



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**“Sistema para la estimación del nivel de atención mediante  
eye-tracking en niños de 7 a 9 años.”**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Autores:**

**CRISTIAN FERNANDO CALDERÓN MOROCHO**

**FRANKLIN MAURICIO BUELE BUENO**

**Director:**

**Mst. OMAR ALVARADO CANDO**

**CUENCA, ECUADOR**

**2019**

# Agradecimientos

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos, primeramente, a Dios por todas las bendiciones que me brinda; a mi madre por el apoyo, el ejemplo y motivación. A mi esposa por su apoyo en este proyecto de estudio y a mi hija por ser mi mayor inspiración en la vida. Agradezco también a toda mi familia por estar siempre presentes, brindándome su respaldo constante. Un agradecimiento especial, a todas las autoridades y personal que hacen la escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Azuay que me han permitido formarme como persona y profesional.

Cristian Fernando Calderón Morocho

# Agradecimientos

Al finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer a Dios y a mis padres por bendecirme con la vida, por guiarme en este largo camino, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad. A mis hermanas por su cariño y apoyo incondicional, a mis sobrinos por ser el motor de mi alegría. Agradezco también a toda mi familia y amigos por estar siempre presentes. Mi más profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Azuay, por confiar en mí, por abrirme las puertas y formarme como profesional.

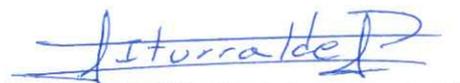
Franklin Mauricio Buele Bueno

# Sistema para la estimación del nivel de atención mediante eye-tracking en niños de 7 a 9 años.

## RESUMEN

El presente artículo expone el desarrollo de un sistema para estimar el nivel de atención utilizando tecnología Eye-tracking en la aplicación del test de margaritas. El análisis del comportamiento visual permitió obtener parámetros como zonas de interés, puntos de mirada, tiempo de respuesta, entre otros. Con estos datos se conoció la percepción de la persona en cada pregunta del test. Finalmente, se realizó una prevalidación con un grupo de 10 niños, disminuyendo el tiempo de aplicación del test, con un tiempo promedio de 2 minutos comparado con los 7 minutos que duraba el test realizado a lápiz y papel.

**Palabras clave:** atención, eye-tracking, test margaritas, eye gaze, eye point.



**Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D.**  
Coordinador de Carrera.



**Mst. Omar Alvarado.**  
Director de Trabajo de Titulación



**Cristian Calderón Morocho**  
Autor



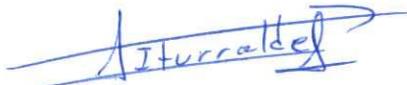
**Franklin Buele Bueno**  
Autor

# System to estimate the level of attention by eye-tracking in 7 to 9 year-old children

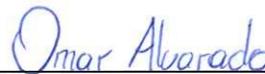
## ABSTRACT

The present paper exposes the development of a system to estimate the level of attention in the application of the Margaritas test by using eye-tracking technology. The analysis of visual behavior allowed to obtain parameters such as areas of interest, points of view, response time and others. With these data, the perception of the person in each test question was determined. Finally, a pre-validation process was carried out with a group of 10 children. The time of application of the test was reduced to an average time of 2 minutes compared to the 7 minute duration of the test performed when using pencil and paper.

**Keywords:** attention, eye-tracking, margaritas test, eye gaze, eye point.



Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D.  
Faculty Coordinator



Mst. Omar Alvarado.  
Thesis Director



Cristian Calderón Morocho  
Author



Franklin Buele Bueno  
Author



Translated by

Ing. Paúl Arpi

# Sistema para la estimación del nivel de atención mediante eye-tracking en niños de 7 a 9 años

Franklin Buele B.  
Escuela de Ingeniería Electrónica  
Universidad del Azuay, UDA  
Cuenca, Ecuador  
frankmau.12992@outlook.com

Cristian Calderón M.  
Escuela de Ingeniería Electrónica  
Universidad del Azuay, UDA  
Cuenca, Ecuador  
cristian4010@outlook.com

**Abstract**—El presente artículo expone el Desarrollo de un sistema para estimar el nivel de atención utilizando tecnología eye-tracking en la aplicación del test de margaritas. El análisis del comportamiento visual permitió obtener parámetros como zonas de interés, puntos de mirada, tiempo de respuesta, entre otros. Con estos datos se conoció la percepción de la persona en cada pregunta del test. Finalmente, se realizó una prevalidación con un grupo de 10 niños, disminuyendo el tiempo de aplicación del test, con un tiempo promedio de 2 minutos comparado con los 7 minutos que duraba el test realizado a lápiz y papel.

**Palabras clave**—atención, eye-tracking, test margaritas, eye gaze, eye point..

## I. INTRODUCCIÓN

La atención, desde el punto de vista de neuropsicología cognitiva, es un mecanismo de selección de señales; un esfuerzo neurocognitivo que precede a la actividad humana (la percepción, el reconocimiento, la intención, la acción) que se caracteriza por su direccionalidad y selectividad. Por tal motivo, las funciones atencionales se encuentran en la base de todos los procesos cognitivos [1].

La adaptación del ser humano, dependerá de un buen desarrollo de la atención; en su defecto, las alteraciones en la atención infieren directamente en los procesos de aprendizaje del ser humano, específicamente en niños, en los cuales, facilita u obstaculiza sus procesos adaptativos. En este caso, es ineludible la aplicación de un examen exhaustivo de las funciones atencionales y ejecutivas [1].

Existen diferentes instrumentos para la evaluación de la atención, entre ellas, los test. Estos, permiten realizar una estimación del nivel de atención ya sea focalizada-selectiva, dividida-simultánea o sostenida-vigilancia [1]. En su mayoría, dichos test se basan en una aplicación mediante lápiz y papel; esta modalidad demanda una cantidad de tiempo alta en la aplicación y calificación de los mismos. Además, obstaculizan procesos de investigación a gran escala debido a inconvenientes como la inexactitud del tiempo de respuesta del individuo, la dificultad de la tabulación de datos y la imposibilidad de la intercalación con diversos estímulos [2].

Los distintos test computarizados son aplicaciones tecnológicas que mejoran las prestaciones de los instrumentos tradicionales de estimación del nivel de atención. Concretamente, en la Universidad del Azuay, se desarrolló un software para la aplicación del Test Margaritas que permite la evaluación de la atención en niños de 5 a 12 años, así como de la aptitud para percibir, rápida y correctamente, semejanzas, diferencias y patrones estimulantes parcialmente ordenados [2].

El test Margaritas digitalizado otorga resultados como: aciertos, errores, omisiones, aciertos netos e índice de control de impulsividad. De esta manera, permitió realizar una

validación en un grupo experimental, contrastándose con la aplicación del mismo test a lápiz y papel. Sin embargo, no existía la posibilidad de conocer el seguimiento visual del usuario en cada pregunta, ni como se realiza la discriminación de diferencias, las zonas de interés, entre otros aspectos [2].

La tecnología eye-tracking se encarga de la obtención y análisis del comportamiento visual de una persona con una determinada escena o imagen. Con frecuencia, el ser humano desvía la mirada para focalizar la atención hacia un objeto determinado, al rastrear los movimientos de los ojos, permite seguir el camino de atención creado por el observador. De esta manera, se obtiene una noción de cómo esa persona percibió una determinada escena o imagen [3].

Los rastreadores oculares, se clasifican en dos: aquellos que se sujetan en la cabeza del usuario y rastreadores remotos. En su mayoría, los rastreadores utilizan fuentes de luz infrarroja, la cual proporciona un mayor contraste para la detección tanto de la pupila como del iris, tal como se muestra en la figura 1.

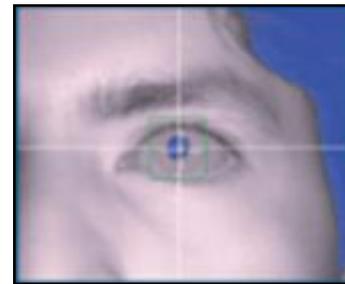


Figura 1. Detección de pupila e iris con fuente de luz infrarroja obtenido de [4]

El rastreador ocular, captura las distintas reflexiones de la fuente de luz en el ojo, y estas se utilizan para determinar la dirección de la mirada. Estas reflexiones se dan tanto en la superficie externa e interna de la córnea. Al determinar la relación entre la pupila y el reflejo de la córnea, los rastreadores pueden determinar la dirección de la mirada junto con la posición de la cabeza [4].

Topbi Technology ofrece distintos dispositivos para rastreo ocular que utilizan fuente de luz infrarroja. En específico, para la realización del presente sistema se utilizó el dispositivo PCEye Mini, el cual tiene un rango de distancia al usuario entre 45cm a 85cm. En el caso de la exactitud y precisión, mantiene valores de  $<1.9^\circ$  y  $<0.4^\circ$  para el 95% de la población respectivamente. Además, este dispositivo puede soportar un movimiento máximo de cabeza de 40cm/s, una inclinación máxima de cabeza  $>20^\circ$  e inclinación máxima de quijada de  $25^\circ$  [5].



Figura 2. Dispositivo PCEye Mini de Tobii obtenido de: [5]

El presente proyecto, es un instrumento nuevo dentro de la Universidad del Azuay que especifica la implementación de un sistema con tecnología eye-tracking en la aplicación del test margaritas digitalizado. El mismo, tendrá la capacidad de realizar el seguimiento de la mirada del paciente en la pantalla de un monitor donde se proyectarán imágenes, las cuales serán utilizadas para la aplicación del test de margaritas. Con la utilización del eye-tracking se podrá realizar un informe de cada una de las preguntas del test de margaritas, pudiendo obtener datos como: tiempo de realización del test, tiempo y secuencia de respuesta, cantidad de aciertos, omisiones y errores, mapas de calor por pregunta, puntos de mirada, entre otros.

Toda la información obtenida se almacenará de manera automática en una base de datos, de esta forma el profesional podrá llevar un registro y seguimiento digital de todos los resultados que arrojará el test de margaritas, brindando de esta manera un diagnóstico rápido y preciso. El sistema estará formado por un computador personal y un dispositivo de Eye-tracking. Finalmente, con la obtención y análisis del comportamiento visual en la aplicación del test margaritas se espera ayudar en el diagnóstico de problemas atencionales por parte de los profesionales en las áreas correspondientes de la neuropsicología.

## II. ESTADO DEL ARTE

Existen distintos artículos relacionados con la atención visual y neuromarketing. Florina Ungureanuj, Robert Lupu y Adrian Cadar, en el estudio “*Neuromarketing y estudio de atención visual mediante técnicas de seguimiento ocular*”, presentaron el análisis del comportamiento humano relacionado con diferentes estímulos de mercadeo basados en datos de pupilometría; en el presente estudio se implementa una aplicación para registrar la atención visual del usuario en páginas web y diapositivas publicitarias. Los resultados revelan que las emociones humanas y la atención visual están altamente correlacionadas con aplicaciones prácticas de marketing [6]. La curva de la relación entre el tamaño de la pupila y la actividad electro dérmica obtenida se muestra en la figura 3.

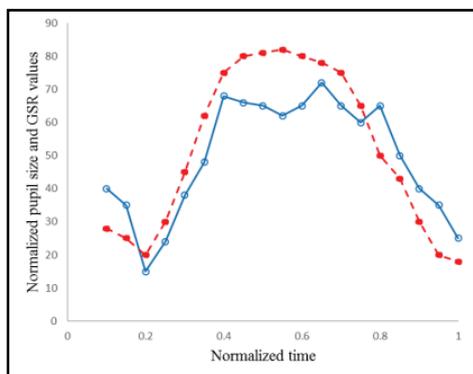


Figura 3. Curva de relación de tamaño de pupila y actividad electro dérmica obtenido de [6]

Masao Okano y Masami Asakawa en su trabajo de investigación “*Análisis de seguimiento ocular de la atención del consumidor*”, se plantean la hipótesis de que las personas que asignan importancia a los criterios de selección de productos (reducción de grasa corporal, bajo en calorías y beneficios para la dieta) en mensajes de comerciales, prestan más atención al mensaje que las personas que no les dan importancia a estos criterios. Los anuncios se mostraron a estudiantes universitarios y se recopilaban datos de seguimiento ocular; estos resultados del análisis estadístico mostraron efectivamente un mayor interés de las personas en productos que contenían publicidad comercial que los que no la tenían [7]. En la figura 4, se muestra una de las imágenes obtenidas en el presente estudio. A la izquierda se muestra el mapa de calor de una bebida promocionada como baja en calorías y a la derecha se muestra el mapa de calor de la misma bebida sin la promoción de baja en calorías.



Figura 4. Mapa de calor de una misma bebida promocionada de dos maneras distintas obtenido de [7]

En la Universidad de Castilla, Oscar Navarro, Ana Molina y Miguel Lacruz, realizaron un trabajo de investigación denominado “*Utilización de Eye-tracking para evaluar el uso de información verbal en materiales multimedia*”. En donde se plantearon detectar qué formatos ayudan a una mayor eficiencia en el aprendizaje, para establecer reglas de diseño en la información que se presenta en materiales educativos multimedia. La técnica de seguimiento ocular Eye-tracking se utilizó en este trabajo para la recolección de datos que se obtuvieron en dos experimentos, los mismos que fueron realizados a 49 niños entre 7 y 9 años de edad. Los resultados de esta investigación dictaminaron que se produce una mayor eficiencia en el aprendizaje de los alumnos cuando las imágenes y los textos relacionados se presentan a continuación de la explicación oral [8].

Elena Añaños y Anna Astals en su trabajo “*El poder de captar la atención visual de los elementos gráficos analizado con Eye Tracking*”, analizaron mediante la tecnología Eye-tracking parámetros como los efectos de la atención visual en el texto y los estímulos que se producen por la inserción de una imagen en el texto. Esta investigación plantea una hipótesis en donde se pretende demostrar la gran aportación semántica de la imagen, la misma que se supone que es el elemento visual con más poder de captación de la atención visual. Los resultados de esta investigación corroboran la hipótesis, pues la inserción de una imagen al anuncio produce un fuerte y significativo aumento de la atención visual sobre este elemento y un descenso de la misma sobre el texto, a esto se le conoce como transferencia atencional [9].

Los dispositivos de eye-tracking también han sido usados para sistemas de control, por ejemplo, “*Sistema de control para Smartphone con uso de tecnología Eye-tracking*” y “*Desarrollo de un software para realizar evaluaciones*”

educativas a niños con parálisis cerebral entre 5 a 7 años de edad con el uso de sistemas eye-tracking". En el primer caso, se implementa un sistema que permite a una persona la interacción con el Smartphone a través de los ojos [10]. El segundo, describe el desarrollo de un Software para ayudar a los profesores a realizar evaluaciones educativas, en niños de 5 a 7 años con parálisis cerebral mediante el uso de sistemas de seguimiento ocular [11]. En ambos casos se ha logrado emplear la tecnología eye-tracking para suplir los inconvenientes de las personas con movilidad limitada, al manipular ya sea dispositivos móviles o computadoras.

En la Universidad del Azuay se realizó un trabajo de titulación denominado "Los procesos atencionales y su evaluación con la utilización de software", en donde se digitalizó el test margaritas para la aplicación en niños de 5 a 12 años en la ciudad de Cuenca. Se logró realizar una pre validación del software con 30 niños de primero a séptimo año de educación básica de la Unidad Educativa Asunción, aplicando de manera satisfactoria el test[2].

Además, existen diferentes programas encargados del manejo de los datos obtenidos desde eye-tracking, la plataforma "Imotions" realizó un estudio comparativo de los diferentes programas gratuitos para eye-tracking, entre los cuales se encuentran: xLabs, GazePointer, MyEye, Ogama, openEyes, entre otros. Dentro del estudio realizado, se tomó en cuenta parámetros como la utilización de webcam o cámara infrarroja, grabación en tiempo real, presentación de estímulos, análisis de datos, integración de multi sensores, entre otros. Sin embargo, todos estos programas, no pueden cumplir con requisitos del software para eye-tracking que se utilizan en trabajos o investigación; estos programas captan el movimiento del iris, en su mayoría, con una webcam; lo cual implica que los mismos no tengan la credibilidad suficiente debido a que el seguimiento ocular no es preciso [12].

Como se puede apreciar, el uso de la tecnología eye-tracking ha permitido obtener información relevante acerca del comportamiento y atención visual, lo cual ha ayudado en la realización de todos los trabajos anteriormente citados. Además, el uso del dispositivo PCEye Mini en la realización del presente sistema es recomendable, debido a sus características técnicas como lo son la exactitud y precisión, y a la portabilidad que tiene al ser el dispositivo más pequeño y con prestaciones de calidad dentro de la línea de hardware de Tobbi Dynavox. Modelo de análisis del sistema

### III. MODELO DE ANÁLISIS DEL SISTEMA

El sistema para la estimación del nivel de atención mediante Eye-tracking, denominado SESA por sus siglas en español, fue desarrollado con el objetivo de brindar parámetros adicionales en la evaluación de la atención a través del test margaritas.

Se utilizaron las especificaciones Unified Modeling Language (UML) para el modelo de análisis del desarrollo del software:

#### A. Requisitos funcionales

TABLA I. REQUISITO FUNDAMENTAL

<b>Identificación del requerimiento:</b>	RF1
<b>Nombre del requerimiento:</b>	Ingreso/registro del profesional.
<b>Características:</b>	Registro del profesional e inicio de sesión.
<b>Descripción del requerimiento:</b>	Este consta de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada profesional tendrá un usuario único.</li> <li>• Cada profesional tendrá una contraseña única</li> </ul>
<b>Proceso Alternativo:</b>	Inicia sesión correctamente. No inicia sesión correctamente.

TABLA II. REQUISITO FUNDAMENTAL 2.

<b>Identificación del requerimiento:</b>	RF2
<b>Nombre del requerimiento:</b>	Ingresar ficha del paciente .
<b>Características:</b>	Ingreso de datos informativos del paciente.
<b>Descripción del requerimiento:</b>	Este consta de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos básicos como cédula, nombres completos, edad, fecha de nacimiento, año de instrucción básica, escuela teléfono, email.</li> </ul>

TABLA III. REQUISITO FUNDAMENTAL 3.

<b>Identificación del requerimiento:</b>	RF3
<b>Nombre del requerimiento:</b>	Ver registro del paciente.
<b>Características:</b>	Accede a todas las fichas de los pacientes incluidos los test que hayan contestado.
<b>Descripción del requerimiento:</b>	Este consta de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Información de ficha del paciente, podrá editar dicha información.</li> <li>• Ver resultados del test aplicado.</li> </ul>

TABLA IV. REQUISITO FUNDAMENTAL 4.

<b>Identificación del requerimiento:</b>	RF4
<b>Nombre del requerimiento:</b>	Aplicar test Margaritas
<b>Características:</b>	Aplica un total de 30 preguntas pertenecientes al test de margaritas, en dos diferentes modalidades.
<b>Descripción del requerimiento:</b>	Este consta de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• El registro de los pacientes dando la opción a escoger a quien se desee aplicar el test.</li> <li>• En la aplicación del test se podrá seleccionar una respuesta u omisión de la pregunta.</li> </ul>

TABLA V. REQUISITO FUNDAMENTAL 5.

<b>Identificación del requerimiento:</b>	RF5
<b>Nombre del requerimiento:</b>	Modalidad Eye-Tracking.
<b>Características:</b>	Aplica un total de 15 preguntas pertenecientes al test de margaritas.
<b>Descripción del requerimiento:</b>	Este consta de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada pregunta posee 3 opciones.</li> <li>• La opción correcta será seleccionada con la vista, por medio de la tecnología Eye-Tracking.</li> </ul>

TABLA VI. REQUISITO FUNDAMENTAL 6.

<b>Identificación del requerimiento:</b>	RF6
<b>Nombre del requerimiento:</b>	Modalidad Mouse selector
<b>Características:</b>	Aplica un total de 15 preguntas pertenecientes al test de margaritas.
<b>Descripción del requerimiento:</b>	Este consta de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada pregunta posee 3 opciones.</li> <li>• La opción correcta será seleccionada con el mouse.</li> </ul>

### B. Requisitos no Funcionales

**Usabilidad.** – El software desarrollado es fácil de utilizar, la página web presenta un manejo amigable para el usuario, ofreciendo menús simples para cada función que ofrece el programa.

**Funcionalidad.** – El software ha sido actualizado permanentemente y sujeto a varias pruebas de funcionamiento, además el mismo posee las distintas mejoras que han sido recomendadas por profesionales en el área de psicología infantil.

**Simplicidad.** – El software presenta una interfaz gráfica amigable y fácil de usar para el usuario y para el paciente en el caso de la resolución del test de margaritas, presentando opciones bien definidas y orientadas para un manejo correcto de la página web.

**Flexibilidad.** – El software es escalable, se puede seguir implementando más opciones a la página web sin que estos cambios afecten el funcionamiento del software.

**Portabilidad.** – El software desarrollado en una página web se podrá acceder desde cualquier plataforma web, hay que tener en cuenta que este software se ve complementado con un dispositivo Eye-Tracking (Tobii pro).

**Confiablez.** – El sistema almacena los datos en el servidor, lo cual con lleva a que si existe un problema en el dispositivo de Eye-tracking, los datos no se verán afectados y serán guardados automáticamente.

**Tiempo de respuesta.** – El sistema desarrollado tiene como objetivo reducir tiempos de aplicaciones test de atención, para ello al momento que se concluye el test ya se tiene todos los resultados.

### C. Referencias

Las referencias son las funciones que se utilizan para desarrollar el software.

### Función de manejo del SENA.

TABLA VII. FUNCIONES DE INGRESO

Requerimiento	Tipo
Ingresar/registrarse el nombre de usuario y contraseña.	Evidente
El almacenamiento se realiza de forma automática.	Oculto

### Función de aplicación del test

TABLA VIII. FUNCIONES DE APLICACIÓN.

Requerimiento	Tipo
El profesor elige el test que se va a aplicar	Evidente
Almacenamiento en la base de datos de todos los resultados obtenidos al aplicar el test.	Oculto

### Función de realización del test.

TABLA IX. FUNCIONES DE REALIZACIÓN.

Requerimiento	Tipo
El profesor elige el nombre del paciente que va a ser evaluado.	Evidente
El paciente tiene una capacitación previa para realizar el test(tutorial).	Evidente
El paciente procede a realizar el test, seleccionando una respuesta u omisión de la pregunta.	Evidente
Se mide el tiempo que demora en responder u omitir la pregunta.	Oculto
Se obtiene el mapa de calor de cada pregunta.	Oculto
Se obtiene un grafico de gaze de cada pregunta.	Oculto
Los resultados del test se almacenan en la base de datos.	Oculto
El profesional en el área puede visualizar los resultados en la base de datos que ofrece el servidor.	Evidente

### Función de manejo de base de datos del servidor.

TABLA X. FUNCIONES DE MANEJO DE BASE DE DATOS.

Requerimiento	Tipo
Mostrar los resultados del test aplicado.	Evidente
Presentar los resultados independientes de cada paciente: tiempo, acierto, errores, omisiones, mapas de calor y gráficos de gaze.	Evidente

### Funciones de manejo para el profesional que aplica el test.

TABLA XI. FUNCIONES DE MANEJO.

Requerimiento	Tipo
El usuario podrá crear, editar o eliminar pacientes.	Evidente
Aplicación del test, manejo de resultados.	Evidente

### Funciones de manejo para el administrador.

TABLA XII. FUNCIONES DEL ADMINISTRADOR.

Requerimiento	Tipo
El administrador podrá gestionar usuarios	Evidente
El administrador podrá gestionar pacientes.	Evidente
El administrador podrá gestionar el test.	Evidente
El administrador podrá gestionar preguntas.	Evidente

### D. Diagrama de actores

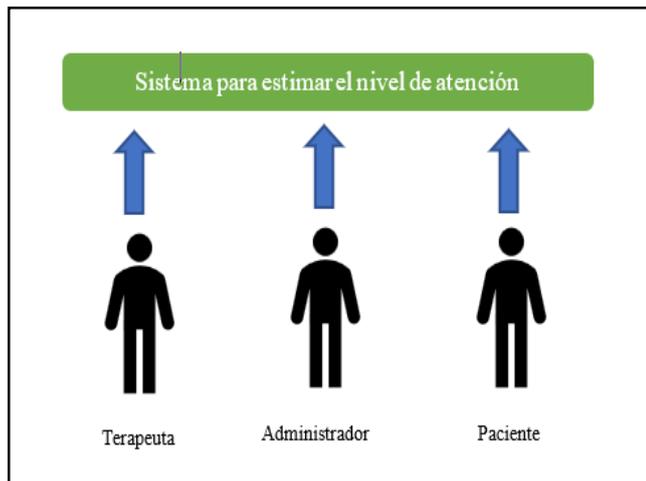


Figura 5. Diagrama de actores

### E. Diagrama de casos de uso

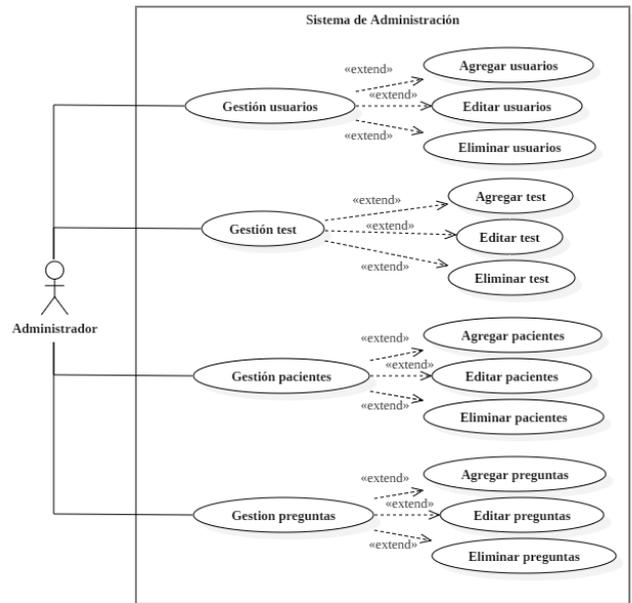


Figura 6. Diagrama de casos de uso del Administrador

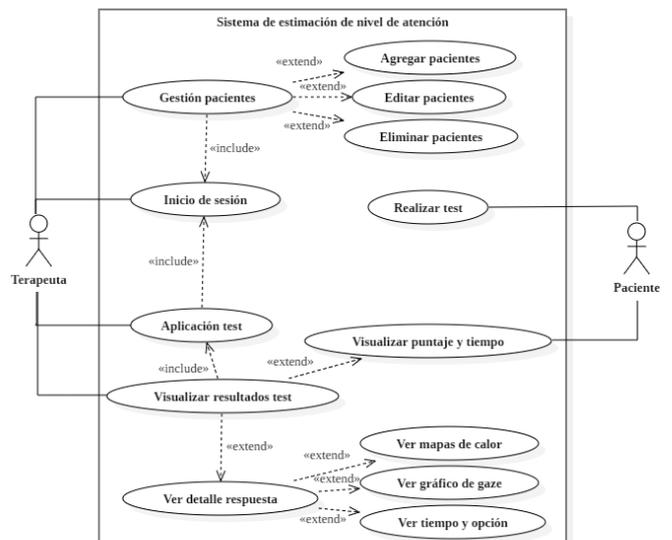


Figura 7. Diagrama casos de uso terapeuta y paciente.

### IV. IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE

En primera instancia para la implementación de la interfaz web se ha utilizado un framework de desarrollo web denominado Django, el cual está desarrollado en Python, un lenguaje de programación sencillo y potente de código abierto. Django facilita el desarrollo web brindando a los desarrolladores crear aplicaciones de manera rápida, segura y escalable. Django, se caracteriza por ser un framework completo, es decir, provee a los desarrolladores extras o módulos totalmente realizados para su implementación; se encarga, por ejemplo, de la autenticación del usuario, administración de contenido, mapas del sitio, fuentes RSS, entre muchas más tareas.

Además de Django, en la parte del cliente, en el esquema Cliente-Servidor [15]; se ha utilizado el lenguaje de

programación HTML para la implementación de todos los templates de la página web, junto con JavaScript para la realización de parte de la lógica de negocio del software, CSS para brindar estilos a los templates y JQuery para el manejo de los objetos del documento en los templates.

La librería de JavaScript denominada Heatmap.js de código abierto y desarrollada por Patrick Wied, permite la creación de mapas de calor de manera rápida y sencilla, brindando una variedad de funciones para la personalización completa de los mismos.

En lo que se trata del manejo de datos provenientes del eye tracking, se ha utilizado dos programas: Gaze Point y Gaze Viewer. Dichos programas pertenecen a la línea de software de tobbidynavox, y de manera general Gaze Point, es el componente básico para el manejo de datos provenientes del eye-tracking, entre sus funciones permite la manipulación del ratón de computadora con la mirada, así como la interacción del clic que se activa con un tiempo de fijación de la mirada. Gaze Viewer por su parte, brinda otras funcionalidades, tales como: la creación de mapas de calor y gráficos de gaze, permitiendo también la exportación de dichas representaciones a manera de imágenes o video en formato mp4. Gaze Point es gratuito, mientras que Gaze Viewer es de pago; pero se puede probar el software con una versión trial obteniendo una licencia provisional desde la página de tobbidynavox.

#### A. Arquitectura del Software

La aplicación web desarrollada, se basa en el modelo Cliente-Servidor. En este modelo, existe un dispositivo que realiza las peticiones de información, el cual es llamado cliente; mientras que el dispositivo que responde a dichas peticiones, servidor.

El objetivo de este modelo, llamado también de dos capas, es separar la lógica de acceso de datos, de la interfaz del usuario. De esta manera en la parte de cliente se implementará la lógica de presentación, además de ciertas funciones de la lógica de negocios; como pueden ser recuperación y validación de datos. Mientras que el servidor se encargará de la lógica de datos y el resto de funciones de la lógica de negocios.

En la figura 8, se muestra un esquema del modelo cliente/servidor, en donde se puede evidenciar dos capas correspondientes a cada elemento del modelo: el cliente, con funciones de la lógica de presentación y, el servidor, con funciones de la lógica de datos. Además, se puede notar que lógica de negocios es una capa intermedia que se encuentra distribuida entre las dos capas principales.

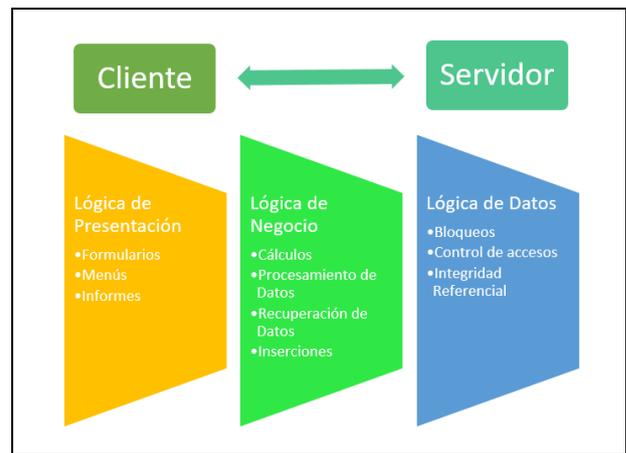


Figura 8. Modelo cliente/servidor obtenido de: [17]

#### B. Metodología de la programación

La metodología empleada en el desarrollo del sistema es la Programación Orientada a Objetos (OOP según sus siglas en inglés Object Oriented Programming), que tiene dos conceptos clave: las clases y los objetos; y propiedades como: abstracción, encapsulación, polimorfismo e instanciación; mostradas en la figura 9.

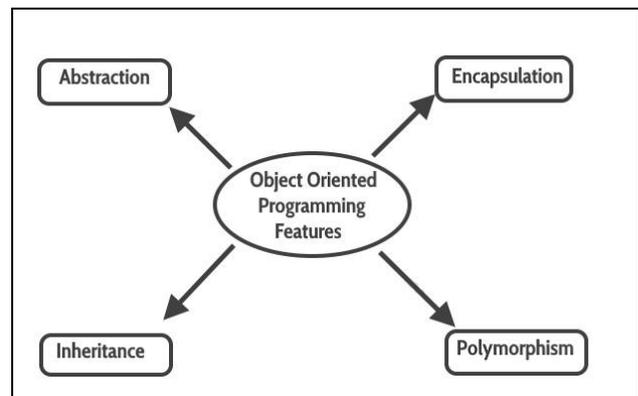


Figura 9. Propiedades de la programación orientada a objetos obtenido de: [18]

Un objeto, es un elemento único que consta de atributos y operaciones que pueden modificar dichos atributos. Una clase, en cambio, es un tipo abstracto de dato que permite definir un conjunto de objetos, con propiedades y comportamientos específicos.

Entre las ventajas de la programación orientada a objetos están: reutilización de código, eliminación de código redundante, coexistencia de múltiples objetos de una misma clase, la distribución de la complejidad de la aplicación, entre otras.

#### C. Modelado de la Aplicación

##### Interfaces de inicio

En la figura 10 se puede observar la interfaz de inicio a la página web. La pantalla de inicio de sesión y el listado de servicios para el usuario se muestran en las figuras 11 y 12, respectivamente.



Figura 10. Pantalla de inicio.

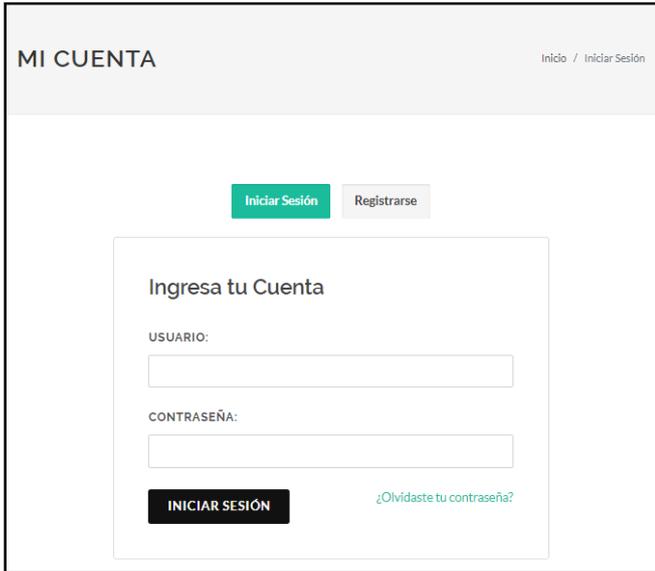


Figura 11. Pantalla de inicio de sesión y registro de usuarios.



Figura 12. Interfaz de servicio de usuarios.

### CRUD de pacientes

A continuación, se presenta la interfaz de ingreso de un nuevo paciente; figura 13.

Figura 13. Formulario creación de pacientes.

### Aplicación de test y visualización de resultados

En las figuras desde la 14 a 17, se observan las interfaces de toda la aplicación del test margaritas, así como la exposición de los resultados, por ejemplo: aciertos, errores, omisiones, aciertos netos, tiempos de respuesta, entre otros; el detalle por pregunta y el análisis del eye-tracking con representaciones gráficas como mapas de calor y gráficos de gaze.

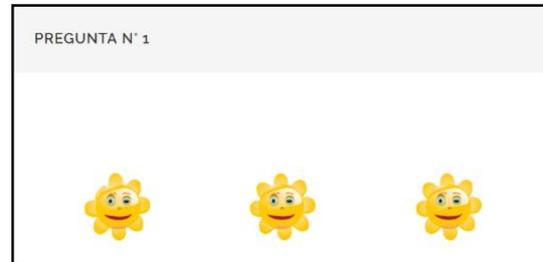


Figura 14. Interfaz presentación de puntaje al finalizar test.

Test	Paciente	Fecha Aplicación	Tiempo	Aciertos	Errores	Omisiones	A. Netos	ICI
Test margaritas 1° parte	Vilá Blumso Katerine Samorano	4 de Febrero de 2019 a las 12:51	0:00:58.000321	5	10	0	-5	0
Test margaritas 1° parte	Buena Feola Jennifer Isabel	21 de Enero de 2019 a las 11:43	0:02:02.000399	15	0	0	15	100
Test margaritas 1° parte	Neira Cajamarca Martha Janneth	21 de Enero de 2019 a las 14:30	0:00:58.000503	13	0	2	11	73

Figura 15. Interfaz búsqueda de registros



Figura 16. Visualización mapa de calor por pregunta.

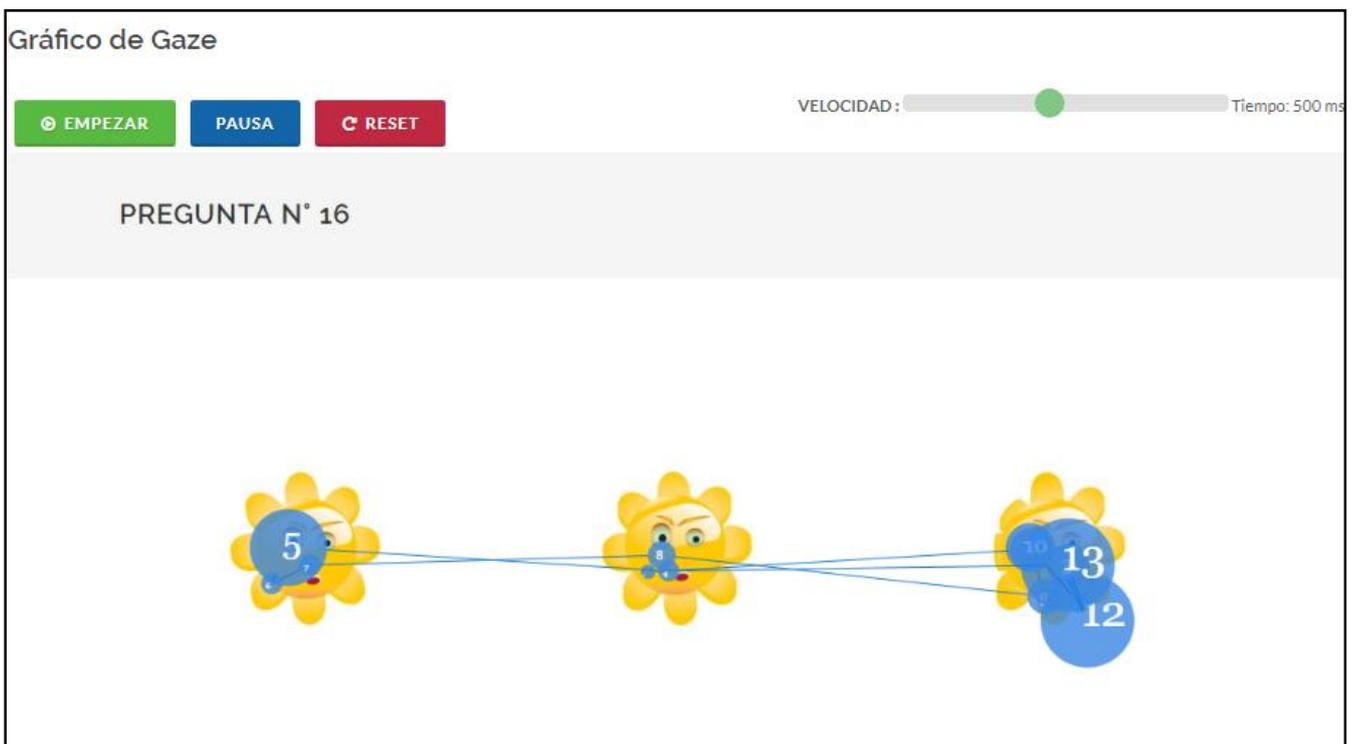


Figura 17. Visualización Gráfico de Gaze por pregunta.

## V. RESULTADOS

Para las pruebas en el sistema SENA, se planteó realizar una prevalidación a un grupo experimental de 11 niños con edades comprendidas entre 7 y 9 años.

### A. Primera Parte

Se dividió el Test Margaritas de 30 preguntas, en 2 test de 15 preguntas cada uno, debido a que el test iba a ser resuelto por primera vez mediante el uso de la tecnología Eye-tracking. Para lo cual, en el primer caso se procedió a realizarse con el ratón y obtener los datos del eye-tracking con el software Gaze Viewer. Y en el segundo caso, se empleó el eye-tracking como ratón con el software Gaze Point, manejando el evento clic del ratón mediante fijación de mirada con tiempo de fijación de 1800 ms, capturando los datos en la página web.

En lo que respecta a calibración, se puede afirmar que no es un proceso complejo, ya que la misma se la puede realizar de manera sencilla, y en un período estimado de 1 a 5 minutos. A continuación, se presentan imágenes del proceso de calibración, así como el resultado de los tiempos de calibración para cada uno de los pacientes del sistema en la tabla XIII.

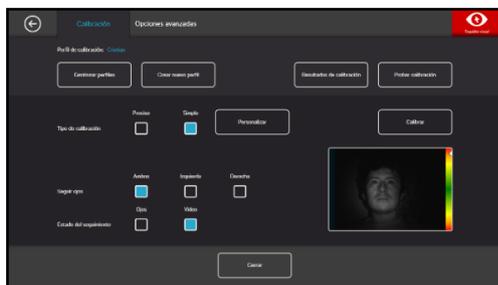


Figura 18. Pantalla de configuración dispositivo PCEye Mini

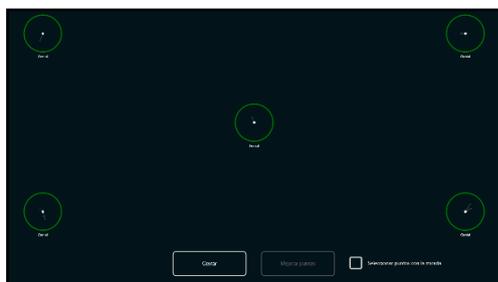


Figura 19. Resultados de calibración simple dispositivo Tobii

TABLA XIII. TIEMPOS DE CALIBRACIÓN

Paciente	Edad	Tiempo de Calibración (min)
1	7 años	3
2	7 años	3
3	7 años	2,5
4	7 años	2,5
5	7 años	2
6	7 años	2
7	8 años	1,5
8	8 años	1,5
9	8 años	1
10	9 años	1
11	9 años	1

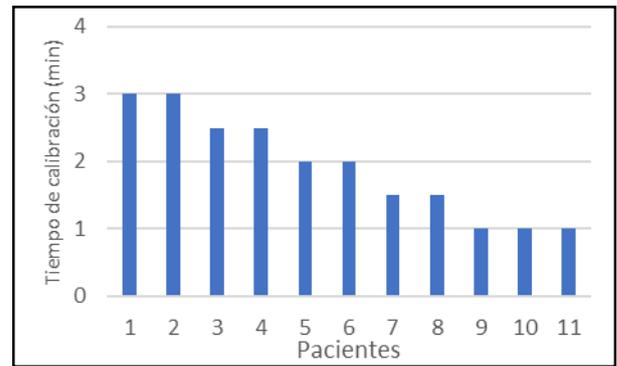


Figura 20. Gráfica tiempo de calibración por paciente.

Como se puede observar en las figuras 18, 19 y 20, el proceso de calibración es sencillo y el tiempo para los sujetos de prueba, se mantuvo en un rango de 1 a 3 minutos.

En la aplicación del Test Margaritas se obtuvo los siguientes resultados.

**Resultados generales:** La media promedio del tiempo aplicado para la resolución del test completo es de 4 minutos con 27 segundos, la sumatoria total del número de aciertos de todas las personas que realizaron el test es de 279 de 330 posibles, existen 27 errores y 24 omisiones, dando a un promedio de rendimiento del 84% de efectividad.

TABLA XIV. RESULTADOS GENERALES.

Valores del test parte 1	Tiempo total	Total de aciertos	Total de errores	Total omisiones
	0:25:06	135	20	10
Valores del test parte 2	Tiempo total	Total de aciertos	Total de errores	Total omisiones
	0:23:56	144	7	14
Resultados generales del test Margaritas	Tiempo total	Total de aciertos	Total de errores	Total omisiones
	0:49:02	279	27	24
Rendimiento general:	84%	Media promedio de resolución (H:min:s):	00:04:27	

**Tiempo mínimo:** Para calcular el tiempo mínimo que se utilizó en la resolución del test, se sumó los tiempos de la primera y la segunda parte del test, obteniendo el siguiente resultado.

TABLA XV. TIEMPO MÍNIMO DE RESOLUCIÓN.

DATOS	Paciente	Edad	Tiempo
Tiempo primera parte	Paciente 1	8	0:01:13
Tiempo segunda parte	Paciente 1	8	0:01:31
Tiempo total (H:min:s):	0:02:44		

**Tiempo máximo:** De igual manera para obtener el tiempo máximo que se utilizó en la resolución del test, se sumó los tiempos de la primera y la segunda parte del test, obteniendo el siguiente resultado.

TABLA XVI. TIEMPO MÁXIMO DE RESOLUCIÓN.

DATOS	Paciente	Edad	Tiempo
Tiempo primera parte	Paciente 2	7	0:05:18
Tiempo segunda parte	Paciente 2	7	0:02:13
Tiempo total (H:min:s):	0:07:31		

**Aciertos netos:** Para la obtención de este parámetro se utilizó la siguiente fórmula:

$$Aciertos\ netos = Aciertos - (Errores + Omisiones) (1). [19]$$

**Índice de control de impulsividad (ICI):** Este parámetro se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$ICI = (Aciertos\ netos / Total\ de\ preguntas) * 100 (2). [19]$$

Mediante la aplicación de la fórmula anterior se puede obtener una calificación, dependiendo del valor del ICI:

TABLA XVII. ACIERTOS NETOS E ÍNDICE DE CONTROL DE IMPULSIVIDAD.

#usuario	Aciertos Netos	ICI	Calificación según ICI
1	28	93	No impulsivo
2	24	80	poco impulsivo
3	18	60	impulsivo
4	28	93	no impulsivo
5	24	80	poco impulsivo
6	20	67	poco impulsivo
7	8	27	muy impulsivo
8	2	7	excesivamente impulsivo
9	24	80	poco impulsivo
10	28	93	No impulsivo
11	22	73	poco impulsivo

**Pregunta con mayor acierto:** La pregunta número 2 es la que tiene la mayor cantidad de aciertos, y posee una media promedio de resolución de 10 segundos, figura 21.

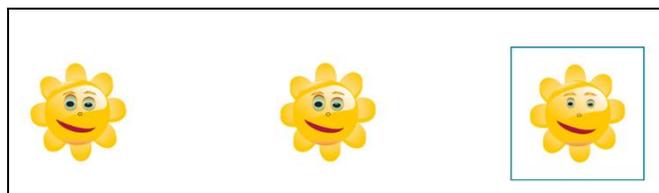


Figura 21. Pregunta #2 Test Margaritas

**Pregunta con menor acierto:** La pregunta que obtuvo el menor porcentaje de aciertos es la pregunta número 11, con una media promedio de resolución de 18 segundos, figura 22.

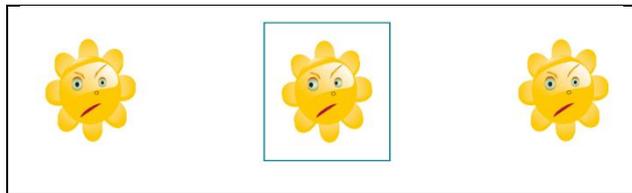


Figura 22. Pregunta #11 Test Margarita

En lo que respecta al análisis de Eye-tracking se analiza dos comportamientos, basados en el mapa de calor y el gráfico de gaze, para esto se toma en cuenta las preguntas que tuvieron el mayor y menor número de aciertos.

**Comportamiento mapas de calor:** Se realizó un análisis de todos los mapas de calor de la pregunta numero 2, obteniendo que la mayor zona de interes, se centra en las características faciales (ojos), pero donde predomina este interés es en la imagen central, sin embargo, la respuesta correcta es la tercera cara, como se puede observar en la figura 23.

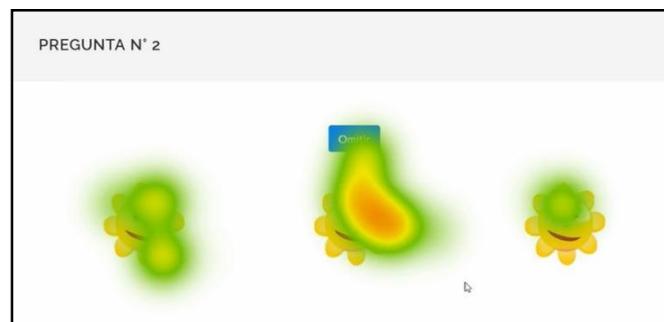


Figura 23. Mapa de calor-Test Margaritas, Pregunta #2.

Mientras que la pregunta 11 la cual tuvo la menor cantidad de aciertos, se observa que existe una zona de interés marcada en la tercera cara (imagen lado derecho), la cual es la opción incorrecta, figura 24.

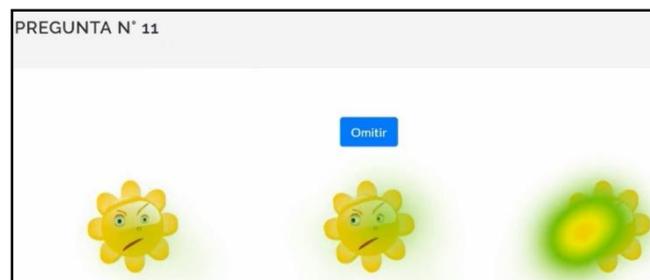


Figura 24. Mapa de calor-Test Margaritas, Pregunta #11.

**Comportamiento gráfico de gaze:** El análisis del gráfico de gaze de la pregunta número 2, determina un patrón de mirada que empieza desde la primera imagen (Izquierda de la pantalla), pasando por la imagen del centro hacia la imagen de la derecha, y viceversa. La imagen del centro es la que contiene una mayor cantidad de puntos de miradas, como se observa en la figura 25.

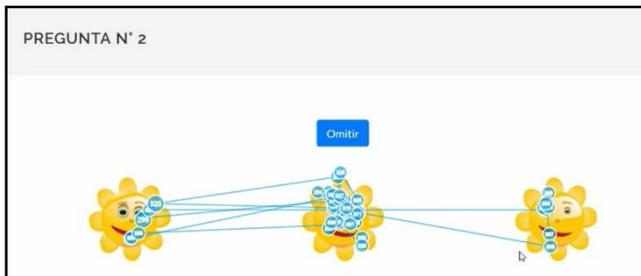


Figura 25. Gráfico de gaze-Test Margaritas, Pregunta #2.

En cuanto a la pregunta 11 que tuvo la menor cantidad de aciertos, el patrón de mirada que se obtiene empieza desde la imagen del centro hacia la imagen de la derecha, luego pasa nuevamente por el centro, recorre hacia la imagen de la izquierda y viceversa. Se diferencia que existen más puntos de miradas en los contornos imágenes, la imagen del centro es la que contiene una mayor cantidad de puntos de mirada, como se observa en la figura 26.



Figura 26. Gráfico de gaze-Test Margaritas, Pregunta #11.

**Rendimiento general del test por etapas:** Para medir el rendimiento de las personas en la aplicación del test, se realizó mediciones en tres etapas diferentes como se observa en la figura 27. Obteniendo un rendimiento del 94% en las primeras 10 preguntas. En las siguientes 10 preguntas el rendimiento bajo a un 77%, mientras que en la última etapa de 10 preguntas el rendimiento subió a un 81%, como se observa en la siguiente gráfica.

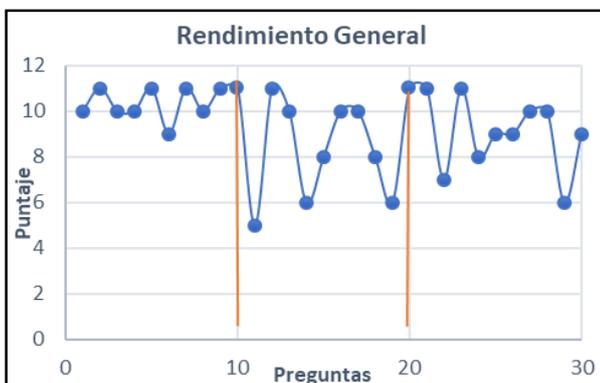


Figura 27. Grafica de rendimiento por etapas.

## B. Segunda parte

Luego de realizar las primeras aplicaciones, por parte del departamento de psicología se realizaron las siguientes observaciones.

- La aplicación del test con ratón, brinda al paciente un distractor desde la parte motriz en el manejo del mouse.
- El sistema de hacer clic mediante fijación de la mirada, no resultada del todo eficaz por el tiempo muy corto de fijación que maneja el software Gaze Point (1800 ms).
- La interfaz de cada pregunta, debía mostrar el menor contenido posible a fin de evitar posibles distractores en la aplicación.

Para lo cual, se procedió a la implementación de un dispositivo que conste de 4 botones; 3 principales que corresponden a cada opción del test en específico y 1 secundario que corresponde a la acción de omitir pregunta. El dispositivo implementado se muestra en la siguiente figura 28.



Figura 28. Dispositivo implementado en la segunda parte de la pre validación del sistema SENA

La aplicación del test en esta parte se la realizó con una modalidad de 30 preguntas. Previamente, se realizó un tutorial para que los pacientes aprendan el correcto funcionamiento del dispositivo y puedan realizar el test de la mejor manera. En la figura 29, se puede observar la utilización del presente dispositivo.



Figura 29. Aplicación test margaritas completo.

El test fue resuelto por el mismo grupo que resolvió la aplicación de la primera parte del test. Los resultados obtenidos de la segunda aplicación del Test Margaritas se muestran a continuación.

**Resultados generales:** La media promedio del tiempo aplicado para la resolución del test es de 2 minutos con 27 segundos, la sumatoria total del número de aciertos de todas las personas que realizaron el test es de 249 de 300 posibles, existen 14 errores y 37 omisiones, dando a un promedio de

rendimiento del 83% de efectividad. En relación con los resultados obtenidos en el primer test, se diferencia una reducción del tiempo de resolución del test a un 50% aproximadamente.

TABLA XVIII. RESULTADOS GENERALES.

Resultados generales del test Margaritas	Tiempo total	Total de aciertos	Total de errores	Total omisiones
	0:24:30	249	14	37
Rendimiento general:	83%	Media promedio de resolución (H:min:s):	00:02:27	

**Tiempo mínimo y máximo:** Los tiempos mínimo y máximo en la resolución del test margaritas con el nuevo dispositivo se muestran a continuación.

TABLA XIX. TIEMPO MÍNIMO DE RESOLUCIÓN.

Id_paciente	Paciente	Edad	Tiempo
10	Paciente 1	7	0:01:41

TABLA XX. TIEMPO MÁXIMO DE RESOLUCIÓN.

Id_paciente	Paciente	Edad	Tiempo
7	Paciente 1	7	0:03:21

**Aciertos netos e Índice de control de impulsividad (ICI):** Para la obtención de estos parámetros aplicamos las fórmulas (1) y (2). De esta forma se obtiene la siguiente tabla:

TABLA XXI. ACIERTOS NETOS E ÍNDICE DE IMPULSIVIDAD.

#Usuario	Aciertos Netos	ICI	Calificación según ICI
1	28	93	no impulsivo
2	24	80	poco impulsivo
3	18	60	impulsivo
4	28	93	no impulsivo
5	24	80	poco impulsivo
6	20	67	impulsivo
7	8	27	muy impulsivo
8	2	7	excesivamente impulsivo
9	24	80	poco impulsivo
10	28	93	no impulsivo
11	22	73	poco impulsivo

**Pregunta con mayor acierto:** La pregunta número 2 fue la que tuvo la mayor cantidad de aciertos, posee una media promedio de resolución de 5 segundos, la concentración de los puntos de mirada obtenidos a través del eye-tracking se encuentra distribuida de la siguiente manera: la opción 1 posee un 18% de los puntos del eye-tracking, mientras que la opción 2 posee un 27% y la opción 3 posee el 28%, figura 30.



Figura 30. Pregunta #2 Test Margaritas

**Pregunta con menor acierto:** La pregunta que obtuvo el menor porcentaje de aciertos es la número 19, con una media promedio de resolución de 15 segundos, la concentración de los puntos de mirada obtenidos a través del Eye-Tracking se encuentra distribuida de la siguiente manera: la opción 1 posee un 14% de los puntos del Eye-Tracking, mientras que la opción 2 posee un 35% y la opción 3 posee el 16% de los puntos del Eye-tracking, figura 31.

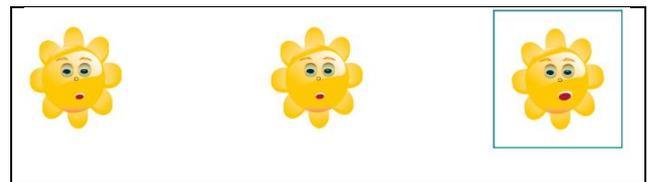


Figura 31. Pregunta #19 Test Margaritas

**Comportamiento mapas de calor:** Se realizó un análisis de todos los mapas de calor de la pregunta número 2, la cual posee la mayor cantidad de aciertos. Se puede diferenciar en el mapa de calor, figura 32, que la mayor zona de interés se centra en las características faciales (ojos, nariz y boca) de las margaritas, predominando en la imagen del centro y la imagen de la derecha. La respuesta correcta, en esta pregunta, es la imagen de la derecha.

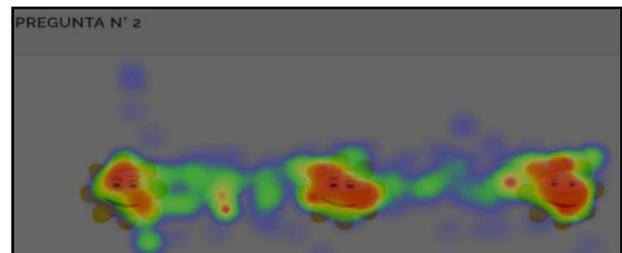


Figura 32. Mapa de calor-Test Margaritas, Pregunta #2.

Mientras que la pregunta número 19 la cual obtuvo la menor cantidad de aciertos, se distingue que la mayor concentración de la zona de interés está en el área del rostro (boca y ojos) de las 3 imágenes, predominando la zona de interés en la imagen del centro. En este caso, la imagen de la derecha es la correcta. El mapa de calor se muestra en la figura 33.

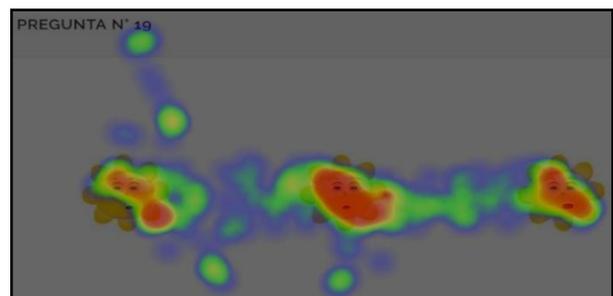
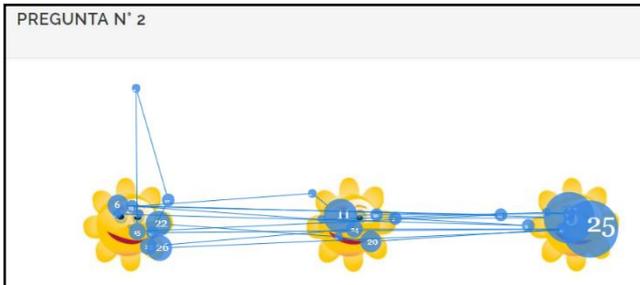


Figura 33. Mapa de calor-Test Margaritas, Pregunta #19.

**Comportamiento gráfico de gaze:** El análisis del gráfico de mirada de la pregunta número 2, determina un patrón de mirada que empieza desde la primera imagen (Izquierda de la pantalla), pasando por la imagen del centro y terminado el recorrido en la tercera imagen, para luego regresar a la imagen del centro y a la imagen de la izquierda, realizando un barrido de mirada constante en las 3 imágenes, en donde se puede observar más puntos de mirada en la primera y segunda cara, considerando que la imagen correcta es la de la derecha, como se visualiza en la figura 34.



## VII. REFERENCIAS

- [1] A. M. Soprano, *Cómo evaluar la atención y las funciones ejecutivas en niños y adolescentes.*, Paidós: Buenos Aires, 2010.
- [2] M. Cobos, A. M. Pacurucu, P. Ortega y C. Astudillo, «Los procesos atencionales y su evaluación con la utilización de software,» Universidad del Azuay, Cuenca, 2017.
- [3] A. Duchowski, «Eye Tracking Methodology. Theory and Practice,» *Springer*, vol. Second Edition, p. 335, 2007.
- [4] C. Weigle y D. Banks, «Analysis of Eye-Tracking Experiments performed on a Tobii T60,» *University of Tennessee/Joint Institute for Computational Sciences*, p. 12.
- [5] «Tobiidynavox,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.tobiidynavox.com/es/productos/software/>. [Último acceso: 2019].
- [6] F. Ungureanuj, R. Lupu y A. Cadar, «Neuromarketing and visual attention study using eye tracking techniques,» *IEEE*, vol. 1, pp. 2-4, 2017.
- [7] M. Okano y M. Asakawa, «Eye tracking analysis of consumer's attention to the product message of web advertisements and TV commercials,» *IEEE*, 2017. [En línea]. Available: <http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/esp/publicaciones.php>. [Último acceso: 25 AGOSTO 2018].
- [8] O. Navaro, A. Molina y M. Lacruz, «Utilización de Eye-tracking para evaluar el uso de información verbal en materiales multimedia,» *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, pp. 51-56, Enero 2016.
- [9] E. Añaños y A. Astals, «El poder de captar la atención visual de los elementos gráficos analizado con el Eye tracker,» *Revistes Catalanes amb Accés Obert*, vol. 1, nº 2, 2013.
- [10] E. Aguayo y L. Hilares, «Sistema de control para Smartphone con uso de tecnología Eye-Tracking,» San Jose, 2014, pp. 2-5.
- [11] B. Jara y P. Barzallo, «Desarrollo de un software para realizar evaluaciones educativas a niños con parálisis cerebral entre 5 a 7 años de edad con el uso de sistemas eye-tracking,» Cuenca, 2018.
- [12] B. Farnsworth, «Imotions,» 2018. [En línea]. Available: <https://imotions.com/blog/free-eye-tracking-software/>. [Último acceso: 24 agosto 2018].
- [13] «Django Software Foundation,» 20 01 2019. [En línea]. Available: <https://www.djangoproject.com>. [Último acceso: 2019].
- [14] «Python,» 20 01 2019. [En línea]. Available: <https://www.python.org/>. [Último acceso: 2019].
- [15] «Introduction to Networks - Ccna1 - Client-Sever Model,» Cisco, 2019.
- [16] P. Wied, «Heatmap.js,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.patrick-wied.at/static/heatmapjs/>. [Último acceso: 2019].
- [17] E. Marini, «Linuxito,» 10 2012. [En línea]. Available: <https://www.linuxito.com/docs/el-modelo-cliente-servidor.pdf>. [Último acceso: 2019].
- [18] «BeginnersBook,» [En línea]. Available: <https://beginnersbook.com/2013/04/oops-concepts/>. [Último acceso: 2019].
- [19] L. Thurstone y M. Yela, «Test de Percepción de Diferencias - Revisado,» *TEA Ediciones*, p. 16, 2012.