritmo I-VT (Traducido de Salvucci, 2000)

Para los datos que genera el seguidor ocular Eye- Tribe se usan las columnas *avgx*, coordenada x suavizada en píxeles y *avgy*, la coordenada y suavizada en píxeles, y la columna *time*, la marca de tiempo de los eventos en milisegundos.

Sin embargo, se deben de procesar antes los datos de coordenadas ya que el algoritmo I-VT necesitan las velocidades angulares (la distancia del ojo a los estímulos visuales), el umbral de velocidad punto a punto se puede aproximar a partir de un umbral de velocidad angular razonable.

Para hacer la conversión de las velocidades angulares y lo que recoge el seguir ocular en pixeles es importante tomar en cuenta que:

El campo visual humano es de 220° , el área de visión foveal es de $1-2^\circ$ (Matos, 2010).

La fovea es una depresión que está ubicada en la parte central de la retina y que contiene fotoreceptores muy sensibles a la luz, es además responsable de la visión central aguda

o visión foveal, que cubre entre 2 y 5 grados de los 180 que es capaz de percibir el ojo humano a partir de un punto de fijación (Gutiérrez, 2019)

La trigonometría del ángulo visual se puede calcular como lo muestra la fórmula 4.1 de acuerdo a la figura 4.33.

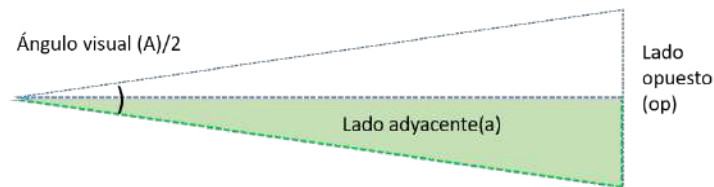


Figura 4.33 Cálculo del ángulo visual [Traducido de Matos 2010]

$$\frac{Op}{2} = \tan \frac{A}{2} \times a \quad (4.1)$$

La precisión del seguidor ocular Eye tribe es de 1° grado y el de la fovea es de 2°, tomando en cuenta que la distancia entre el estímulo(monitor) y los participantes es de 60 cm aproximadamente, esto equivale a un área de inspección de 1 cm.

Tomando en cuenta las dimensiones del monitor con un ancho de 48.5 c, de 1920 pixeles de resolución, con esto podemos deducir que, en esta configuración de equipo de cómputo, 1cm equivale aproximadamente a 40 pixeles, por el cálculo anterior 1° es equivalente a 40pixeles, y la velocidad de una fijación en pixeles/s es 4000pixeles /s, con esto podemos calcular la duración de cada fijación.

4.3.1.2. Preparación de datos

Los datos de la mirada almacenados en los archivos tsv deben ser preparados previamente a ser sometidos a los algoritmos de inteligencia artificial para clasificación, esto se debe a en la toma de datos siempre pueden ocurrir datos perdidos. En el caso del seguidor ocular, los datos perdidos pueden ocurrir al momento de que el participante se mueva de manera excesiva por momentos o que sin que el seguidor ocular detecte las pupilas, eso se consideran como datos faltantes se puede hacer una imputación que es la sustitución de valores faltantes o aberrantes(outliers) usando algunos métodos

creados para que imputación de estos valores no afecten en peor medida la clasificación que cuando faltaban esos valores. Para esto se pueden utilizar métodos como regresiones, medias, (Medina, 2007) e incluso la imputación por medio de algoritmos de aprendizaje profundo (King, 2020).

4.3.1.3. Clasificación de datos

Para la clasificación de los datos, se utilizó el algoritmo de AA, Bosques aleatorios o Random Forest, se utilizó la afinación de hiperparámetros por medio de Random Search, usando los hiperparámetros:

n_estimators = número de árboles en el bosque

max_features = número máximo de características consideradas para dividir un nodo

max_profundidad = número máximo de niveles en cada árbol de decisión

min_samples_split = número mínimo de puntos de datos colocados en un nodo antes de dividir el nodo

min_samples_leaf = número mínimo de puntos de datos permitidos en un nodo hoja

bootstrap = método para muestrear puntos de datos (con o sin reemplazo)

Primero necesitamos crear una cuadrícula de parámetros para tomar muestras durante el ajuste del modelo de optimización, para esto usamos la herramienta SciKit-learn de Python que es una herramienta, para AA.

En cada iteración, el algoritmo elegirá una combinación diferente de características; sin embargo, el beneficio de una búsqueda aleatoria es que no probamos todas las combinaciones, sino que seleccionamos al azar para muestrear una amplia gama de valores.

5. Resultados y discusión

5.1. Resultados de análisis de seguidor ocular

Para calcular las métricas se usó el algoritmo I-VT, con el cual se pudieron calcular las métricas basadas en las fijaciones, tabla 5.1:

Sujeto- sujeto identificado con un id

Número total de fijaciones – fijaciones ocurridas durante toda la prueba.

Duración promedio fijaciones – Duración en segundos.

Fijaciones dentroAOI – fijaciones ocurridas dentro de las áreas de interés definidas.

Fijaciones AOI preguntas - fijaciones ocurridas dentro de las áreas de interés definidas para las preguntas.

Fijaciones AOI respuestas - fijaciones ocurridas dentro de las áreas de interés definidas para las respuestas.

Numero de transiciones – transiciones ocurridas entre áreas de interés.

Duración trayectoria – Duración en segundos de la trayectoria total durante la prueba

Tabla 5.1 Variables calculadas para la clasificación

| sujeto | Número total de fijaciones | Duración promedio fijaciones | Fijaciones dentroAOI | Fijaciones AOI preguntas | Fijaciones AOI respuestas | Numero de transiciones | Duración trayectoria |
|--------|----------------------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| s2 | 10 | 0.06 | 3 | 3 | 0 | 0 | 4.51666667 |
| s3 | 49 | 0.10034014 | 43 | 39 | 4 | 1 | 6.7 |
| s8 | 18 | 0.13055556 | 15 | 11 | 4 | 2 | 3.03333333 |

Así mismo se graficaron los resultados del cálculo de las métricas de las fijaciones, figura 5.1, en donde los círculos representen fijaciones sobre la imagen de prueba, y que también representan la duración de la fijación, entre mayor sea el diámetro del círculo de la fijación mayor es la duración, además se pueden observar las trayectorias o scanpaths, mostrándola secuencia de cómo sucedieron las fijaciones entre áreas, lo cual nos da una representación gráfica del comportamiento visual.

Por otro lado, otro punto importante es como se hizo el etiquetado de los datos o la asignación de niveles de atención para nuestro conjunto de datos que servirán como entrenamiento.

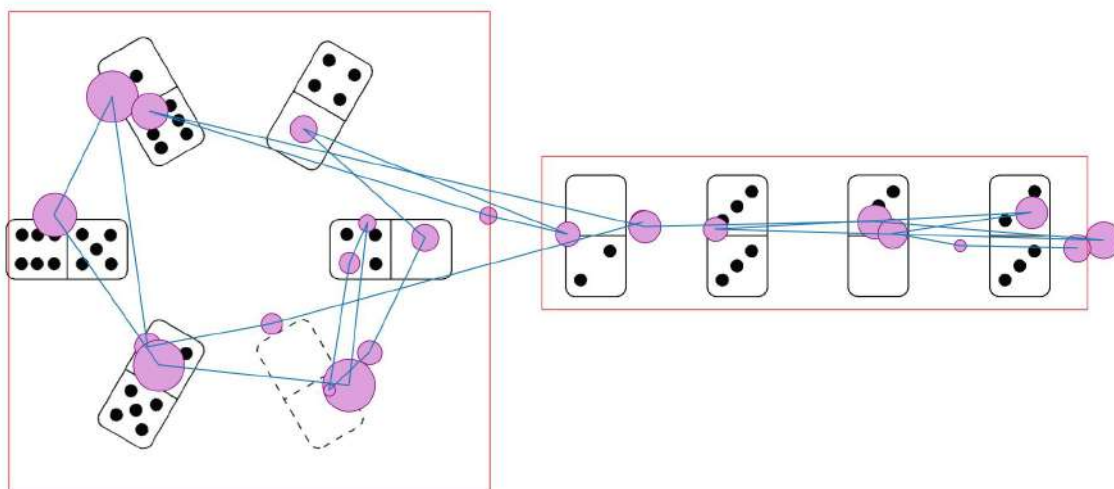


Figura 5.1 Resultados gráficos del análisis

Algunos autores sugieren que las características más importantes para entender al comportamiento visual son las trayectorias de búsqueda o scanpath (Borys, 2017), el número total de fijaciones en las áreas de interés y duración (Türkan, 2016), las personas con trastornos de atención tienen fijaciones más cortas. Así como también las fijaciones que muestran una coordenada de (0, 0) significa que la mirada está fuera de la pantalla. Se espera que miren de igual manera dentro de las AOIs de preguntas y respuestas ya que no puedes comprender a una sin mirar la otra. Con estos criterios se etiquetaron los datos con dos niveles de atención: “Alta”, “Baja”, tabla 5.2.

Tabla 5.2 Resultados del etiquetado

| Prueba | Total | Alta | Baja |
|-------------|-------|------|------|
| voluntarios | | | |
| Domino 1 | 48 | 34 | 14 |
| Domino 2 | 48 | 39 | 9 |
| Domino 3 | 47 | 41 | 6 |
| Figuras | 47 | 41 | 6 |

En la figura 5.2, observamos comportamientos de mirada con niveles altos y en la figura 5.3 se pueden observar niveles bajos de atención de acuerdo a su comportamiento de mirada donde en los niveles de atención bajos se observan fijaciones fuera de las áreas de interés y las transiciones van más allá de recorrer de un área de interés a otra.

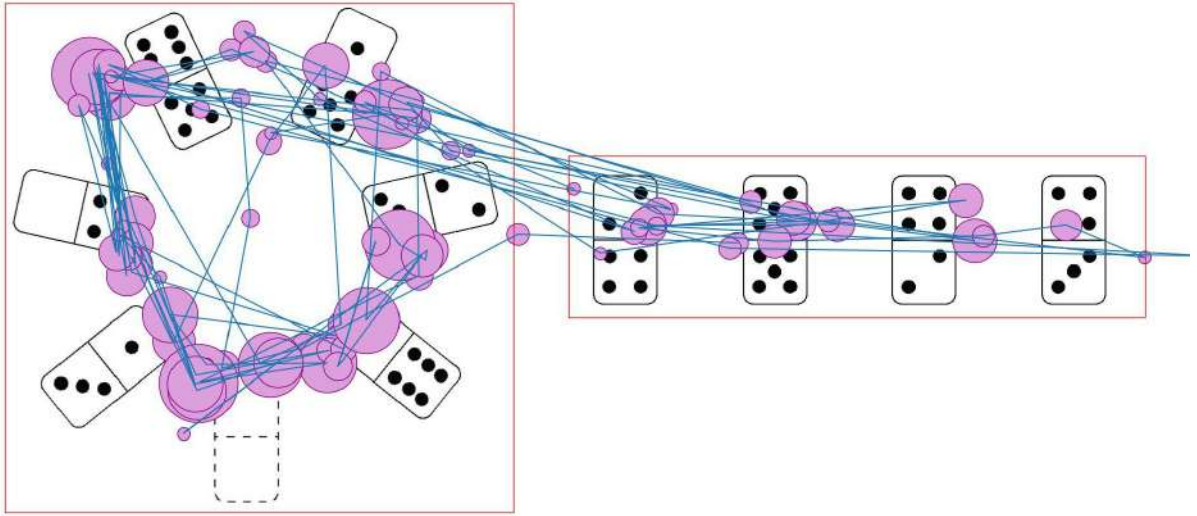


Figura 5.2 . Nivel alto de atención

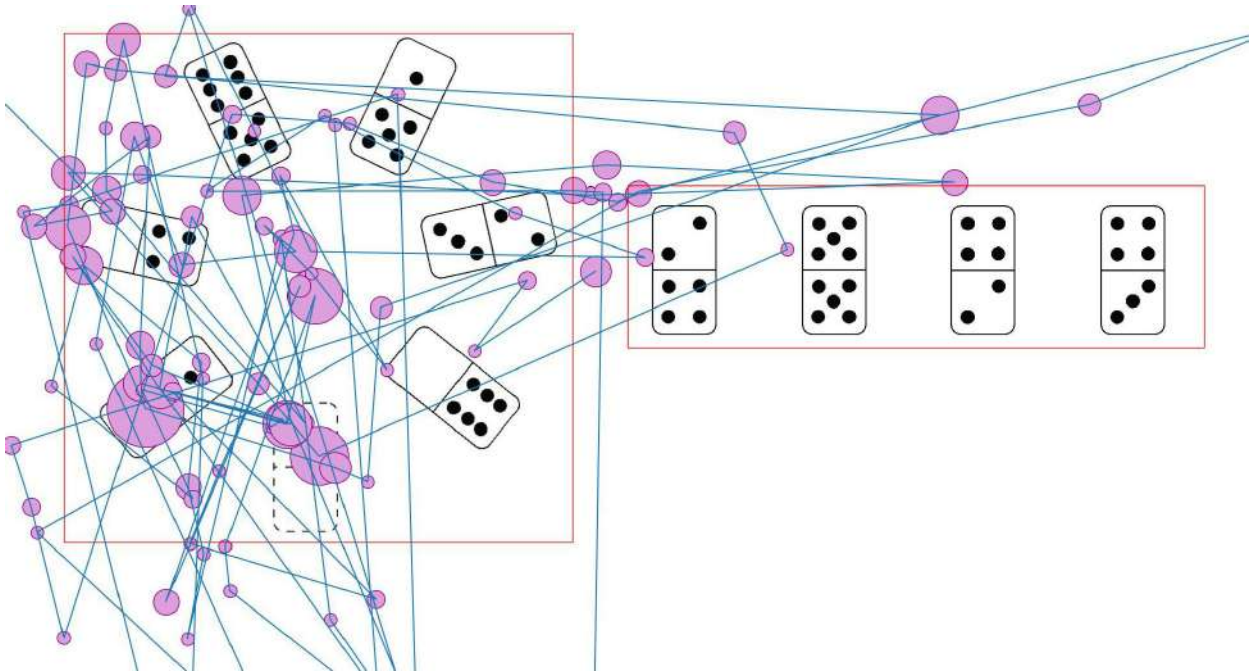


Figura 5.3 .Nivel bajo de atención

5.1.1. Resultados de la clasificación

Con los datos anteriores ya etiquetados como Grupo, se puede implementar la clasificación con la optimización de parámetros de Random forest, utilizando random search, se obtuvieron los mejores parámetros para el modelo, figura 5.4., donde se optimizaron los estimadores y los valores mínimos de hojas.

```
{'n_estimators': 5,  
  'min_samples_split': 2,  
  'min_samples_leaf': 1,  
  'max_features': 'sqrt',  
  'max_depth': None,  
  'bootstrap': False}
```

Figura 5.4 Hiperparámetros optimizados para la prueba de dominó

Una vez creado el modelo se probó su desempeño con respecto a las métricas de validación, en la figura 5.5. observamos el comportamiento del modelo con respecto a su accuracy, esto significa que es el número de predicciones correctas hechas como una proporción de todas las predicciones hechas, en donde observamos que la distribución de los datos en la prueba de dominó se distribuye uniformemente y con valores de accuracy dispersos, que al parecer indican que el desempeño de la prueba es muy variable y no es la mejor para la clasificación, sin embargo, si observamos la prueba de dominó 3, ésta muestra un mejor desempeño alcanzando valores de accuracy de 92% al hacer la clasificación, mostrando que es una tarea de carga cognitiva apta para la evaluación de la atención

En la siguiente figura 5.6, el recuento de positivos verdaderos (aciertos), positivos falsos (errores), negativos verdaderos (errores), y negativos falsos (aciertos).

La precisión, se muestra en la Figura 5.7., representa el número de verdaderos positivos que son positivos en la realidad en comparación con el total de valores positivos que fueron predichos por el modelo.

La recuperación (recall), en la figura 5.8, es la fracción de instancias relevantes que se han obtenido sobre la cantidad total de instancias relevantes

Todas estas métricas nos muestran la variabilidad del desempeño de las pruebas como aptas para su utilización como tarea cognitiva.

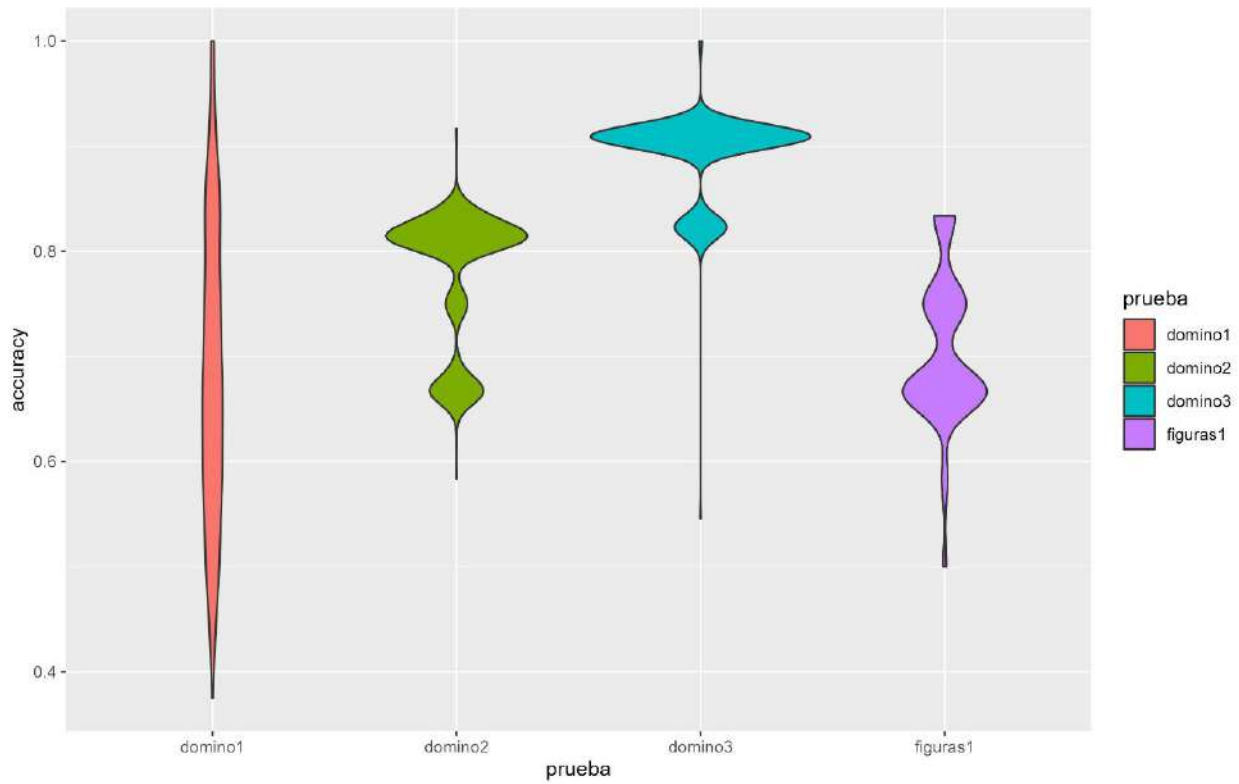


Figura 5.5 . Accuracy del modelo

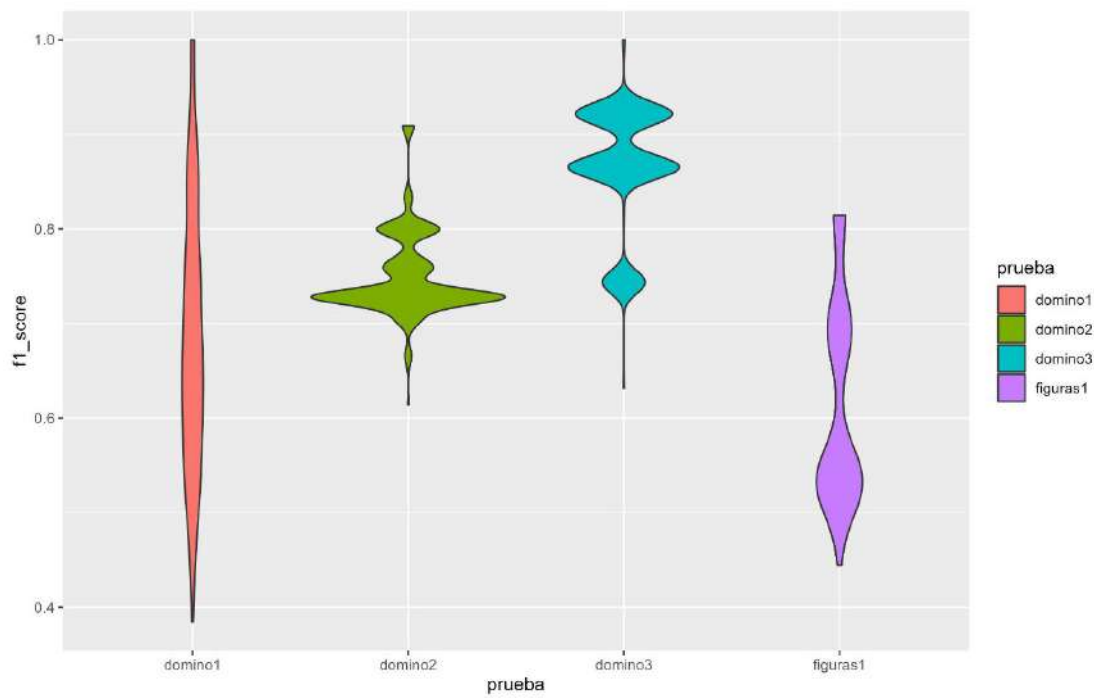


Figura 5.6 F1 score del modelo

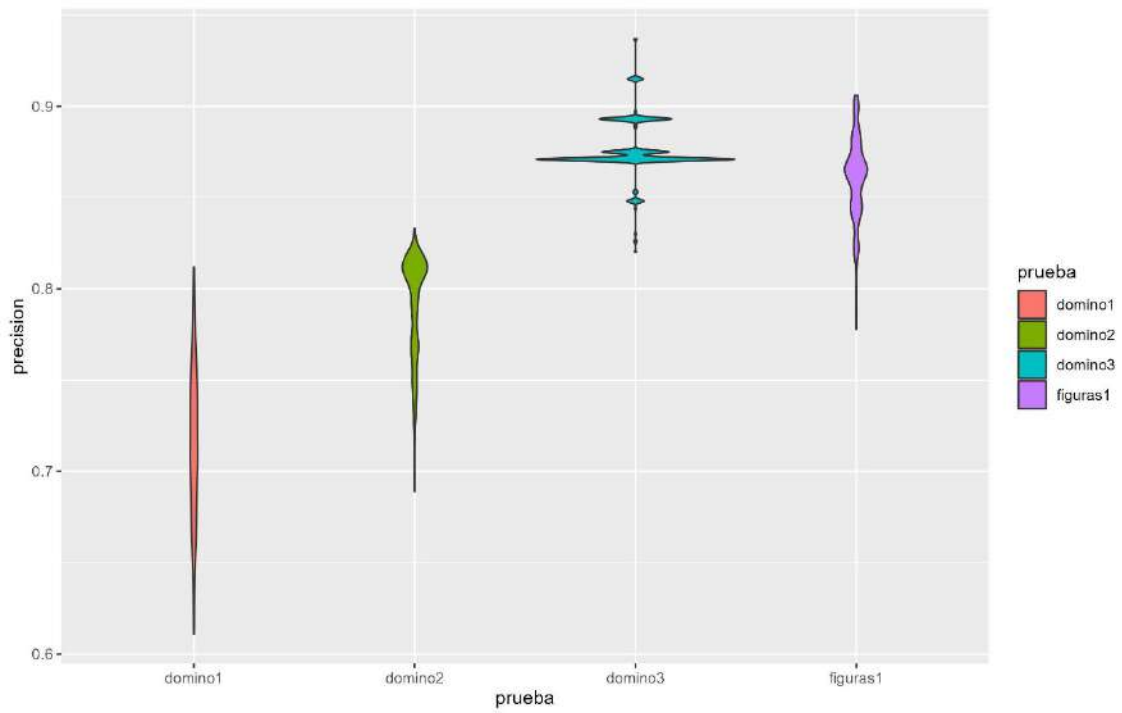


Figura 5.7 Precisión del modelo

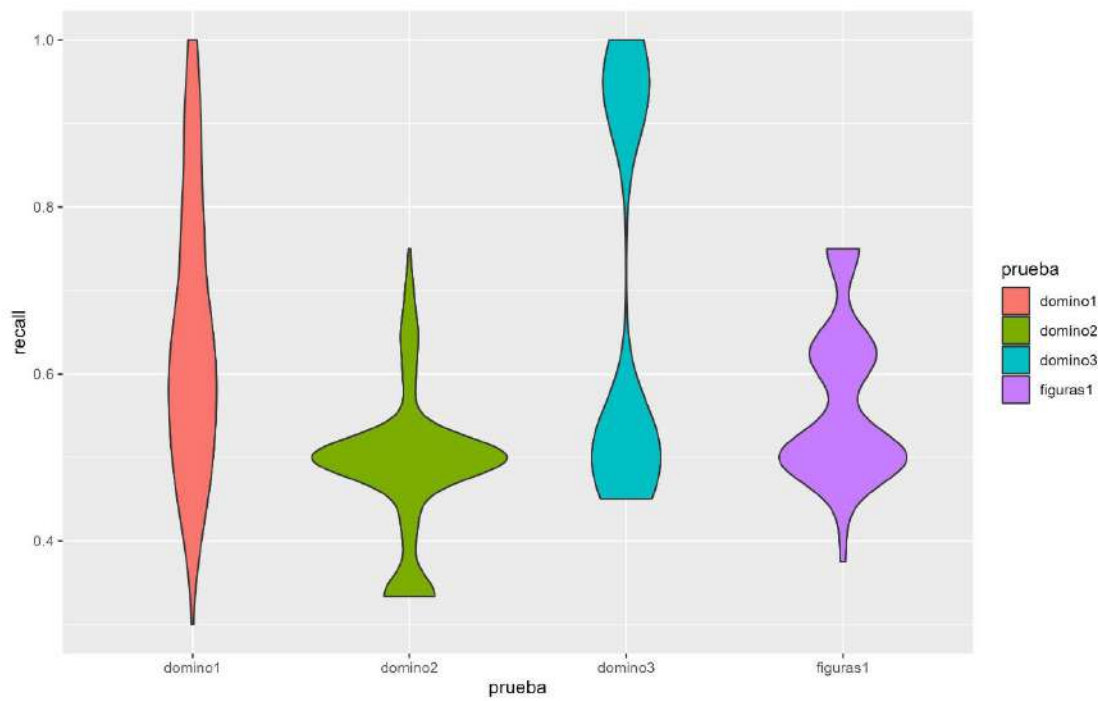


Figura 5.8 Recall del modelo

5.1.2. Resultado de las variables del hábitat

Con respecto a las variables del hábitat podemos observar en la tabla 5.3. la evaluación hecha al espacio llamado “Taller” basado en la matriz sensorial de Mostafa, en donde se observa que es considerado en su mayoría como un espacio con características arquitectónicas bajas o hypo con respecto a los problemas sensoriales de los trastornos de atención, pero nunca se muestra como idóneo en ninguna de las categorías.

En la tabla 5.4 , se muestra la evaluación del espacio denominado “Oficina”, este espacio fue intervenido siguiendo diferentes teorías que relacionan atributos arquitectónicos con bienestar, mayor concentración y aptos para el estudio, y aunque el espacio dista de ser un ambiente perfecto, sí muestra características apropiadas para personas donde se necesita que se tome en cuenta los problemas sensoriales como el de propiocepción, los atributos arquitectónicos muestren niveles bajos (hypo) o idóneos dependiendo de si estos atributos necesitan pasar desapercibidos o agregar algún comportamiento al espacio.

Tabla 5.3 Evaluación de los espacios: Taller

| TALLER | | | problemas sensoriales | | | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|---------------|-----------------------|------|--------|--------|------|--------|---------------|------|--------|
| | | | Auditivo | | | Visual | | | Propiocepción | | |
| | | | Hyper | hypo | idóneo | hyper | hypo | idóneo | hyper | hypo | idóneo |
| Atributos arquitectónicos | ESTRUCTURA | función | | | | | | | | | |
| | | proporción | | | | | | | | | |
| | | escala | | | | | | | | | |
| | | orientación | | | | | | | | | |
| | | distribución | | | | | | | | | |
| | COMPOSICIÓN ESPACIAL | simetría | | | | | | | | | |
| | | ritmo | | | | | | | | | |
| | | armonía | | | | | | | | | |
| | | balance | | | | | | | | | |
| | CARACTERÍSTICAS ESPACIALES | color | | | | | | | | | |
| | | luminosidad | | | | | | | | | |
| | | acústica | | | | | | | | | |
| | | textura | | | | | | | | | |
| | | ventilación | | | | | | | | | |
| | DINAMICA ESPACIAL | accesibilidad | | | | | | | | | |
| | | interacción | | | | | | | | | |
| | | rutina | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

| OFICINA | | | problemas sensoriales | | | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|---------------|-----------------------|------|--------|--------|------|--------|---------------|------|--------|
| | | | Auditivo | | | Visual | | | Propiocepción | | |
| | | | hyper | hypo | idóneo | hyper | hypo | idóneo | hyper | hypo | idóneo |
| Atributos arquitectónicos | ESTRUCTURA | función | | | | | | | | | |
| | | proporción | | | | | | | | | |
| | | escala | | | | | | | | | |
| | | orientación | | | | | | | | | |
| | | distribución | | | | | | | | | |
| | COMPOSICIÓN ESPACIAL | simetría | | | | | | | | | |
| | | ritmo | | | | | | | | | |
| | | armonía | | | | | | | | | |
| | | balance | | | | | | | | | |
| | CARACTERÍSTICAS ESPACIALES | color | | | | | | | | | |
| | | luminosidad | | | | | | | | | |
| | | acústica | | | | | | | | | |
| | | textura | | | | | | | | | |
| | | ventilación | | | | | | | | | |
| | DINAMICA ESPACIAL | accesibilidad | | | | | | | | | |
| | | interacción | | | | | | | | | |
| | | rutina | | | | | | | | | |

Tabla 5.4. Evaluación de los espacios: Oficina

En cuanto al espacio y las métricas del comportamiento de la mirada, los resultados experimentales se obtuvieron al invitar a los participantes de la toma de datos a hacer dos veces la prueba en los dos diferentes espacios sin decirles una pista de por qué en los dos espacios, en este experimento participaron 13 voluntarios y se analizaron ambas muestras.

Después de realizar un análisis estadístico se encontraron notables diferencias en estas variables:

- Transiciones: se ha demostrado que el número de transiciones muy grande también puede indicar confusión sobre lo que se está viendo (Salminen, 2018)
- Mayor número de fijaciones
- Duración de trayectoria más larga

En las figuras 5.9. y 5.10, se observan la desviación estándar y el promedio respectivamente de las variables mencionadas anteriormente, obtenidas de datos recolectados en los dos diferentes espacios.

Y aunque no son resultados concluyentes, ya que es necesario recolectar más datos, estos resultados previos parecen indicar que el espacio no intervenido “TALLER” cuenta con elementos considerados distractores o no aptos para apoyar en la atención, ya que causa mayores transiciones, más fijaciones y trayectorias más largas, que parecen indicar que los voluntarios estaban realizando un mayor esfuerzo para mantener su atención en la tarea de carga cognitiva, lo cual nos da un indicio de que las variables del espacio parecen tener influencia en la atención voluntaria y que son dignas de comenzar una investigación más exhausta para conocer mejor la relación que tienen.

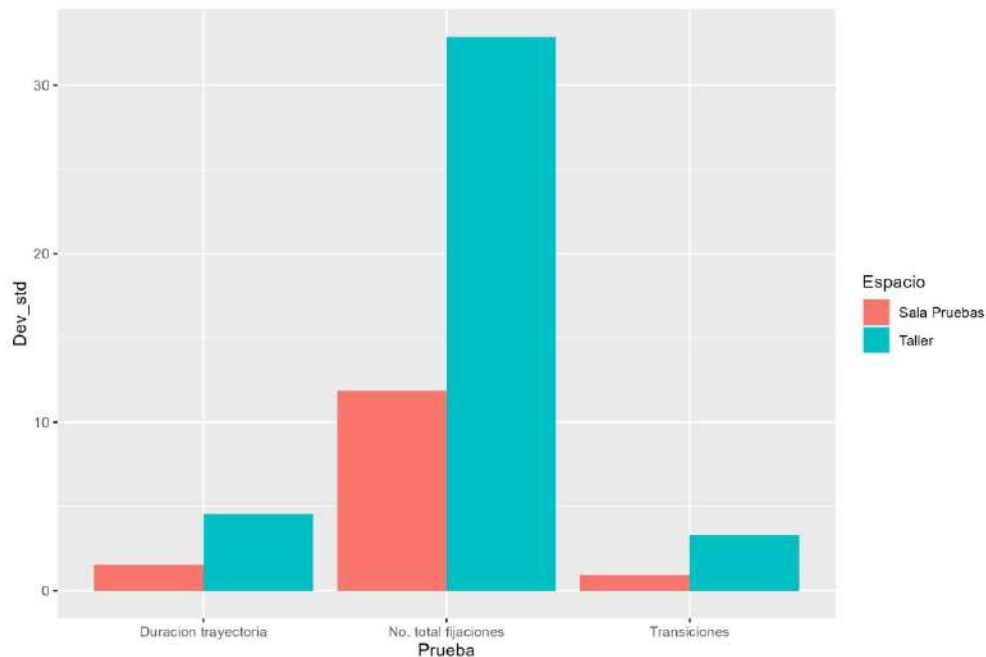


Figura 5.9 Desviación estándar de las pruebas

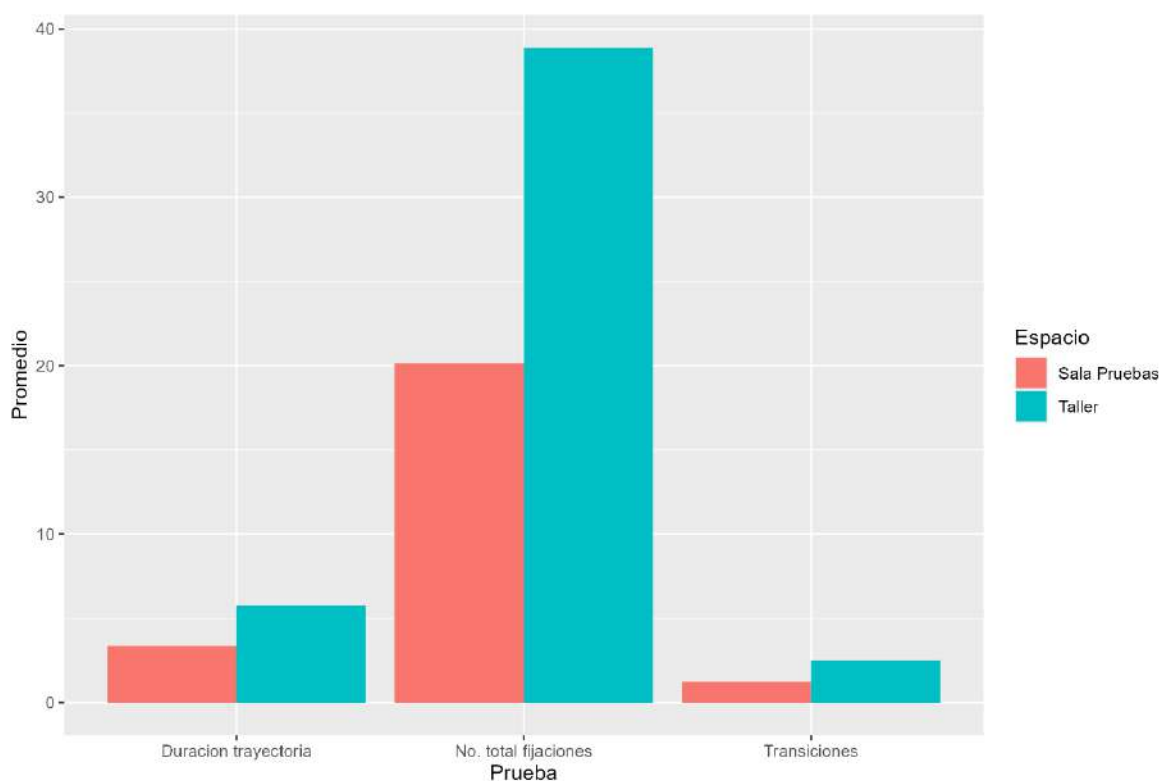


Figura 5.10 Promedio de las pruebas 2

6. Conclusiones y trabajo futuro

6.1. Conclusiones

La creación de una herramienta para el apoyo en el diagnóstico no es una tarea sencilla ya que se requiere un diseño profundo desde la interfaz del usuario, así como su funcionamiento interno como su módulo de análisis y que quede clara su aportación y relevancia, que hagan visible la necesidad de su uso, ya que una herramienta de cualquier tipo necesita ser entendida y aceptada por los usuarios para tener éxito, es por eso que es importante reportar y demostrar su validez, exactitud y que su documentación e interfaz sean fáciles de entender y claras.

Este trabajo presenta una herramienta completa para la recolección de datos de comportamiento de atención visual, la conclusión de esta herramienta requirió un arduo trabajo de diseño para poder llevarlo a cabo, pero también requirió de mejora y corrección de errores que fue apoyado con la creación de manuales técnicos y de usuario, ya que debe ser fácil de instalar en cualquier computadora con sistema operativo Windows.

Pero además de la herramienta de recolección también se propuso un marco de trabajo para abordar el estudio de las variables de la atención con respecto a su influencia en trastornos de atención como un principio de una investigación que puede ser muy amplia ya que ha sido poco explorada.

6.2. Trabajo futuro

Como trabajo futuro existen una extensa cantidad de posibilidades para su uso y mejora, ya que la herramienta permite que se le adapten diferentes tipos de seguidores oculares y diferentes motores de Inteligencia Artificial.

En cuanto a lo relacionado con el motor de inteligencia artificial, se puede incluir la optimización del algoritmo usado en el presente trabajo se puede tomar como una de tantas labores a futuro, ya que desde la implementación del algoritmo de Random Forest puede ser mejorada, así como las estrategias de optimización de hiperparámetros pueden ser exploradas. Por otro lado, la implementación de otro tipo de algoritmos de clasificación también se recomienda como trabajo a futuro ya que su desempeño también demostrará su aptitud para trabajar con datos de seguidores oculares.

Otro aspecto importante del futuro de la herramienta es la exploración de las variables del hábitat que afectan en los síntomas sensoriales de los trastornos de atención, ya que en presente trabajo se presenta una propuesta de marco de trabajo para que se encuentren lo que relaciona los trastornos de atención con los espacios, y que no hemos obtenido aún resultados concluyentes pero que nos dan un indicio de que existen esas relaciones y que están aún por descubrirse, que podrán ayudar a crear espacios para el apoyo a las personas con trastornos de atención, creados especialmente para ellos.

En cuanto a la herramienta de recolección se pueden mejorar tanto su interfaz en cuanto a velocidad de ejecución, así como también la experiencia del usuario, además de la creación de versiones para diferentes sistemas operativos.

Referencias

Aceves-Fernández, M. A. (2021). Inteligencia artificial para programadores Con Prisa. Universo de letras. ISBN: 9788418856723

Alirezaei, M., & Sardouie, S. H. (2017, November). Detection of human attention using EEG signals. In 2017 24th national and 2nd international Iranian conference on biomedical engineering (icbme) (pp. 1-5). IEEE.

Alstrup, S., San Agustin, J., Tall, M., & Skovsgaard, H. (2016). <https://theeyetribe.com/dev.theeyetribe.com/dev.theeyetribe.com/general/index.html>, 02 de septiembre de 2022.

Altenmüller-Lewis, U. (2017). Designing schools for students on the spectrum. *The Design Journal*, 20(sup1), S2215-S2229.

American Academy of Pediatrics. (2000). Clinical practice guideline: diagnosis and evaluation of the child with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Pediatrics*, 5, 1158-1170.

American Psychiatric Association. (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®). American Psychiatric Pub.

Anstey, E. (1999). Dominó D-48 (12.a ed.). TEA Ediciones.

Becker, K. B., & McCloskey, L. A. (2002). Attention and conduct problems in children exposed to family violence. *American journal of orthopsychiatry*, 72(1), 83-91

Bergstra, J., & Bengio, Y. (2012). Random search for hyper-parameter optimization. *Journal of machine learning research*, 13(2)..

Bodoque Osma, A. R. (2015). Detección de la condición TDAH en niños/as de la Provincia de Cuenca mediante la Escala Magallanes de Detección de Déficit de Atención (EMA-DDA).

Borys, M., & Plechawska-Wójcik, M. (2017). Eye-tracking metrics in perception and visual attention research. *EJMT*, 3, 11-23.

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45, 5-32.

Brown, T. E. (2005). Attention deficit disorder: The unfocused mind in children and adults. Yale University Press.

Bruchmüller, K., Margraf, J., & Schneider, S. (2012). Is ADHD diagnosed in accord with diagnostic criteria? Overdiagnosis and influence of client gender on diagnosis. *Journal of consulting and clinical psychology*, 80(1), 128.

Campos, A. (2009). Spatial imagery: A new measure of the visualization factor. *Cognition and Personality*, 29(1), 31-39.

Carabantes, M. (2020). Black-box artificial intelligence: an epistemological and critical analysis. *AI & society*, 35(2), 309-317.

Charach, A., & Fernandez, R. (2013). Enhancing ADHD medication adherence: challenges and opportunities. *Current psychiatry reports*, 15(7), 371.

Carlson, C. L. (2002). Sluggish Cognitive Tempo Predicts a Different Pattern of Impairment in the Attention Deficit Hyperactivity Disorder, Predominantly Inattentive Type.

Carrasco, M. (2018). How visual spatial attention alters perception. *Cognitive processing*, 19, 77-88.

CDC (2019). Data and Statistics About ADHD, consultado en 08 de octubre del 2019 <https://www.cdc.gov/ncbddd/adhd/data.html>

Chung, W., Jiang, S. F., Paksarian, D., Nikolaidis, A., Castellanos, F. X., Merikangas, K. R., & Milham, M. P. (2019). Trends in the Prevalence and Incidence of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Among Adults and Children of Different Racial and Ethnic Groups. *JAMA network open*, 2(11), e1914344-e1914344.

Coneo, E., Martínez, C., & Amed, E. (2019). Atención visual y auditiva y su relación con el rendimiento académico en estudiantes de secundaria. *Espacios*, 40(19), 29.

Conners, C. K. (1990). *Manual for the Conners' Rating Scales*, Toronto: Multi-Health Systems.

Craig, F., Lamanna, A. L., Margari, F., Matera, E., Simone, M., & Margari, L. (2015). Overlap between autism spectrum disorders and attention deficit hyperactivity disorder: searching for distinctive/common clinical features. *Autism research*, 8(3), 328-337.

Cutler, A., Cutler, D. R., & Stevens, J. R. (2012). Random forests. *Ensemble machine learning: Methods and applications*, 157-175.

Dalmajer, E. S., Mathôt, S., & Van der Stigchel, S. (2014). PyGaze: An open-source, cross-platform toolbox for minimal-effort programming of eyetracking experiments. *Behavior research methods*, 46, 913-921.

DSM-5 American Psychiatric Association. (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders. Arlington: American Psychiatric Publishing.

Esterman, M., & Rothlein, D. (2019). Models of sustained attention. *Current opinion in psychology*, 29, 174-180.

Faraone, S. V., & Biederman, J. (2005). What is the prevalence of adult ADHD? Results of a population screen of 966 adults. *Journal of attention disorders*, 9(2), 384-391.

Fayyad, J., Sampson, N. A., Hwang, I., Adamowski, T., Aguilar-Gaxiola, S., Al-Hamzawi, A., ... & Gureje, O. (2017). The descriptive epidemiology of DSM-IV Adult ADHD in the world health organization world mental health surveys. *ADHD Attention Deficit and Hyperactivity Disorders*, 9(1), 47-65.

Fortenbaugh, F. C., DeGutis, J., & Esterman, M. (2017). Recent theoretical, neural, and clinical advances in sustained attention research. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1396(1), 70.

Gualtieri, C. T., & Johnson, L. G. (2005). ADHD: Is objective diagnosis possible?. *Psychiatry (Edgmont)*, 2(11), 44.

Gutiérrez-de Piñeres Botero, C. (2019). *Visión humana y movimientos oculares*.

Heller, E. (2004). *Psicología del color*.

Hernández Vázquez, J. M. (2010). Habitabilidad educativa de las escuelas: Marco de referencia para el diseño de indicadores. *Sinéctica*, (35), 1-14.

Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. OUP Oxford.

James, W., & Barnés, D. (1909). *Principios de psicología* (Vol. 1). Daniel Jorro.

Kaplan, S. (1995). The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. *Journal of environmental psychology*, 15(3), 169-182.

Karthik, G., Amudha, J., & Jyotsna, C. (2019, November). A custom implementation of the velocity threshold algorithm for fixation identification. In *2019 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)* (pp. 488-492). IEEE.

Kasim, Ö. (2023). Identification of attention deficit hyperactivity disorder with deep learning model. *Physical and Engineering Sciences in Medicine*, 1-10.

Kennedy, J. (2006). Swarm intelligence. In Handbook of nature-inspired and innovative computing: integrating classical models with emerging technologies (pp. 187-219). Boston, MA: Springer US.

King, A. J., Cooper, G. F., Clermont, G., Hochheiser, H., Hauskrecht, M., Sittig, D. F., & Visweswaran, S. (2020). Leveraging eye tracking to prioritize relevant medical record data: comparative machine learning study. *Journal of medical Internet research*, 22(4), e15876.

Kotsiantis, S. B., Zaharakis, I., & Pintelas, P. (2007). Supervised machine learning: A review of classification techniques. *Emerging artificial intelligence applications in computer engineering*, 160(1), 3-24.

Kuo, F. E. (2011). Parks and other green environments: 'essential components of a healthy human habitat'. *Australasian Parks and Leisure*, 14(1), 10-12.

Lago, M. R., Roig, D. A., de Noreña, D., & Sánchez, J. M. R. (2014). Atención. In *Neurociencia cognitiva* (pp. 177-195).

Landhuis, C. E., Poulton, R., Welch, D., & Hancox, R. J. (2007). Does childhood television viewing lead to attention problems in adolescence? Results from a prospective longitudinal study. *Pediatrics*, 120(3), 532-537

Lenartowicz, A., & Loo, S. K. (2014). Use of EEG to diagnose ADHD. *Current psychiatry reports*, 16(11), 498.

Leyva-Vázquez, M., & Smarandache, F. (2018). Inteligencia Artificial: retos, perspectivas y papel de la Neutrosofía. *Infinite Study*.

Li, B. H., Hou, B. C., Yu, W. T., Lu, X. B., & Yang, C. W. (2017). Applications of artificial intelligence in intelligent manufacturing: a review. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 18, 86-96.

Lis, S., Baer, N., Stein-en-Nosse, C., Gallhofer, B., Sammer, G., & Kirsch, P. (2010). Objective measurement of motor activity during cognitive performance in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 122(4), 285-294

Liversedge, S. P., & Findlay, J. M. (2000). Saccadic eye movements and cognition. *Trends in cognitive sciences*, 4(1), 6-14.

Lord, C., Elsabbagh, M., Baird, G., & Veenstra-Vanderweele, J. (2018). Autism spectrum disorder. *The lancet*, 392(10146), 508-520.

Loukas, A. (2007). What is school climate. *Leadership compass*, 5(1), 1-3.

Luxton, D. D. (2016). An introduction to artificial intelligence in behavioral and mental health care. In *Artificial intelligence in behavioral and mental health care* (pp. 1-26). Academic Press.

Mahesh, B. (2020). Machine learning algorithms-a review. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. [Internet], 9(1), 381-386.

Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., & Hubel, D. H. (2004). The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature reviews neuroscience*, 5(3), 229-240.

Matos, R. (2010). Designing eye tracking experiments to measure human behavior. Merriënboer, JJG van, and Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17.

Matute, E., Roselli, M., Ardila, A., & Ostrosky, F. (2014). ENI-2 Evaluación Neuropsicológica Infantil Manual de Aplicación. México, DF: Manual Moderno.

Mayes, S. D., Calhoun, S. L., Mayes, R. D., & Molitoris, S. (2012). Autism and ADHD: Overlapping and discriminating symptoms. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 6(1), 277-285.

McGee, R. A., Clark, S. E., & Symons, D. K. (2000). Does the Conners' continuous performance test aid in ADHD diagnosis? *Journal of Abnormal*.

Medina, F., & Galván, M. (2007). Imputación de datos: teoría y práctica. Cepal.

Melero, F. L., & Sevilla, G. J. (2008). Manual de psicología de la atención: una perspectiva neurocientífica (Biblioteca de psicología) (Spanish Edition) (1st ed.). Sintesis.

Mohamed, A. O., Da Silva, M. P., & Courboulay, V. (2007). A history of eye gaze tracking.

Morrow, R. L., Garland, E. J., Wright, J. M., Maclure, M., Taylor, S., & Dormuth, C. R. (2012). Influence of relative age on diagnosis and treatment of attention-deficit/hyperactivity disorder in children. *cmaj*, 184(7), 755-762.

Mostafa, M. (2008). An architecture for autism: Concepts of design intervention for the autistic user. *International Journal of Architectural Research*, 2(1), 189-211.

Mostafa, M. (2014). Architecture for autism: Autism ASPECTSS™ in school design. *International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR*, 8(1), 143-158.

Mozaffar, F., & Somayeh Mirmoradi, S. (2012). Effective use of nature in educational spaces design. *Organization, technology & management in construction: an international journal*, 4(1), 381-392.

Mulvey, F., & Heubner, M. (2014). Eye movements and attention. In *Assistive technologies: Concepts, methodologies, tools, and applications* (pp. 1030-1054). IGI Global.

Narad, M. E., Garner, A. A., Peugh, J. L., Tamm, L., Antonini, T. N., Kingery, K. M., ... & Epstein, J. N. (2015). Parent-teacher agreement on ADHD symptoms across development. *Psychological assessment*, 27(1), 239.

National Center for Health Statistics: The National Survey of Children's Health (NSCH), 2011-2012: The public use data file and documentation. 2013, Hyattsville, MD, US Department of Health and Human Services.

NCBDDD, National Center on Birth Defects and Developmental Disabilities, Centers for Disease Control and Prevention. Attention-Deficit / Hyperactivity Disorder (ADHD). Consultado en 10 de octubre del 2019, <https://www.cdc.gov/ncbddd/adhd/diagnosis.html>

Nichols, J. A., Herbert Chan, H. W., & Baker, M. A. (2019). Machine learning: applications of artificial intelligence to imaging and diagnosis. *Biophysical reviews*, 11, 111-118.

Niedermeyer, E. (2005). The normal EEG of the waking adult. *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields*, 167, 155-164.

Noterdaeme, M., Amorosa, H., Mildemberger, K., Sitter, S., & Minow, F. (2001). Evaluation of attention problems in children with autism and children with a specific language disorder. *European child & adolescent psychiatry*, 10(1), 58-66.

Pinto, Y., van der Leij, A. R., Sligte, I. G., Lamme, V. A., & Scholte, H. S. (2013). Bottom-up and top-down attention are independent. *Journal of vision*, 13(3), 16-16.

Posner, M. I., & Fan, J. (2001). *Attention as an organ system*. National Institutes of Health.

Ostrosky, F. (2018, enero). Hiperactividad y déficit de atención, problema de salud. <https://www.gaceta.unam.mx/hiperactividad-y-deficit-de-atencion-problema-de-salud/>
Consultado en 19 de octubre del 2019

Pérez-Álvarez, M. (2017). The four causes of ADHD: Aristotle in the classroom. *Frontiers in psychology*, 8, 928.

Pita Fernández, S., & Pértegas Díaz, S. (2003). Pruebas diagnósticas: Sensibilidad y especificidad. *Cad Aten Primaria*, 10(1), 120-124.

Pournader, M., Ghaderi, H., Hassanzadegan, A., & Fahimnia, B. (2021). Artificial intelligence applications in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 241, 108250.

Probst, P., Wright, M. N., & Boulesteix, A. L. (2019). Hyperparameters and tuning strategies for random forest. *Wiley Interdisciplinary Reviews: data mining and knowledge discovery*, 9(3), e1301.

Probst, P. (2019). Hyperparameters, tuning and meta-learning for random forest and other machine learning algorithms (Doctoral dissertation, Imu).

Ramírez-Villegas, J. F., & Ramírez-Moreno, D. F. (2010). Una revisión de modelos de atención visual Bottom-up neurobiológicamente inspirados. *El hombre y la máquina*, (35), 143-152.

Sala, S. D., Laiacona, M., Trivelli, C., & Spinnler, H. (1995). Poppelreuter-Ghent's overlapping figures test: Its sensitivity to age, and its clinical use. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 10(6), 511-534.

Salminen, J., Jansen, B. J., An, J., Jung, S. G., Nielsen, L., & Kwak, H. (2018, March). Fixation and confusion: Investigating eye-tracking participants' exposure to information in personas. In *Proceedings of the 2018 conference on human information interaction & retrieval* (pp. 110-119).

Salvucci, D. D., & Goldberg, J. H. (2000, November). Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. In *Proceedings of the 2000 symposium on Eye tracking research & applications* (pp. 71-78).

Sarter, M., Givens, B., & Bruno, J. P. (2001). The cognitive neuroscience of sustained attention: where top-down meets bottom-up. *Brain research reviews*, 35(2), 146-160.

Sayal, K., Prasad, V., Daley, D., Ford, T., & Coghill, D. (2018). ADHD in children and young people: prevalence, care pathways, and service provision. *The Lancet Psychiatry*, 5(2), 175-186..

Scahill, L., & Schwab-Stone, M. (2000). Epidemiology of ADHD in school-age children. *Child and adolescent psychiatric clinics of North America*, 9(3), 541-555.

Shaughnessy, M. F., & Waggoner, C. R. (2015). The Educational Implications of ADHD: Teachers and Principals Thoughts Concerning Students with ADHD. *Creative Education*, 6(02), 215.

Schwarz, A. (2017). *ADHD nation: Children, doctors, big pharma, and the making of an American epidemic*. Simon and Schuster.

Sjöwall, D., Roth, L., Lindqvist, S., & Thorell, L. B. (2013). Multiple deficits in ADHD: executive dysfunction, delay aversion, reaction time variability, and emotional deficits. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 54(6), 619-627.

Skaramagkas, V., Giannakakis, G., Ktistakis, E., Manousos, D., Karatzanis, I., Tachos, N. S., ... & Tsiknakis, M. (2021). Review of eye tracking metrics involved in emotional and cognitive processes. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 16, 260-277.

Sokolova, M., Japkowicz, N., & Szpakowicz, S. (2006, December). Beyond accuracy, F-score and ROC: a family of discriminant measures for performance evaluation. In *Australasian joint conference on artificial intelligence* (pp. 1015-1021). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Soraa, M., Iraola, J. A., Balluerka, N., & Soraa, G. (2009). Evaluación de la atención sostenida de niños con trastorno por déficit de atención con hiperactividad. *Revista de Psicodidáctica*, 14(1), 13-27.

Styles, E. A. (2010). *Psicología de la atención*. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces.

Thapa, A., Cohen, J., Guffey, S., & Higgins-D'Alessandro, A. (2013). A review of school climate research. *Review of educational research*, 83(3), 357-385.

Theeuwes, J. (2013). Feature-based attention: It is all bottom-up priming. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1628), 20130055. MENESSES, S. (2004). Trastornos de la atención. *Sinética, Revista Electrónica de Educación*, (25), 67-74.

Thorne, C. Villegas, O, Martínez, P., Rossel, Z., 8% Twanama, W. (1985). El Test de Dominos: elaboración de baremos para la población de Lima Metropolitana (1985). *Revista de Psicología*, 3(2), 163-181.

Timimi, S., & Taylor, E. (2004). ADHD is best understood as a cultural construct. *The British Journal of Psychiatry*, 184(1), 8-9.

Timimi, S., & Radcliffe, N. (2005). The rise and rise of attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of Public Mental Health*, 4(2), 9.

Tseng, P. H., Cameron, I. G., Pari, G., Reynolds, J. N., Munoz, D. P., & Itti, L. (2013, jan). High-throughput classification of clinical populations from natural viewing eye movements. *Journal of Neurology*, 260(1), 275–284. doi: 10.1007/s00415-012-6631-2.

Türkan, B. N., Amado, S., Ercan, E. S., & Perçinel, I. (2016). Comparison of change detection performance and visual search patterns among children with/without adhd: Evidence from eye movements. *Research in developmental disabilities*, 49, 205–215

Underwood, G., & Everatt, J. (1992). The role of eye movements in reading: some limitations of the eye-mind assumption. In *Advances in psychology* (Vol. 88, pp. 111-169). North-Holland.

Vizcaíno-Salazar, G. J. (2021). Importancia del cálculo de la sensibilidad, la especificidad y otros parámetros estadísticos en el uso de las pruebas de diagnóstico clínico y de laboratorio. *Medicina & laboratorio*, 23(07-08), 365-386.

Visser, S. N., Danielson, M. L., Bitsko, R. H., Holbrook, J. R., Kogan, M. D., Ghandour, R. M., ... & Blumberg, S. J. (2014). Trends in the parent-report of health care provider-diagnosed and medicated attention-deficit/hyperactivity disorder: United States, 2003–2011. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 53(1), 34-46.

Wakefield, J. C. (2015). DSM-5, psychiatric epidemiology and the false positives problem. *Epidemiology and Psychiatric Sciences*, 24(3), 188-196.

Warner, S. A., & Myers, K. L. (2009). The creative classroom: The role of space and place toward facilitating creativity. *Technology and Engineering Teacher*, 69(4), 28.

Weder, N. (2013). Are we there yet? Electroencephalography as a diagnostic tool for attention-deficit/hyperactivity disorder.

Wolraich, M. L., McKeown, R. E., Visser, S. N., Bard, D., Cuffe, S., Neas, B., ... & Danielson, M. (2014). The prevalence of ADHD: its diagnosis and treatment in four school districts across two states. *Journal of Attention Disorders*, 18(7), 563-575.

Woodrow, H. (1914). The measurement of attention. The psychological monographs, 17(5), i.

Xu, G., Strathearn, L., Liu, B., Yang, B., & Bao, W. (2018). Twenty-year trends in diagnosed attention-deficit/hyperactivity disorder among US children and adolescents, 1997-2016. *JAMA network open*, 1(4), e181471-e181471.

Yacouby, R., & Axman, D. (2020, November). Probabilistic extension of precision, recall, and f1 score for more thorough evaluation of classification models. In *Proceedings of the first workshop on evaluation and comparison of NLP systems* (pp. 79-91).

Yates, A. J. (1970). La definición de terapia conductual. *Revista latinoamericana de psicología*, 2(2), 113-121.

Zabinsky, Z. B. (2009). Random search algorithms. Department of Industrial and Systems Engineering, University of Washington, USA.

Zaletelj, J. (2017, September). Estimation of students' attention in the classroom from kinect features. In *Proceedings of the 10th international symposium on image and signal processing and analysis* (pp. 220-224). IEEE.

ANEXOS

A. Carta de Consentimiento

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA



Doctorado en Innovación,

Tecnología y Hábitat

CARTA DE
CONSENTIMIENTO



Santiago de Querétaro, Querétaro., a __de__de 20__

No. de Registro: _____

Datos Generales

Edad: _____

Estado de Salud:

(a) Sano (b) Otro. Especifique: _____

Género:

(a) Femenino (b) Masculino

Fuma:

(a) Sí (b) No

Bajo tratamiento médico:

(a) Sí (b) No

Toma algún medicamento o suplemento:

(a) Ninguno (b) Sí. Especifique: _____

Uso de anteojos:

(a) Sí (b) No

Lateralidad:

(a) Izquierda

(b) Derecha

Horas de sueño: _____

Horas de ayuno: _____

Horas de actividad física a la semana: _____

He sido invitado de manera libre y sin coerción alguna, a participar de forma completamente voluntaria como sujeto de prueba en el proyecto denominado **Propuesta de aporte tecnológico para la medición de niveles de atención en niños, registrado** ante la Universidad Autónoma de Querétaro. Entiendo que las pruebas realizadas serán para el registro de mis respuestas a una prueba en la computadora y de la posición de la mirada en un monitor, para esto, se usará una computadora personal y método de obtención de datos no invasivo colocado al lado del monitor para la adquisición de todos los datos.

Declaro que se me ha hecho informe que los posibles riesgos, inconvenientes, molestias y beneficios derivados de mi participación en el estudio son mínimos y poco comunes y de que antes de realizar las pruebas reales se hará una prueba de adaptación para evitarlos. Soy consciente de que no habrá beneficios para mi persona y que no se me recompensará económicamente. Se me ha proporcionado el nombre de los investigadores responsables que puede ser fácilmente contactado dentro de la institución universitaria para cualquier duda o inquietud, quienes se han comprometido a darme la información oportuna sobre cualquier duda, pregunta o aclaración. He leído o me ha sido leída la información proporcionada la cual he comprendido. He tenido la oportunidad de preguntar sobre ella y se me ha contestado satisfactoriamente las preguntas que he realizado. Consiento voluntariamente participar en esta investigación como participante y entiendo que tengo el derecho de retirarme de la investigación en cualquier momento sin que me afecte en ninguna manera ya que mi participación es de manera voluntaria.

Adicionalmente, eximo, deslindo de toda responsabilidad y estoy de acuerdo en no levantar ninguna demanda civil, penal, y reparadora del daño en contra de la Universidad Autónoma de Querétaro, de los investigadores responsables del estudio, ni de ningún empleado, profesores, estudiantes y/o voluntarios de la Institución; esto incluye a mi persona y mi familia. Así mismo se incluye a lo anterior

cualquier daño, robo, lesión personal, muerte accidental o cualquier otra situación que pueda resultar de mi participación en el estudio denominado anteriormente (y que posiblemente haya podido ser causada por negligencia de alguna de las partes mencionadas en este párrafo en cualquier momento que haya sucedido).

Nombre y firma del sujeto de estudio:

Nombre y firma del responsable del sujeto de estudio:

He leído con exactitud o he sido testigo de la lectura exacta del documento de consentimiento informado para el potencial participante y el individuo ha tenido la oportunidad de hacer preguntas. Confirmando que el individuo ha dado consentimiento libremente.

Nombre y Firma del Investigador:

Núm. de Tel. del Investigador: _____

Correo electrónico del Investigador: _____

B. Carta de Confidencialidad



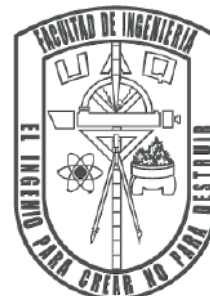
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Doctorado en Innovación,

Tecnología y Hábitat

CARTA DE
CONFIDENCIALI
DAD



Santiago de Querétaro, Querétaro., a _____ de _____ de 20____

No. de Registro: _____

Por medio de la presente,

el _____ (la) _____ que _____ suscribe,

_____ responsable de _____, he leído y comprendido los lineamientos del proyecto denominado **Propuesta de aporte tecnológico para la medición de niveles de atención en niños** y de manera libre, voluntaria y sin coerción alguna, bajo protesta de decir la verdad autorizo a los investigadores de dicho estudio a que la información y datos generados en dicho estudio sean utilizados únicamente con fines de investigación. Además, que estos datos estarán a disposición del público en general, institución y/o organización interesada en ellos y podrán ser utilizados según sus intereses. Así mismo queda estipulado que mi información personal estará resguardada y protegida bajo la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares de los Estados Unidos Mexicanos, en su Capítulo II, artículos 11, 12, 19, 21, 24, 36, 44, 47; Capítulo III, artículos 63, 64, 65, 66 y Capítulo VII artículos 101, 102, 103, 106, 109.

Nombre y firma del sujeto de estudio

Nombre y firma del responsable
del sujeto de estudio

Contacto e informes: Dr. Marco Aceves Fernández, marco.aceves@uaq.mx



Contents lists available at ScienceDirect

Data in Brief

journal homepage: www.elsevier.com/locate/dib



Data Article

A dataset on eye movement tracking during the resolution of neuropsychological tests on a screen



María del Carmen Cabrera-Hernández^{*},
Carlos Alberto García-Ezquerri, Marco Antonio Aceves-Fernández^{*},
Jesús Carlos Pedraza-Ortega, Saúl Tovar-Arriaga

Universidad Autónoma de Querétaro, Faculty of Engineering, Road to Chichimequillas S/N, Ejido Botafios 76140,
Santiago de Querétaro, Querétaro

ARTICLE INFO

Article history:

Received 19 January 2024

Revised 29 May 2024

Accepted 3 June 2024

Available online 9 June 2024

Dataset link: [TDAH-repository \(Original data\)](#)

Keywords:

Domino test

D-48

Unfolded cubes test

MASMI

Figure series completion test

Csapió

Poppelreuter Figures test

Eye tracking

ABSTRACT

The dataset provides data obtained with eye-tracking while 55 volunteers solved 3 distinct neuropsychological tests on a screen inside a closed room. Among the 55 volunteers, 22 were women and 33 were men, all with ages ranging between 9 and 50, and 5 of whom were diagnosed with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) [1]. The eye-tracker used for the collection of the data was an EyeTribe, which has a sampling rate of 60 Hz and an average visual angle between 0.5 and 1, which correspond to an on-screen error between 0.5 and 1 cm (0.1969 to 0.393 inches aprox) respectively, when the distance to the user is around 60 cm (23.62 in) [2], which was the case during the collection of these data. The neuropsychological tests were implemented in a software named NEURO-INNOVA KIDS® [3], which are the following: a domino test adapted from the D-48 intelligence test [4], an adaptation of the MASMI test consisting of unfolded cubes [5], the figures series completion test adapted from [6], and the Poppelreuter figures test [7]. Before each of the tests, a calibration process was performed, ensuring that the visual angle error was less than or equal to 0.5 cm (0.1969 in), which is considered an acceptable calibration.

^{*} Corresponding authors.

E-mail addresses: maria.delcarmen.cabrera@uaq.mx (M.d.C. Cabrera-Hernández), marco.aceves@uaq.mx (M.A. Aceves-Fernández).

<https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110601>

2352-3409/© 2024 The Author(s). Published by Elsevier Inc. This is an open access article under the CC BY-NC license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

tion. The collective mean duration of the four administered tests amounted to 20 minutes. This dataset exhibits significant promise for potential utilization due to the extensive prevalence of these neuropsychological assessments among healthcare practitioners for evaluating diverse cognitive faculties in individuals. Moreover, it has been empirically established that poor performance on these tests is associated with attention deficits [8].

© 2024 The Author(s). Published by Elsevier Inc.
This is an open access article under the CC BY-NC license
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Specifications Table

| | |
|--------------------------|--|
| Subject | Experimental and Cognitive Psychology |
| Specific subject area | Neuropsychology and Physiological Psychology |
| Data format | Raw. Tsv and txt format |
| Type of data | Comma-separated Values |
| Data collection | An EyeTribe eye-tracker with 60Hz sampling rate was used to measure eye movements of volunteers while answering neuropsychological tests on a screen with resolution 1080 × 1920. This was performed having the patient at a distance of approximately 60cm (23.622 in) of the eye tracking for ensuring optimal visual angle error as per the eye-tracker documentation. |
| Data source location | <ul style="list-style-type: none"> - Institution: Universidad Autónoma de Querétaro - City/Town/Region: Santiago de Querétaro - Country: Mexico - Latitude and longitude: 20°35'28"N 100°24'42"W |
| Data accessibility | Repository name: TDAH-repository Direct URL to data: https://github.com/marcoaaceves/TDAH-repository Instructions for accessing these data: The instructions are just open the URL and download the zip file (EntireDB.zip). Unzip the file. DOI: 10.5281/zenodo.10519124 |
| Related research article | Bedolla-Ibarra, M. G., Cabrera-Hernandez, M. C., Aceves-Fernández, M. A., & Tovar-Arriaga, S. (2022). Classification of attention levels using a Random Forest algorithm optimized with Particle Swarm Optimization. <i>Evolving Systems Journal</i> , 2-20. |

1. Value of the Data

- The utilization of eye-tracking data offers a valuable avenue for gaining insights into cognitive processes and mechanisms of attention. This resource is particularly beneficial for researchers seeking to gain a comprehensive understanding of how individuals process visual information, make decisions, and allocate their attention during a diverse range of tasks.
- This dataset possesses the potential to contribute to the development of diagnostic tools within the realm of neuropsychology. Specifically, they can assist in the identification of impairments related to visual attention, gaze patterns, and fixation durations, which may serve as indicative markers of certain cognitive disorders or neurological conditions [9]. In this context, such data can also facilitate the creation of assessment tools for gauging the effectiveness of treatments and interventions for cognitive disorders, as alterations in eye movement patterns before and after treatment can furnish compelling evidence of treatment efficacy [11].

- A diverse spectrum of behavioral researchers, encompassing disciplines such as psychology, linguistics, and the social sciences, stands to gain substantial advantages from these data when harnessed for the formulation of assessment tools.
- In addition, this dataset comprises performance data derived from four discrete neuropsychological tests, thereby offering valuable resources for the assessment of diverse cognitive processes [5,6,10]. Consequently, professionals in the field of computer science can exploit this information to engender a multitude of specialized tools.

2. Background

Eye-trackers are devices that provide raw data on the horizontal and vertical positions of gaze of a subject on a screen in a given moment. In particular, the Gazepoint GP3 eye-tracker is capable of sampling 60 gaze positions per second [2].

Eye-tracking was performed on 3 distinct tests: the domino test, the unfolded cubes test, and the Poppelreuter figures test. The Domino Test is a visual, non-verbal intelligence assessment adapted from the D-48 intelligence test developed by Anstey in 1999 [4], created to evaluate an individual's capacity for conceptualization and the application of systematic reasoning to novel challenges. It involves identifying the card that logically extends a given series in each question [10]. The unfolded cubes test is employed to gauge an individual's spatial reasoning skills; it assesses the capacity to mentally visualize objects and the ability to envision a three-dimensional body in various positions without compromising its inherent properties [5]. The Poppelreuter Figures test focuses on visual interference, presenting visual recognition tasks that become intricate due to the inclusion of distracting elements. The stimulus material includes the entire element to be identified, but it is obscured by the overlay of additional drawings, masking it and reducing its recognizability. The goal is to discern the target figure amidst the interfering elements [7].

3. Data Description

The repository houses organized data distributed across five distinct sub-folders within the overarching "Datos" folder. These sub-folders—"domino01" and "domino02" representing data from the domino test, "figuras01" corresponding to the poppelreuter figures test, and "kohs02" and "kohs04" aligning with the unfolded cubes test—comprise CSV format files.

Each file bears the subject number followed by the test name and encompasses three key columns. The first, left untitled, designates the sampled point number. The second, labeled "avgx," indicates the average position of both eyes along the horizontal axis of the screen. The third, named "avgx," denotes the average position of both eyes along the vertical axis of the screen.

The numerical values within the "avgx" and "avgx" columns are expressed with four decimal places. Negative values in these columns signify non-valid data points, typically occurring when the subject gazes outside the screen boundaries. Valid data points, on the other hand, have a minimum value of 0.0 for both columns, and maximum values of 1920 and 1080 for "avgx" and "avgx", respectively, corresponding to the screen resolution of the device utilized during the test procedures.

4. Experimental Design, Materials and Methods

The 3 tests were implemented in a registered software owned by the Universidad Autónoma de Querétaro, called NEURO-INNOVA KIDS®, having the figures series completion test and Poppelreuter figures test merge into a single one. This software was implemented with Python, and

linked to the eye-tracker with the use of its provided API [2], which contains the code for the calibration process.

The experimental process for each participant can be divided in the 5 steps described next:

1. The general procedure of test was explained to the participant (or guardian if they were under-age), answering any questions that they may have had. After the explanation, it was asked to the participant whether they'd like to withdraw, in which case the session ends, or to continue, in which case the participant was asked to sign the letter of consent.
2. Before starting the test, the materials were prepared as follows: the eye-tracker was placed right below the monitor, and the chair for the participant to sit on was located in such way that the participant's head was approximately 60cm (23.622 in) away from the monitor when seated. This setup was located in a closed room and with a comfortable seat inside the *Universidad Autónoma de Querétaro*.
3. Then, the correct communication between the software with the eye-tracker was verified, and calibration was performed as many times as necessary until the equipment was correctly calibrated, i.e., with an acceptable error (less than or equal to 0.5 of visual angle).
4. Once everything was ready, it was ensured that the participant was comfortable to restrain them from moving around too much, since this could interfere with the calibration of the eye-tracker. If necessary, the participant was instructed to avoid moving their face too much.
5. The participant was then instructed to start the tests, and was supervised until the end of these. The average duration of the tests was of 20 minutes.

Limitations

While it was ensured that the visual angle error was less than or equal to 0.5 with a calibration process, the data measured can still have slight differences with the exact position of the individuals' visions on the screen, given that despite telling the participants how to sit in front of the equipment, they did not always maintain the appropriate posture throughout the test.

Ethics Statement

Authors confirm having read and followed the ethical requirements for publication in Data in Brief and that informed consent was obtained from the participants in the tests, in accordance with the Declaration of Helsinki.

CRediT Author Statement

María del Carmen Cabrera-Hernández: Writing, Software, Investigation, Methodology. **Carlos Alberto García-Ezquerro:** Writing – Original Draft, Writing – Review & Editing, Conceptualization. **Marco Antonio Aceves-Fernández:** Project administration, Supervision, Conceptualization. **Jesús Carlos Pedraza Ortega:** Data Curation, Validation. **Saúl Tovar Arriaga:** Acquisition of the financial support for the project leading to this publication.

Data Availability

[TDAH-repository \(Original data\)](#) (Github).

Acknowledgements

Funding: This work was supported by the Universidad Autónoma de Querétaro [grant number not applicable]; and the National Conceit of Humanities, Science and Technologies (CONACYT) [grant number 1237638].

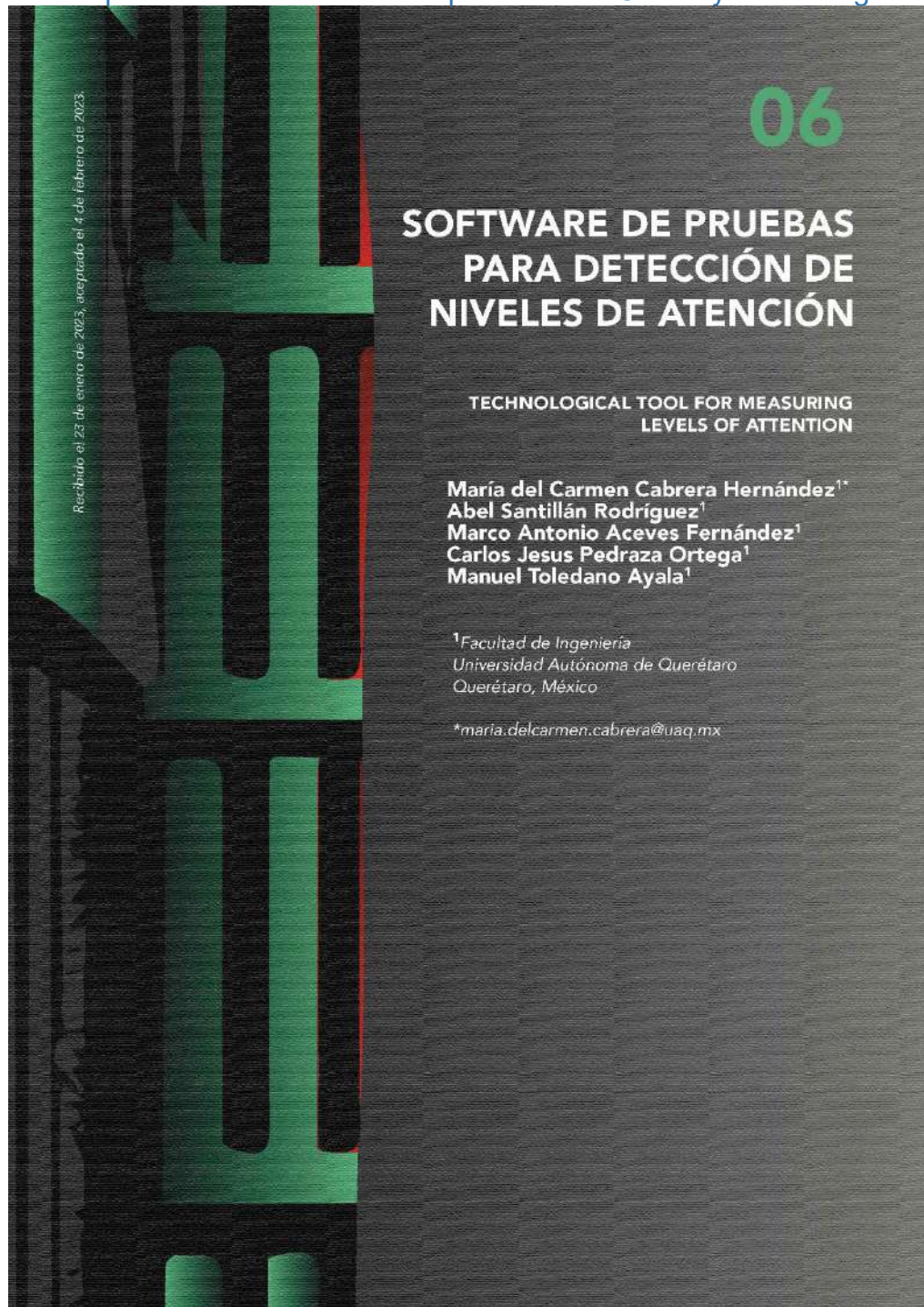
Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

- [1] M.G. Bedolla-Ibarra, M.C. Cabrera-Hernandez, M.A. Aceves-Fernández, S. Tovar-Arriaga, Classification of attention levels using a Random Forest algorithm optimized with Particle Swarm Optimization, *Evolving Systems Journal* (2022) 2–20, doi:10.1007/s12530-022-09444-2.
- [2] EyeTribe. (Consulted October 2023). <https://github.com/EyeTribe/documentation#category-calibration>.
- [3] INDAUTOR. (2022). Patent. "Sistema inteligente de pruebas para detección de niveles de atención". Registration number: 03-2022-071113515900-01.
- [4] Anstey E, Cordero PA (1999) Dominó D-48: manual, 12 edn, vol 1. TEA, isbn= 84-7174-600-X.
- [5] A Campos, Measure of the ability to rotate mental images, *Psicothema* 24 (3) (2012) 431–434.
- [6] B Csapó, et al., Development of inductive reasoning in students across school grade levels, *Think. Skills. Creat.* 37 (2020) 100699.
- [7] Hicks, C. C. (2021). Assessing Right Parietal Lobe Functions in Alzheimer's Disease Using the Mass Overlapping Figures Test (Doctoral dissertation, Middle Tennessee State University).
- [8] A Diamond, Executive functions, *Annu. Rev. Psychol.* 64 (2013) 135–168.
- [9] A.T. Duchowski, A breadth-first survey of eye-tracking applications, *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 34 (2002) 455–470, doi:10.3758/BF03195475.
- [10] C Kagitçibaci, 23. application of the D 48 test in Turkey, in: IJ Cronbach, PJD Drenth (Eds.), *Mental tests and cultural adaptation*, De Gruyter Mouton, 2018, pp. 223–232.
- [11] JL Reilly, R Lencer, JR Bishop, S Keedy, JA Sweeney, Pharmacological treatment effects on eye movement control, *Brain Cogn.* 68 (3) (2008 Dec) 415–435 PMID: 19028266; PMCID: PMC3159189, doi:10.1016/j.bandc.2008.08.026.

D. Artículo publicado en la Revista “Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología”



RESUMEN

El diagnóstico del trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) es con mayor frecuencia el que se realiza en la etapa temprana de la infancia. No es fortuito que los números varíen dependiendo del país y en algunos casos, como lo es México, se desconozcan las cifras oficiales de quienes padecen dicho trastorno; podríamos sugerir que es debido a los instrumentos de diagnóstico actuales, ya que ignoran los factores que intervienen en los mecanismos de atención, por ejemplo: el creciente número de TDAH podría estar sujeto a la noción social acerca de la infancia.

ABSTRACT

The diagnosis of attention disorders such as Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) is the most common in school-age children, however, the figures vary depending on the children's country of residence, and in some cases, Mexico does not have official figures of how many children suffer from it, this is believed to be due to the fact that current diagnostic instruments do not take into account all the factors that influence the mechanisms of attention, for example, the concept of childhood in society could be influencing the growing number of ADHD cases, among other factors.

La mejora de los procesos para detectar el TDAH es primordial para los profesionales del campo, llevándoles a analizar constantemente las pruebas que se aplican. Dentro de esta búsqueda de innovación, se plantea un software moderno, basado en exámenes históricamente utilizados para el diagnóstico oportuno del TDAH y enfocado en el análisis de la atención visual.

Dentro del objetivo del artículo es fundamental comprender los cimientos y el proceso de la atención en los niños. Por tal motivo proponemos una solución tecnológica multidisciplinaria, debido a que es necesario para efectuar un cotejo más fino de los niveles de atención del usuario. En el presente trabajo se utilizaron herramientas de seguimiento ocular en conjunto con pruebas de carga cognitiva y evaluaciones neuropsicológicas.

In this work, a proposal for a technological tool supported by various disciplines is presented that contributes to the objective of understanding how the attention process is in children to measure the levels of attention, using eye tracking tools. In conjunction with cognitive load tests and neuropsychological assessments.

Keywords: psychological tests, eye tracking, software, adhd, attention disorders.

Palabras clave: pruebas psicológicas, seguimiento ocular, software, TDAH, trastornos de atención.



E. Registro de Software

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES: ACEVES FERNÁNDEZ MARCO ANTONIO
BEDOLLA IBARRA MARÍA GUADALUPE
CABRERA HERNÁNDEZ MARÍA DEL CARMEN
MARTÍNEZ DELGADO DANIELA KARINA
SANTILLÁN RODRÍGUEZ ABEL

TÍTULO: SISTEMA INTELIGENTE DE PRUEBAS PARA DETECCIÓN DE NIVELES DE ATENCIÓN

RAMA: PROGRAMAS DE COMPUTACION

TITULAR: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO (CON FUND. EN EL ART. 83 DE LA L.F.D.A.)

Con fundamento en lo establecido por el artículo 163 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

El presente certificado se expide con fundamento en el Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, así como de otras leyes para crear la Secretaría de Cultura, publicado el 17 de diciembre de 2015 en el Diario Oficial de la Federación; artículos 26 y 41 Bis, fracción XVIII de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; artículos 2, 206, 209 fracción III de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículo 69-G de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo, de aplicación supletoria de acuerdo con lo establecido por la Ley Federal del Derecho de Autor en su artículo 10; artículo 84 de la Ley General de Mejora Regulatoria; artículos 2, apartado B, fracción IV, 26 y 27 del Reglamento Interior de la Secretaría de Cultura; artículos 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I, 9, 16 y 17 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor; ACUERDO por el que se establecen los Lineamientos para el uso de la Firma Electrónica Avanzada en los actos y actuaciones de los servidores públicos del Instituto Nacional del Derecho de Autor, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 19 de mayo del año dos mil veintiuno; y Acuerdo por el que se establecen las reglas para la presentación, substanciación y resolución de las solicitudes de registro de obras, fonogramas, videogramas y edición de libros en línea ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor, publicado el 8 de diciembre de 2021 en el Diario Oficial de la Federación.

1/2



CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA



INDAUTOR
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

El presente documento electrónico ha sido firmado mediante el uso de la firma electrónica avanzada por el servidor público competente, amparada por un certificado digital vigente a la fecha de su elaboración, y es válido de conformidad con lo dispuesto en los artículos 7 y 9, fracción I, de la Ley de Firma Electrónica Avanzada y artículo 12 de su Reglamento.

Número de Registro: 03-2022-071113515900-01

Ciudad de México, a 11 de julio de 2022

EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESÚS PARETS GÓMEZ



QUCHT5a/25qFCnqCkdzLunXNsAN8Ap7RinebWQIRD5hz1GMqMUBKZ68K85yYUzbDh3LxP477k29axNLBcf
0t45XzagVl9At4H6P2QIF8aB8Jy6yYUDh8Gc0hLMYPtGRHzH2s6ZGuXLgECVmc9AnZgSaS1ZjZy9u0FQdH
y0nrl+6r0sKZwCZVe9GKA8yEhGge0P5Sd5KJ+04tpdgKd12SSB4rDLq3KhrEIXtoal0VvZVTMqYjwb7ellLHm+
2uL.TG6G4H2SAXNJ6w90zF8GMh4cdJnnLrhAmQgLWxZqha9Mk4QbFT2y1+h72g03S7oGbcuZRR+fstH31/
==

2/2



CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA



INDAUTOR
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR

F. Transferencia de Tecnología



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
OFICINA DEL ABOGADO GENERAL



CONVENIO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA QUE CELEBRAN POR UNA PARTE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO, EN LO SUCESIVO "LA UAQ", REPRESENTADA EN ESTE ACTO POR SU ABOGADO GENERAL EL DR. GONZÁLO MARTÍNEZ GARCÍA, Y POR LA OTRA DANJELA IBRAHIMI, EN LO SUCESIVO "LA EMPRESARIARIA", REPRESENTADA EN ESTE ACTO POR LA DRA. DANJELA IBRAHIMI, AL TENOR DE LOS ANTECEDENTES, DECLARACIONES Y CLÁUSULAS SIGUIENTES:

ANTECEDENTES

1. "LA UAQ", es propietaria del "SISTEMA INTELIGENTE DE PRUEBAS PARA DETECCIÓN DE NIVELES DE ATENCIÓN", la cual se encuentra protegida mediante el certificado del Registro Público del Derecho de Autor número 03-2022-071113515900-01, expedido por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, el 11 de julio de 2022 el cual protege aspectos relacionados con la tecnología objeto del presente instrumento.

DECLARACIONES

I. DECLARA "LAUAQ"

1. La Universidad Autónoma de Querétaro es un organismo público descentralizado del Estado, dotado de autonomía, personalidad jurídica y patrimonio propio, conforme a lo establecido en el artículo 1o. de la Ley Orgánica de la Universidad Autónoma de Querétaro, publicada el 2 de enero de 1986 en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado "La Sombra de Arteaga".
2. Que de acuerdo con el artículo 6 de su Ley Orgánica, tiene como objeto impartir, fomentar y divulgar la educación superior, elevar el nivel moral e intelectual de los alumnos y formar profesionistas, investigadores y técnicos útiles a la colectividad; promover manifestaciones culturales, artísticas y deportivas; desarrollando en sus educandos las cualidades que tiendan al perfeccionamiento integral de la persona, dentro de la Verdad y el Honor, con base en la libertad de cátedra e investigación.
3. Que el Dr. Gonzalo Martínez García, es su Abogado General y Apoderado Legal, en los términos de su Testimonio Notarial relativo a la Escritura Pública número 36,691 de fecha 16 de junio de 2021, pasada ante la fe del Lic. Roberto Reyes Olvera, Notario Público número Uno de la ciudad de Querétaro, Qro., quien cuenta con las facultades suficientes para suscribir el presente instrumento.
4. Que tiene su domicilio en Centro Universitario, Cerro de las Campanas sin número, C.P. 76010 de la ciudad de Santiago de Querétaro, Querétaro, mismo que señala para todos los fines y efectos legales de este Convenio.

II. DECLARA "LA EMPRESARIARIA"

1. Que es una Persona Física con Actividad EMPRESARIARIA, según consta en la Constancia de Situación No.15090001456, de fecha 1 de septiembre de 2015, expedida por el Servicio de Administración Tributaria
2. Que para todos los efectos del presente Convenio señala como su domicilio el ubicado en Blvd. Jurica La Campana 1194, Juriquilla, Querétaro, Querétaro.

SOMOS UAQ
SERVIR CONSTRUIR TRANSFORMAR

Página 1 de 6

Centro Universitario, Cerro de las Campanas s/n, Santiago de Querétaro, Qro. México C.P. 76010
Tel. 192 12 00 Ext. 3110 y 3111, Fax 192 13 14, IP Phone 192 12 31



III. DECLARAN AMBAS PARTES

1. Que reconocen que "LA UAQ" es propietaria de la tecnología consistente en **un programa de cómputo que, mediante los algoritmos de procesamiento de datos y de inteligencia artificial apropiados, determina el nivel de atención del usuario**, en lo sucesivo referida como "LA TECNOLOGÍA", la cual se encuentra protegida mediante el certificado del Registro Público del Derecho de Autor número 03-2022-071113515900-01, expedido por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.
2. Que han decidido llevar a cabo el licenciamiento de "LA TECNOLOGÍA" en favor de "LA EMPRESARIA" a través del presente instrumento.
3. Que se garantizan mutuamente que tienen el derecho y autoridad para establecer el presente Convenio, y que no tienen ningún impedimento que pueda inhibir su capacidad para cumplir con los términos y condiciones que se les impongan mediante este instrumento, por lo que están conforme en sujetar su compromiso a las siguientes:

CLAÚSULAS

PRIMERA. OBJETO

El objeto del presente CONVENIO consiste en que "LA UAQ" otorga el licenciamiento gratuito por tiempo determinado de "LA TECNOLOGÍA" a "LA EMPRESARIA", para que ésta la use con fines de prueba dentro de los términos de su objeto social.

SEGUNDA. OBLIGACIONES DE "LA UAQ"

Para el cumplimiento del objeto de este Convenio, "LA UAQ" se compromete a través de la Facultad de Ingeniería, a:

- 1.1 Conceder gratuitamente la licencia no exclusiva y no transferible para el uso de "LA TECNOLOGÍA" a "LA EMPRESARIA" por 3 años contados a partir de la firma del presente instrumento.
- 1.2 Instalar y poner en marcha "LA TECNOLOGÍA" dentro de las instalaciones de "LA EMPRESARIA" de modo que ésta última pueda utilizarla y probar su funcionamiento.
- 1.3 Proporcionar todos los recursos humanos y materiales disponibles y necesarios para el cumplimiento del presente Convenio.
- 1.4 Proporcionar a "LA EMPRESARIA" la capacitación necesaria para el uso de la "TECNOLOGÍA".

TERCERA. OBLIGACIONES DE "LA EMPRESARIA"

Para la realización del objeto del presente instrumento, "LA EMPRESARIA" se compromete a:

- 3.1 Proporcionar todos los recursos humanos y materiales necesarios para el cumplimiento del presente Convenio.
- 3.2 Proporcionar el equipo de cómputo y/o cualquier dispositivo físico necesario para la operación de "LA TECNOLOGÍA".
- 3.3 Proporcionar mensualmente los datos medidos con la "TECNOLOGÍA", para el análisis por la "UAQ", para la generación de publicaciones científicas.



CUARTA. PROPIEDAD INTELECTUAL

4.1 Las partes reconocen que el licenciamiento que otorga "LA UAQ" en el presente convenio a "LA EMPRESARIA" se trata de un licenciamiento no exclusivo, intransferible y limitado a 3 años a partir de la firma del presente instrumento.

4.2 Las partes reconocen que "LA UAQ" seguirá siendo la titular de los derechos patrimoniales de "LA TECNOLOGÍA" y que el presente instrumento representa únicamente un licenciamiento de la misma. Por lo anterior, "LA UAQ" podrá seguir desarrollando, investigando y publicando sus resultados sobre el uso de "LA TECNOLOGÍA".

4.3 Ninguna de las partes usará el nombre de la otra parte para propaganda, publicidad, notas, etiquetado de producto o para cualquier otro propósito, a menos de que cuente con el consentimiento expreso y por escrito de la otra parte.

QUINTA. CONFIDENCIALIDAD

Las partes acuerdan que, durante la vigencia del presente Convenio, podrán divulgarse información confidencial, misma que deberá ser identificada como tal, para lo cual podrán emplearse los términos "Confidencial", "Reservado", etc. Asimismo, se comprometen a tomar todas las medidas que sean necesarias para preservar la confidencialidad respecto de cualquier información relacionada y mantener restringido el acceso a la misma.

Las partes se comprometen a mantener confidencialidad respecto a las actividades materia de este Convenio, hasta 10 años después del término de la vigencia del mismo.

La información derivada de este Convenio, no será divulgada a un tercero sin la previa autorización por escrito de las partes. Esta autorización será solicitada por escrito a la otra parte con 30 días calendario de anticipación.

SEXTA. PUBLICACIONES

Las partes reconocen que "LA UAQ" seguirá siendo la titular de los derechos patrimoniales de "LA TECNOLOGÍA" y que el presente instrumento representa únicamente un licenciamiento de la misma. Por lo anterior, "LA UAQ" podrá seguir desarrollando, investigando y publicando sus resultados sobre el uso de "LA TECNOLOGÍA".

Las partes convienen que "LA EMPRESARIA" podrá publicar los resultados en sus labores académicas o de investigación, dando el debido reconocimiento a los autores, previa autorización por escrito de "LA UAQ". Para ello someterá el manuscrito con 30 (treinta) días hábiles de anterioridad a la fecha en que pretenda someter la publicación. Si pasado ese tiempo no tuviera respuesta de la otra parte, se entenderá que aquélla ha dado su autorización.

SÉPTIMA. RESPONSABLES

"LA UAQ" nombra como líder del proyecto a la Mtra. María del Carmen Cabrera Hernández, adscrita a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Además de los colaboradores: Marco Antonio Aceves Fernández, como coordinador administrativo, y como colaboradores operativos: Jesús Carlos Pedraza Ortega, Abel Santillán Rodríguez y Carlos Alberto García Ezquerro. Por su parte, "LA EMPRESARIA" nombra como responsable a la Dra. Danjela Ibrahimí.

Los responsables por cada una de las partes serán los contactos institucionales por medio de los cuales serán presentadas todas las comunicaciones oficiales derivadas en este instrumento. Además, serán los responsables de las actividades encomendadas a su Institución.

OCTAVA. RELACIÓN LABORAL

Las partes convienen en que el personal que cada una aporte para la ejecución del objeto materia del presente Convenio, se entenderá exclusivamente relacionado con aquella que lo empleó, por ende, cada una de ellas asumirá su responsabilidad por este concepto y en ningún caso serán consideradas como patrones solidarios o sustitutos.

NOVENA. RESPONSABILIDAD CIVIL

9.1 Las partes no tendrán responsabilidad civil por daños y perjuicios que pudieran causarse como consecuencia del caso fortuito o fuerza mayor, particularmente por paro de labores académicas o administrativas, en virtud de lo cual pudieran encontrarse impedidas para cumplir oportunamente con los compromisos derivados del objeto y alcance del presente Convenio. En caso de interrupción de actividades por esta causa, ambas partes se comprometen a reiniciar sus actividades inmediatamente después de que las causas de fuerza mayor hayan desaparecido.

9.2 Que expresamente pactado que "LA UAQ" no tendrá responsabilidad civil por los daños o perjuicios que "LA EMPRESARIA" pudiera causar a terceros con motivo de la utilización o aplicación de "LA TECNOLOGÍA".

9.2.A "LA EMPRESARIA" reconoce y acepta que la utilización de la tecnología es responsabilidad exclusiva de "LA EMPRESARIA" y que "LA UAQ" no asume ninguna responsabilidad por cualquier consecuencia, daño o pérdida que pudiera surgir directa o indirectamente del uso de "LA TECNOLOGÍA".

9.2.B "LA EMPRESARIA" exonera a la Universidad, así como a sus funcionarios, empleados y representantes, de cualquier reclamo, demanda, acción legal o responsabilidad que pudiera surgir como resultado del uso de "LA TECNOLOGÍA", incluyendo, pero no limitándose a, reclamos por lesiones personales, daños a la propiedad, pérdidas económicas o cualquier otra forma de perjuicio.

9.3 "LA UAQ" no otorga ninguna garantía expresa o implícita con respecto a la tecnología, incluyendo, pero no limitándose a, garantías de comerciabilidad, idoneidad para un propósito particular, precisión o ausencia de infracción.

DÉCIMA. RESCISIÓN

Las partes convienen que será motivo de rescisión del presente Convenio:

- a) El que alguna declaración de este documento sea falsa.
- b) El incumplimiento de alguna de las obligaciones consignadas en este instrumento.
- c) Que "LA EMPRESARIA" sea declarada en concurso mercantil en cualquiera de sus etapas.

DÉCIMA PRIMERA. PROCEDIMIENTO DE RESCISIÓN

Si alguna de las partes considera que la contraparte ha incurrido en algunas de las causas de rescisión



que se consignan en este instrumento, lo comunicará por escrito a la otra, a fin de que la misma, en un plazo de 30 días hábiles, exponga lo que a su derecho convenga. Si después de analizar las razones aducidas, la parte demandante estima que las mismas no son satisfactorias, podrá optar por exigir el cumplimiento del Convenio, o bien la rescisión del mismo. En caso de rescisión, las partes tomarán todas las medidas necesarias para evitarse perjuicios.

DÉCIMA SEGUNDA. MODIFICACIONES

El presente Convenio sólo podrá ser modificado y/o adicionado mediante la firma del Convenio Modificatorio correspondiente, suscrito por quienes cuenten con facultades para ello y formarán parte integrante del presente instrumento, el cual obligará a las partes a partir de la fecha de su firma.

DÉCIMA TERCERA. VIGENCIA

El presente Convenio tendrá una vigencia de 3 años contados a partir de la fecha de su firma.

DÉCIMA CUARTA. JURISDICCIÓN

Para la interpretación, ejecución y cumplimiento del presente Convenio, así como para todo lo no previsto en el mismo, las partes se someten a la jurisdicción de los Tribunales Federales competentes de la ciudad de Santiago de Querétaro, Querétaro, por lo que renuncian a cualquier otro fuero que por razón de su domicilio actual o futuro pudiera corresponderles

Leído que fue el presente Convenio y enteradas las partes de su contenido y alcances, lo firman por duplicado en la ciudad de Santiago de Querétaro, Querétaro, el día 24 del mes de mayo de 2023.

POR "LA UAQ"


Dr. Gonzalo Martínez García
Abogado General de la UAQ


Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de la Facultad de Ingeniería

POR "LA EMPRESARIA"


Dra. Danjela Ibrahim





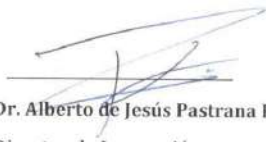
Mtra. María del Carmen Cabrera Hernández

Cargo: Líder del proyecto



Dr. Marco Antonio Aceves Fernández

Cargo: Coordinador administrativo



Dr. Alberto de Jesús Pastrana Palma

Director de Innovación



Querétaro, Querétaro a 05 de septiembre de 2023

M. en C. María del Carmen Cabrera Hernández

Líder del Proyecto

Universidad Autónoma de Querétaro

Presente

Por medio de la presente me dirijo a usted de la manera más atenta para hacer de su conocimiento que nuestra empresa da por concluidos los trabajos del proyecto: "Sistema inteligente de pruebas para detección de niveles de atención" y está de acuerdo con el contenido de los entregables recibidos por parte de la Universidad Autónoma de Querétaro, los cuales cumplen con lo establecido en el convenio de colaboración anteriormente firmado y que son:

1. Concesión gratuita la licencia no exclusiva y no transferible del Sistema inteligente de pruebas para detección de niveles de atención.
2. La instalación y puesta en marcha del sistema dentro de las instalaciones de la empresa.
3. Proporcionar los recursos humanos y materiales para llevar a cabo el cumplimiento del convenio.
4. Proporcionar a la empresaria la capacitación para el uso del sistema.

Finalmente deslindamos de toda responsabilidad a la Universidad Autónoma de Querétaro, al líder proyecto, al coordinador administrativo y a los colaboradores operativos.

Dra. Danjela Ibrahim

Responsable

Brain Vision and Learning Center

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and a long horizontal stroke at the bottom.

G. Participación en la Convocatoria de Fondo de Proyectos Especiales de Rectoría 2021



La Universidad Autónoma de Querétaro
y la Dirección de Atención a la Comunidad Universitaria
otorgan el presente

RECONOCIMIENTO

a

CABRERA HERNÁNDEZ MARÍA DEL CARMEN

Por su participación como
RESPONSABLE DE PROYECTO

FOPER 2021
"Fondo de Proyectos Especiales de Rectoría"

Santiago de Querétaro, Qro., mayo de 2022.



Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca
RECTORA



Lic. Verónica Núñez Perusquía
TITULAR DE LA DIRECCIÓN DE ATENCIÓN
A LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA



H. Actividades de Retribución Social



La Secretaría de Educación del Poder Ejecutivo del Estado de Querétaro, a través de su Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ)

Otorga la presente:

Constancia

A la Mtra. María Del Carmen Cabrera Hernández

FACULTAD DE INGENIERÍA - UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO (FI-UAQ)

Por su valiosa participación como ponente el día **jueves, 17 de noviembre de 2022** con la actividad titulada **“Herramienta tecnológica para medición de niveles de atención”** en el marco de la 1^{er} Feria de Ciencias Querétaro 2022 en su edición en línea.



Dr. Enrique Rabell García
DIRECTOR DEL CONCYTEQ





UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE QUERÉTARO

FI | FACULTAD
DE INGENIERÍA



UNIDAD DE GÉNERO Y
ESPACIOS DE CUIDADO

Se otorga la presente
CONSTANCIA a:

MTRA. MARÍA DEL CARMEN CABRERA HERNÁNDEZ

Por su contribución a la divulgación
y difusión de la ciencia como
PONENTE con la charla

***Herramienta tecnológica para medir
Niveles de atención.***

en el

COLOQUIO




RUMBO AL DESARROLLO SOSTENIBLE

Campus Querétaro, 10 de marzo de 2023.



Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de la Facultad de Ingeniería



M. en A.P. Adriana Orta Guillén
Coordinadora de la Unidad de Género
y Espacios de Cuidado




Colegio Hala Ken

Otorga la presente constancia a

**María del Carmen
Cabrera Hernández**

Por su valiosa participación en la ponencia "Exposición de temas de investigación del Doctorado en Innovación, Tecnología y Hábitat, en conmemoración del Día Internacional del Hábitat", para nuestros estudiantes de secundaria y preparatoria.


LIC. GRISELDA A. PATIÑO
Directora General


LIC. JUAN D. LÓPEZ RUIZ
Coordinador

Huimilpan, Qro. a 11 de noviembre del 2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA



La Universidad Autónoma de Querétaro
a través de la Facultad de Ingeniería, Maestría en Ciencias
en Inteligencia Artificial, otorga el presente:


Reconocimiento

a:

M.C.I.A. María del Carmen Cabrera Hernández

Por su destacada participación como **Panelista en la Mesa 1: La Intervención de la IA en el Proceso de Aprendizaje** en el marco del evento "**Mesa de diálogo: El impacto de la IA en la Educación**", que reunió a la comunidad universitaria para reflexionar sobre los retos contemporáneos de la educación superior y la tecnología, el día 11 de mayo de 2023 en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.


Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de la Facultad
de Ingeniería


Dr. Saúl Tovar Arriaga
Coordinador de la Maestría en Ciencias en
Inteligencia Artificial
Presidente del Comité organizador del evento