



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Maestría en Sistemas Computacionales

PROYECTO DE TESIS

TÍTULO DEL PROYECTO: Aplicación de técnicas de seguimiento de ojos
basadas en visión artificial para evaluar el grado de atención y
aprovechamiento en una actividad de comprensión lectora en computadora

PRESENTADO POR:

I.S.C. MIGUEL ÁNGEL RAMÍREZ FLORES M21011181

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

DIRECTOR DE TESIS:

MA. ANTONIETA ABUD FIGUEROA

CODIRECTOR DE TESIS:

DR. MARIO ANDRÉS PAREDES VALVERDE

ORIZABA, VER.

SEPTIEMBRE 2023.



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, **08/septiembre/2023**
Dependencia: **División de Estudios de
Posgrado e Investigación**
Asunto: **Autorización de Impresión**
OPCION: I

**C. MIGUEL ÁNGEL RAMÍREZ FLORES
CANDIDATO A GRADO DE MAESTRO EN:
SISTEMAS COMPUTACIONALES
P R E S E N T E.-**

De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros de Enseñanza Técnica Superior, dependiente de la Dirección General de Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

" Aplicación de técnicas de seguimiento de ojos basadas en visión artificial para evaluar el grado de atención y aprovechamiento en una actividad de comprensión lectora en computadora."

comunico a Usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

**DR. CUAUHTÉMOC SÁNCHEZ RAMÍREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



OG-13-F06



Orizaba, Veracruz, 10/agosto/2023
Asunto: **Revisión de trabajo escrito**

C. CUAUHTÉMOC SÁNCHEZ RAMÍREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PRESENTE.-

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.

MIGUEL ÁNGEL RAMÍREZ FLORES

La cual lleva el título de:

Aplicación de técnicas de seguimiento de ojos basadas en visión artificial para evaluar el grado de atención y aprovechamiento en una actividad de comprensión lectora en computadora.

Y concluyen que se acepta.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: M.C. MARÍA ANTONIETA ABUD FIGUEROA


FIRMA

SECRETARIO: M.R.T. IGNACIO LÓPEZ MARTÍNEZ


FIRMA

VOCAL: DR. ULISES JUÁREZ MARTÍNEZ


FIRMA

VOCAL SUP.: DR. MARIO ANDRÉS PAREDES VALVERDE


FIRMA

TA-09-18



CARTA DE ORIGINALIDAD

En la ciudad de Orizaba, Veracruz, el día 10 del mes de JUNIO del año 2023, el que suscribe **Miguel Ángel Ramírez Flores**, alumno del programa de Maestría en Sistemas Computacionales con número de control **M21011181**, manifiesta que es autor del trabajo de tesis titulado **“Aplicación de técnicas de seguimiento de ojos basadas en visión artificial para evaluar el grado de atención y aprovechamiento en una actividad de comprensión lectora en computadora”** y declara que el trabajo es original, ya que su contenido es producto de su directa contribución intelectual. Todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal y, en los casos que así lo requieran, se tienen las debidas autorizaciones de quienes poseen los derechos patrimoniales. Por lo tanto, se hace responsable de cualquier litigio o reclamación relacionada con derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba.



I.S.C Miguel Ángel Ramírez Flores

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la ciudad de Orizaba, Veracruz el día 10 del mes de JUNIO del año 2023, el que suscribe Miguel Ángel Ramírez Flores alumno (a) del programa de Maestría en Sistemas Computacionales con número de control M21011181, manifiesta que es autor intelectual del trabajo de tesis bajo la dirección de la M.C. Ma. Antonieta Abud Figueroa y ceden los derechos del trabajo intitulado “Aplicación de técnicas de seguimiento de ojos basadas en visión artificial para evaluar el grado de atención y aprovechamiento en una actividad de comprensión lectora en computadora” al TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y del director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: msc@orizaba.tecnm.mx . Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



I.S.C Miguel Ángel Ramírez Flores

Hoy, al culminar esta etapa de mi vida académica con la finalización de mi tesis de maestría, siento la necesidad de expresar mi profunda gratitud a las personas y lugares que han tenido un impacto significativo en mi viaje de investigación.

En primer lugar, quiero rendir homenaje a mis padres. Mamá y papá, su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio inquebrantable han sido la base de mi existencia. Cada día, me inspiran a ser una mejor persona, y su guía y cuidado han allanado mi camino hacia el éxito y la realización. No puedo expresar con palabras lo agradecido que estoy por todo lo que han hecho por mí. Y sobre todo, por enseñarme que todo lo que se sueña se puede lograr con esfuerzo y dedicación.

A mi directora y Codirector de tesis por brindarme su amistad y guiarme en la dirección correcta para el desarrollo de esta tesis, gracias de antemano por todo su tiempo, dedicación, observaciones, consejos, correcciones y la gran enseñanza que nos ha proporcionado, siendo una persona muy comprometida con su trabajo, pero sobre todo un gran profesionalista y un ejemplo a seguir.

Quiero extender mi gratitud a mis amigos y colegas de estudios. Ustedes han sido un apoyo inestimable en este viaje. Sus palabras de aliento, debates enriquecedores y compañía en largas noches de estudio han sido fundamentales para mi crecimiento como investigador y como persona.

Por último, quiero agradecer al instituto tecnológico de Orizaba, por brindarme la oportunidad de formarme con un profesional y poder obtener conocimientos necesarios para llevar a cabo este proyecto de investigación con éxito.

Con sincero agradecimiento, ¡Mucha gracias!

Contenido

Índice de Tablas	VIII
Índice de Figuras.....	IX
Índice de Gráficas	IX
Índice de Códigos	X
Resumen	XI
Abstract	VII
Introducción	VIII
Capítulo 1. Antecedentes	1
1.1 MARCO TEÓRICO	1
1.1.1 <i>Comprensión lectora</i>	1
1.1.2 <i>Seguimiento ocular</i>	4
1.1.3 <i>Técnicas de seguimiento de ojos</i>	9
1.1.4 <i>Visión por computadora</i>	13
1.2 SITUACIÓN TECNOLÓGICA, ECONÓMICA Y OPERATIVA DE LA EMPRESA.	18
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.4 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	19
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	19
1.5 <i>Justificación</i>	20
Capítulo 2. Estado de la práctica	22
2.1 TRABAJOS RELACIONADOS	22
2.2 ANÁLISIS COMPARATIVO.....	31
2.3 PROPUESTA DE SOLUCIÓN	35
2.3.1 <i>JavaScript</i>	35
2.3.2 <i>PHP</i>	35
2.3.3 <i>GazeRecorder</i>	36
2.3.4 <i>Visual Studio Code</i>	36
2.3.4 <i>MariaDB</i>	37
2.3.5 <i>Scrum</i>	37
Capítulo 3. Aplicación de la metodología	38
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN APLICADA.....	38
3.1.1 <i>Sprint 1 Determinación de requerimientos</i>	40
3.1.2 <i>Sprint 2 Desarrollo del diseño conceptual y operacional.</i>	43
3.1.3 <i>Sprint 3 Análisis y obtención de pruebas para la estimación del aprovechamiento</i>	55
3.1.4 <i>Sprint 4 Desarrollo del sistema</i>	59
Capítulo 4. Resultados	74
4.1 <i>SPRINT 5 APLICACIÓN A UN CASO DE ESTUDIO</i>	74

4.1.1 Caso de estudio: Clasificación de estudiantes según su estimación de aprovechamiento y desarrollo oculomotor	75
4.1.2 Caso de estudio: Escuela Telesecundaria 2 de enero	86
4.1.2.4 Resultados obtenidos tras la implementación del sistema de clasificación de estudiantes según su estimación de aprovechamiento y desarrollo oculomotor.	89
Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones	115
5.1 CONCLUSIONES	115
5.2 RECOMENDACIONES	116
5.3 TRABAJOS A FUTURO	118
Anexos y/o apéndices.....	119
PRODUCTOS ACADÉMICOS	119
Bibliografía.....	121

Índice de Tablas

TABLA 1.1 PREGUNTAS DE LECTURA EN NIVEL LITERAL	3
TABLA 1.2 PREGUNTAS DE LECTURA EN NIVEL INFERENCIAL	3
TABLA 1.3 PREGUNTAS DE LECTURA EN NIVEL CRÍTICO.....	4
TABLA 1.4 RELACIÓN DE MÚSCULOS OCULARES Y SU MOVIMIENTO ASOCIADO.....	8
TABLA 1.5 CLASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS OCULARES	9
TABLA 1.6 COMPARATIVA TÉCNICAS DE SEGUIMIENTO OCULAR.....	10
TABLA 2.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ARTÍCULOS RELACIONADOS.....	31
TABLA 3.1 HISTORIAS DE USUARIO	38
TABLA 3.2 SPRINT 1	40
TABLA 3.3. ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS.	41
TABLA 3.4. SPRINT 2	43
TABLA 3.5. SPRINT 3	55
TABLA 3.6. VELOCIDAD LECTORA DE ACUERDO A NIVEL ACADÉMICO.....	56
TABLA 3.7 REACTIVOS DE LA PRUEBA DE COMPRENSIÓN	58
TABLA 3.8. SPRINT 4	59
TABLA 3.9 INTERFACES GRÁFICAS DE USUARIO	71
TABLA 4.1 SPRINT 5	74
TABLA 4.2 RESPUESTAS DEL CUESTIONARIO DE RETROALIMENTACIÓN.....	91
TABLA 4.3 RESULTADOS DE LA PRUEBA D.E.M.....	96
TABLA 4.4 DESEMPEÑO DE LOS ESTUDIANTES (PRIMERA EVALUACIÓN).....	98
TABLA 4.5 COMPARATIVO DE LA CLASIFICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES	100
TABLA 4.7 RESULTADOS OBTENIDOS (SEGUNDA EVALUACIÓN).....	109
TABLA 4.8 CUESTIONARIO DE RETROALIMENTACIÓN (MAESTRA 1)	112
TABLA 4.9 CUESTIONARIO DE RETROALIMENTACIÓN (MAESTRA 2)	113

Índice de Figuras

FIGURA 1.1 ACTIVIDAD OCULAR DE UN USUARIO	5
FIGURA 1.2 EJEMPLO DE RASTREADOR OCULAR INTRUSIVO [7]	6
FIGURA 1.3 EJEMPLO DE RASTREADOR OCULAR NO INTRUSIVO [7].....	6
FIGURA 1.4 MÚSCULOS EXTRAOCULARES [10]	8
FIGURA 1.5 DISPOSITIVO DE ELECTROOCULOGRAFÍA [11]	11
FIGURA 1.6 GAFAS DE OCULOGRAFÍA INFRARROJA [11]	12
FIGURA 1.7 DISPOSITIVO DE VIDEO-OCULOGRAFÍA [12].....	13
FIGURA 3.2 DIAGRAMA DE BASE DE DATOS	44
FIGURA 3.3 DIAGRAMA DE SECUENCIA: INICIO DE SESIÓN	45
FIGURA 3.4 DIAGRAMA DE SECUENCIA: PRUEBA DE COMPRENSIÓN	46
FIGURA 3.6 DIAGRAMA DE SECUENCIA: CONSULTA DE REPORTES	47
FIGURA 3.7 INICIO DE SESIÓN DEL SISTEMA	48
FIGURA 3.8 PANTALLA DE INICIO DEL SISTEMA.....	49
FIGURA 3.9 REGISTRO DE ACTIVIDAD OCULAR DURANTE UNA LECTURA	49
FIGURA 3.10 PRUEBA DE COMPRENSIÓN BASADA EN PREGUNTAS Y RESPUESTAS.....	50
FIGURA 3.11 CAPTURA Y VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS	51
FIGURA 3.12 PATRÓN ARQUITECTÓNICO MVC.....	51
FIGURA 3.13 ARQUITECTURA DEL SISTEMA	53
FIGURA 3.14 TEXTOS DE ORIENTACIONES DIDÁCTICAS QUE TE OFRECE MEJOREDU [40].....	57
FIGURA 3.14 ESTRUCTURA MVC.....	60
FIGURA 4.1 INICIO DE SESIÓN	75
FIGURA 4.2 PÁGINA DE INICIO	76
FIGURA 4.3 PAGINA DE LECTURAS	77
FIGURA 4.4 SISTEMA DE CALIBRACIÓN GAZE.CLOUDAPI.....	77
FIGURA 4.5 MAPAS DE CALOR GENERADOS	78
FIGURA 4.6 SISTEMA DE EVALUACIÓN	78
FIGURA 4.7 THE DEVELOPMENTAL EYE MOVEMENT TEST (TEST D.E.M)	79
FIGURA 4.8 CLASIFICACIÓN DE LOS DATOS DEL TEST D.E.M	80
FIGURA 4.9 CLASIFICADOR DE MAPAS DE CALOR POR PROPORCIÓN DE COLOR	81
FIGURA 4.10 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN.....	83
FIGURA 4.11 SISTEMA DE REGISTRO DE DATOS	83
FIGURA 4.13 MÓDULO DE REPORTES.....	84
FIGURA 4.14 PANEL DE CONTROL	85
FIGURA 4.15 PRUEBA DE CLASIFICACIÓN MEDIANTE APROVECHAMIENTO LECTOR Y ACTIVIDAD OCULAR	87
FIGURA 4.16 PRESENTACIÓN INFORMATIVA	89
FIGURA 4.17 ALUMNOS DURANTE LAS PRUEBAS	90
FIGURA 4.18 MATRIZ DE CONFUSIÓN	106
FIGURA 4.19 REACTIVOS DEL TEST KING-DEVICK [41]	107

Índice de Gráficas

GRÁFICA 4.1 PORCENTAJE DE APROVECHAMIENTO GRUPO A.....	102
GRÁFICA 4.2 PORCENTAJE DE APROVECHAMIENTO GRUPO B	102

GRÁFICA 4.3 RESULTADOS DE LA MUESTRA	103
GRÁFICA 4.4 DESARROLLO OCULAR DE LA MUESTRA	104
GRAFICA 4.5 DESARROLLO OCULAR DE LA MUESTRA	105
GRÁFICA 4.6 RELACIÓN ENTRE EL DESARROLLO OCULOMOTOR Y APROVECHAMIENTO LECTOR	105
GRAFICA 4.7 COMPARATIVO ENTRE PRUEBAS	111

Índice de Códigos

Código 3.1 Script de seguimiento ocular.....	60
Código 3.2 Iniciador de rastreo ocular	61
Código 3.3 Controlador de sesión	62
Código 3.4 Función para calcular estimación de comprensión	63
Código 3.5 Verificación de institución registrada.....	65
Código 3.6 Función Calcular	66
Código 3.7 Función para calcular proporción de color	68
Código 3.8 Función Clasificador de aprovechamiento	69

Resumen

Hoy en día, el bajo rendimiento académico es uno de los problemas que enfrentan cientos de estudiantes en nuestro país, lo que repercute en sus resultados escolares y en el desempeño general del sistema educativo. Según los datos más recientes del Programa Internacional para la Evaluación de Estudiantes (PISA) correspondientes al año 2018, se revela que el 35% de los estudiantes mexicanos no lograron alcanzar el nivel mínimo de competencia necesario, destacando los problemas de lectura. Para abordar esta problemática, el presente trabajo se centra en el diseño y desarrollo un sistema web como una herramienta docente, para el soporte a identificar y capturar el comportamiento visual de los estudiantes utilizando una cámara convencional, así como evaluar su comprensión durante una lectura en computadora, con el objetivo de clasificar a los estudiantes en una escala de eficiente, suficiente e insuficiente según los resultados obtenidos en las pruebas de aprovechamiento y motricidad ocular. La investigación involucró la participación de 40 alumnos del primer año de secundaria, bajo el consentimiento de las autoridades escolares y la colaboración de dos maestras y una psicóloga. En su primera versión, la plataforma clasificó a más del 67 % de los evaluados de manera similar a la clasificación obtenida en el aula. La principal ventaja de esta herramienta docente es su capacidad para obtener, analizar y visualizar la actividad ocular durante la lectura en computadora, lo que permite detectar problemas de atención y aprendizaje en los estudiantes y tomar medidas tempranas para mejorar su desempeño académico.

Abstract

Nowadays, underperformance is one of the issues encountered by hundreds of students in our country, affecting their academic outcomes and the overall performance of the educational system. According to the latest data from the Programmed for International Student Assessment (PISA) for the year 2018, it is revealed that 35% of Mexican students did not reach the minimum level of competence required, with reading problems being particularly prominent. To address this issue, this study focuses on designing and developing a web-based system as an instructional tool to support the identification and capture of students' visual behavior using a conventional camera, as well as evaluate their comprehension during computer-based reading activities, with the aim of classifying students on a scale of proficient, sufficient, and insufficient based on the results obtained from reading achievement and ocular motricity tests. The research involved the participation of 40 first-year secondary school students, with the consent of school authorities and the collaboration of two teachers and a psychologist. In its initial version, the platform classified over 67% of the participants similarly to the classroom-based classification. The main advantage of this instructional tool is its ability to capture, analyze, and visualize ocular activity during computer-based reading, enabling the detection of attention and learning issues in students and facilitating early intervention to improve their academic performance.

Introducción

En la actualidad, la educación se enfrenta al desafío del bajo rendimiento académico en todos los niveles. Este problema está relacionado con diversos factores de riesgo que afectan a los estudiantes, como déficits cognitivos, problemas de lenguaje, falta de atención, habilidades sociales limitadas, dificultades emocionales y conductuales. La falta de comprensión lectora sigue siendo un problema que influye en un bajo desempeño escolar, ya que limita la capacidad de aprendizaje de los estudiantes. Si se logra una comprensión lectora adecuada, los estudiantes obtienen una mayor cantidad de conocimiento y mejorar su rendimiento académico.

Con los avances tecnológicos, el seguimiento ocular obtiene importancia como técnica para extraer información acerca de la interacción y el comportamiento visual de un usuario. Analizando la mirada es posible obtener información valiosa para identificar qué hace el alumno mientras realiza una lectura y utilizar esta información para identificar problemas de atención y aprendizaje. Por lo tanto, en el presente trabajo de tesis se presenta el desarrollo de un componente de *software*, para aplicar técnicas de seguimiento ocular basadas en visión artificial que permita el obtención de la actividad ocular de estudiantes de nivel secundaria mediante una cámara web convencional, para analizar y evaluar su nivel de desempeño académico y la actividad ocular de un estudiante durante el proceso de aprendizaje. De esta manera obteniendo una herramienta docente para la obtención, análisis y visualización de la actividad ocular, así como una evaluación y aproximación de la comprensión de los estudiantes en el proceso de lectura en computadora.

Para una mejor comprensión de este trabajo, sus objetivos, metodología, entre otros temas, el presente proyecto se encuentra formado por cinco capítulos, en el primer capítulo se dan a conocer los conceptos básicos para el entendimiento del proyecto, así como el planteamiento del problema, justificación, objetivo general y los específicos que se alcanzaron en el presente trabajo de investigación. El capítulo 2 muestra una revisión de trabajos, publicaciones e investigaciones relacionadas con el tema del

proyecto, logrando un análisis comparativo de la literatura mencionada, así como también exposición de la propuesta de solución que se eligió. En el capítulo 3 se presenta el desarrollo del proyecto de *software* mediante la utilización de la metodología necesaria para lograrlo. El capítulo 4 muestra los resultados obtenidos del sistema después de su aplicación en un caso de estudio. Finalmente, el capítulo 5 muestran las conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

Capítulo 1. Antecedentes

En el presente capítulo, se expone una serie de conceptos importantes para el desarrollo del proyecto. Asimismo, se explica la problemática que se busca abordar, se establece el objetivo general y los objetivos específicos que se pretenden alcanzar, y se ofrece la justificación correspondiente a la realización de este trabajo.

1.1 Marco teórico

A continuación, se presentan definiciones de conceptos que guardan relación con el tema principal de la investigación.

1.1.1 Comprensión lectora

El ejercicio de lectura es una habilidad altamente refinada que abarca dos componentes principales: decodificar símbolos gráficos y comprender el texto escrito. Estos aspectos generalmente se desarrollan juntos, pero la comprensión lectora es un proceso mucho más complejo, sostenido no solo por la identificación de palabras escritas y vocabulario, sino también por sistemas lingüísticos, como la sintaxis y el conocimiento general [1].

La capacidad de comprensión lectora se refiere a la habilidad que tiene una persona para examinar, entender, interpretar, reflexionar, evaluar y aplicar la información contenida en textos escritos con el fin de desarrollar habilidades de comunicación y adquirir nuevos conocimientos que le permitan involucrarse en la sociedad de manera activa. La comprensión lectora es el proceso para percibir de manera correcta los textos que se leen. También es el requisito previo para un aprendizaje significativo del texto. La aplicación de una comprensión lectora a un texto permite desarrollar las capacidades mentales [2]. La comprensión de lectura, no solo se espera que los lectores lean la palabra, sino también que interactúen con el texto para obtener un significado y comprensión, por lo cual, los lectores necesitan la capacidad de relacionar el texto que se lee y sus conocimientos previos [3]. Desde el punto de vista básico de

la comprensión de lectura se resuelve que esta actividad no es simplemente leer, sino que es más que decodificar palabras y dar un sentido.

1.1.1.1 Lectura

La lectura es el proceso principal por el cual se comprende un texto escrito. Esta actividad se encuentra presente durante el desarrollo del individuo como base fundamental para el aprendizaje y para la vida. En este sentido, “La Lectura es la capacidad de captar las palabras escritas de manera activa y procesarlas para comprender el sentido de un mensaje vinculando a través de signos escritos agrupados, estableciendo uniones entre grafemas y fonemas, y no solo asociar las letras entre sí para descifrar las palabras” [4] .

1.1.1.2 Niveles de lectura

El nivel de comprensión lectora está asociado al grado de desarrollo que alcanza el lector durante el proceso de lectura. Y estos niveles de comprensión se distribuyen en tres categorías principales:

- **Nivel literal.** Cuando un lector se centra en la lectura literal, su atención se enfoca en las palabras y frases clave que se encuentran en el texto. El objetivo principal es identificar las ideas e información que están expresadas explícitamente en el texto, a través del reconocimiento o evocación de hechos como la identificación de la idea principal, el reconocimiento de datos y hechos específicos, la comprensión de la secuencia de los acontecimientos, entre otros aspectos. En resumen, se trata de la identificación de todo aquello que está explícito en el texto. La Tabla 1.1 proporciona ejemplos de preguntas que se formulan en el nivel de lectura literal.

Tabla 1.1 Preguntas de lectura en nivel literal

Preguntas literales	
¿De qué trata el texto?	¿Para qué?
¿Qué ocurrió?	¿Qué se dijo respecto a?
¿A quién?	¿Cuáles son los hechos más importantes?
¿De qué trata la historia?	¿Dónde ocurrió?
¿Quién lo dijo?	¿Cuándo?
¿Por qué?	¿Cuál fue el desenlace?

- **Nivel inferencial.** El nivel de lectura inferencial tiene como objetivo identificar relaciones más allá de lo que se lee, interpretar el texto de manera más amplia, agregar detalles, experiencia previa, conectar lo que se lee con conocimientos previos y formular hipótesis e ideas nuevas. Es básicamente generar conclusiones, y facilita las relaciones con otras áreas de conocimiento y la integración de nuevos conocimientos en un todo. La Tabla 1.2 muestra ejemplos de preguntas para hacer en el nivel de lectura inferencial.

Tabla 1.2 Preguntas de lectura en nivel inferencial

Preguntas Inferenciales	
¿De qué trata el texto?	¿Qué causas o motivos generaron el tema?
¿A qué conclusiones llega el autor sobre el tema?	¿Qué consecuencias se desprenden de la trama?
¿Qué proyecciones es posible obtener?	¿Qué opinan las personas sobre el tema?
¿Qué informaciones que conoces se relacionan con el tema tratado?	¿Por qué?
¿Cuál es el significado de la palabra x?	¿Qué relación existe entre una y otra idea planteada?

- **Nivel crítico.** Cuando el lector se encuentra en el nivel crítico de lectura, ejercita su capacidad de evaluación y formación de juicios propios sobre el texto leído, apoyándose en sus conocimientos previos y fundamentos claros. La lectura crítica se caracteriza por tener un enfoque evaluativo (como se muestra en la Tabla 1.3), en el que intervienen la formación del lector, su criterio y los conocimientos adquiridos durante la lectura.

Tabla 1.3 Preguntas de lectura en nivel crítico

Preguntas Críticas	
¿Qué tipo de texto es este?	¿Cuál es el propósito del autor?
¿Qué quiere decir el autor con la siguiente expresión?	¿Estás de acuerdo con el punto de vista del autor?
¿Qué clase de argumentos presenta el autor?	¿Qué quiere decir el autor con la siguiente expresión?
¿Qué tipo de texto es este?	

1.1.2 Seguimiento ocular

El seguimiento ocular es una rama de la biometría que actúa como una identificación digital con las características y el comportamiento único, donde una computadora lo interpreta como *software* y se utilizan los datos en aplicaciones relacionadas con el reconocimiento de una persona. El seguimiento ocular se utiliza para identificar a una persona en una base de datos biométrica y para verificar la identidad esperada de la persona [5].

El seguimiento ocular es un conjunto de técnicas, dispositivos y mecanismos tecnológicos que permiten detectar la presencia de una persona y rastrear en tiempo real lo que está mirando. Los movimientos oculares se convierten en datos que contienen información como la posición de la pupila, el vector de la mirada para cada ojo y el punto de enfoque. Esta tecnología interpreta los movimientos oculares y los convierte en información que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones o como una modalidad de entrada adicional.

Los dispositivos que se utilizan para rastrear el movimiento de los ojos se denominan *eye trackers* y aunque la tecnología de *eye-tracking* aparentemente parece un término reciente, los primeros intentos de rastrear los movimientos del ojo comenzaron a fines del siglo XIX y no del todo agradables para los participantes del estudio. Algunos de los primeros dispositivos se apoyaban en colocar un yeso de París cubriendo el ojo con palos adheridos apuntando hacia afuera. Los palos indicaban la posición del ojo en relación con lo que miraba el participante. Los rastreadores oculares posteriores todavía usaban cubiertas para los ojos, pero utilizaban dispositivos similares a los

lentes de contacto actuales [6]. Estos dispositivos tecnológicos se diseñaron para monitorizar la atención visual con la recopilación de movimientos oculares cuando se observan diferentes estímulos (Figura 1.1).

“Por lo general, un sistema de seguimiento ocular comprende una o más cámaras, algunas fuentes de luz y capacidades informáticas” [7]. Los algoritmos traducen la información proporcionada por la cámara en puntos de datos con la ayuda del aprendizaje automático y el procesamiento avanzado de imágenes.

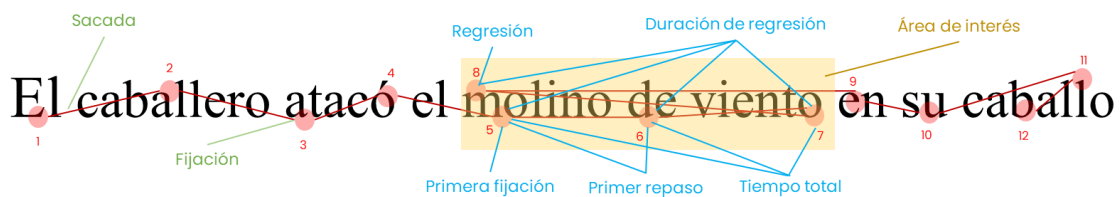


Figura 1.1 Actividad ocular de un usuario

Dentro de las categorías de rastreadores oculares o *eye trackers*, es posible encontrar una clasificación de dos tipos:

- **Rastreadores oculares intrusivos.** Consiste en un dispositivo colocado en la cara del usuario, normalmente dos cámaras para registrar el movimiento, integrando tecnología de adquisición y procesamiento de señales oculares, para aplicaciones biomédicas oculares, utilizando haces infrarrojos reflejados en la pupila, mientras que la otra se encarga de monitorizar la cabecera. Las desventajas de este tipo de dispositivo de seguimiento ocular son que los movimientos de la cabeza causan problemas de coordinación entre la cámara y los ojos, y es posible que cause cierta incomodidad al participante porque la cinta tiene que ser usada en el participante (Figura 1.2).

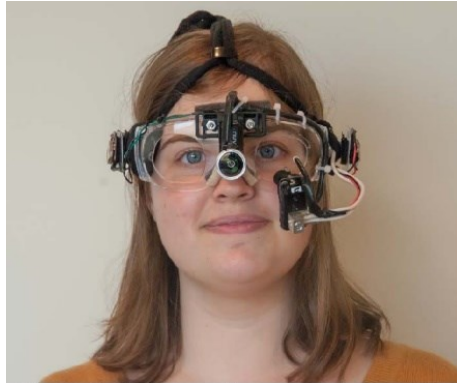


Figura 1.2 Ejemplo de rastreador ocular intrusivo [7]

- **Rastreadores oculares no intrusivos.** Con los instrumentos de esta categoría, es posible hacer una división transitoria entre los más antiguos y los más modernos. En su mayoría se utilizan haces de luz infrarroja que se reflejaban en los ojos de los participantes y captan cuando regresaban. Sin embargo, los más recientes funcionan con una computadora, un par de cámaras y un detector de infrarrojos. La computadora lee y registra los movimientos de los ojos para referenciar diferentes partes de la cara (Figura 1.3). Además, emplea luz infrarroja reflejada por la córnea para diferenciar entre el movimiento realizado por la cabeza y el movimiento de la pupila.

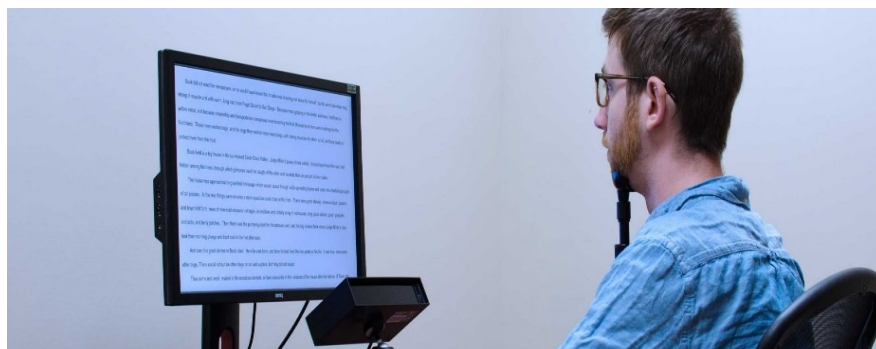


Figura 1.3 Ejemplo de rastreador ocular no intrusivo [7]

1.1.2.1 El ojo humano y sus movimientos

El ojo humano es el órgano principal del sistema visual y la base de la visión. Este músculo capta la luz y la convierte en impulsos nerviosos que viajan a través del nervio óptico hasta el cerebro para interpretarlos. El ojo está formado por el párpado, el globo ocular, el aparato lagrimal y los músculos extraoculares. Esta estructura permite dividirse en tres capas, capa externa, capa intermedia y capa interna [8].

Dentro de las capas del ojo, se encuentran cavidades donde se ubican el vítreo, que está suspendido por fibras transparentes, el ligamento suspensorio o región de zin del cuerpo ciliar y el humor acuoso, un líquido claro que llena el espacio entre la córnea, el cristalino y el iris. Además del vítreo, un gel transparente que llena la cavidad más grande rodeada por la esclerótica, el cuerpo ciliar y el vítreo. La cámara anterior se refiere al espacio entre la córnea y la superficie anterior del iris y el cristalino, mientras que la cámara posterior es un espacio más pequeño entre la superficie posterior del iris y los cuerpos ciliar, ambas conteniendo humor acuoso y conectadas por la pupila.

1.1.2.2 Visión

La capacidad de visión humana es el resultado de una compleja interacción entre el ojo y el cerebro, donde las neuronas, receptores y células especializadas trabajan en conjunto para transmitir información visual. Estos procesos cognitivos y emocionales, como la atención, la memoria y el procesamiento de la información, están involucrados en la facilitación de la economía de los recursos cognitivos y la atención consciente a las tareas visuales. [9]. El iris capta primero el flujo de luz, que reajusta el tamaño de la pupila. Luego, la luz pasa a través del centro del ojo hacia el cristalino y el vítreo, que son transparentes y viajan correctamente para luego llegar a la retina y a los fotorreceptores. Esta parte convierte la luz en señales eléctricas, que luego el nervio óptico envía al cerebro, donde se interpretan las imágenes.

Durante el procesamiento visual no solo se involucra la corteza del área occipital, sino que también participan áreas del lóbulo parietal (encargado de la localización espacial

de lo que se está viendo) y temporal (responsable de la identificación y reconocimiento de los objetos que se ven).

1.1.2.3 Movimiento ocular

Los movimientos oculares son el resultado de estímulos visuales desde el campo periférico al campo visual central. Captar y mantener imágenes en la fovea y estabilizarlas durante los movimientos de la cabeza constituyen las funciones básicas de la motricidad ocular. Los músculos extraoculares son responsables de generar los movimientos de los ojos. En concreto, se refiere a 6 pares de músculos que se encuentran anclados al globo ocular (Figura 1.4), y que son los siguientes: oblicuo superior, oblicuo inferior, recto superior (mayor), recto inferior (menor), recto interno (medial) y recto externo (lateral) [10].

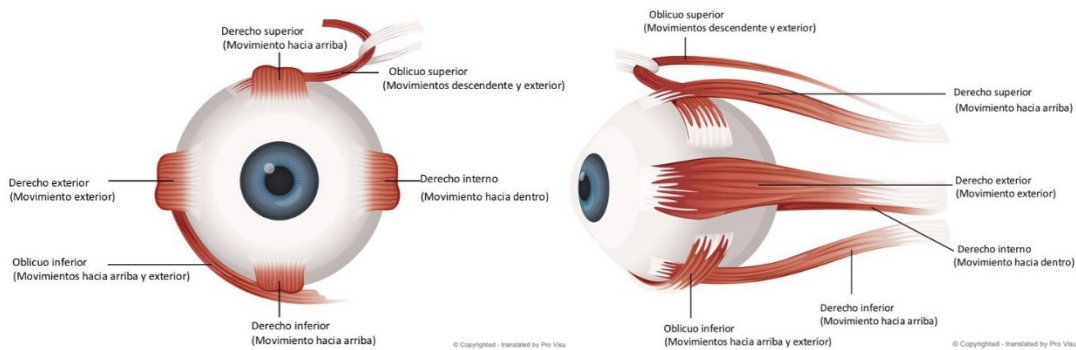


Figura 1.4 Músculos extraoculares [10]

Cada músculo determina un movimiento ocular, detallados en la Tabla 1.4:

Tabla 1.4 Relación de músculos oculares y su movimiento asociado

Músculo que actúa	Inervación	Dirección del movimiento
Derecho externo	Abducente	Hacia el lado temporal
Derecho interno	Oculomotor	Hacia el lado nasal
Derecho superior	Oculomotor	Hacia arriba y temporal
Derecho inferior	Oculomotor	Hacia abajo y temporal
Oblicuo superior	TrocLEAR	Hacia abajo y nasal
Oblicuo inferior	Oculomotor	Hacia arriba y nasal

Actualmente, existen diversas clasificaciones de los movimientos oculares, binoculares o monoculares, reflejos o espontáneos, o según las vías de control neuronal descritas por Hugonnier y Carpenter en los años 90. Entre ellas se encuentra la clasificación de funciones de Carpenter. Esta es la clasificación más común y ampliamente aceptada. Esta clasificación se basa en la funcionalidad del movimiento obteniendo el criterio que es posible diferenciar y clasificar los movimientos que realizan los ojos, véase más a detalle en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5 Clasificación de movimientos oculares

MOVIMIENTOS	PROPÓSITO
<ul style="list-style-type: none"> - Movimientos vestíbulo oculares - Movimientos optocinéticos 	Movimientos para la fijación de la mirada: Ayudan al movimiento de la cabeza para que la mirada permanezca fija en el objeto.
<ul style="list-style-type: none"> - Movimientos sacádicos - Movimientos de seguimiento - Vergencias 	Son movimientos que permiten el desplazamiento de la mirada: logrando cambiar la atención de un objeto a otro, es decir, logran un aumento del campo visual efectivo.
<ul style="list-style-type: none"> - Tremores - Micro sacádicos - Fluctuaciones 	Micro movimientos asociados a la fijación ocular o movimientos de fijación: Son movimientos de menor distancia de movimiento.

1.1.3 Técnicas de seguimiento de ojos

La tecnología de seguimiento ocular permite la observación y el cálculo de los movimientos de la mirada, incluidos movimientos sacádicos y fijaciones, y regiones de interés. En la actualidad la tecnología de seguimiento ocular se utiliza en muchas disciplinas, de las cuales se destacan la investigación en marketing, campos cognitivos y psicología, diseño industrial e informática. La correlación entre los movimientos oculares y la comprensión se fundamenta en dos supuestos:

- **Primero**, se basa en que tan pronto se observa un estímulo, y si existe un intento inmediato de interpretarlo.
- **Segundo**, las personas no dejan de prestar atención a los estímulos hasta que los comprenden.

La mayoría de las investigaciones y desarrollo de nuevas aplicaciones en el campo del seguimiento ocular se centran en tres técnicas: IOG (*infrared oculography*, Oculografía infrarroja), EOG (*electrooculography*, electrooculografía) y la VOG (*video oculography*, videooculografía). Estas técnicas se describen con más detalle en la Tabla 1.6.

Tabla 1.6 Comparativa Técnicas de seguimiento ocular

Técnica	Ventaja	Desventaja
Oculografía infrarroja	<ul style="list-style-type: none"> - Se utiliza en la luz y la oscuridad. - Manejo intermitente sin problemas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incapaz de cuantificar el movimiento torsional del ojo. - Movimiento limitado de la cabeza. - Método invasivo
Electrooculografía	<ul style="list-style-type: none"> - Muy alta resolución temporal y espacial. - Aprendizaje automático utilizado para encontrar precisión. - Análisis de datos en tiempo real mediante el uso de un microcontrolador. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se usa a diario. - Barato. - Afectado por el ruido alrededor del ojo. - Método invasivo. - Configuraciones complicadas
Videooculografía	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar luz visible o luz infrarroja. - Observación clínica de los trastornos del movimiento ocular. - El sistema de grabación de video se maneja fácilmente. - Ajustes sin complicaciones. - Es capaz de permitir el movimiento de la cabeza y la grabación totalmente remota. - Uso de técnicas de aprendizaje automático para obtener una mayor precisión. - No es caro 	<ul style="list-style-type: none"> - Resolución espacial limitada. - No es posible grabar con los ojos cerrados. - Invasivos y no invasivos.

1.1.3.1 Electrooculografía

Esta técnica implica detectar los movimientos oculares a través del registro de la diferencia de potencial eléctrico que se produce entre la córnea y la retina. La generación de esta señal es por causa de la hiperpolarización y despolarización de las

células nerviosas de la retina del ojo. Una vez que se captan estas señales y se procesan adecuadamente, logrando determinar la dirección visual de una persona con una precisión razonable.

“La electrooculografía (EOG) es una técnica práctica y económica para la interacción humano-computadora” [11]. Los sensores se conectan al área que rodea los ojos para detectar un campo eléctrico que se produce mientras los ojos giran midiendo las fluctuaciones en la piel (Figura 1.5). Los movimientos oculares horizontales y verticales se documentan de forma inconexa mediante electrodos. Sin embargo, la señal suele alterarse sin movimientos oculares



Figura 1.5 Dispositivo de electrooculografía [11]

La técnica de electrooculografía implica la colocación de electrodos alrededor del ojo para medir la diferencia de potencial eléctrico en la piel. Aunque ampliamente utilizada en los años 70, esta técnica tiene la limitación de que la medición de los movimientos oculares depende de la posición de la cabeza, lo que la hace inapropiada para medir la visión.

1.1.3.2 Oculografía infrarroja

La oculografía infrarroja se basa en el uso y colocación de un pequeño diodo emisor de luz (LED) bajo y frente al ojo, unido a un marco donde es posible contener lentes recetados o anteojos de sol (Figura. 1.6). Breves pulsos de luz infrarroja invisible se

disparan hacia arriba en un cono de luz de 30 grados centrado en el borde inferior del párpado superior y se repiten a una frecuencia de 500 Hz. La luz infrarroja total reflejada desde el ojo y el párpado se detecta por un fototransistor en el marco de las gafas al lado del LED.



Figura 1.6 Gafas de Oculografía infrarroja [11]

La técnica de oculografía infrarroja (IOG) mide la fuerza de una luz infrarroja que se refleja en la esclerótica, lo que proporciona una variedad de información sobre la posición del ojo [11]. Este enfoque se basa principalmente en algoritmos de detección de luz y pupila. Para solucionar el problema de la sensibilidad al movimiento de la cabeza, cuando se aplica esta técnica se incluye un punto de referencia, que se conoce como reflejo o destello corneal, utilizando una fuente de luz infrarroja.

1.1.3.3 Videoculografía

La videoculografía implica el uso de una cámara de video para calcular la dirección de la vista. Una o más cámaras pequeñas se colocan con un enfoque constante en el ojo (u ojos) a monitorizar (Fig. 1.7). La imagen capturada por la cámara se convierte en una señal digital usando un digitalizador de video y luego se procesa usando tecnologías de visión artificial. Según la posición de la cámara se distinguen diferentes configuraciones.

El principio de la videooculografía es sencillo; primero, una cámara forma una imagen digital del ojo, así como de los reflejos en las superficies ópticas del ojo. Luego se utilizan algoritmos informáticos para identificar estructuras particulares dentro de una imagen y en conjunto de algunos procedimientos de calibración adecuados, se calcula la orientación del ojo con respecto a la cámara [12]. En el caso de una cámara fija en la cabeza, la cámara proporciona una medida de la posición del ojo en la cabeza. También se adquiere información sobre la orientación de la cámara con respecto al entorno que calcula la posición del ojo en el espacio y establece la dirección de la línea de visión, a menudo denominada “dirección de la mirada”.



Figura 1.7 Dispositivo de video-Oculografía [12]

1.1.4 Visión por computadora

La visión por computadora es una rama de la inteligencia artificial que implica un conjunto de procesos para detectar, analizar y comprender imágenes, tomando como modelo el proceso visual humano. El objetivo es dotar a las computadoras de la capacidad de comprensión de imágenes de forma autónoma. Las técnicas y arquitecturas del sistema visual varían según la aplicación, aunque hay ciertos pasos comunes en la mayoría de los procesos de análisis de imágenes.

La visión por computadora se entiende como el proceso de usar computadoras para extraer de imágenes información útil sobre el mundo físico, incluidas descripciones significativas de objetos físicos. Por ejemplo, si una cámara de video captura una imagen de una escena física y la imagen digital se ingresa a un sistema de visión por computadora, la salida deseada sería una descripción de la escena física para la tarea particular en cuestión. La visión por computadora tiene muchas aplicaciones, desde la robótica, automatización industrial, procesamiento de documentos, detección remota, navegación, microscopía e imágenes médicas hasta el desarrollo de prótesis visuales para ciegos [13].

1.1.4.1 Aprendizaje automático

El aprendizaje automático o mejor conocido como *Machine Learning* es un campo de la inteligencia artificial, que se define como en la capacidad de las máquinas para aprender de forma autónoma, definido en la década de los años 50 por Arthur Samuel, pionero de la IA, como "el campo de estudio que da a las computadoras la capacidad de aprender sin ser programadas explícitamente" [14]. A través del uso de algoritmos y modelos matemáticos, se busca que los sistemas de inteligencia artificial puedan imitar el comportamiento natural humano en la resolución de problemas complejos. El objetivo principal del aprendizaje automático es permitir a las computadoras aprender sin una programación explícita, lo que se logra mediante la predicción o clasificación de datos de entrada etiquetados o no etiquetados, de esta manera, se obtienen estimaciones precisas sobre patrones de datos y tomar decisiones informadas en función de ellos.

La clasificación del aprendizaje automático se divide en tres categorías principales:

- Aprendizaje Supervisado
- Aprendizaje No Supervisado
- Aprendizaje Semi supervisado

El aprendizaje supervisado implica el uso de conjuntos de datos con etiquetas predefinidas para entrenar algoritmos que puedan clasificar datos o predecir resultados con precisión. Durante el proceso de entrenamiento, el modelo ajusta continuamente sus parámetros a medida que se alimenta con datos de entrada. La validación cruzada se utiliza para evitar el sobre ajuste o sub ajuste del modelo. El aprendizaje supervisado es una técnica útil en la resolución de una amplia gama de problemas del mundo real, como la clasificación de correos no deseados en una carpeta separada del correo electrónico principal.

El aprendizaje no supervisado es un tipo de aprendizaje automático que se utiliza para analizar y agrupar conjuntos de datos sin etiquetar. En este caso, los algoritmos son capaces de detectar patrones ocultos o grupos de datos sin necesidad de intervención humana. Gracias a su habilidad para identificar similitudes y diferencias en la información, es muy útil en la minería de datos, estrategias de venta cruzada, segmentación de clientes y reconocimiento de imágenes y patrones. Por otro lado, el aprendizaje semi supervisado es una combinación de aprendizaje supervisado y no supervisado, donde se utiliza un conjunto de datos etiquetados más pequeño para clasificar y extraer características de un conjunto de datos más grande sin etiquetar. Esto resuelve el problema de no tener suficientes datos etiquetados (o no poder etiquetar suficientes datos) para entrenar un algoritmo de aprendizaje supervisado.

Sin embargo, los algoritmos de aprendizaje no son suficientes para obtener los resultados esperados, por ello se cuenta con un cuarto algoritmo llamado “aprendizaje automático de refuerzo”. El aprendizaje por refuerzo en el aprendizaje automático es un modelo de aprendizaje que se enfoca en el comportamiento, similar al aprendizaje supervisado, pero difiere en que el algoritmo no se entrena utilizando datos de muestra. Este modelo aprende a medida que avanza su aprendizaje, basado mediante el uso de prueba y error, que refuerza una secuencia de resultados exitosos para desarrollar la mejor recomendación, predicción o clasificación de un problema [15].

1.1.4.3 Entrenamiento

El entrenamiento del *Machine Learning* es una parte fundamental para la visión por computadora. El propósito del entrenamiento a través del procesamiento de imágenes es entrenar algoritmos capaces de funcionar por sí mismos sin intervención humana en tareas de clasificación y detección de patrones. El entrenamiento se logra mediante la repetición de características propias de un objeto. Las computadoras reciben tantas imágenes identificadas o etiquetadas como sea posible para un óptimo aprendizaje. Para hacer esto, se necesitan algoritmos que analicen todas las condiciones y patrones para reconocer la presencia de objetos específicos en las imágenes, lo que se denomina entrenamiento.

1.1.4.4 Redes neuronales

Las redes neuronales son una técnica del campo del aprendizaje automático que constituyen la base de los algoritmos de aprendizaje profundo. La estructura y el nombre de las redes neuronales están influenciados por el cerebro humano, y buscan emular la forma en que las neuronas biológicas se comunican entre sí, “Las redes neuronales reflejan el comportamiento del cerebro humano, lo que permite a los programas informáticos reconocer patrones y resolver problemas comunes” [17].

Es posible describir una red neuronal artificial como un conjunto de nodos organizados en capas, que incluyen una capa de entrada, al menos una capa oculta y una capa de salida. Cada nodo o neurona artificial está enlazado con otros nodos por medio de un peso y un umbral configurado. Cuando la salida de un nodo supera un determinado umbral, este se activa y envía información a la siguiente capa de la red. Si no, los datos no continúan a la siguiente capa. Esta estructura permite que la red neuronal realice cálculos complejos, como reconocimiento de patrones, procesamiento de lenguaje natural y toma de decisiones basada en datos.

1.2 Situación tecnológica, económica y operativa de la empresa.

El Instituto Tecnológico de Orizaba es una institución pública que depende de la Secretaría de Educación Pública SEP y pertenece al Tecnológico Nacional de México. Se encuentra ubicado en Oriente 9, Colonia Emiliano Zapata, en la ciudad de Orizaba, Veracruz. Esta institución ofrece carreras de licenciatura, maestría y doctorado. En el área de maestrías ofrece, la Maestría en Ingeniería Electrónica, Maestría en Ingeniería Industrial, Maestría en Ciencias en Ingeniería Química, Maestría en Ingeniería Administrativa y la Maestría en Sistemas Computacionales. Asimismo, ofrece un Doctorado en Ciencias de la Ingeniería.

1.3 Planteamiento del problema

El bajo rendimiento académico es una problemática que afecta a una gran cantidad de estudiantes, sin importar su nivel educativo. Este problema está relacionado con diferentes factores, tales como la falta de motivación, ansiedad, estrés, depresión, entre otros. Sin embargo, también está relacionado con la forma en que se enseña y se aprende. Uno de los principales factores que se asocia con el bajo rendimiento académico es la falta de comprensión lectora, puesto que una considerable cantidad de estudiantes tienen dificultades para entender lo que leen. La comprensión lectora es una de las habilidades del lenguaje, que permite decodificar e interpretar textos escritos. Para hacer esto, una persona necesita usar su experiencia y conocimiento previos. Pero leer no se trata solo de descifrar palabras, sino más bien de comprender el mensaje escrito del texto. En México, muchos niños y jóvenes tienen dificultad para leer, y la falta de comprensión afecta sus resultados en el aprendizaje. Con base en los últimos resultados publicados del Programa Internacional para la Evaluación de Estudiantes (PISA) del año 2018, el 35 % de los estudiantes mexicanos no alcanzó el nivel mínimo de competencia adecuado en tres áreas del conocimiento, destacando problemas de comprensión lectora. Las consecuencias del bajo rendimiento de los

estudiantes dependerán en gran medida de la corrección temprana y la identificación de los problemas de aprendizaje.

Por lo tanto, con los avances actuales, muchas de las principales actividades humanas cuentan con el apoyo de la tecnología, una de las cuales es la educación. Hoy, con el aprendizaje en línea y presencial, se confían en los recursos tecnológicos para mejorar el rendimiento académico de los estudiantes y mitigar los problemas de comprensión lectora. En este sentido una de las áreas de interés tecnológico para la educación es el análisis de la mirada mientras se realiza una lectura. Sin embargo, pocas investigaciones buscan mejorar la enseñanza asistida por computadora para ayudar a mitigar los problemas académicos que afectan a los estudiantes, como el bajo rendimiento académico. En el presente trabajo se pretende aplicar técnicas de seguimiento ocular basadas en visión artificial para evaluar el grado de atención y aprovechamiento en una actividad de comprensión lectora en computadora.

1.4 Objetivo general y objetivos específicos

A continuación, se describe el objetivo general y cada uno de los objetivos específicos del proyecto.

1.4.1. Objetivo general

Aplicar técnicas de seguimiento de ojos basadas en visión artificial para evaluar el comportamiento y aprovechamiento de un usuario a través de la mirada mientras realiza una lectura en computadora.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar trabajos relacionados para conocer el estado actual del conocimiento sobre el análisis de la mirada en ambientes educativos basados en computadora.
- Analizar las técnicas y herramientas de análisis de imágenes para el seguimiento de la mirada.

- Definir la arquitectura del sistema para analizar el comportamiento y aprovechamiento del usuario durante la lectura en computadora.
- Diseñar, desarrollar e implementar las funcionalidades del sistema.
- Diseñar y ejecutar los experimentos para al menos un caso de estudio.
- Describir los resultados y conclusiones obtenidas tras la implementación del caso de estudio.

1.5 Justificación

Evaluar el grado de atención y aprovechamiento de un estudiante en una actividad de comprensión lectora permite a los docentes adaptar y reforzar métodos de enseñanza, instrumentos educativos, actividades, ambientes de aprendizaje de manera más eficiente y personalizada para cada alumno. Hoy en día, tanto en el aprendizaje en línea como el presencial se apoyan en recursos tecnológicos para mejorar el rendimiento del estudiante. En este sentido, una de las áreas de interés del uso de la tecnología en ambientes escolares es el análisis de la mirada mientras se realiza una lectura. Sin embargo, son pocos los estudios reportados en los cuales se buscan mejoras en la enseñanza apoyada en computadora que ayuden a mitigar los problemas académicos que afectan a los estudiantes como es el bajo rendimiento escolar.

La tecnología de seguimiento ocular permite capturar los datos de la mirada del estudiante para analizarlos e identificar problemas específicos o predecir su comportamiento. Los movimientos oculares revelan información sobre cómo el usuario se comporta. Analizando la mirada es posible identificar lo que se ve, en qué orden y durante cuánto tiempo, información que es valiosa para identificar qué hace el alumno mientras realiza una lectura y utilizar esta información para realizar mejoras en los procesos y materiales educativos. Actualmente para realizar este análisis de seguimiento ocular existen en el mercado diferentes dispositivos para el seguimiento de ojos o también conocidos como *eye trackers*, como son Tobii-pro®, Eye-link®, Smart-eye®, Gaze-point®, por mencionar algunos. Sin embargo, la adquisición de uno de

estos instrumentos de seguimiento ocular representa una inversión muy elevada para instituciones educativas. Por esta razón, en este proyecto se propone utilizar técnicas basadas en visión artificial en el análisis de imágenes capturadas a través de una cámara de computadora para realizar el seguimiento de los ojos y evaluar la atención y aprovechamiento de un usuario durante una lectura de comprensión. El objetivo de la propuesta es desarrollar un componente de *software* a modo de herramienta docente que ayude a facilitar la identificación y obtención del comportamiento visual de los estudiantes a través de una cámara web convencional, así como una aproximación de su comprensión durante una lectura en computadora, para clasificarlos en una escala de eficiente, suficiente e insuficiente de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de aprovechamiento lector y motricidad ocular.

Capítulo 2. Estado de la práctica

Actualmente con los avances tecnológicos muchas de las actividades humanas se apoyan en la tecnología, siendo una de las principales la educación. Sin embargo, son pocos los estudios reportados en los cuales se buscan mejoras en la enseñanza apoyada en computadora, que ayuden a mitigar los problemas académicos que afectan a los estudiantes como es el bajo rendimiento escolar.

A continuación, se presenta el resumen de los trabajos de investigación más relacionados con el tema propuesto en este proyecto de tesis.

2.1 Trabajos relacionados

Chang et al. [18] propusieron un sistema de lectura interactivo controlado por los ojos (ECIRS) que usa ojos humanos en lugar del mouse tradicional para controlar el texto digital para respaldar la lectura digital basada en pantalla. Este estudio utilizó un diseño semi experimental para examinar los efectos de un grupo experimental y un grupo de control de estudiantes que utilizaron respectivamente el ECIRS y un sistema de lectura interactivo controlado por ratón (MCIRS) para apoyar su lectura de dos tipos de texto en el idioma inglés. Los resultados analíticos revelaron que la comprensión lectora de los alumnos del grupo experimental superó significativamente la del grupo de control para el artículo de preguntas y respuestas, pero con una diferencia insignificante para el artículo de texto puro. Además, el ECIRS mejoró la comprensión lectora de los estudiantes independientes del campo más que la de los estudiantes dependientes del campo. Claramente, el ECIRS propuesto admite una lectura digital más profunda que el MCIRS.

El trabajo de Zhang et al.[19] presentó un sistema eficiente llamado VLEYE basado en el seguimiento ocular. El sistema permitió recopilar las áreas dinámicas de interés (AOI) y combinarlas con datos de movimiento ocular. Hay tres principales módulos en el sistema propuesto "grabador de movimiento ocular", "módulo AOI dinámico" y

"analizador de video". El "registrador de movimiento ocular" registra los datos del movimiento ocular mediante un dispositivo de seguimiento ocular, donde se aplica la función de control del cursor del mouse para admitir el uso de dispositivos de bajo costo. Los AOI son capaces de dibujar manualmente o detectar y rastrear mediante el algoritmo proporcionado automáticamente en el "módulo AOI dinámico". El "analizador de video" facilitó varios modos de visualización para ver y comparar la información de movimiento ocular para uno solo o varios sujetos, así como gráficos estadísticos e información de fijación de detalles. Además de las pruebas de rendimiento, se realizó un estudio de caso para verificar la aplicabilidad del sistema propuesto. Como resultado este sistema funcionó de manera correcta y es un paso esencial para ayudar de manera eficiente a los estudios a comprender mejor los procesos cognitivos del alumno para los estímulos dinámicos con la ayuda de video.

Alhasan et al. [20] presentaron el desarrollo un experimento de seguimiento ocular para analizar el patrón de comportamiento del alumno para obtener su estilo de aprendizaje como un aspecto de personalización en un sistema de aprendizaje electrónico. El dispositivo de electroencefalografía EEG Emotive Epoc® se utilizó para revelar a los alumnos datos más precisos. Durante el experimento, se desarrolló un método que comprobó la hipótesis planteada de si los estilos de aprendizaje verbal y visual reflejan preferencias reales en un entorno de aprendizaje electrónico basado en Felder y el modelo de aprendizaje de Silverman. El resultado obtenido de este experimento se utilizó como punto de partida para otros experimentos más exhaustivos.

Nugrahaningsih et al. [21] investigaron la posibilidad de distinguir entre los estilos de aprendizaje visual y verbal a partir de los datos obtenidos de la mirada. Además, el trabajo presentó un experimento que involucró a estudiantes de primer año de una facultad de ingeniería que recopilaron datos de la mirada de los participantes por medio de un seguidor ocular durante la lectura y observación de una diapositiva. Se seleccionaron tres métricas para caracterizar el comportamiento de la mirada del usuario; porcentaje de duración de fijación, porcentaje de fijación y duración media de

fijación. Los porcentajes se calcularon sobre diez intervalos en los que se subdividió el tiempo de interacción de cada participante, lo que permitió realizar evaluaciones basadas en el tiempo. Los resultados obtenidos mostraron una relación significativa entre los datos de la mirada y los estilos de aprendizaje visual/verbal. Este estudio proporcionó una contribución útil a la investigación de estilos de aprendizaje llevada a cabo utilizando la tecnología de seguimiento ocular, ya que se caracteriza por rasgos únicos que no se es posible encontrar en investigaciones de carácter similar.

Los autores Al madi y Khan [22] presentaron el resultado del desarrollo de un modelo de relación entre el movimiento de los ojos y la comprensión durante la lectura, para predecir la representación se utilizó una red semántica construida durante la lectura a partir de datos del movimiento ocular. Donde se obtuvo que el procesamiento cognitivo y lingüístico influye en el movimiento de los ojos durante la lectura. Este trabajo permitió extender los modelos de lectura existentes para generar redes semánticas de comprensión basadas en teorías cognitivas del movimiento ocular y la comprensión. El modelo se evaluó a través de un experimento humano en cuatro situaciones de lectura explicando y respondiendo muchos de los fenómenos observados en la investigación de lectura. Además, se presentó un nuevo parámetro en el comportamiento de lectura; el salto semántico, este parámetro agrega un nuevo aspecto de comprensión o procesamiento post léxico a los modelos de lectura. Lo que contribuyó a la comprensión de la lectura como una tarea cognitiva en un marco de trabajo para los sistemas informáticos que imitan y evalúan el comportamiento de lectura humano.

El trabajo desarrollado por Calado et al. [23] presentó una arquitectura biométrica capaz de manipular datos de reconocimiento ocular donde se obtuvo un método que analizó los datos de la mirada capturados de estudiantes en escenarios de aprendizaje para predecir sus comportamientos. También se presentó a través de la experimentación en un escenario, donde se utilizaron estímulos distractores para emular desviaciones en los niveles de atención. Se definió una metodología capaz de detectar patrones de mirada para una mayor automatización de la detección de

problemas de los estudiantes como falta de atención y rendimiento escolar donde se logró proporcionar a los sistemas de gestión del aprendizaje soluciones capaces de presentar datos cognitivos perspicaces en tiempo real de los usuarios y detectar automáticamente sí el usuario muestra un bajo rendimiento y falta de atención.

Chivu et al. [24] analizaron dos de las plataformas de aprendizaje electrónico dentro de prestigiosas universidades de Rumania, con el fin de identificar las opiniones de los estudiantes sobre su existencia, el grado de utilidad y usabilidad que sienten, y las posibilidades de su mejora respecto a la absorción entre los estudiantes beneficiarios. Los resultados mostraron que las plataformas de *e-learning* son vistas como un plus para el estudiante, pero aún existen posibilidades de mejora para alcanzar el nivel tecnológicamente avanzado. A partir del experimento se consiguió información sobre el grado de uso de dichas plataformas, la frecuencia de uso y las mejoras que se realizaron en las mismas. Gracias a la utilización de una herramienta para la medición de posición ocular, se obtuvieron perspectivas relevantes sobre el posicionamiento de los elementos del menú dentro de las plataformas de aprendizaje electrónico para hacerlos más amigables e intuitivas, así como sobre los elementos y espacios en la página web donde los estudiantes y/o los usuarios prestaron una mayor atención. Por ello se logró identificar fácilmente dónde es posible colocar un anuncio de interés general en las plataformas para que lo vean los usuarios.

Los autores Kohutek et al. [25] localizaron qué cursos en línea actualmente en uso, no cumplen con los principios básicos de creación de cursos electrónicos, lo que reduce significativamente su eficacia. Para facilitar la identificación de deficiencias, se desarrolló un experimento utilizando tecnología de seguimiento ocular para identificar áreas clave en las que es necesario enriquecer los cursos electrónicos con elementos multimedia interactivos, notas explicativas, entre otras. En el primero como parte del experimento, se empleó una combinación de cuestionarios, entrevistas personales y métodos de seguimiento ocular para identificar brechas o cualquier mejora sugerida en el contenido de los cursos. Posteriormente, se ajustaron los cursos electrónicos creados de esta manera de acuerdo con la retroalimentación recibida, siguiendo los

principios de creación de cursos electrónicos descritos en la literatura. El resultado obtenido se verificó a través de un experimento en el que el grupo de control estudia los cursos originales, mientras que los nuevos cursos se pusieron a disposición del grupo experimental. Por tanto, los primeros datos de salida obtenidos en forma de grabaciones de video y mapas de calor generados a partir del posicionamiento ocular permitieron identificar las palabras en las que los estudiantes estaban más concentrados mientras estudiaban el texto de estudio aplicado.

En el trabajo de Ivanović et al. [26] las tecnologías de seguimiento ocular permitieron varios tipos de procesos de percepción y actuaciones verbales/visuales emitidos por el usuario. Iniciando que los métodos de seguimiento ocular abrieron muchas posibilidades nuevas para examinar el procesamiento cognitivo y proporcionar una comprensión del razonamiento y las imágenes mentales, por lo que se examinó un entorno de aprendizaje electrónico donde las tecnologías de seguimiento ocular permitieron observar el comportamiento del usuario que permitió adaptar la presentación del contenido en tiempo real, para identificar un método mediante el cual los datos de respuesta psicopatológica en tiempo real logren recopilarse, analizarse e implementarse sin comprometer la experiencia de aprendizaje. Los datos recopilados con dispositivos de seguimiento ocular proporcionaron una cantidad significativa de información sobre el estado cognitivo en medidas sobre el nivel atención, concentración, cansancio, relajación, estrés, así como éxito en el aprendizaje y la resolución de tareas. Lo que permitió el desarrollo de un sistema llamado Protus® para la identificación automática del aprendizaje y estado mental/emocional del usuario a través de tecnologías de reconocimiento ocular, que mide las respuestas psicológicas, específicamente la dirección de la mirada y dilatación de la pupila, para indicar atención y niveles variables de la carga cognitiva para utilizar eficazmente en un entorno de entrenamiento utilizando esta información en tiempo real.

Zhou et al. [27] presentaron una investigación de varios estudios donde se intentaron abordar los problemas de lectura controlando la frecuencia de las palabras en una oración, pero obtuvieron resultados contradictorios. Para reexaminar estos problemas,

se realizó un experimento que manipuló la ortografía y la fonología de una palabra clave en el idioma chino dentro de una oración durante 140 ms y se observó el comportamiento de los lectores en su comprensión de lectura silenciosa. Durante la lectura en silencio, los sujetos miraron a través una pantalla a una distancia de 70 cm utilizando un dispositivo de reconocimiento ocular, donde analizaron las palabras que rodeaban la palabra objetivo durante varias rondas. El estudio obtuvo que el tiempo de fijación de la primera ronda implicaba que la manipulación no afectaba la velocidad de lectura ni de la palabra anterior ni de la palabra siguiente. En las siguientes rondas, se produjo más tiempo de fijación tanto en las palabras anteriores como en las siguientes. En consecuencia, el proceso de comprensión silenciosa en la etapa inicial parece ser un proceso de abajo hacia arriba, mientras que en la última etapa se realiza de manera contraria. También se encontró que el proceso de comprensión tomó menos conteos retrospectivos y un tiempo de lectura más corto en el caso de la manipulación de la fonología que en el caso de la manipulación de la ortografía. Este fenómeno indica que la información fonológica juega un papel más importante en la recuperación semántica para la comprensión lectora silenciosa.

El trabajo de Copeland y Gedeon [28] se propuso una relación entre las medidas de movimiento ocular y métodos para predecir la comprensión lectora, basado en trabajos previos sobre factores que afectan la comprensión lectora, se investigó más a fondo el comportamiento de búsqueda de respuestas y se presentó un método para medir y comparar este comportamiento. El número de fijaciones, el número de regresiones y el tiempo total de fijación son un indicador de la intensidad lectora y la intensidad lectora está relacionada con la comprensión. Por ello se obtuvo una red neuronal de retro propagación de alimentación hacia adelante para predecir puntajes de comprensión subjetiva, así como puntajes de cuestionarios. Se sugirió utilizar el grado de comportamiento de búsqueda de respuestas para medir la dificultad de las preguntas y como una medida implícita de qué tan difícil encuentra un participante un tutorial y un cuestionario. Dicha información es beneficiosa para aplicar en e-learning para crear entornos de aprendizaje dinámicos que usan el movimiento de los ojos para

predecir la dificultad implícita de las preguntas, incluso la dificultad de los participantes individuales. Este desarrollo logró la creación de una herramienta para proporcionar retroalimentación a los instructores sobre el comportamiento implícito de los estudiantes que realizan una tarea de lectura a través de un entorno de aprendizaje en línea. Por ejemplo, si el instructor recibe comentarios de que varios estudiantes no comprenden partes específicas del texto, entonces el instructor es capaz de dedicar más tiempo a explicar estos conceptos durante el tiempo de enseñanza cara a cara, o es posible reformular el contenido para que sea más fácil de entender.

Recientemente, el uso de técnicas de inteligencia artificial para analizar señales fisiológicas ganó una valiosa atención de investigación, pero la explotación de los datos educativos para el uso instructivo proactivo aún es limitada. Por ende el trabajo de Lin et al. [29] propuso y evaluó un enfoque automático que incorpora el método de agrupamiento *K-means* para el análisis del movimiento ocular. En este estudio, 64 estudiantes de pregrado y posgrado leyeron un texto de divulgación científica de varias páginas mientras se registraban sus movimientos oculares. Los resultados del análisis identificaron tres patrones de comportamiento de lectura que eran consistentes y comparables con los de estudios previos utilizando medidas auto informadas y análisis posteriores. Los hallazgos del estudio respaldaron el potencial y la validez de un enfoque basado en datos de abajo hacia arriba donde es posible examinar y analizar directamente los comportamientos de lectura sin interrupción, y se describe la contribución del estudio a la investigación y la práctica. Metodológicamente, este estudio contribuyó al campo de la enseñanza de la lectura al proporcionar más evidencia sobre la introducción de análisis de aprendizaje automático desde la perspectiva de la educación de precisión en lugar de los enfoques convencionales de análisis en comportamientos de lectura y estilos cognitivos.

La investigación presentada por Bottos y Balasingam [30] consideró el problema del seguimiento de la mirada de los individuos mientras se dedican a la lectura. En particular, el desarrollo de formas de rastrear con precisión la línea que lee una persona utilizando dispositivos de seguimiento ocular disponibles en el mercado. Este

enfoque permitió funcionalidades futuristas como la evaluación de la comprensión, la detección del nivel de interés y aplicaciones de asistencia al usuario como la navegación con manos libres y el desplazamiento automático. Además, el enfoque propuesto guía el camino para desarrollar tecnología que logre generar comentarios valiosos para los creadores de contenido, como diseñadores web, autores, educadores y usuarios de redes sociales. Los *eye trackers* comerciales existentes proporcionan una ubicación estimada de los puntos de mirada cada pocos milisegundos. Sin embargo, estos puntos de mirada estimados no son suficientes para cuantificar la progresión de la lectura, una actividad específica de la mirada. El enfoque propuesto emplea un rastreador ocular de bajo costo, el Gazepoint GP3®, para medir los puntos de mirada que luego se alimentan a través del sistema de detección de líneas (LDS) propuesto, que aplica un filtro Kalman para suavizar los datos y traduce los puntos de medición continuos a observaciones discretas. Logrando de tal manera generar algoritmos para unir las salidas del rastreador de mirada comercial y los patrones informativos de la mirada durante la lectura. El sistema sugerido consta de filtros de Kalman y modelos ocultos de Markov para parametrizar estos modelos estadísticos y detectar con precisión la línea que se lee. También se demostró que el enfoque propuesto produce una mejora del 27,1 % en la precisión de la detección de líneas con respecto al seguimiento de líneas utilizando los puntos de observación estimados únicamente por el rastreador ocular.

Tehranchi et al. [31] presentaron una investigación de cómo los alumnos de alto y bajo rendimiento actúan de manera diferente mientras usan un sistema de tutoría cognitiva. Examinando tres preguntas de investigación: (1) ¿Es posible predecir el rendimiento de los alumnos utilizando solo su atención visual (datos de movimiento ocular)? (2) ¿Es posible predecir el rendimiento de los alumnos a partir de los datos de atención visual y el rendimiento inicial? (3) ¿Son factores significativos en el desempeño de los alumnos la edad, el sexo, el idioma materno, el lugar al que miran y la secuencia de áreas de interés (AOI)? Los alumnos responden más correctamente a las preguntas tomadas de AOI más grandes que de las más pequeñas. Los resultados que se

obtuvieron muestran que los estudiantes de alto rendimiento prestan más atención al contenido que contiene respuestas a preguntas posteriores. Sorprendentemente, el tutor no cambió la búsqueda visual de los alumnos por una búsqueda orientada a objetivos. Este análisis ayudó a los diseñadores instruccionales a crear una experiencia de aprendizaje más productiva porque el comportamiento de búsqueda visual como parte de un modelo de aprendizaje con una precisión aceptable en las primeras etapas es posible utilizar en tutores adaptativos. Además, se realizó el entrenamiento de un clasificador con los datos del movimiento ocular que pronostica el desempeño de los alumnos en cada pregunta e incluso predice de manera acertada que un alumno es capaz de responder la pregunta de manera correcta aproximadamente el 76 % de las veces. Estos resultados sirvieron de base para la creación de una lista de sugerencias para diseñar experiencias de aprendizaje más productivas, como atraer la atención del usuario aumentando el tamaño del contenido que contiene respuestas y cambiando el orden de los contenidos.

Los sistemas que se adaptan automáticamente a los cambios en las necesidades humanas son útiles, contruidos sobre los avances en la investigación de la interacción humano-computadora. En lo presentado por Li et al. [32] se investigó que a través del movimiento de los ojos de un usuario al leer un artículo es posible predecir el nivel de comprensión lectora, lo que permitiría utilizarlo en sistemas inteligentes de aprendizaje electrónico adaptativo. El trabajo analizó el patrón de movimiento ocular en forma de señal de mirada a través de un dispositivo comercial Tobii X1 Light Eye Tracker® para el rastreo ocular. Este experimento involucró a 10 estudiantes de posgrados no hablantes del idioma inglés entre 20 a 33 años de edad a leer artículos en el idioma inglés de diferentes niveles de dificultad, siendo inducidos a diferentes niveles de comprensión. Donde aplicaron técnicas de aprendizaje automático para identificar características útiles para reconocer cuando los lectores experimentan dificultades para comprender su material de lectura, logrando de esta manera un modelo que identifica diferentes niveles de comprensión del usuario. Logrando una mejora del

rendimiento de más del 30 % por encima de la referencia, lo que se traduce en una reducción de más del 50 % en el error de detección.

2.2 Análisis Comparativo

La Tabla 2.1 contiene información que proporcionar una comparación de los diferentes artículos relacionados con el proyecto de tesis. Esta tabla permite identificar tanto las similitudes como las diferencias más relevantes entre ellos.

Tabla 2.1 Análisis comparativo de los artículos relacionados.

Artículo	Problema	Contribución	Tecnología	Resultados	Estado
Chang et al. [18]	Falta de un sistema de lectura interactivo para apoyar en textos en inglés.	Sistema de lectura interactivo controlado por los ojos (ECIRS) que usa ojos humanos en lugar del mouse tradicional para controlar el texto digital	Rastreador ocular Gazepoint GP3®	El ECIRS propuesto es tan fácil de usar como el MCIRS. Sin embargo, los dos grupos diferían significativamente en el tiempo de lectura, la duración de la secuencia de lectura y el número de anotaciones.	Terminado
Zhang et al. [19]	Falta de un registro de datos del movimiento ocular mediante un dispositivo de seguimiento ocular en tiempo real	Sistema llamado VLEYE® basado en el seguimiento ocular para comprender mejor los procesos cognitivos del alumno durante estímulos dinámicos	Rastreador ocular Tobii EyeX® y EyeTribe®	Mejor rendimiento para una configuración automática de AOI dinámico, un sistema bastante fácil de utilizar por los usuarios en general y un análisis de objetos dinámicos a través de video	Terminado
Alhasan et al. [20]	Falta de un análisis del patrón de comportamiento del alumno para obtener su estilo de aprendizaje a través de un sistema de aprendizaje electrónico	Desarrollo de un experimento utilizando el seguimiento ocular para analizar el patrón de comportamiento del alumno para obtener su estilo de aprendizaje	Dispositivo de electroencefalografía EEG Emotive Epoc®	Un patrón capaz de reconocer el estilo de aprendizaje de un alumno a través de E-learning con resultados significativos y eficientes	Terminado

Tabla 2.1 Análisis comparativo de los artículos relacionados (continuación).

Artículo	Problema	Contribución	Tecnología	Resultados	Estado
Nugrahanin gsih et al. [21]	Ineficiencia para distinguir entre los estilos de aprendizaje Visual y Verbal a partir de los datos obtenidos de la mirada	Método para la predicción de estilo de aprendizaje a través de métricas de observación basado en el reconocimiento ocular	Rastreador Ocular	Los mejores métodos para la clasificación de estilo de aprendizaje a través de métricas de observación obteniendo mejores resultados en el estilo de aprendizaje visual/verbal que los estilos Activo/Reflexivo, Sensible/Intuitivo y Secuencial/Global.	Terminado
Al Madi et al. [22]	Falta de un modelo de relación entre el movimiento de los ojos y la comprensión durante la lectura que para predecir una representación semántica construida durante la lectura a partir de datos del movimiento ocular	Modelo de relación del movimiento de los ojos y la comprensión durante la lectura que para predecir la representación semántica construida durante la lectura a partir de datos del movimiento ocular	Una pantalla de computadora, un rastreador ocular y una red semántica	Más modelos de lectura existentes para generar redes semánticas de comprensión basadas en teorías cognitivas del movimiento ocular y la comprensión.	Terminado
Calado et al. [23]	Falta de una arquitectura para analizar los datos obtenidos del reconocimiento ocular durante el aprendizaje	Metodología capaz de detectar patrones de mirada para una mayor automatización de la detección de problemas de los estudiantes como falta de atención y rendimiento escolar	Cámara, módulos GP3 Eye Tracker®, Gazepoint Control + Eye Tracker.	El sistema basado en el reconocimiento es capaz de detectar de manera preventiva y proactiva situaciones consistentes de problemas de los estudiantes durante el aprendizaje.	Terminado
Chivu et al. [24]	Falta de mejoras en plataformas de E-learning	Uso de dispositivos de reconocimiento ocular para mejoras en plataformas de E-learning	Dos plataformas de E-learning , un dispositivo de reconocimiento ocular	El análisis propuesto logra identificar de manera correcta lugares para colocar un anuncio de interés general en las plataformas para que lo vean los usuarios.	Terminado
Kohutek et al. [25]	Identificación de cursos digitales actualmente en uso que no cumplen con los principios de cursos electrónicos	Estudio para localizar deficiencias en cursos electrónicos mediante tecnologías de reconocimiento ocular determinando la concentración de estudiantes durante estímulos visuales	Lentes de rastreo de la pupila (Pupil Core eye tracking headset®).	Obtención de mejores datos obtenidos en forma de grabaciones de video y mapas de calor generados a partir del posicionamiento ocular permitieron identificar las palabras en las que los estudiantes estaban más concentrados durante el aprendizaje.	Terminado

Tabla 2.1 Análisis comparativo de los artículos relacionados (continuación).

Artículo	Problema	Contribución	Tecnología	Resultados	Estado
Ivanović et al. [26]	Falta de precisión en los procesos de percepción y actuaciones verbales/visuales emitidos por usuarios	Desarrollo de un sistema llamado Protus® para la identificación automática del aprendizaje y estado mental/emocional del usuario a través de tecnologías de reconocimiento ocular	Dispositivo de seguimiento ocular Tobii-TX® modelo T120 , T60 y Eye-Tribe®	Se mostró que los datos obtenidos a través del reconocimiento ocular eran indicadores confiables para determinar y distinguir el estado mental/emocional y el nivel de atención de un alumno.	Terminado
Zhou et al. [27]	Falta de un método de comprensión para la mejora de la lectura silenciosa	Enfoque de aprendizaje para la utilización de la lectura silenciosa con la utilización de información fonológica	Rastreador ocular Eyelink 1000 plus System®	Se obtuvo que la información fonológica juega un papel importante en la recuperación semántica para la comprensión lectora silenciosa a diferencia de solo la lectura lingüística .	Terminado
Copeland et al. [28]	Falta de análisis en la relación entre las medidas de movimiento ocular y métodos para predecir la comprensión lectora.	Herramienta para proporcionar retroalimentación a los instructores sobre el comportamiento implícito de los estudiantes que realizan una tarea de lectura a través de un entorno de aprendizaje en línea	Dispositivo de rastreo ocular Seeing Machines FaceLAB 5®	Mejores datos para comprender partes específicas de textos donde los alumnos tienen dificultades de aprendizaje obteniendo datos relevantes para que instructores destinen más tiempo un apartado específico.	Terminado
Lin et al. [29]	Falta de un método de agrupamiento para el análisis del movimiento ocular durante la lectura	Análisis de aprendizaje automático desde la perspectiva de la educación de precisión en lugar de los enfoques convencionales de análisis en comportamientos de lectura y estilos cognitivos	Rastreador ocular binocular y Rastreador Tobii EyeX®	La interpretación automática e instantánea de los comportamientos de lectura proporcionada por el enfoque propuesto también tiene un significado práctico para la práctica de campo para ayudar a leer.	Terminado
Bottos et al. [30]	Falta de formas de alta precisión para rastrear la línea que lee una persona a través de seguimiento ocular	Modelo de precisión de la detección de líneas a través de un rastreador ocular	Rastreador ocular Gazepoint GP3®	El modelo propuesto produce una mejora del 27,1 % en la precisión de la detección de líneas con respecto al seguimiento de líneas utilizando los puntos de observación estimados únicamente por el seguidor ocular.	Terminado

Tabla 2.1 Análisis comparativo de los artículos relacionados (continuación).

Artículo	Problema	Contribución	Tecnología	Resultados	Estado
Tehranchi et al. [31]	Falta de análisis de rendimiento entre estudiantes	Modelo de aprendizaje más productivo, para atraer la atención del usuario aumentando el tamaño del contenido que contiene respuestas y cambiando el orden de los contenidos.	Rastreador ocular, BeGaze2 [®] y plataforma de E-learning	Mejores resultados obtenidos por los estudiantes al analizar el rendimiento individual durante el aprendizaje. Además de crear una lista de sugerencias personalizada para los tutores pretendiendo obtener mejores resultados a los obtenidos.	Terminado
Li et al. [32]	Escasa información de la relación entre el movimiento del ojo y la lectura	Modelo de identificación de los diferentes niveles de comprensión del usuario a través del reconocimiento ocular	Rastreador ocular Tobii X1 Light [®]	Mejora del rendimiento de más del 30 % por encima de la referencia, lo que se traduce en una reducción de más del 50 % en el error de detección.	Terminado

Luego de examinar los estudios relacionados con el proyecto de tesis centrados en el análisis y aplicación de rastreadores oculares en la educación, se concluye que la investigación sobre los movimientos oculares y su relación con la comprensión lectora, así como la meta de mejorar el desempeño académico de los estudiantes, es un campo emergente y en expansión. Sin embargo, aunque en los trabajos antes mencionados, la implementación de rastreadores oculares comerciales de un costo elevado logra obtener datos funcionales para el análisis de la mirada durante el aprendizaje, es una buena oportunidad para desarrollar un sistema basado en visión por computadora de un costo accesible para su implementación en instituciones educativas, donde se logre obtener datos de los registros oculares utilizando cámaras web convencionales y métodos de evaluación durante una lectura de comprensión y así contribuir con una herramienta para los docentes puedan utilizar en la educación de niños y jóvenes e identificar problemas de comprensión lectora, evitando problemas relacionados al bajo rendimiento escolar.

2.3 Propuesta de solución

Como idea principal de solución para el objetivo de este trabajo de tesis, se propone desarrollar un sistema que utilice visión artificial para aplicar tecnología de seguimiento ocular para analizar y evaluar la atención y aprovechamiento en una actividad de comprensión lectora. El *software* propuesto se divide en módulos que permiten la adquisición y visualización de la actividad ocular de los estudiantes durante la lectura comprensiva, que luego se evalúa a través de una serie de preguntas relacionadas con la lectura utilizada en el módulo de registro ocular. A partir de lo antes mencionado se analizaron y seleccionaron las tecnologías y métodos adecuados para el desarrollo oportuno y eficiente de la solución propuesta.

Las diferentes tecnologías y herramientas utilizadas para el desarrollo del sistema se muestran a continuación.

2.3.1 JavaScript

JavaScript o JS es un lenguaje de programación que se caracteriza por ser ligero y generalmente se clasifica como un lenguaje de *scripting* o interpretado. Esto significa que se traduce directamente en código de lenguaje de máquina a través de un motor de lenguaje propio. JavaScript se utiliza principalmente en entornos de desarrollo web y ofrece capacidades interactivas que mejoran la experiencia del usuario dentro de un sitio web. Con más de 1,444,231 bibliotecas que siguen en aumento, JS permite a los programadores un desarrollo dinámico para lograr funcionalidades como visualización de datos en tiempo real, manipulación de componentes, formularios dinámicos, funcionalidades matemáticas, por mencionar algunas [33].

2.3.2 PHP

El lenguaje de programación PHP del acrónimo *PHP: Hypertext Preprocessor*, es un lenguaje de propósito general y de código abierto que funciona en el lado del servidor. Se utiliza principalmente para crear contenido dinámico en aplicaciones web,

permitiendo su integración en HTML. El código PHP se interpreta y se ejecuta en el servidor web, y su módulo generador de HTML envía el resultado de la ejecución del script al cliente, que solo recibe el resultado final y no tiene acceso al contenido del código original. Además, se tiene la posibilidad de utilizar programación por procedimientos o programación orientada a objetos (POO), o incluso una mezcla de ambas [34].

2.3.3 GazeRecorder

GazeRecorder® es una plataforma multifuncional para el seguimiento ocular de los usuarios con el uso solo de la cámara web de los equipos de cómputo. Esta plataforma permite la integración de una serie de herramientas para el seguimiento de la actividad ocular de los usuarios mediante la web e incluso un *software* propio. GazeRecorder® cuenta con diversas referencias de proyectos de investigación relacionados con la actividad ocular e implantación de sus servicios disponibles como la manipulación del cursor con los ojos, escritura de teclado con la mirada y la API GazeCloudAPI® de código abierto para el registro de la actividad ocular que permite el pintado en pantalla a través de mapas de calor, API desarrollada en JavaScript para asegurar que con solo unas pocas líneas de código se integre en cualquier sitio web o aplicación para el rastreo de los ojos de los usuarios a través de cámaras web convencionales. Esta plataforma incluso cuenta con su propio *software* de escritorio y soporte para dispositivos móviles [35].

2.3.4 Visual Studio Code

Visual studio code (VSC) es una plataforma que combina la simplicidad de un editor de código fuente con potentes herramientas para editar, depurar, crear código para luego ejecutar ese *software*. Visual Studio Code es gratuito, de código abierto y multiplataforma. Esto significa que VSC funciona tanto en Windows, Linux y macOS. Así como un soporte incorporado para casi todos los lenguajes de programación. Visual Studio Code incluye un depurador interactivo, por lo que es capaz de recorrer el código fuente, inspeccionar variables, ver pilas de llamadas y ejecutar comandos en

la consola. También incorpora una amplia biblioteca de *plugins* para el desarrollo eficiente y rápido de cada lenguaje de programación en el que se programe. Visual Studio Code tiene compatibilidad con Git y GitHub para trabajar con el control de versiones del código fuente sin salir del editor, incluida la visualización de los cambios pendientes [36].

2.3.4 MariaDB

MariaDB es un *software* de gestión de bases de datos relacionales creado por los mismos desarrolladores de MySQL y es conocido por su compromiso con el código abierto. Su función principal es transformar los datos en información estructurada y creado con el propósito de ofrecer una alternativa mejorada a MySQL. Basado en sus principales características como rendimiento, escalabilidad y robustez, con un ecosistema enriquecido en motores de almacenamiento, *plug-ins* y como base de datos relacional, proporciona una interfaz SQL para acceder a los datos, así como herramientas para adaptarse con gran versatilidad a distintos casos de uso [37].

2.3.5 Scrum

Scrum es un marco de trabajo ágil, mejorado y presentado en la década de los 90 como una forma de rechazo al modelo de cascada de desarrollo de *software*, ya que Schwaber y Sutherland plantean que un enfoque flexible e iterativo permite a los desarrolladores adaptarse de mejor manera continuamente con el fin de conseguir el mejor producto final para sus clientes. Esta metodología permite gestionar proyectos de cualquier tamaño de forma eficiente y ágil, el desarrollo se basa en ciclos cortos de tareas llamadas “*sprints*” que permiten completar pequeñas tareas en menos tiempo y esfuerzos [38].

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

En este capítulo, se muestra el desarrollo de cada una de los elementos de la metodología presentada en la propuesta de solución, con el objetivo de obtener una forma funcional de trabajo y la obtención del mejor producto para el cliente.

3.1 Descripción de la solución aplicada

Tomando en cuenta el objetivo central de este trabajo de tesis, se presenta la implementación de la solución propuesta bajo una adaptación del marco de trabajo Scrum.

Se determinaron cada una de las características mínimas necesarias que tiene que cumplir el sistema a partir de historias de usuario, de esta manera se obtuvo una pila de producto. El sistema está conformado por un conjunto de funcionalidades, mediante las cuales es posible cumplir su propósito general. Las funcionalidades se describen en la Tabla 3.1 como pila de producto o *Sprint backlog* de acuerdo a cada una de las historias de usuario.

Tabla 3.1 Historias de usuario

ID	Historia de usuario	Tareas	
H01	Como usuario quiero un sistema de acceso a través de una sesión para resguardar los datos de los alumnos evaluados.	Diseñar interfaz de módulo de acceso.	
		Codificar módulo de acceso.	
		Probar módulo de acceso.	
H02	Como usuario quiero obtener la actividad ocular de mis estudiantes para evaluar su comprensión lectora, registrar las palabras desconocidas y almacenar los resultados.	Capturar la actividad ocular	Diseñar interfaz de módulo de captura ocular.
			Codificar módulo de captura ocular.

Tabla 3.1 Historias de usuario (continuación)

ID	Historia de usuario	Tareas	ID
H02	Como usuario quiero obtener la actividad ocular de mis estudiantes para evaluar su comprensión lectora, registrar las palabras desconocidas y almacenar los resultados.	Capturar la actividad ocular	Probar módulo de captura ocular.
		Evaluar al usuario	Diseñar interfaz de módulo de evaluación .
			Codificar módulo de evaluación .
			Probar módulo de evaluación .
		Almacenar datos	Diseñar interfaz de módulo de registro de datos.
			Codificar módulo de acceso. módulo de registro de datos.
Probar módulo de registro de datos.			
H03	Como usuario quiero consultar los resultados de cada alumno evaluados.	Codificar módulo de acceso.	
		Probar módulo de consulta.	
		Probar módulo de consulta.	
H04	Como usuario quiero cerrar sesión para proteger la integridad de la información.	Diseñar interfaz de módulo de cerrar sesión.	
		Codificar módulo de cerrar sesión.	
		Probar módulo de cerrar sesión.	

Una vez se obtuvieron las historias de usuario y se identificaron las tareas necesarias en la pila de producto, se procede a establecer las iteraciones o *sprints* para lograr satisfacer los requerimientos del cliente. Cada una de estas iteraciones se acordaron y planificaron cuidadosamente para garantizar que se cumplan los objetivos establecidos en el proceso de desarrollo del proyecto.

A continuación, se presentan detalladamente cada una de las iteraciones planificadas en el proyecto para lograr el resultado esperado y satisfacer las necesidades del cliente.

1. Determinación de requerimientos.
2. Desarrollo del diseño conceptual y operacional.
3. Análisis y obtención de pruebas para la estimación del aprovechamiento
4. Desarrollo y codificación del sistema.
5. Aplicación a un caso de estudio.

3.1.1 Sprint 1 Determinación de requerimientos

El primer *sprint* está conformado por la identificación del conjunto de principales funcionalidades, mediante las cuales es posible cumplir su propósito general. Las actividades realizadas en este *sprint* se presentan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 *Sprint 1*

Sprint	Nombre	Tareas
1	Determinación de requerimientos	Análisis de los requerimientos necesarios del sistema
Propósito	Identificar y pactar con el cliente las funcionalidades necesarias del sistema.	
Estado	Finalizado	

Se identificaron los requerimientos, propósitos y metas de la aplicación para representarlos como casos de uso. Este análisis de requisitos da lugar a un diagrama de casos de uso.

En esta fase se identificaron los objetivos que se requieren obtener y la participación del actor principal en las tareas definidas. Las funcionalidades se describen en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Análisis de los requerimientos.

Requerimiento	Descripción de requerimiento
Iniciar sesión	Para acceder al sistema, el usuario proporciona su nombre de usuario y contraseña para autenticarse en la aplicación y acceder a las funcionalidades del sistema.
Gestionar perfil de usuario	El usuario tiene la posibilidad de registrar y actualizar datos de la escuela a la que pertenece, como nombre de la escuela, grupo, nivel y el logo de la institución asociada a su perfil.
Capturar la actividad ocular	Es necesario capturar la información de los movimientos oculares del usuario mientras se realiza una lectura de comprensión.
Evaluar al usuario	Es preciso evaluar al usuario a través de una serie de preguntas y respuestas para aproximar su porcentaje de comprensión.
Registrar palabras desconocidas	Se necesita registrar las palabras desconocidas por el usuario provenientes de la lectura de comprensión.
Almacenar datos en una base de datos	Se necesita almacenar los datos obtenidos de cada alumno para analizar los resultados. Esta información será utilizada para generar reportes y para futuros análisis de la actividad del usuario.
Consultar reportes	Se requiere la posibilidad de consultar reportes basados en la información que se obtienen de cada alumno en la prueba de comprensión y su nivel de comprensión almacenados en la base de datos.
Cerrar sesión	Se requiere una funcionalidad que permita al usuario cerrar sesión en la aplicación. Esto garantizará la seguridad de la información del usuario y evitará accesos no autorizados a su cuenta.

Una vez analizados los requerimientos básicos del sistema se procede a representarlos mediante el uso de un diagrama de casos de uso, estos se muestran en la Figura 3.1

Los diagramas de casos de uso se utilizan para representar la funcionalidad de un sistema mediante la identificación de actores y casos de uso. Su uso permite al equipo de desarrollo comprender los requisitos del sistema, incluyendo cómo interactúa el usuario con el mismo y las diferencias entre diversos casos de uso.

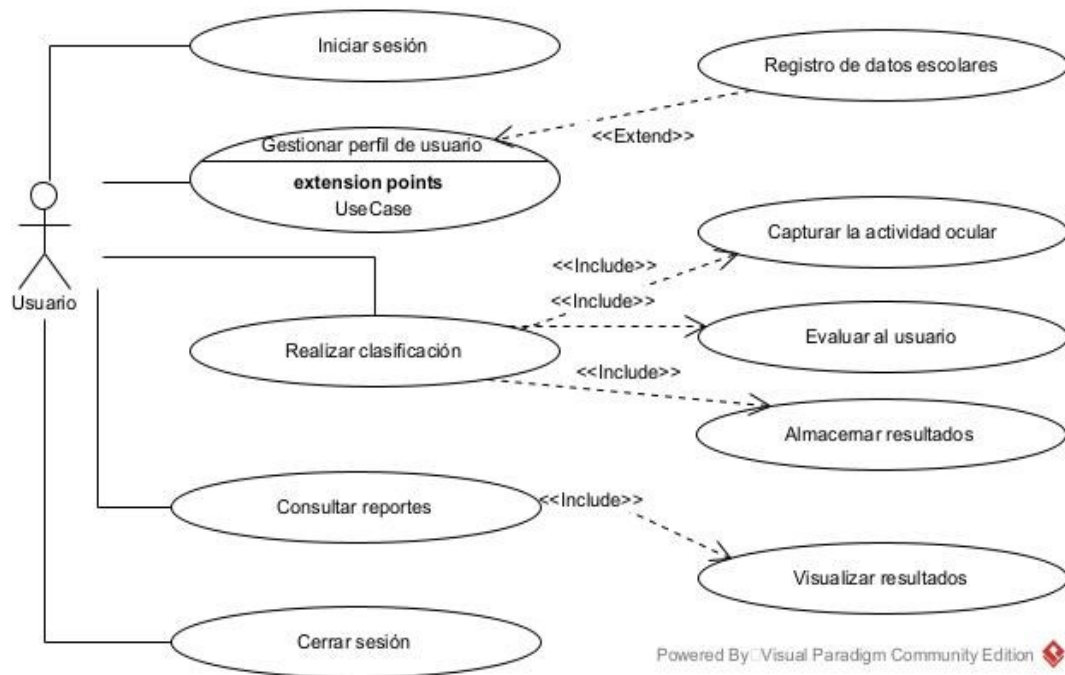


Figura 3.1 Diagrama de casos de uso

El usuario tiene la opción de agregar datos escolares como nombre de la escuela, grupo al que pertenece, la cantidad de alumnos que tiene el grupo y el logo de la escuela, de igual manera él es encargado de iniciar el análisis de los estudiantes. Una vez finalizado el análisis, es necesario que el docente capture para cada alumno sus datos básicos y el análisis ocular obtenido. Así como, los resultados obtenidos de la evaluación. También cuenta con la opción de elegir la lectura de comprensión para cada estudiante y revisión de los resultados obtenidos en las pruebas registradas.

3.1.2 Sprint 2 Desarrollo del diseño conceptual y operacional.

Las actividades que se realizaron en el *sprint*, se muestran en la siguiente Tabla 3.4.

Tabla 3.4. *Sprint 2*

Sprint	Nombre	Tareas
2	Desarrollo del diseño conceptual y operacional.	Desarrollar el diseño conceptual del sistema.
		Desarrollar el diseño operacional del sistema.
Propósito	Identificar y presentar la arquitectura, interacciones y flujo de trabajo que tendrá el sistema.	
Estado	Finalizado	

La etapa de diseño es el proceso que ayuda a simplificar los requisitos en una representación del *software* de forma gráfica y visual. Su objetivo es que pueda conocerse la arquitectura, funcionalidad e incluso la calidad del mismo antes de comenzar la codificación.

En el diseño, los requisitos del *software* se traducen a una serie de diagramas que representan la estructura del sistema, de sus datos y de sus interfaces. La herramienta empleada para el proceso de diseñar modelos UML es Visual Paradigm For UML 16.3 Enterprise, el cual es una plataforma bastante completa que permite la documentación de sistemas.

3.1.2.1 Esquema de base de datos

Se determinó que el sistema tenga la capacidad de almacenar un registro con los datos y resultados obtenidos de cada alumno analizado. La Figura 3.2 muestra el esquema de la base de datos.

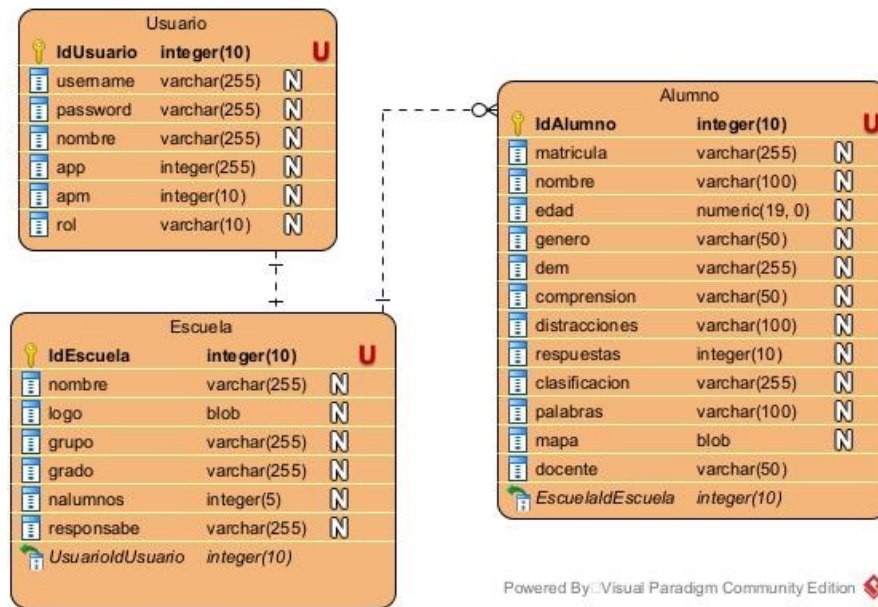


Figura 3.2 Diagrama de Base de Datos

3.1.2.2 Diagrama de secuencia

Los diagramas de secuencia muestran el proceso e intercambio de un conjunto de objetos en el sistema de forma gráfica durante una acción por el usuario.

3.1.2.2.1 Inicio de sesión

Para lograr un acceso al sistema los datos se procesan por diversos componentes para obtener mayor seguridad, aunque realiza el mismo proceso la autenticación para los usuarios es diferente. Los datos se procesan y verifican por el controlador y modelo con los cuales, en comunicación con la base de datos verifican la existencia de datos, y devuelve datos para la obtención de acceso como se presenta en la Figura 3.3.

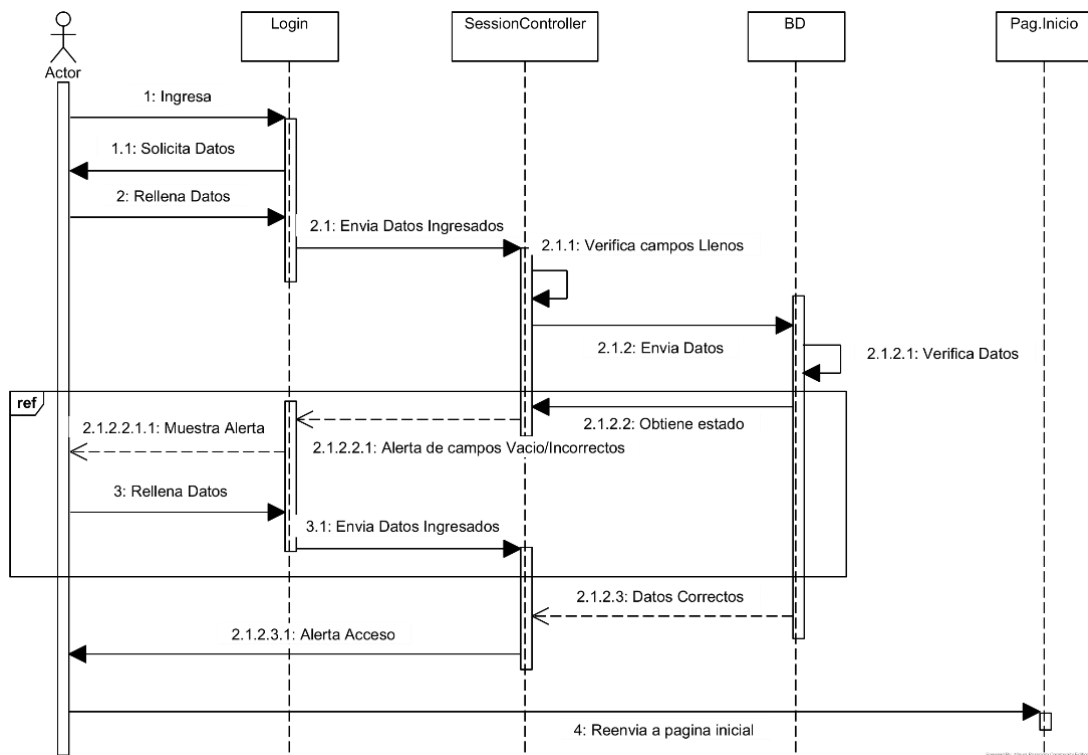


Figura 3.3 Diagrama de secuencia: Inicio de sesión

3.1.2.2.2 Realizar análisis

Todo el análisis y evaluación da inicio desde que el usuario inicia sesión para posteriormente seleccionar la opción de nuevo registro en el menú lateral, ahí el usuario elige la lectura de comprensión para el alumno. Una vez elegida la lectura el *software* inicia con el sistema de calibración para obtener la posición ocular durante la lectura, una vez finalizada la lectura se continúa con el módulo de evaluación y finalmente se registran todos los resultados obtenidos para ser almacenados.

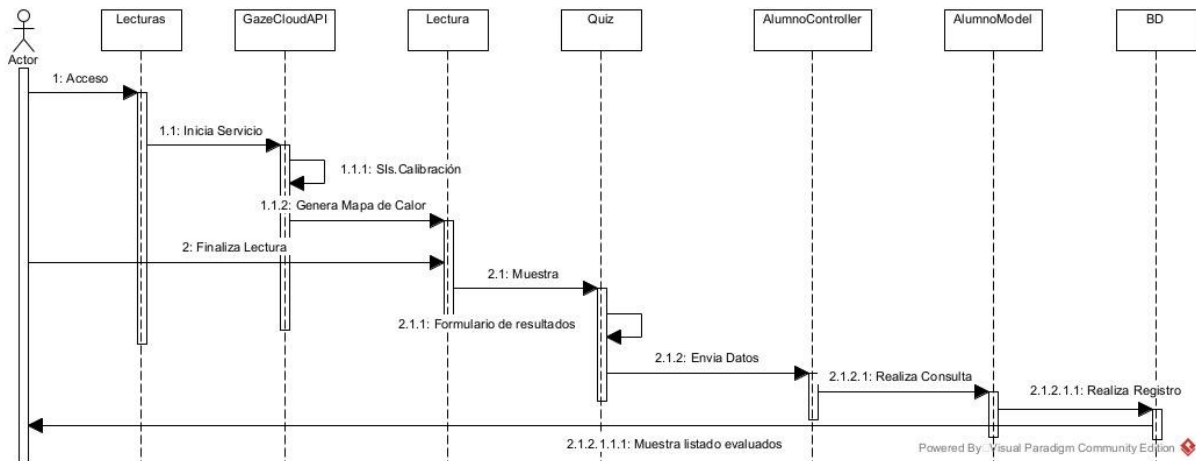


Figura 3.4 Diagrama de secuencia: prueba de comprensión

3.1.2.2.3 Gestionar datos de escuela

Aquí se presenta la manera de registrar la institución donde se realiza el análisis, la comunicación se ejecuta a través del formulario de ingreso, controlador y modelo para realizar un nuevo registro en la base de datos. Véase en la Figura 3.5 que en la existencia de campos vacíos el sistema envía una alerta al usuario solicitando el llenado por completo del formulario de registro.

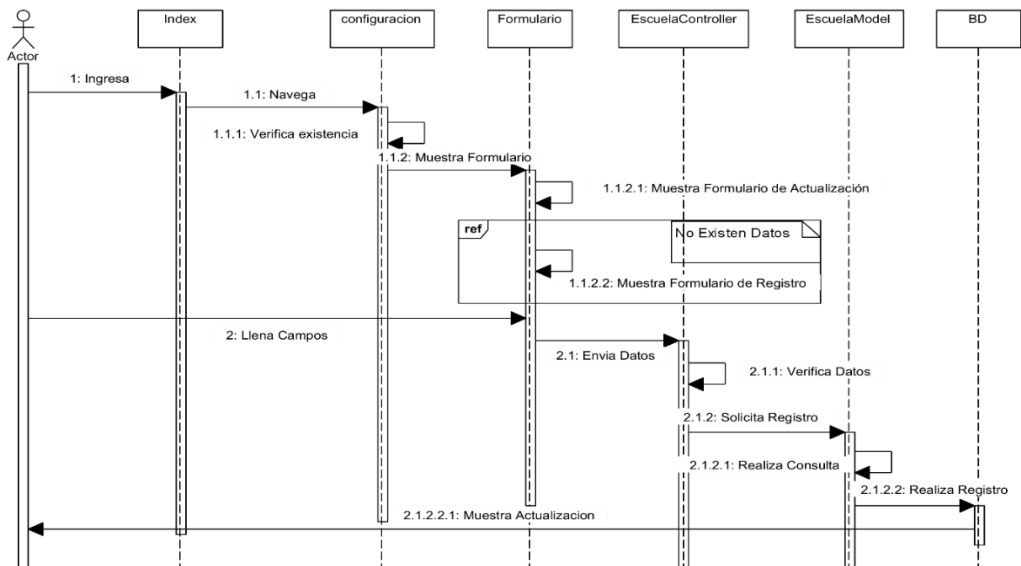


Figura 3.5 Diagrama de secuencia: Registro entidad educativa

3.1.2.2.4 Consultar reportes

Para la consulta de cada uno de los reportes en el sistema, solo basta con que el usuario ingrese al sistema y la página inicial despliega una lista con los datos de los alumnos evaluados. Para consultar la información registrada, el usuario tendrá que seleccionar el alumno que quiera visualizar.

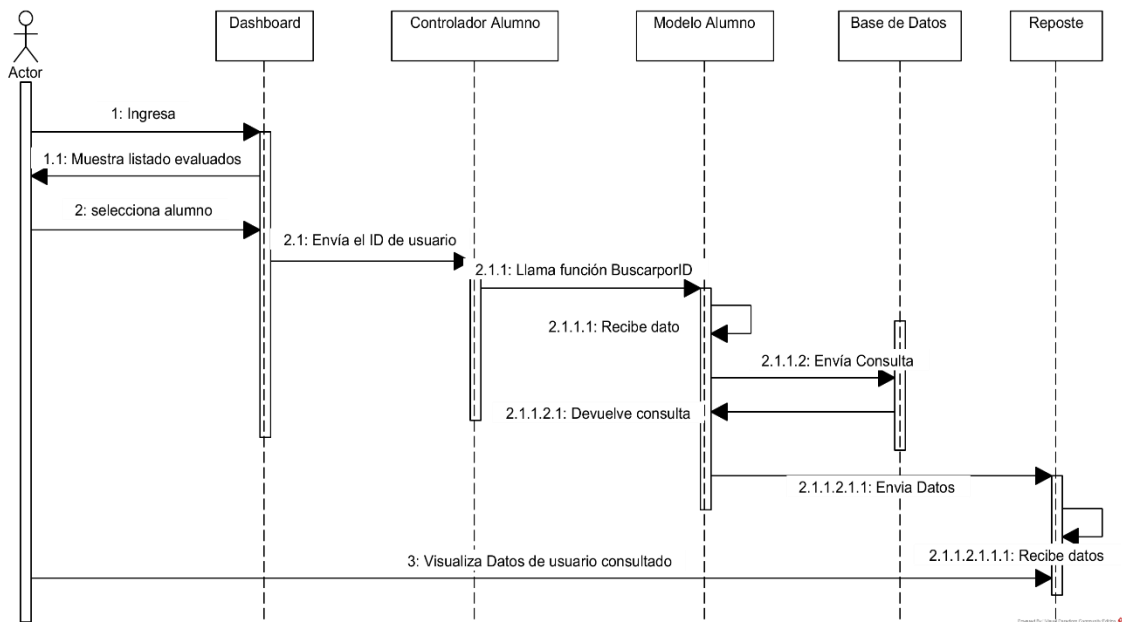


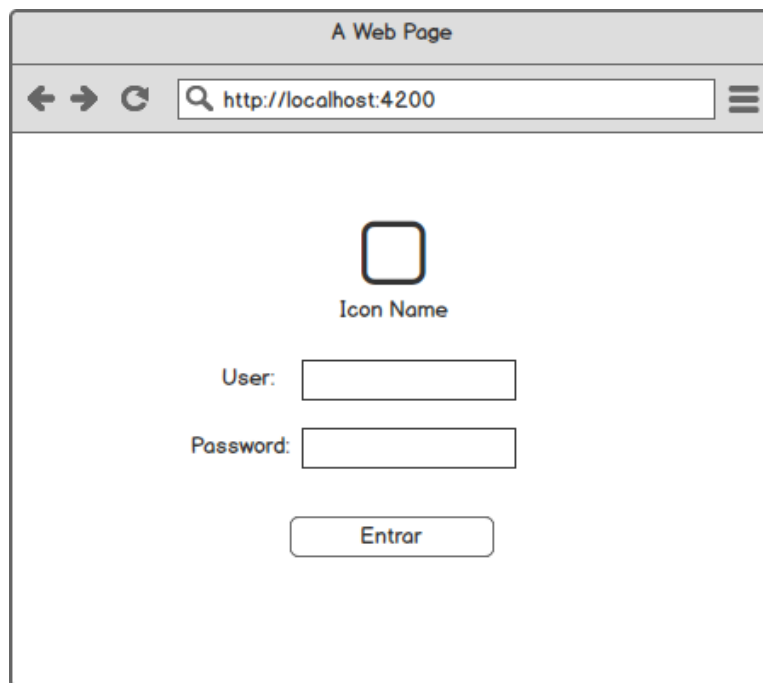
Figura 3.6 Diagrama de secuencia: consulta de reportes

3.1.2.3 Diseño de interfaces

Una vez analizadas las funcionalidades del sistema, se desarrolló un conjunto de interfaces gráficas que hacen representación de cada una de las secciones y funcionalidades del sistema, además de la posible apariencia general de todo el sistema. A continuación, se presenta el diseño preliminar de las interfaces del sistema.

La Figura 3.7 muestra la pantalla de inicio de sesión del sistema. La pantalla de *Inicio de Sesión* presenta dos campos para introducir texto, el primer campo corresponde al

usuario y el segundo la contraseña. Además, cuenta con un botón para solicitar el acceso al sistema.



The image shows a web browser window titled "A Web Page". The address bar contains "http://localhost:4200". The main content area features a login form with the following elements:

- A square icon placeholder with the text "Icon Name" below it.
- A label "User:" followed by a text input field.
- A label "Password:" followed by a text input field.
- A button labeled "Entrar" (Enter) positioned below the password field.

Figura 3.7 Inicio de Sesión del sistema

En la Figura 3.8 se aprecia la pantalla de *Inicio del Sistema*, en donde se localizan en el menú lateral una lista para acceder a la pantalla inicial, nuevo registro / análisis ocular y el apartado de configuración. En la sección central de la pantalla de inicio se localiza información correspondiente a la institución donde se realiza el *test* y un listado de todos los alumnos evaluados, permitiendo el acceso a los reportes con sus resultados.

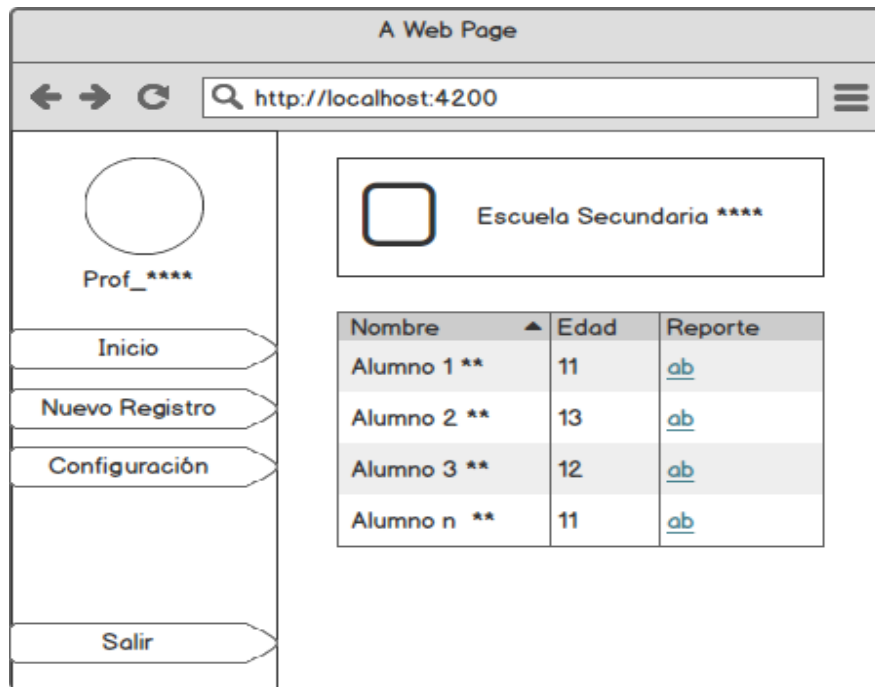


Figura 3.8 Pantalla de Inicio del Sistema

En la Figura 3.9 se presenta la forma en la que se captura la actividad ocular del usuario durante una lectura de comprensión. Con la implementación de la API elegida para este proyecto se cuenta un sistema de calibración de manera automática, para posteriormente obtener un mapa de calor correspondiente a los movimientos oculares del usuario durante la una lectura digital.

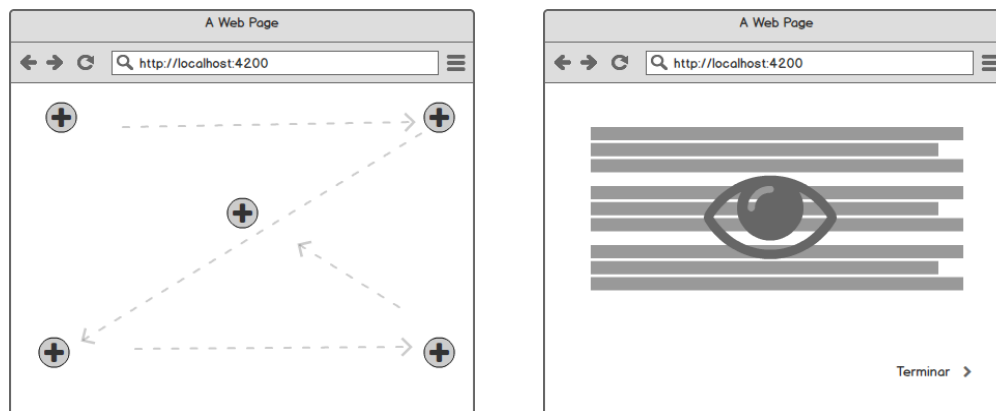


Figura 3.9 Registro de actividad ocular durante una lectura

La Figura 3.10 hace referencia a la prueba de comprensión basada en preguntas y respuestas, relacionadas con el texto leído anteriormente.

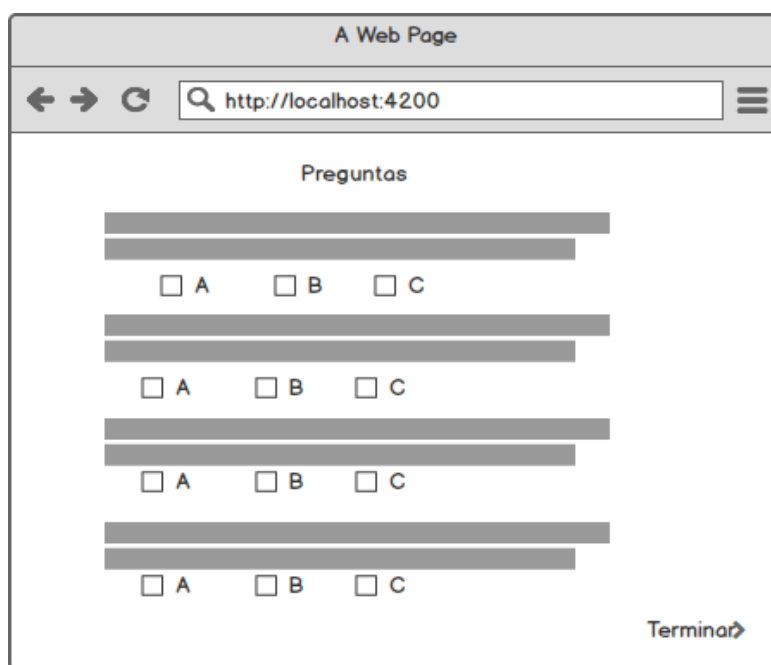


Figura 3.10 Prueba de comprensión basada en preguntas y respuestas

La Figura 3.11 muestra la pantalla de captura y el reporte de los resultados obtenidos de cada estudiante durante el análisis de la mirada durante una lectura de comprensión. Se capturan datos básicos del estudiante como nombre y edad, así como los resultados obtenidos durante la prueba (*Developmental Eye Movement, Desarrollo del Movimiento Ocular*) DEM y el nivel de comprensión logrado en la sección de preguntas (Figura 3.10), también es necesario señalar si se encontraron distracciones en el usuario durante las pruebas y las palabras desconocidas durante la lectura, así como almacenar el mapa de calor obtenido. Finalmente, los datos capturados serán visualizados en un reporte único para cada estudiante.

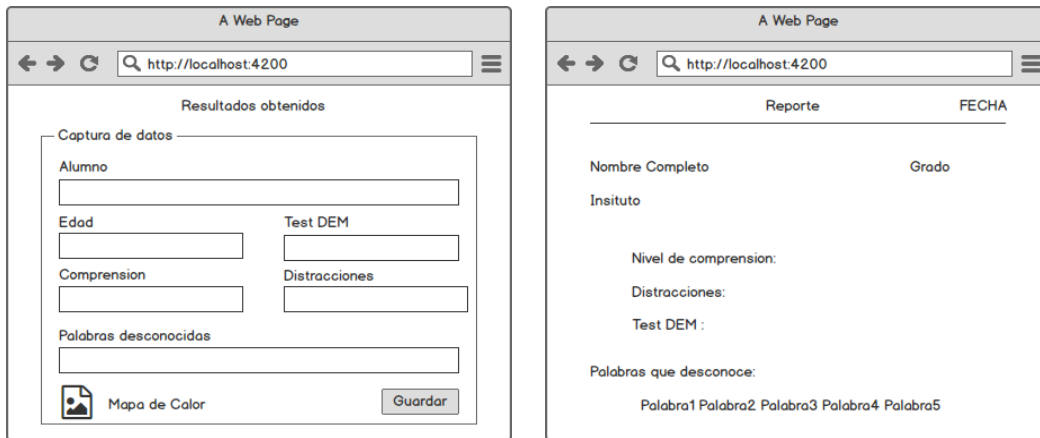


Figura 3.11 Captura y visualización de resultados

3.1.2.4 Patrón arquitectónico

Para la construcción y codificación de los distintos módulos, el proyecto se fundamentó sobre uno de los patrones de arquitectura más utilizados para el desarrollo de aplicaciones web, conocido como Modelo-Vista-Controlador (MVC), el cual permite establecer de manera clara la organización, la estructura de los componentes del sistema de *software* y de esta manera facilita el mantenimiento. El patrón se muestra en la Figura 3.12.

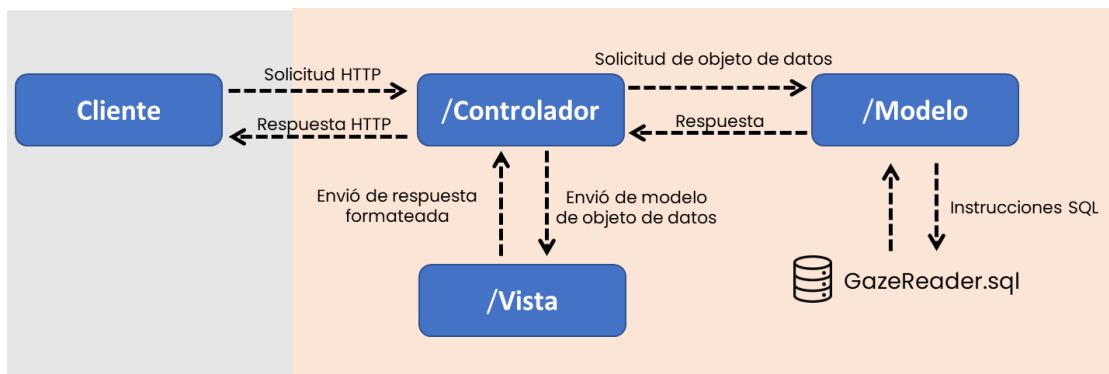


Figura 3.12 Patrón arquitectónico MVC

- **Modelo.** Trabaja con los datos y mecanismos para acceder y compartir información. Los modelos contienen todas las funciones básicas de un sistema, así como una conexión con la base de datos.
- **Vista.** Son representaciones visuales de componentes y datos del sistema, el cual contiene el código de nuestra aplicación que va a producir la visualización de las interfaces de usuario. Creando un medio con el que el usuario interactúa con el sistema.
- **Controlador.** Contiene los componentes necesarios con el objetivo de responder a las acciones que se solicitan en el sistema, como visualizar un elemento, realizar un nuevo registro o la búsqueda de información para el sistema de reportes.

3.1.2.5 Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema indica el funcionamiento y comunicación entre módulos de *software* que componen el sistema de adquisición, evaluación y análisis de la información ocular del usuario, así como, nivel de comprensión durante una lectura en computadora. Obteniendo como resultado una estructura global del sistema.

La arquitectura propuesta presenta los módulos para la captura, análisis y evaluación de la actividad ocular de un usuario durante una lectura de comprensión, como se muestran en la Figura 3.13.

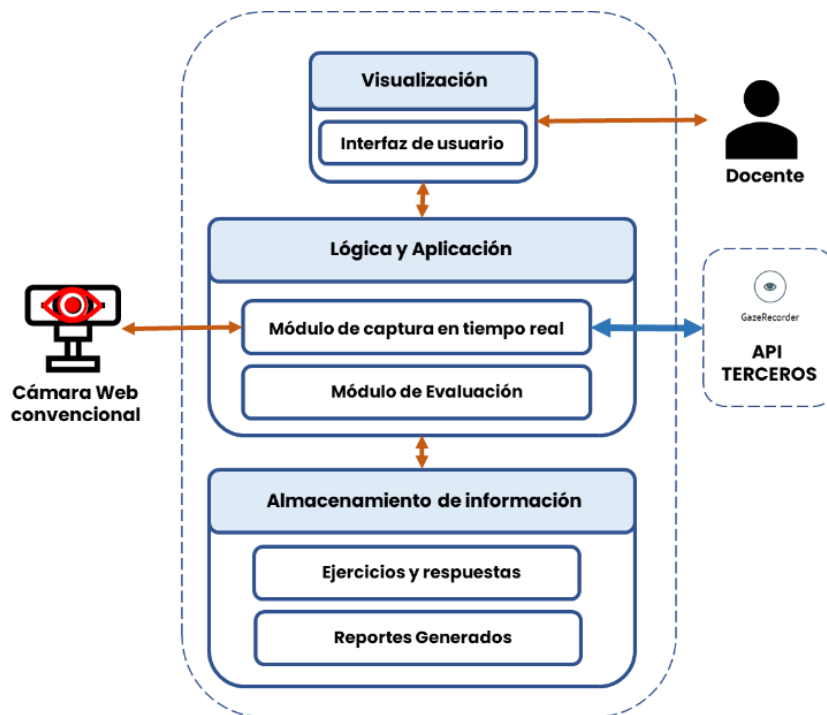


Figura 3.13 Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema toma lugar con la capa *Lógica y aplicación* donde se localizan los dos módulos más importantes: El módulo de captura en tiempo real, el cual será el medio para la obtención del registro ocular de un usuario durante el proceso de una lectura de comprensión, utilizando la *API GazeCloudAPI®*, para la extracción de la actividad ocular del usuario, obteniendo la posición en pantalla donde se ubica su mirada y los movimientos de fijación a través de un mapa de calor.

El *módulo de evaluación* consta de textos de comprensión, los cuales contienen una longitud correspondientes al rango de palabras por minuto que tiene que leer un usuario, acorde al nivel de educación secundaria, para que posteriormente el alumno sea evaluado mediante una serie de preguntas y respuestas sobre la lectura realizada, permitiendo analizar la relación de la actividad ocular y su comprensión lectora.

Posteriormente, *la capa de almacenamiento de información*, permitirá almacenar los datos obtenidos de cada alumno evaluado, así como una imagen resultante de su actividad ocular y porcentaje de comprensión, entre otros datos.

Finalmente, todos los resultados se presentan en la *capa de visualización* donde el usuario de rol docente podrá consultar los datos obtenidos de los estudiantes en cualquier momento para realizar acciones en la mejora del aprovechamiento de cada usuario, incluyendo nuevos análisis de manera personalizada para cada uno de los evaluados.

Para la implementación de la arquitectura se propone un flujo de trabajo que considere:

- 1. Seguimiento:** Se implementan técnicas de seguimiento ocular para la captura y análisis de la información del usuario durante la lectura a través de visión por computadora a partir de una Cámara web externa o incorporada en un equipo de cómputo, utilizando la API GazeCloudAPI®, la cual contiene un sistema de calibración automática para obtener y visualizar mediante un mapa de calor la actividad ocular de un usuario durante un lapso de tiempo.
- 2. Evaluación:** A través de una serie de preguntas de comprensión, se evaluará a los usuarios con respecto a la lectura realizada durante el módulo de captura en tiempo real, la cual permitirá el análisis y comparativo entre la actividad ocular del usuario registrada, el tiempo de velocidad lectora y el número de respuestas correctas obtenidas.
- 3. Análisis:** Una vez concluida la extracción de la actividad ocular y finalizado la evaluación de comprensión se prosigue con el análisis entre la actividad ocular y su comprensión poniendo un énfasis en las palabras que desconoce el alumno.

3.1.3 *Sprint* 3 Análisis y obtención de pruebas para la estimación del aprovechamiento

Las actividades que se realizaron en el *sprint*, se muestran en la Tabla 3.5

Tabla 3.5. *Sprint* 3

Sprint	Nombre	Tareas
3	Generación de pruebas para la estimación del aprovechamiento	Análisis de textos para pruebas de estimación de comprensión lectora.
		Realización de reactivos para estimación de comprensión lectora.
Propósito	Generar textos y reactivos para la estimación del aprovechamiento.	
Estado	Finalizado	

El objetivo de este *sprint* fue el análisis y la obtención de pruebas para estimar el aprovechamiento de los estudiantes durante una lectura de comprensión en computadora.

Se trabajaron en la definición de textos, reactivos e indicadores de rendimiento, además, se realizaron pruebas y ajustes necesarios para garantizar una correcta estimación en los resultados obtenidos acorde al nivel de los estudiantes analizados.

3.1.3.1 Textos de comprensión lectora

La generación de textos utilizados en el proyecto es acorde al nivel escolar de los alumnos y están basados en la información proporcionada por la Secretaría de Educación Pública (SEP) y el programa para la capacitación docente “MEJOREDU”.

Los textos utilizados en el sistema contienen una cantidad de palabras específicas, localizadas en el rango de palabras que un alumno de secundaria tendría que leer.

Según los datos de la SEP, “La Velocidad de lectura es la habilidad del alumno para pronunciar palabras escritas en un determinado lapso de tiempo intentando comprender lo leído” [39].

La velocidad se expresa en palabras por minuto y el estándar de los niveles de logro por nivel escolar se señalan en la siguiente Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Velocidad lectora de acuerdo a nivel académico.

Nivel Escolar	Grado	Palabras leídas por minuto
Primaria	1° Primero	35 a 59
	2° Segundo	60 a 84
	3° Tercero	85 a 99
	4° Cuarto	100 a 114
	5° Quinto	115 a 124
	6° Sexto	125 a 134
Secundaria	1° Primero	135 a 144
	2° Segundo	145 a 154
	3° Tercero	155 a 160

La API GazeCloudAPI® incorporada en el sistema para la obtención de la actividad ocular permite una utilización en su versión gratuita de un tiempo de rastreo de únicamente 60 segundos, donde se obtiene la actividad ocular mediante un mapa de calor. En este sentido, se seleccionaron los textos de comprensión en función de la cantidad de palabras acorde al nivel escolar de los alumnos de primero de secundaria. En cuanto a los textos y reactivos utilizados para la estimación del aprovechamiento están establecidos acorde al nivel de secundaria, son de acuerdo a la Comisión

Nacional para la Mejora Continua de la Educación (MEJOREDU), cuya misión es impulsar la mejora continua de la educación.



Figura 3.14 Textos de orientaciones didácticas que te ofrece MEJOREDU [40].

3.1.3.2 Generación de reactivos para la estimación lectora

La creación de los reactivos utilizados en el módulo para la evaluación de la estimación del aprovechamiento durante la lectura, son de acuerdo a los textos de orientación didáctica por nivel educativo que *MEJOREDU* pone a disposición, estos trabajos de orientación didáctica buscan compartir algunas estrategias de enseñanza y diversas actividades para el desarrollo de la comprensión lectora que apoyen el esfuerzo que realizan cotidianamente dentro del salón de clases.

Las estrategias y actividades que se presentan en estas orientaciones didácticas se derivan del marco que sustenta la prueba diagnóstica (SEP-MEJOREDU) con que se evalúan los aprendizajes de los estudiantes, en este caso de nivel secundaria. De tal modo que para evaluar la comprensión lectora se examinan tres unidades de análisis que se relacionan con procesos cognitivos o áreas temáticas similares:

- Localizar y extraer información.
- Analizar la estructura de los textos.
- Integrar información y realizar inferencias.

Teniendo en cuenta estas tres unidades de análisis y recomendaciones de las orientaciones didácticas presentes en [40], se crea un formato de prueba para la estimación de comprensión, basado en preguntas y respuestas de acuerdo al nivel de secundaria. En la Tabla 3.7 se presentan los enunciados, preguntas y respuestas que se utilizaron.

Tabla 3.7 Reactivos de la prueba de comprensión

Pregunta	Opciones	Porcentaje	Respuesta
¿Quién vio al ratón caído en el pico de un cuervo?	a) El pueblo	0	d
	b) El gato	60	
	c) El cuervo	40	
	d) El ermitaño	100	
¿Qué acción tomó el sabio al ver al ratón?	a) Darle de comer al rato unos granos de arroz.	100	a
	b) Bañar al ratón y tenerlo como mascota	0	
	c) Dárselo a un gato para que lo devorara	40	
	d) Darle de comer semillas de girasol	60	
¿Cuántos animales distintos se mencionan en el texto?	a) 6	60	b
	b) 5	100	
	c) 3	0	
	d) 4	40	
¿ De qué se avergonzaba el tigre?	a) De tener un origen inferior a otros animales.	60	c
	b) De saciar su hambre con arroz.	0	
	c) De su vergonzoso origen como un rato.	100	
	d) De depender siempre del sabio.	40	
¿Qué quiere decir la palabra <i>metamorfoseó</i> en el texto ?	a) Que lo vistió con ropas adecuadas.	0	d
	b) Que lo cuidó y protegió	40	
	c) Que lo desapareció al instante.	60	
	d) Que lo convirtió en otro animal.	100	

Como se observa en la tabla anterior, el propósito de la asignación de un porcentaje a cada respuesta que va desde un 0 a 100 por ciento, es obtener una estimación más acercada, porque a pesar de que no se elija la respuesta correcta que satisface al 100 por ciento el propósito de la pregunta planteada, el alumno consigue realizar actividades necesarias que se localizan en las tres unidades de análisis que se relacionan con procesos de lectura, para contestar de la mejor manera al problema

que se presenta. Dicho de otra manera el alumno es capaz de localizar, identificar, retener e integrar información que le permitan aproximar su respuesta a la más correcta.

3.1.4 *Sprint* 4 Desarrollo del sistema

Las actividades que se realizaron en el *sprint*, se muestran en la Tabla 3.8

Tabla 3.8. *Sprint* 4

<i>Sprint</i>	Nombre	Tareas
4	Desarrollo y codificación del sistema.	Desarrollo y codificación de la funcionalidad para cada módulo del sistema.
Propósito	Generar una primera versión de la aplicación.	
Estado	Finalizado	

Este *sprint* de desarrollo/construcción, es el resultado de todo lo antes planteado, ya que en esta etapa se obtiene el desarrollo funcional del sistema. Con el objetivo de obtener el mejor producto presentable se aplicaron las normas de codificación que correspondan, se integraron de forma continua los componentes desarrollados y se utilizaron cada una de las herramientas que proporcionan soporte para una correcta funcionalidad de cada tarea.

El sistema se desarrolló bajo el modelo arquitectónico Modelo-Vista-Controlador (MVC) como se muestra en la Figura 3.14.

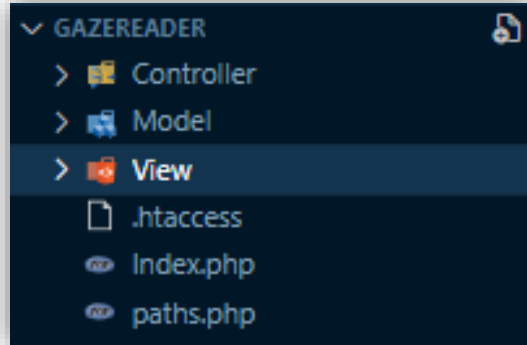


Figura 3.14 Estructura MVC

A continuación, se describen los componentes principales y herramientas de desarrollo.

3.1.4.1 Script de seguimiento ocular

La funcionalidad del sistema más importante es la obtención de la actividad ocular del usuario mediante una cámara web convencional, lo que requirió la implementación de la tecnología de GazeCloudAPI, la cual brinda una facilidad de configurar con solo pocas líneas de código un texto o elementos visuales en pantalla y de esta manera conseguir el rastreo de la posición ocular del usuario durante un lapso de tiempo de 60 segundos.

El código que permite consumir y ejecutar la API para el seguimiento ocular utilizando una cámara web convencional se basa en un script de JavaScript muy sencillo pero con grandes funcionalidades como inicializar y finalizar el rastreo, así como la posición correspondiente a los ojos del usuario mediante coordenadas mostradas en pantalla o por consola, como se muestra en el Código 3.1.

Código 3.1 Script de seguimiento ocular

```
1. <script type="text/javascript">
2.     function PlotGaze(GazeData) {
3.         document.getElementById("GazeData").innerHTML = "GazeX: " + GazeData.GazeX + "
GazeY: " + GazeData.GazeY;
4. document.getElementById("HeadPhoseData").innerHTML = " HeadX: " + GazeData.HeadX + "
HeadY: " + GazeData.HeadY + " HeadZ: " + GazeData.HeadZ;
5.     document.getElementById("HeadRotData").innerHTML = " Yaw: " + GazeData.HeadYaw + "
Pitch: " + GazeData.HeadPitch + " Roll: " + GazeData.HeadRoll;
```

```

6.         if (!document.getElementById("ShowHeatMapId").checked) // gaze plot
7.         {
8.             var x = GazeData.docX;
9.             var y = GazeData.docY;
10.            var gaze = document.getElementById("gaze");
11.            x -= gaze.clientWidth / 2;
12.            y -= gaze.clientHeight / 2;
13.            gaze.style.left = x + "px";
14.            gaze.style.top = y + "px";
15.            if (GazeData.state != 0) {
16.                if (gaze.style.display == 'block')
17.                    gaze.style.display = 'none';
18.            } else {
19.                if (gaze.style.display == 'none')
20.                    gaze.style.display = 'block';
21.            }
22.            window.addEventListener("load", function () {
23.                GazeCloudAPI.OnCalibrationComplete = function () {
24.                    ShowHeatMap();
25.                    console.log('gaze Calibration Complete')
26.                    console.log("Time: " +GazeData.time + "En X: " + GazeData.docX + "En Y:
" + GazeData.docY);
27.                }
28.                GazeCloudAPI.OnCamDenied = function () {
29.                    console.log('camera access denied')
30.                }
31.                GazeCloudAPI.OnError = function (msg) {
32.                    console.log('err: ' + msg)
33.                }
34.                GazeCloudAPI.UeClickRecalibration = true;
35.                GazeCloudAPI.OnResult = PlotGaze;
36.            });
37.            function handleClickHeatMap(cb) {
38.                if (cb.checked) {
39.                    ShowHeatMap();
40.                    document.getElementById("gaze").style.display = 'none';
41.                } else
42.                    RemoveHeatMap()
43.            }

```

3.1.4.2 Inicializador de rastreo

El test de seguimiento ocular inicia al dar clic en el botón “Iniciar prueba”. El botón llama a la función *start* (Código 3.2) la cual da comienzo al sistema de calibración, para posteriormente dar paso al sistema de reconocimiento y rastreo ocular, utilizando la Api GazeCloudAPI.

Código 3.2 Iniciador de rastreo ocular

```

1.     function start() {
2.         document.getElementById("startid").style.display = 'none'; // Estaba en none
3.         document.getElementById("stopid").style.display = 'block';
4.
5.         GazeCloudAPI.StartEyeTracking();
6.
7.         if (false)

```

```

8.         GazeCloudAPI.SetFps(60); // Estaba en 15
9.     }
10.
11.     function stop() {
12.
13.         document.getElementById("startid").style.display = 'block';
14.         document.getElementById("stopid").style.display = 'none';
15.         GazeCloudAPI.StopEyeTracking();
16.     }

```

3.1.4.3 Controlador de sesión

El *SessionController.php* como lo muestra en el Código 3.3, se ejecuta cuando los parámetros se envían desde los campos del inicio de sesión donde realiza una consulta y validación que los datos ingresados por el usuario correspondan en la base de datos comparando usuario, contraseña y rol correspondiente. En el caso de que los datos no coincidan el sistema muestra en pantalla una alerta de datos incorrectos o datos vacíos.

Código 3.3 Controlador de sesión

```

1. <?php
2. require_once 'DBConnect.php';
3. session_start();
4.
5. if(isset($_SESSION["Admin_log"]))
6. {
7.     header("location: View/Admin/index_Adm.php");
8. }if(isset($_SESSION["User_log"]))
9. {
10.    header("location: View/User/index_User.php");
11. } if(isset($_REQUEST['btn_login']))
12. {
13.    $email =$_REQUEST["txt_email"];           //textbox nombre "txt_email"
14.    $password =$_REQUEST["txt_password"];     //textbox nombre "txt_password"
15.
16.
17.    if(empty($email)){
18.        $errorMsg="Por favor ingrese Usuario";           //Revisar email
19.    }
20.    else if(empty($password)){
21.        $errorMsg="Por favor ingrese Contraseña";       //Revisar password
22.    }
23.    else if($email AND $password )
24.    {
25.        try
26.        {
27.            $select_stmt=$db->prepare("SELECT * FROM usuario WHERE username=:uemail AND
password=:upassword ");
28.            $select_stmt->bindParam(":uemail",$email);
29.            $select_stmt->bindParam(":upassword",$password);
30.            //$select_stmt->bindParam(":urole",$role);
31.            $select_stmt->execute();           //execute query
32.

```

```

33.         while($row=$select_stmt->fetch(PDO::FETCH_ASSOC))
34.         {
35.             $dbemail      =$row["username"];
36.             $dbpassword   =$row["password"];
37.             $dbrole       =$row["role"];
38.         }
39.         if($email!=null AND $password!=null )
40.         {
41.             if($select_stmt->rowCount(>0)
42.             {
43.                 if($email==$dbemail and $password==$dbpassword)
44.                 {
45.                     switch($dbrole) //inicio de sesión de usuario base de roles
46.                     {
47.                         case "Admin":
48.                             $_SESSION["Admin_log"]=$email;
49.                             $loginMsg="Acceso concedido";
50.                             header("refresh:1;View/Admin/index_Adm.php");
51.                             break;
52.
53.                         case "User":
54.                             $_SESSION["User_log"]=$email;
55.                             $loginMsg="Acceso concedido";
56.                             header("refresh:1;View/User/index_User.php");
57.                             break;
58.
59.                         default:
60.                             $errorMsg[]="Usuario o Contraseña Incorrectos";
61.                     }
62.                     else {
63.                         $errorMsg[]="Usuario o Contraseña Incorrectos"; }
64.                 } catch(PDOException $e)
65.                 { $e->getMessage(); }
66.             }
67.             else {
68.                 $errorMsg[]="Usuario o Contraseña Incorrectos";
69.             }
70.         } ?>

```

3.1.4.4 Estimación de comprensión

La función llamada "verificaResultado" (Código 3.4) se ejecuta cuando un usuario envía los resultados del quiz mediante un formulario. La función calcula y muestra el puntaje del usuario y una estimación de su comprensión del tema del cuestionario. Primero, se obtienen las respuestas del usuario y se comparan con las respuestas correctas. Luego, se calcula la suma de las respuestas del usuario y se utiliza para estimar su comprensión. Finalmente, se muestran el puntaje del usuario y la estimación de su comprensión en el HTML de la página.

Código 3.4 Función para calcular estimación de comprensión

```

1. function verificaResultado() {
2.     var total = 5;

```

```

3.   var puntos = 0;
4.
5.   // Asignación de valor de respuesta correcta
6.   var respuestas = ["100"];
7.
8.   // Obtener la entrada del usuario
9.   var myForm = document.forms["quizForm"];
10.
11.  // Crear un nuevo objeto FormData
12.  var formData = new FormData(myForm);
13.
14.  // Inicializar una matriz vacía para almacenar los valores
15.  var inputValues = [];
16.
17.  // Recorrer las entradas y agregar los valores a la matriz
18.  for (let [key, value] of formData.entries()) {
19.    inputValues.push(value);
20.  }
21.
22.  // Validación de respuestas
23.  for (var i = 1; i <= total; i++) {
24.    if (myForm["p" + i].value === null || myForm["p" + i].value === "") {
25.      alert("Porfavor responder pregunta " + " " + i);
26.      return false;
27.    } else {
28.      if (myForm["p" + i].value === respuestas[i - 1]) {
29.        puntos++;
30.      }
31.    }
32.  }
33.
34.  // Calcular Estimación
35.
36.  // Convertir los valores en números enteros
37.  for (var i = 0; i < inputValues.length; i++) {
38.    inputValues[i] = parseInt(inputValues[i], 10);
39.  }
40.
41.  // Imprimir el array de valores numéricos
42.  console.log(inputValues);
43.
44.  // Sumar los valores del array
45.  var sum = 0;
46.  for (var i = 0; i < inputValues.length; i++) {
47.    sum += inputValues[i];
48.  }
49.
50.  // Imprimir la suma de los valores del array
51.  console.log(sum);
52.
53.  var compre = sum / total;
54.  var resultado = document.getElementById("resultado");
55.  var comprension = document.getElementById("comprension");
56.
57.  resultado.innerHTML = "<h3> Obtuviste <span>" + puntos + "</span> de
<span>" + total + " puntos</span></h3>";
58.  comprension.innerHTML = "<h4> Estimacion de comprension del : <B id='mydata'>"+
" + compre + " " + " %</B></h4>";
59.
60.
61.
62.  return false;
63.  }

```

3.1.4.5 Verificación y registro de una escuela en la base de datos

El fragmento de código a continuación, verifica si una escuela ya está registrada en la base de datos. Si la escuela está registrada, se muestra un formulario para actualizar su información. Si no está registrada, se muestra un formulario para registrar una nueva escuela. La verificación se realiza mediante la creación de un objeto de la clase "Escuela" y la llamada al método "EscuelaPorID" para obtener información de la escuela actual. Si la consulta devuelve más de cero filas, se muestra un formulario de actualización, y si no devuelve filas, se muestra un formulario de registro de una nueva escuela (Código 3.5).

Código 3.5 Verificación de institución registrada

```
1.  <?phps
2.
3.      require_once (Controlador.'EscuelaController.php');
4.
5.      $producto = new Escuela();
6.      $arr = $producto->EscuelaPorID($_SESSION);
7.      if ($arr > 0) {
8.          include 'actualizaescual.php';
9.      }else{
10.         include 'RegistraEscuela.php';
11.     }
12. ?>
```

3.1.4.6 Calculadora de nivel DEM

La función "Calcular" como se observa en el Código 3.6, realiza los cálculos y clasifica el nivel de rendimiento de la prueba DEM. El código utiliza variables para almacenar los valores de entrada, como la edad, el tiempo vertical, el tiempo horizontal y el error horizontal. Para ello, se calcula la relación entre el tiempo horizontal y vertical y se compara con valores de referencia para diferentes grupos de edad. Finalmente, el código utiliza una declaración switch para clasificar el nivel de rendimiento en función de los resultados de los cálculos y la edad del sujeto. Si la edad está fuera del rango de 11 a 13 años, el código muestra un mensaje de error.

Código 3.6 Función Calcular

```
1. function Calcular(){
2.     let edad = parseFloat(document.getElementById("edad").value);
3.     let VerticalTime = parseFloat(document.getElementById("tv").value);
4.     let HorizontalTime = parseFloat(document.getElementById("th").value);
5.     let HorizontalError = parseFloat(document.getElementById("eh").value);
6.
7.     var adjTime = (HorizontalTime*80)/(80-HorizontalError)
8.     adjTime = adjTime.toFixed(2);
9.     var Ratio = adjTime/VerticalTime
10.    Ratio = Ratio.toFixed(2);
11.
12.    console.log(VerticalTime)
13.    console.log(HorizontalTime)
14.    console.log(Ratio)
15.
16.    switch(edad){
17.        case 11:
18.            // Realizar operaciones para una edad de 11 años
19.            var Nivel
20.            if (VerticalTime <= 39.14 && HorizontalTime <= 44.62 && Ratio <= 1.17){
21.                Nivel = "Tipo 1: Rendimiento en la norma";
22.
23.            }else if(VerticalTime <= 39.14 && HorizontalTime >= 44.62 && Ratio >= 1.17){
24.                Nivel ="Tipo 2: Disfunción Oculomotora"
25.            }
26.            else if(VerticalTime >= 39.14 && HorizontalTime >= 44.62 && Ratio <= 1.17){
27.                Nivel = "Tipo 3: Poca automaticidad al nombrar los números"
28.            }
29.            else if(VerticalTime >= 39.14 && HorizontalTime >= 44.62 && Ratio >= 1.17){
30.                Nivel = "Tipo 4: Deficiencias tanto en automaticidad como en la función
31.                Oculomotora"
32.            }
33.            else{
34.                Nivel = "Error de clasificación";
35.            }
36.            document.getElementById("nivel").value = Nivel;
37.
38.            break;
39.        case 12:
40.            // Realizar operaciones para una edad de 12 años
41.            var Nivel
42.            if (VerticalTime <= 37.14 && HorizontalTime <= 41.35 && Ratio <= 1.18){
43.                Nivel = "Tipo 1: Rendimiento en la norma";
44.            }else if(VerticalTime >= 37.14 && HorizontalTime <= 41.35 && Ratio <= 1.15){
45.                Nivel ="Tipo 2: Disfunción Oculomotora"
46.            }else if(VerticalTime <= 37.14 && HorizontalTime >= 41.35 && Ratio >= 1.15){
47.                Nivel ="Tipo 2: Disfunción Oculomotora"
48.            }
49.        }
```



```

48.     else if(VerticalTime >= 37.14 && HorizontalTime >= 41.35 && Ratio <= 1.15){
49.         Nivel = "Tipo 3: Poca automaticidad al nombrar los números"
50.     }
51.     else if(VerticalTime >= 37.14 && HorizontalTime >= 41.35 && Ratio >= 1.15){
52.         Nivel = "Tipo 4: Deficiencias tanto en automaticidad como en la función
        Oculomotora"
53.     }
54.     else{
55.         Nivel = "Error de clasificación";
56.     }
57.     document.getElementById("nivel").value = Nivel;
58.     break;
59. case 13:
60.     // Realizar operaciones para una edad de 13 años
61.     var Nivel
62.     if (VerticalTime <= 35.75 && HorizontalTime <= 39.56 && Ratio <= 1.18){
63.         Nivel = "Tipo 1: Rendimiento en la norma";
64.     }else if(VerticalTime >= 35.75 && HorizontalTime <= 39.56 && Ratio <= 1.15){
65.         Nivel ="Tipo 2: Disfunción Oculomotora"
66.     }else if(VerticalTime <= 35.75 && HorizontalTime >= 39.56 && Ratio >= 1.15){
67.         Nivel ="Tipo 2: Disfunción Oculomotora"
68.     }
69.     else if(VerticalTime >= 35.75 && HorizontalTime >= 39.56 && Ratio <= 1.15){
70.         Nivel = "Tipo 3: Poca automaticidad al nombrar los números"
71.     }
72.     else if(VerticalTime >= 35.75 && HorizontalTime >= 39.56 && Ratio >= 1.15){
73.         Nivel = "Tipo 4: Deficiencias tanto en automaticidad como en la función
        Oculomotora"
74.     }
75.     else{
76.         Nivel = "Error de clasificación";
77.     }
78.     document.getElementById("nivel").value = Nivel;
79.     break;
80. default:
81.     // Si la edad no se encuentra en el rango de 11 a 13 años, mostrar un mensaje
        de error
82.     alert("Edad no tiene clasificacion valida")
83.     break;
84.     } }

```

3.1.4.7 Clasificador de nivel de distracción

La función "calcularProporcionColor()" procesa una imagen cargada en un elemento canvas de HTML y calcula la proporción de píxeles en la imagen que se corresponden con ciertos colores (blanco, verde, amarillo, naranja, rojo). La función como se observa en el Código 3.7, utiliza el método "getImageData()" del objeto "contexto" para obtener

los datos de la imagen, que se almacenan en la matriz "matriz_imagen". Luego, recorre la matriz de píxeles y cuenta la cantidad de píxeles que se corresponden con cada uno de los colores definidos. Después de contar la cantidad de píxeles de cada color, la función calcula la proporción de píxeles de cada color con respecto al total de píxeles en la imagen. Además, la función realiza cálculos para determinar un nivel de distracción de acuerdo a parámetros personalizados basados en los colores detectados en la imagen.

Código 3.7 Función para calcular proporción de color

```
1.  function calcularProporcionColor() {
2.      const canvas = document.getElementById("canvas");
3.      const contexto = canvas.getContext("2d");
4.      const datos_imagen = contexto.getImageData(0, 0, canvas.width, canvas.height);
5.      const matriz_imagen = datos_imagen.data;
6.
7.      let cantidad_blanco = 0;
8.      let cantidad_verde = 0;
9.      let cantidad_amarillo = 0;
10.     let cantidad_naranja = 0;
11.     let cantidad_rojo = 0;
12.
13.     for (let i = 0; i < matriz_imagen.length; i += 4) {
14.         const promedio = (matriz_imagen[i] + matriz_imagen[i + 1] + matriz_imagen[i + 2]) / 3;
15.
16.         if (promedio >= 240) {
17.             cantidad_blanco++;
18.         } else if (promedio >= 180 && promedio < 240) {
19.             cantidad_verde++;
20.         } else if (promedio >= 160 && promedio < 180) {
21.             cantidad_amarillo++;
22.         } else if (promedio >= 140 && promedio < 160) {
23.             cantidad_naranja++;
24.         } else {
25.             cantidad_rojo++;
26.         }
27.         const total_pixeles = matriz_imagen.length / 4;
28.         const proporcion_blanco = cantidad_blanco / total_pixeles;
29.         const proporcion_verde = cantidad_verde / total_pixeles;
30.         const proporcion_amarillo = cantidad_amarillo / total_pixeles;
31.         const proporcion_naranja = cantidad_naranja / total_pixeles;
32.         const proporcion_rojo = cantidad_rojo / total_pixeles;
33.
34.         //Colores
35.         const blanco = parseFloat((proporcion_blanco * 100).toFixed(2));
36.         const verde = parseFloat((proporcion_verde * 100).toFixed(2));
37.         const amarillo = parseFloat((proporcion_amarillo * 100).toFixed(2));
```

```

37.     const naranja = parseFloat((proporcion_naranja * 100).toFixed(2));
38.     const rojo = parseFloat((proporcion_rojo * 100).toFixed(2));
39.
40. const mezcla = naranja + rojo + amarillo;
41.
42. let etiqueta = "";
43. if( verde > blanco && verde > 45 ){
44.   etiqueta = "BAJO";
45. }else if( blanco > verde && amarillo + naranja > rojo){
46.   etiqueta = "ALTO";
47. }else if(mezcla < 28 && amarillo > rojo ){
48.   etiqueta = "MEDIO";
49. }else{
50.   etiqueta = "MEDIO";
51. } }

```

3.1.4.8 Clasificador de aprovechamiento

La función "Clasificador" (Código 3.8), recopila datos de cuatro campos de entrada de un formulario HTML y los utiliza para calcular un valor clasificador. Luego, se calcula un valor promedio a partir de estos cuatro valores numéricos y se utiliza para determinar una clasificación utilizando operadores ternarios. La clasificación se realiza utilizando la siguiente escala: un valor superior a 75 indica un rendimiento "EFICIENTE", un valor superior a 50 indica un rendimiento "SUFICIENTE" y cualquier valor inferior a 50 indica un rendimiento "INSUFICIENTE".

Código 3.8 Función Clasificador de aprovechamiento

```

1. function Clasificador(){
2.     //Obtenemos los datos
3.     const demValor = document.getElementById('dataDEM').value;
4.     const disValor = document.getElementById('dataDIS').value;
5.     const ComValor = document.getElementById('dataCom').value;
6.     const RCValor = document.getElementById('dataRC').value;
7.     //Asignamos a un nuevo valor
8.     const NewCOM_sinPorcentaje = ComValor.replace('%', '');
9.     console.log(NewCOM_sinPorcentaje);
10.    let NewCOM = parseInt(NewCOM_sinPorcentaje, 10);
11.    //Asignamos a un nuevo valor según el tipo - DEM
12.    let NewDEM
13.    if (demValor === "Tipo 1: Rendimiento en la norma") {
14.        NewDEM = 100;
15.    } else if (demValor === "Tipo 2: Disfunción Oculomotora") {

```

```

16.     NewDEM = 80;
17.   } else if (demValor === "Tipo 3: Poca automaticidad al nombrar los números") {
18.     NewDEM = 75;
19.   } else if (demValor === "Tipo 4: Deficiencias en automaticidad y función
    Oculomotora") {
20.     NewDEM = 40;
21.   } else {
22.     // Si el valor no coincide con ningún tipo, se asigna un valor por defecto o
    mostrar un mensaje de error
23.     NewDEM = 0;
24.     console.log("Error: Tipo de DEM desconocido.");    }
25.     //Asignamos a un nuevo valor según el tipo - Distracciones
26.     let NewDIS
27.     if (disValor === "BAJO") {
28.       NewDIS = 100;
29.     } else if (disValor === "MEDIO") {
30.       NewDIS = 85;
31.     } else if (disValor === "ALTO") {
32.       NewDIS = 30;
33.     } else {
34.       // Si el valor no coincide con ningún tipo, se asigna un valor por defecto o
    mostrar un mensaje de error
35.       NewDIS = 0;
36.       console.log("Error: Tipo de Nivel desconocido.");    }
37.     //Asignamos a un nuevo valor según el tipo - Respuestas Correctas
38.     let NewRC
39.     if (RCValor === "5") {
40.       NewRC = 100;
41.     } else if (RCValor === "4") {
42.       NewRC = 80;
43.     } else if (RCValor === "3") {
44.       NewRC = 60;
45.     } else if (RCValor === "2") {
46.       NewRC = 40;
47.     } else if (RCValor === "1") {
48.       NewRC = 20;
49.     } else if (RCValor === "0") {
50.       NewRC = 0;    } else {
51.       // Si el valor no coincide con ningún tipo, se asigna un valor por defecto o
    mostrar un mensaje de error
52.       NewRC = 0;
53.       console.log("Error: Tipo de RC desconocido.");    }
54.       Valor = (NewDEM + NewDIS + NewRC + NewCOM) / 4;
55.
56. Let
    Clasificador = Valor > 75 ? "EFICIENTE" : Valor > 50 ? "SUFICIENTE" : "INSUFICIENTE";
57.     document.getElementById("aprovechamiento").value = Clasificador;
58. }

```

3.1.4.9 Interfaces gráficas de usuario

Una vez completo el desarrollo del sistema, en la Tabla 3.9 se muestran las ventanas generadas a partir del diseño de interfaces, presentados en el *sprint 2*.

Tabla 3.9 Interfaces gráficas de usuario

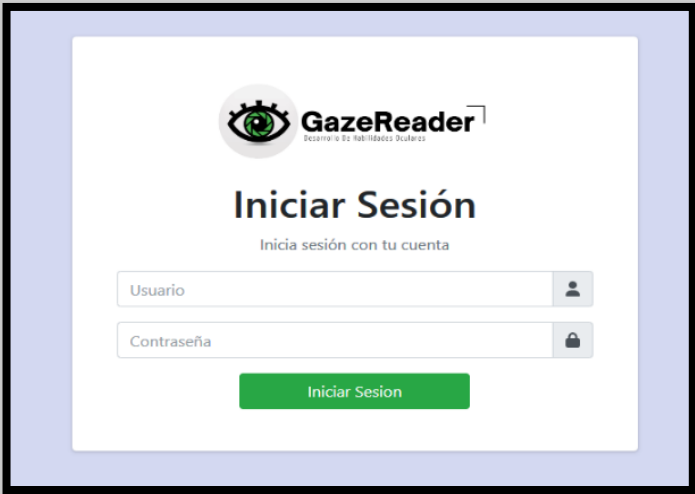
Nombre	Resultado
Inicio de sesión	
Lectura	

Tabla 3.9 Interfaces gráficas de usuario (continuación)

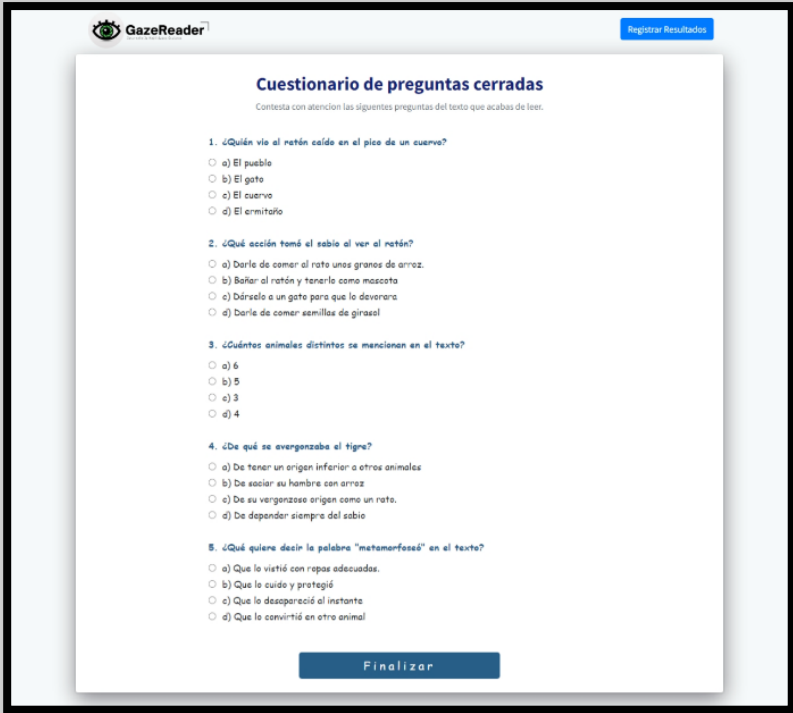
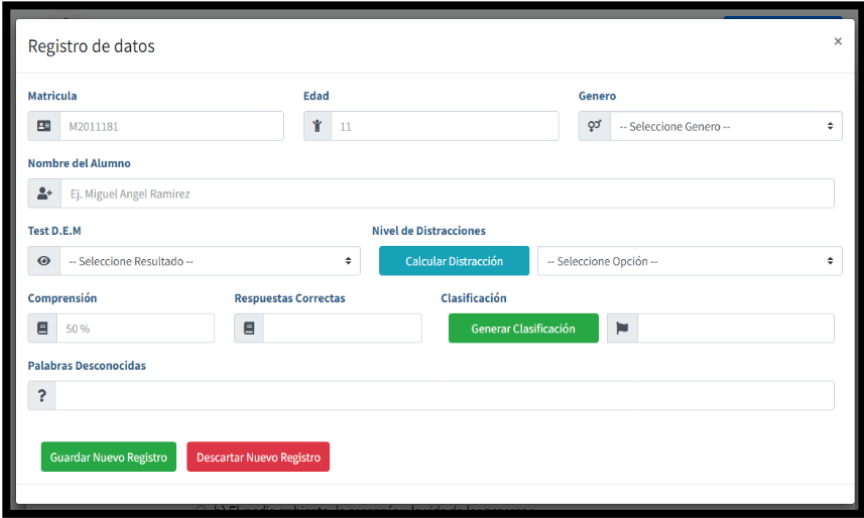
Nombre	Resultado
Quiz	
Registro Datos	

Tabla 3.9 Interfaces gráficas de usuario (continuación)

Nombre	Resultado
Reportes	
Página de inicio	

La propuesta del sistema web como herramienta docente tiene como objetivo facilitar la identificación y registro del comportamiento visual de los estudiantes mediante una cámara web convencional utilizando técnicas de seguimiento ocular basadas en visión artificial, así como una aproximación de su comprensión durante la lectura en computadora. Esta herramienta proporciona información relevante para que los docentes puedan utilizarla y abordar tempranamente las necesidades de los estudiantes.

En el siguiente capítulo se expondrán los resultados obtenidos a través de la implementación del sistema.

Capítulo 4. Resultados

En este capítulo se detalla la descripción del sistema y se exponen los resultados obtenidos tras su implementación en un caso de estudio con alumnos de nivel secundaria. El sistema web desarrollado tiene como principales funciones la identificación y registro del comportamiento visual de los estudiantes a través de una cámara web convencional utilizando técnicas de seguimiento ocular basadas en visión artificial, la implementación del GazeCloudAPI®, el cálculo del Test D.E.M, el cálculo del nivel de distracción mediante los mapas de calor obtenidos de los registros oculares de los alumnos evaluados, la estimación del aprovechamiento durante una lectura mediante un quiz/examen y la presentación de los resultados individuales de cada alumno en un *dashboard* con gráficos del resultado del grupo evaluado.

4.1 *Sprint* 5 Aplicación a un caso de estudio

Las actividades que se realizaron en el *sprint*, se muestran en la tabla 4.1

Tabla 4.1 *Sprint* 5

<i>Sprint</i>	Nombre	Tareas
5	Aplicación de un caso de estudio.	Buscar una institución para realizar las pruebas y validar el sistema.
		Realizar las validaciones del módulo desarrollado utilizando un caso de estudio que evalúe el nivel de lectura y comprensión de una persona en el proceso de aprendizaje.
Propósito	Aplicación del sistema de clasificación del aprovechamiento de alumnos durante una lectura en computadora en un caso de estudio para demostrar su funcionamiento y validar los datos obtenidos.	
Estado	Finalizado	

4.1.1 Caso de estudio: Clasificación de estudiantes según su estimación de aprovechamiento y desarrollo oculomotor

El proyecto dio lugar al desarrollo de un sistema web, que se ejecuta en un servidor local, programado en lenguajes de programación PHP y JavaScript. Obteniendo de esta manera un *software* fácil de utilizar para docentes que tienen pocos o ningún conocimiento en informática. El sistema está diseñado para facilitar la identificación, evaluación y registro del comportamiento visual de los estudiantes con una cámara web convencional mediante el uso de técnicas de seguimiento ocular basadas en visión artificial a través del GazeCloudAPI® en su versión gratuita. El objetivo del sistema es proporcionar una herramienta docente que permita evaluar a los alumnos y clasificarlos en una escala de eficiente, suficiente e insuficiente, según los resultados obtenidos en las pruebas de aprovechamiento lector y motricidad ocular.

En un primer momento, es necesario registrar previamente al usuario en el sistema y proporcionar sus datos de acceso, como su nombre de usuario y contraseña, para poder identificarse y garantizar la protección de la información de los alumnos evaluados. Con los datos de acceso proporcionados, el usuario es capaz de acceder al sistema, como se muestra en la Figura 4.1, donde se presenta la interfaz de inicio de sesión del sistema.

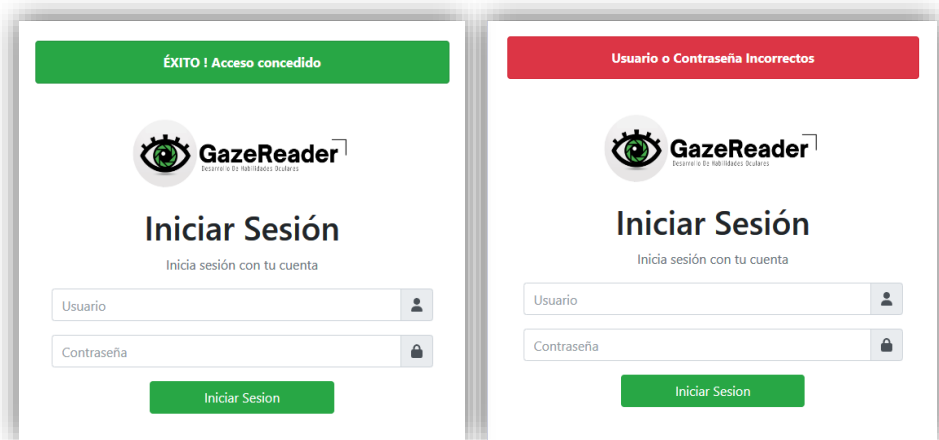


Figura 4.1 Inicio de sesión

Una vez que el usuario ingresa al sistema, se muestra la página principal a forma de *dashboard* (Figura 4.2), que incluye los datos registrados y las principales opciones disponibles para el usuario. La opción "Nuevo Análisis" da inicio a la evaluación de los alumnos, mientras que "Alumnos Evaluados" muestra los registros de los alumnos evaluados. La opción "D.E.M" permite al usuario clasificar a los alumnos según los datos obtenidos en la prueba D.E.M. La opción "Configuración" permite al usuario registrar los datos de su unidad educativa y, finalmente, la opción "Cerrar Sesión" permite al usuario finalizar su sesión.

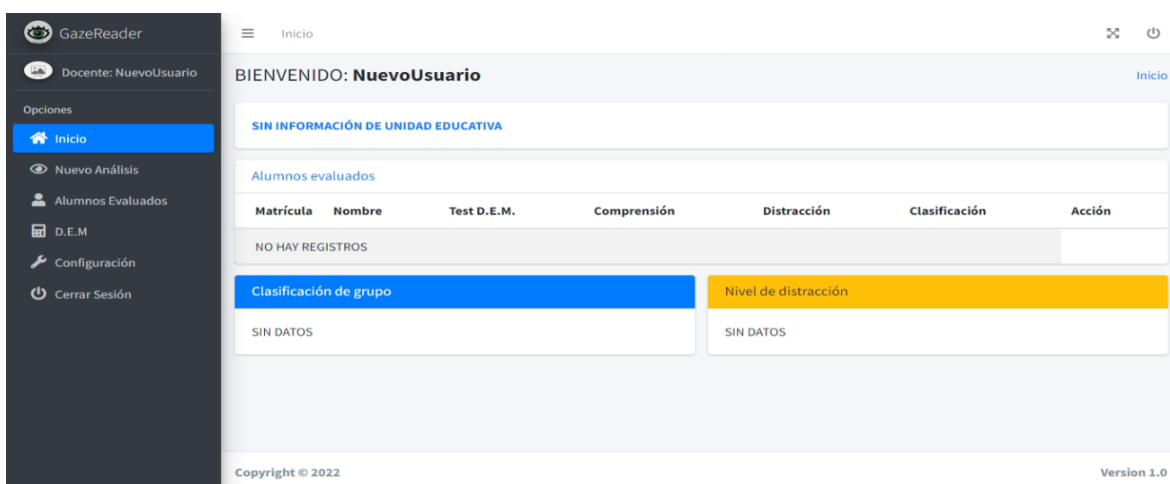


Figura 4.2 *Página de inicio*

Cuando el usuario selecciona "Nuevo Análisis", se abre una nueva página en la que se le permite elegir entre las lecturas registradas previamente en el sistema. Estas lecturas están específicamente diseñadas para el primer nivel de secundaria y tienen un rango de 135 a 144 palabras, lo que representa el número de palabras que un alumno de ese nivel tendría que leer en un minuto, tal como se muestra en la Tabla 3.6. La Figura 4.3 muestra cómo se presentan estas opciones de lectura en el sistema.



Figura 4.3 Pagina de lecturas

Posteriormente a la selección de la lectura, el alumno evaluado procede con la calibración del rastreador ocular a través de la implementación de la GazeCloudAPI. La calibración como se observa en la Figura 4.4, se realiza de manera sencilla, donde el alumno tiene que seguir únicamente con los ojos una serie de puntos presentados en la pantalla. Una correcta calibración del rastreador ocular permite una evaluación más precisa del comportamiento visual del alumno y una mayor eficacia en la identificación de distracciones durante una lectura.

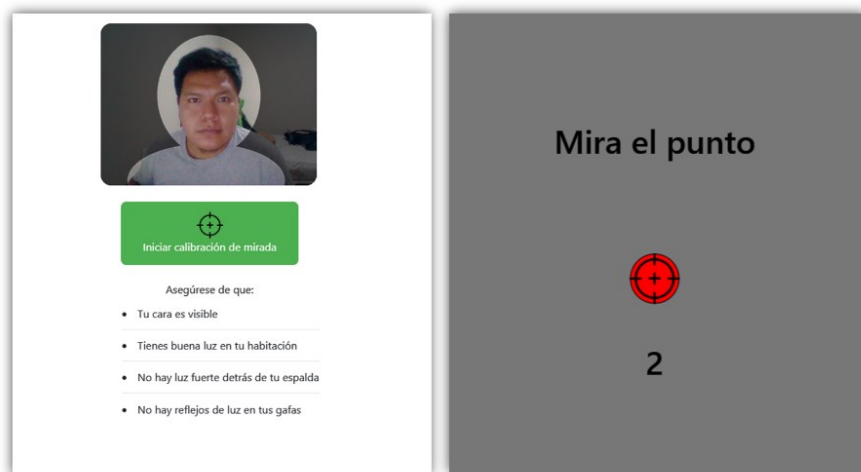


Figura 4.4 Sistema de calibración GazeCloudAPI

Una vez completada la calibración, el estudiante procede a leer el texto seleccionado dentro de un límite de tiempo de 60 segundos. Durante la lectura, el sistema captura el movimiento ocular del alumno y muestra en pantalla un mapa de calor que indica su actividad visual tal como se muestra en la Figura 4.5, es necesario almacenar el mapa de calor para su análisis de nivel de distracción y posteriormente registrado en el sistema.

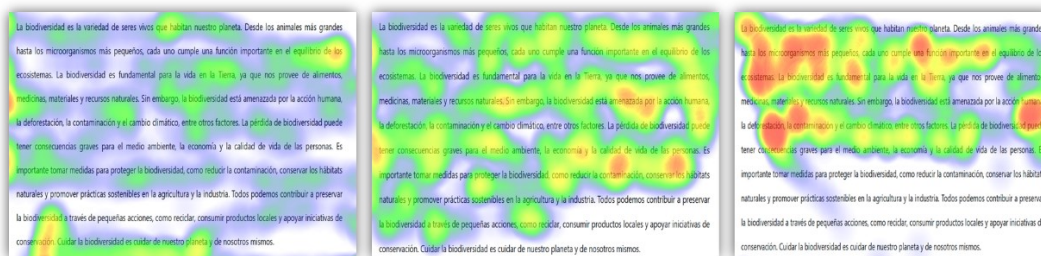


Figura 4.5 Mapas de calor generados

Al finalizar la lectura digital y haber almacenado la imagen del mapa de calor generado el alumno procederá a contestar una serie de preguntas relacionadas con la lectura realizada. Preguntas diseñadas específicamente para el nivel del estudiante, como se detalló en la sección 3.1.3.2 *Generación de reactivos para la estimación lectora*. En la Figura 4.6 se muestra el módulo de evaluación mediante un quiz.

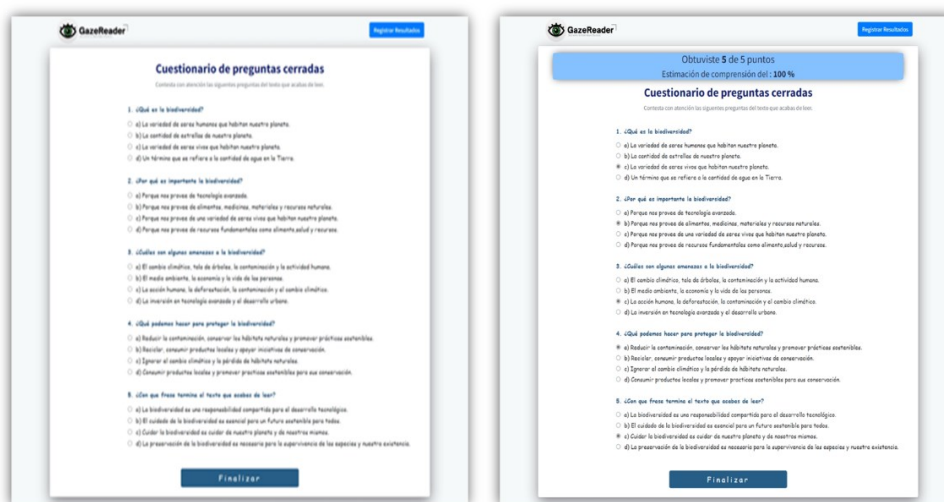


Figura 4.6 Sistema de evaluación

Con el fin de medir la motricidad ocular, se implementó una medida de evaluación de la motricidad ocular mediante la utilización de la reconocida Prueba de Desarrollo Ocular, también conocido como *The developmental eye movement test* (D.E.M) (Figura 4.7). Dicha prueba permite clasificar a los evaluados en cuatro tipos, según sus resultados y edad: Tipo 1, correspondiente al rendimiento en la norma; Tipo 2, relacionado con disfunción oculomotora; Tipo 3, caracterizado por poca automaticidad al nombrar los números; y Tipo 4, definido por deficiencias tanto en la automaticidad como en la función oculomotora.

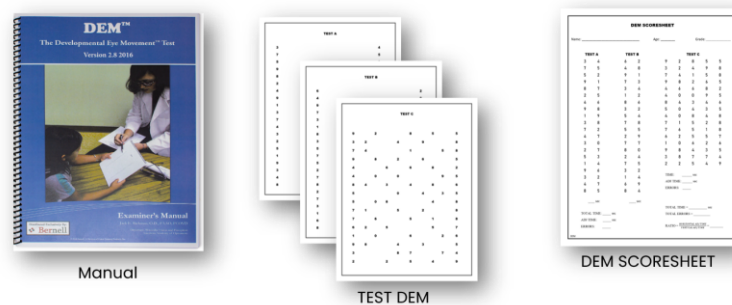


Figura 4.7 *The Developmental Eye Movement Test (Test D.E.M)*

El sistema utiliza los resultados obtenidos en la prueba D.E.M (Figura 4.7) para calcular el tipo de desempeño ocular del alumno. La opción "D.E.M" en el menú permite al usuario acceder a una calculadora D.E.M que le permitirá obtener el tipo de desempeño obtenido en la prueba. Para realizar el cálculo, el usuario tendrá que ingresar los tiempos y errores en las pruebas verticales y horizontales de la prueba de desarrollo ocular en los campos correspondientes, y presionar el botón "Generar Clasificación D.E.M ". El sistema procesará los datos y mostrará en pantalla el tipo de clasificación obtenida, como se ilustra en la Figura 4.8. Además, se incluye instrucciones de implementación, una guía para la interpretación de los datos y medidas estándar del *Test D.E.M* en menús desplegables.

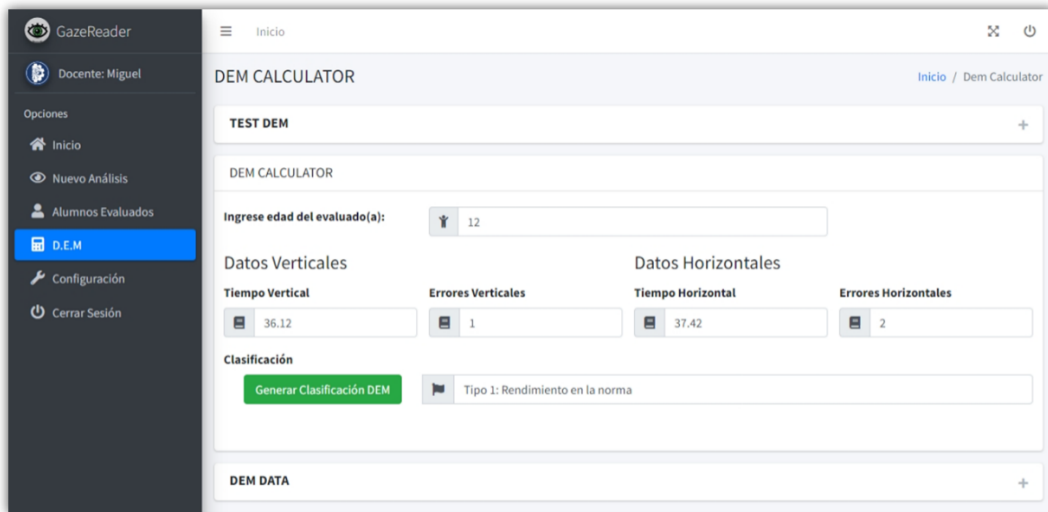


Figura 4.8 Clasificación de los datos del Test D.E.M

Para determinar el nivel de distracción de los alumnos durante la lectura el sistema implementa un módulo de clasificación de imágenes que se basa en la proporción de colores en la imagen, lo que permite determinar el nivel de distracción en una lectura de comprensión. Utilizando el mapa de calor generado por la API, se identifican las áreas de mayor actividad ocular y se analiza la proporción de colores presentes en esas áreas. Se establecen tres categorías de clasificación: alto, medio y bajo, en función del nivel de distracción. Para la clasificación de imágenes se utiliza un algoritmo de procesamiento de imágenes que analiza la distribución de los colores en cada píxel de la imagen. Se establecieron proporciones y combinaciones de colores personalizados en un rango que incluye blanco, verde, amarillo, naranja y rojo para determinar los límites entre las diferentes categorías de clasificación, como se observa en la Figura 4.9.

A cada imagen se le asigna una etiqueta que indica el nivel de distracción que presenta, según el color predominante en las áreas donde se enfoca la vista, mismos que se utilizan para analizar los niveles de distracción que se presentan durante la lectura. Asimismo, los colores en la imagen más intensos de rojo y naranja se relacionan con una distracción y el aumento en el tiempo de fijación en una zona determinada, lo que sugiere una baja velocidad lectora o desconocimiento de palabras

en el texto. Por otro lado, los colores más claros, como el verde y el amarillo, indican una posición ocular correcta y una velocidad de lectura adecuada.

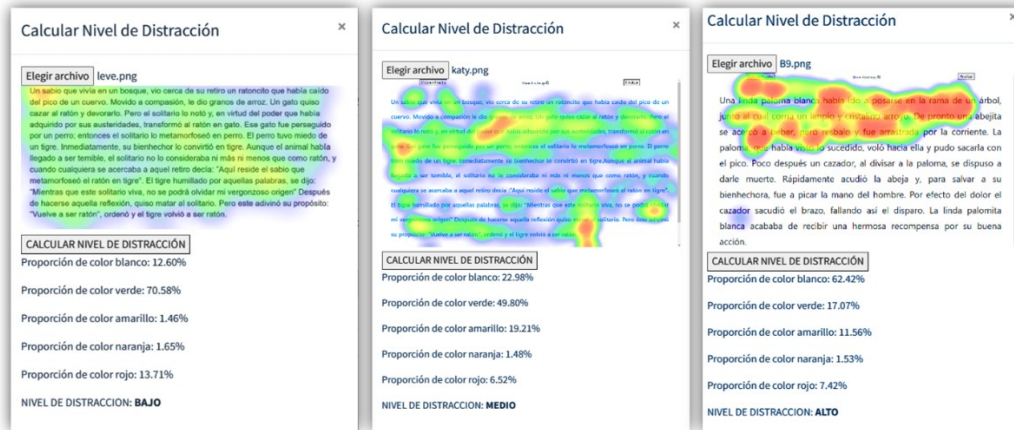


Figura 4.9 Clasificador de mapas de calor por proporción de color

El sistema de clasificación implementado en este trabajo se diseñó para evaluar el desempeño de los estudiantes con base con los resultados obtenidos en pruebas previas. Una vez recopilados los datos necesarios, el sistema es capaz de clasificar a los alumnos en tres niveles de aprovechamiento eficiente, suficiente, insuficiente. Considerando lo siguiente:

- En el nivel "Eficiente", los estudiantes demuestran un alto nivel en las pruebas de aprovechamiento y motricidad ocular. Estos alumnos muestran una sólida comprensión de los textos, son capaces de leer con fluidez y rapidez, y presentan movimientos oculares precisos y eficientes. Su rendimiento refleja un dominio adecuado de las habilidades de lectura y una capacidad para aplicar estrategias de comprensión. Los estudiantes en este nivel son capaces de leer y comprender textos en un menor tiempo, lo que les permite un progreso académico sólido en el área evaluada.
- En el nivel "Suficiente", los estudiantes muestran un nivel aceptable en las pruebas de aprovechamiento y motricidad ocular. Estos alumnos demuestran una comprensión adecuada de los textos, aunque su velocidad de lectura suele

ser ligeramente más baja en comparación con el nivel "Eficiente". Presentan movimientos oculares precisos en la mayoría de los casos, aunque suelen requerir cierta mejora en términos de eficiencia y fluidez. Los estudiantes en este nivel tienen la capacidad de leer y comprender textos de nivel moderado, aunque consiguen beneficiarse de estrategias adicionales de desarrollo para mejorar su rendimiento y alcanzar un nivel "Eficiente".

- En el nivel "Insuficiente", los estudiantes presentan dificultades significativas en las pruebas de aprovechamiento y motricidad ocular. Estos alumnos muestran una comprensión limitada de los textos y dificultades para leer con fluidez y rapidez. Sus movimientos oculares suelen ser imprecisos o descoordinados, lo que dificulta su capacidad para seguir el texto de manera adecuada. Los estudiantes en este nivel necesitan una atención adicional y estrategias específicas de intervención para abordar las dificultades en la comprensión lectora y el desarrollo de habilidades oculares. Se requiere un enfoque individualizado y una intervención intensiva para ayudar a estos estudiantes a mejorar su nivel de aprovechamiento y alcanzar los niveles "Eficiente" o "Suficiente".

Para realizar la clasificación, los resultados obtenidos en las pruebas es necesarios registrarlos en los campos correspondientes y, posteriormente, presionar el botón "Generar Clasificación". De esta manera, el sistema realiza la obtención y cálculo de los datos, y los compara utilizando un sistema de puntaje para determinar el nivel de cada alumno. Se establecieron los criterios de clasificación en conjunto con las profesoras responsables de los grupos evaluados. Los puntajes obtenidos en las pruebas se evaluaron de acuerdo a las siguientes métricas: si el resultado supera el 75%, se clasifica como EFICIENTE; si se obtiene más del 50%, se clasifica como SUFICIENTE; y en caso contrario, si el desempeño es menor, se clasifica como INSUFICIENTE. La Figura 4.10 muestra la interfaz de usuario del sistema de clasificación.

Figura 4.10 Sistema de clasificación

El sistema de registro implementado tiene como propósito principal almacenar los datos obtenidos del alumno en el sistema para su posterior consulta. Para ello, se diseñó una interfaz como se muestra en la Figura 4.11, en la cual se ingresan los datos del alumno. Una vez ingresados los datos correspondientes y generado la clasificación es necesario guardar el registro en el sistema haciendo clic en el botón "Guardar Nuevo Registro". Posteriormente al dar clic el sistema almacena los registros en la base de datos y redirecciona al usuario a la página principal del sistema para la consulta de los datos.

Figura 4.11 Sistema de registro de datos

Después de completar el registro de los datos y resultados del alumno, el sistema dispone de un módulo de reportes que permite visualizar los resultados del alumno seleccionado, incluyendo el mapa de calor generado durante la lectura como se muestra en la Figura 4.13. Para ello, el usuario tendrá que seleccionar el alumno deseado y presionar el botón de consulta en la página principal para obtener los resultados en pantalla. La presentación de los reportes se realiza de manera estructurada y legible, lo que simplifica la comprensión de la información y su análisis por parte del usuario. Además, al hacer clic en el mapa de calor, se aplica un acercamiento en la imagen para examinar con mayor detalle la actividad ocular registrada. De esta manera, el módulo de reportes resulta una herramienta útil e indispensable para el seguimiento y evaluación del desempeño de los alumnos en el sistema.

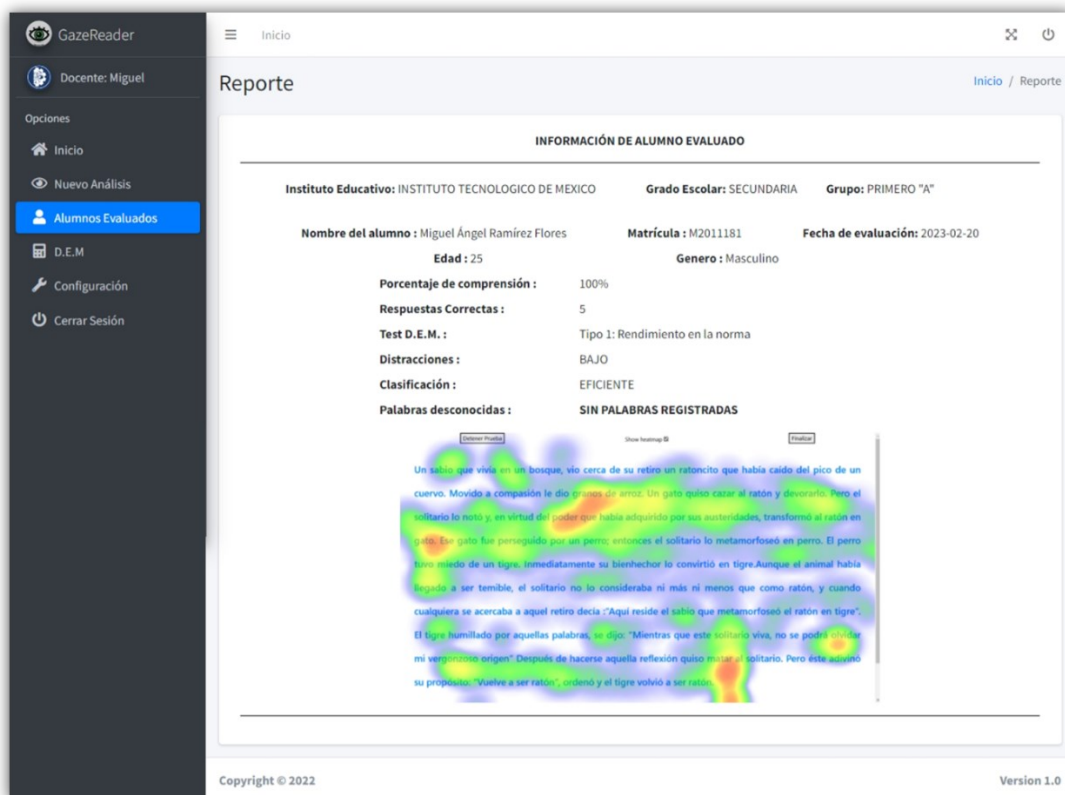


Figura 4.13 Módulo de reportes

Por último el apartado “Alumnos Evaluados” y la página inicial del sistema se presenta como un panel de control, que brinda al usuario una vista general de los análisis realizados como se observa en la Figura 4.14. El sistema muestra una tabla con información detallada de los alumnos analizados, la cual incluye opciones para consultar el reporte o eliminar el registro. También se proporciona un módulo de búsqueda para facilitar la localización de un alumno en particular. Además, se presentan dos gráficas de pastel que muestran el nivel de aprovechamiento y el nivel de distracciones en el grupo evaluado. La información presentada en estas gráficas es útil para que el usuario tenga una idea general del desempeño del grupo. Si el usuario desea eliminar un registro, el sistema solicita una confirmación antes de proceder con la eliminación. En general, la página de inicio ofrece una visión general clara y organizada de los análisis realizados, permitiendo al usuario acceder a los informes detallados y tomar decisiones informadas sobre el progreso del grupo.

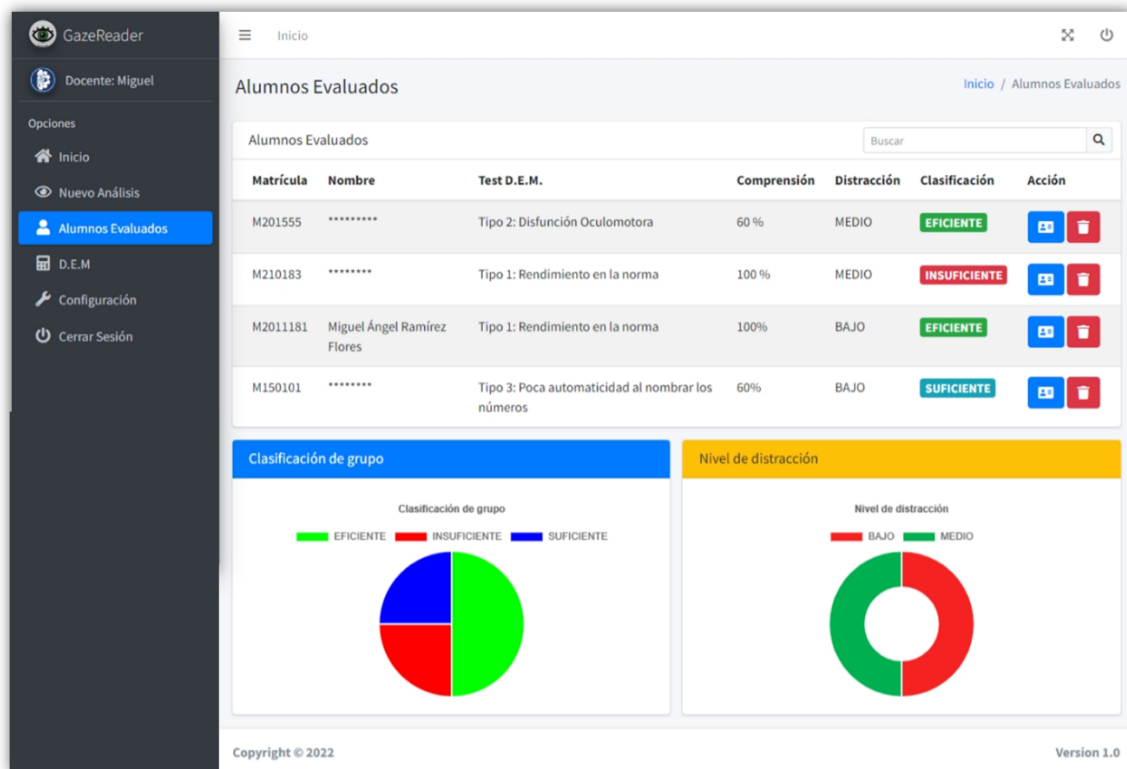


Figura 4.14 Panel de control

4.1.2 Caso de estudio: Escuela Telesecundaria 2 de enero

Esta sección del trabajo detalla el caso de estudio elegido, presentando los detalles más relevantes sobre los resultados obtenidos en el caso seleccionado.

4.1.2.1 Planeamiento del caso de estudio

El caso de estudio se desarrolló en la Escuela Telesecundaria 2 de enero, ubicada en la comunidad de Huiloapan de Cuauhtémoc, Veracruz en colaboración con dos maestras y una psicóloga. Cabe destacar que dicha escuela forma parte del programa de Unidades de Servicios de Apoyo a la Educación Regular (USAER), que busca proporcionar apoyo a estudiantes con necesidades educativas especiales.

En este caso de estudio, se contó con la colaboración de dos maestras responsables de los grupos analizados y una psicóloga, quienes desempeñaron un papel fundamental en la interpretación y validación de los resultados obtenidos. La muestra involucró un total de 40 alumnos de primer año de secundaria, los cuales se distribuyeron en dos grupos de participantes con el propósito de evaluar su desempeño en una actividad de comprensión lectora mediante el uso de un sistema de seguimiento ocular basado en visión por computadora. Para llevar a cabo la evaluación de los alumnos se empleó el sistema desarrollado que implementa tecnología del seguimiento de la actividad ocular a través de una cámara web convencional.

4.1.2.2 Características del caso de estudio

La aplicación del caso de estudio implicó el análisis de 40 estudiantes del primer año de secundaria inscritos en la escuela telesecundaria 2 de enero. En cuanto a las características específicas de la muestra, se analizaron a 17 niñas y 23 niños, los cuales 6 alumnos varones pertenecientes al programa USAER, y todos ellos se encuentran en un rango de edad de 12 a 14 años.

Los recursos tecnológicos empleados durante la implementación del caso de estudio son los siguientes:

- Computadora HP Pavilion Laptop 15-cw
- Procesador AMD Ryzen 5 2500U a 2Ghz
- 12 Gb de memoria RAM
- Windows 10 pro de 64 bits
- Cámara web TechZone Full HD a 1080p
- API GazeCloudAPI
- XAMPP (Servidor Apache y MySQL)

La figura 4.15 se muestra a los alumnos durante el análisis del caso de estudio, esto con la previa autorización de las autoridades correspondientes.

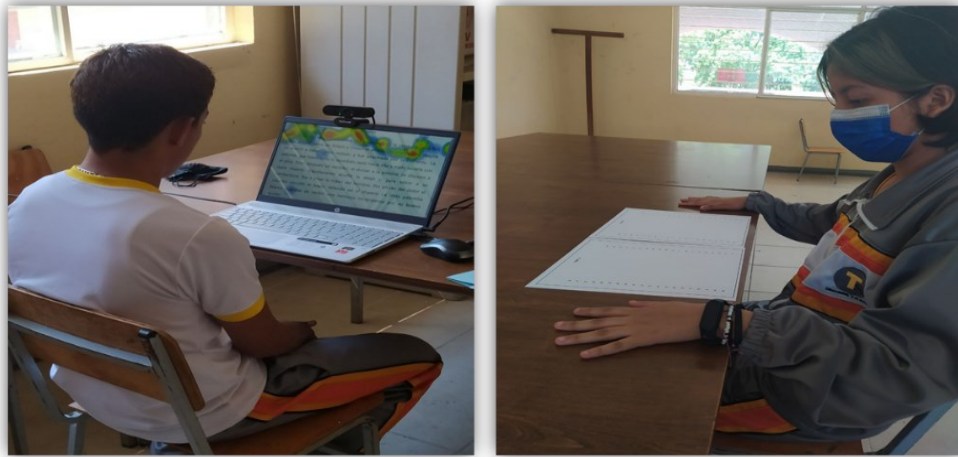


Figura 4.15 Prueba de clasificación mediante aprovechamiento lector y actividad ocular

4.1.2.3 Descripción de las pruebas del caso de estudio

Se llevaron a cabo pruebas utilizando el sistema desarrollado para clasificar a los estudiantes del primer año de secundaria en una escala recomendada por las docentes responsables de cada grupo evaluado, que consta de tres niveles: eficiente, suficiente e insuficiente. Los experimentos realizados incluyen la captura del desempeño de los estudiantes en tres pruebas. En la primera prueba, se utilizó el *test* D.E.M para determinar el tipo de desarrollo ocular de los estudiantes, eligiendo entre cuatro posibles tipos. La segunda prueba evaluó el nivel de distracción durante una

lectura digital, donde se registró la actividad ocular de los estudiantes utilizando técnicas de seguimiento ocular basadas en visión artificial a través de una cámara web convencional, mientras leían una lectura seleccionada según su nivel escolar. El registro y obtención de la actividad ocular se logró mediante la implementación del *GazeCloudAPI*, API que en su versión gratuita brinda el código de implementación necesario y un sistema de calibración propio para la obtención de la actividad ocular, generando un mapa de calor correspondiente a los movimiento oculares de los evaluados. Finalmente, los estudiantes respondieron una serie de preguntas sobre la lectura realizada con el objetivo de realizar una aproximación del aprovechamiento lector.

Se asignó un espacio dentro de la biblioteca escolar con el propósito de que los estudiantes realizaran las pruebas en un ambiente libre de distracciones. Los estudiantes se evaluaron con previa autorización de las autoridades competentes y en compañía de las profesoras a cargo. La presencia de las docentes durante las pruebas permitió aclarar cualquier duda sobre el uso de la plataforma y se una capacitación constante sobre su manejo.

Cada una de las tres pruebas cuenta con una calificación máxima asignada del 100%. Los porcentajes obtenidos por los alumnos en cada prueba se utilizaron para su clasificación, y los criterios de clasificación se acordaron en conjunto con las profesoras a cargo de los grupos evaluados. La evaluación de los puntajes obtenidos en las pruebas se basó en las siguientes métricas: se clasificaba como EFICIENTE si el resultado superaba el 75%, como SUFICIENTE si se obtenía más del 50%, y como INSUFICIENTE en caso contrario, cuando el desempeño era menor.

4.1.2.4 Resultados obtenidos tras la implementación del sistema de clasificación de estudiantes según su estimación de aprovechamiento y desarrollo oculomotor.

Tras haber presentado el proyecto a las autoridades escolares y a las profesoras de los grupos del primer año de secundaria de la escuela Telesecundaria 2 de enero, y haber confirmado su interés y colaboración para la implementación del sistema, se llevó a cabo una exposición detallada del proyecto, las tecnologías utilizadas y las instrucciones de evaluación. Esta explicación, como se muestra en la Figura 4.16, se realizó en presencia de los docentes y los 40 alumnos que serían evaluados, la cual a todos los alumnos les pareció interesante el proyecto, también se contestaron algunas de las dudas.



Figura 4.16 Presentación informativa

Tras el registro previo de los datos de acceso de las docentes al sistema, se procedió a la evaluación individual de cada uno de los 40 alumnos para determinar su nivel de aprovechamiento. Cada alumno realizó las pruebas de manera individual, bajo la supervisión de su docente a cargo. Después de recordar las instrucciones y comprobar la conexión a Internet de la computadora, se procedió a la realización de cada una de

las pruebas. Durante la prueba de clasificación oculomotora y el registro de su actividad ocular, se les solicitó a los alumnos adoptar una posición erguida y cómoda en su silla. Cada evaluación tomó entre 6 y 7 minutos de duración. En la Figura 4.17 se aprecia algunos de los alumnos durante la realización de las pruebas.



Figura 4.17 Alumnos durante las pruebas

Una vez concluidas las pruebas por parte de los alumnos, se procedió al almacenamiento de los resultados obtenidos y a la presentación de los mismos, junto con las indicaciones necesarias para obtener su nivel de clasificación, así como el resultado calculado por el sistema. Posteriormente, se aplicó un cuestionario de retroalimentación a cada alumno, el cual tuvo como objetivo obtener puntos de mejora en sistema y analizar los resultados obtenidos en el caso de estudio en cuestión, en la Tabla 4.2 se muestran las respuestas obtenidas.

Las preguntas utilizadas en el cuestionario de retroalimentación son las siguientes:

1. ¿Encontró las pruebas desafiantes?
2. ¿Dedica tiempo a la lectura durante sus momentos de ocio?
3. ¿Qué aspecto del *software* encontró más difícil de utilizar?
4. ¿Qué característica del *software* encontró más atractiva?
5. ¿Fue de tu agrado el *software* utilizado?
6. ¿Tiene alguna sugerencia o comentario para mejorar el *software* y el proceso de evaluación?
7. ¿La visualización de su actividad ocular durante la lectura le produjo una distracción?

Tabla 4.2 Respuestas del cuestionario de retroalimentación

Alumno	¿Encontró las pruebas desafiantes?	¿Dedica tiempo a la lectura durante sus momentos de ocio?	¿Qué aspecto del <i>software</i> encontró más difícil de utilizar?	¿Qué característica del <i>software</i> encontró más atractiva?	¿Fue de tu agrado el <i>software</i> utilizado?	¿Tiene alguna sugerencia o comentario para mejorar el <i>software</i> y el proceso de evaluación?	¿La visualización de su actividad ocular durante la lectura le produjo una distracción?
Alumno 1	No	Si	Todo bien	Quiz	Si	Todo bien	Si
Alumno 2	Poco	Mas o menos	Todo bien	Calcular la distracción	Si	Ninguna	Muy poco
Alumno 3	No	Muy poco	Ninguna	Lectura	Si	Todo bien	Si
Alumno 4	No	Si	Todo bien	La calibración	Si	No	Poco
Alumno 5	Mas o menos	No	Lectura	Test DEM	Si	Todo bien	No
Alumno 6	Mas o menos	No	Lectura	Quiz	Si	Mejorar la calibración	Si
Alumno 7	Mas o menos	Mas o menos	Lectura	Test DEM	Si	Todo bien	No
Alumno 8	Mas o menos	Si	Quiz	Quiz	Si	Todo bien	Si
Alumno 9	Un poco	Si	Contestar el quiz	Test DEM	Si	Todo bien	Poco

Tabla 4.2 Respuestas del cuestionario de retroalimentación

Alumno	¿Encontró las pruebas desafiantes?	¿Dedica tiempo a la lectura durante sus momentos de ocio?	¿Qué aspecto del <i>software</i> encontró más difícil de utilizar?	¿Qué característica del <i>software</i> encontró más atractiva?	¿Fue de tu agrado el <i>software</i> utilizado?	¿Tiene alguna sugerencia o comentario para mejorar el <i>software</i> y el proceso de evaluación?	¿La visualización de su actividad ocular durante la lectura le produjo una distracción?
Alumno 10	Mas o menor	Si	Lectura	Leer	Si	Todo bien	Si
Alumno 12	Test DEM	Mas o menos	Lectura	Quiz	Si	Todo bien	No mucho
Alumno 13	No	Si	Lectura	Leer	Si	Todo bien	No
Alumno 14	No	Si	Calibrar	Todo	Si	Todo bien	No
Alumno 15	Mas o menos	Si	Leer	Leer	Si	Todo bien	Poco
Alumno 16	Test DEM	Si	Test DEM	Leer	Si	Todo bien	No
Alumno 17	No	Mas o menos	Quiz	Test DEM	Si	Todo bien	Muy poco
Alumno 18	Test DEM	Si	No	Quiz	Si	Todo bien	Poco
Alumno 19	No	Si	Test DEM	Test DEM	Si	Todo bien	Mas o menos
Alumno 20	Test DEM	Si	Test DEM	Lectura	Si	No	No
Alumno 21	Leer por el tiempo	Mas o menos	Leer	Quiz	Si	Todo bien	No

Tabla 4.2 Respuestas del cuestionario de retroalimentación

Alumno	¿Encontró las pruebas desafiantes?	¿Dedica tiempo a la lectura durante sus momentos de ocio?	¿Qué aspecto del <i>software</i> encontró más difícil de utilizar?	¿Qué característica del <i>software</i> encontró más atractiva?	¿Fue de tu agrado el <i>software</i> utilizado?	¿Tiene alguna sugerencia o comentario para mejorar el <i>software</i> y el proceso de evaluación?	¿La visualización de su actividad ocular durante la lectura le produjo una distracción?
Alumno 22	No	Mas o menos	Leer	Test DEM	Si	Todo bien	Mas o menos
Alumno 23	Mas o menos	Mas o menos	Leer	La calibración	Si	Todo bien	No
Alumno 24	No	Mas o menos	Test DEM	Leer	Si	Todo bien	No
Alumno 25	No	Mas o menos	Ninguna	Ninguna	Si	Todo bien	No
Alumno 26	No	Mas o menos	Test DEM	Leer el cuento	Si	Todo bien	Si
Alumno 27	No	Si	Test DEM	Leer	Si	Todo bien	No
Alumno 28	Poco	Si	Test DEM	Calibración	Si	Todo bien	No
Alumno 29	No	Si	Leer	Calibración	Si	Todo bien	No
Alumno 30	Poco	Si	Leer	Quiz	Si	Todo bien	Poco
Alumno 31	Poco	Si	Quiz	Leer	Si	Todo bien	No
Alumno 32	No	Si	Test DEM	Calibración	Si	Todo bien	No

Tabla 4.2 Respuestas del cuestionario de retroalimentación

Alumno	¿Encontró las pruebas desafiantes?	¿Dedica tiempo a la lectura durante sus momentos de ocio?	¿Qué aspecto del <i>software</i> encontró más difícil de utilizar?	¿Qué característica del <i>software</i> encontró más atractiva?	¿Fue de tu agrado el <i>software</i> utilizado?	¿Tiene alguna sugerencia o comentario para mejorar el <i>software</i> y el proceso de evaluación?	¿La visualización de su actividad ocular durante la lectura le produjo una distracción?
Alumno 33	No	Si	Ninguna	Numero	Si	Todo bien	No
Alumno 34	Poco	Si	Test DEM	Leer	Si	Todo bien	Poco
Alumno 35	No	Si	Quiz	Calibración	Si	Todo bien	Poco
Alumno 36	Poco	Si	Test DEM	Test DEM	Si	Todo bien	Poco
Alumno 37	Poco	Si	Leer	Calibración	Si	Todo bien	Poco
Alumno 38	Poco	Si	Calibrar	Test DEM	Si	Todo bien	No
Alumno 39	No	Poco	Leer	Test DEM	Si	Todo bien	Poco
Alumno 40	No	Mas o menos	Leer	Test DEM	Si	Todo bien	No

Una vez concluida la aplicación del caso de estudio, se procedió a analizar los resultados preliminares obtenidos tras la implementación del proyecto en su primera versión, con el propósito de evaluar la efectividad del sistema propuesto en la clasificación del nivel de aprovechamiento de los estudiantes, así como su viabilidad para su implementación en entornos educativos a un costo accesible.

Con los datos obtenidos en las pruebas realizadas, se clasificó a los estudiantes según su estimación de aprovechamiento y desarrollo oculomotor en una escala de eficiente, suficiente e insuficiente.

Las maestras y la psicóloga participaron activa y colaborativamente en el desarrollo del proyecto, aportando su amplia experiencia y conocimiento en el ámbito educativo, lo que permitió una visión integral y contextualizada de los resultados obtenidos a través del seguimiento de la actividad ocular de los estudiantes en relación del aprovechamiento durante la actividad de comprensión lectora en computadora. Además, se encargaron de generar una clasificación de sus estudiantes acorde a su desempeño visto en clases y comparar los resultados obtenidos posteriormente a la implementación del sistema, así como de proponer recomendaciones y estrategias para mejorar el desempeño académico de los estudiantes en el área de comprensión lectora y desarrollo oculomotor. La Tabla 4.3 muestra los resultados obtenidos en los tiempos y errores de la prueba DEM y la Tabla 4.4 muestra el desempeño en cada estudiante en su primera evaluación.

Tabla 4.3 Resultados de la Prueba D.E.M

Alumno	Edad	Vertical		Horizontal		Ajuste de tiempo	Ratio	Tipo
		Tiempo	Errores	Tiempo	Errores			
Alumno 1	12	55.6	2	51.33	4	54.03	0.97	Tipo III
Alumno 2	13	50.34	0	53.72	2	55.10	1.09	Tipo III
Alumno 3	13	48.87	8	56.61	4	59.59	1.22	Tipo IV
Alumno 4	13	64.26	2	115.6	4	121.68	1.89	Tipo IV
Alumno 5	12	54.17	0	68.7	4	72.32	1.33	Tipo IV
Alumno 6	13	44.26	0	54.26	4	57.12	1.29	Tipo IV
Alumno 7	12	56.6	2	53.58	2	54.95	0.97	Tipo III
Alumno 8	12	51.13	2	62.06	6	67.09	1.31	Tipo IV
Alumno 9	12	70.8	2	77.04	2	79.02	1.12	Tipo III
Alumno 11	12	46.65	0	59.29	6	64.10	1.37	Tipo IV
Alumno 12	12	40.86	2	55.93	5	59.66	1.46	Tipo IV
Alumno 13	13	46.74	2	56.03	4	58.98	1.26	Tipo III
Alumno 14	12	37.43	0	41	1	41.52	1.11	Tipo III
Alumno 16	13	43.09	1	48.83	2	50.08	1.16	Tipo III
Alumno 17	12	37.47	0	44.61	2	45.75	1.22	Tipo III
Alumno 19	13	43.06	1	52.4	7	57.42	1.33	Tipo IV
Alumno 20	12	35.55	1	40.73	3	42.32	1.19	Tipo II
Alumno 21	13	36.09	2	33.06	1	33.48	0.93	Tipo I
Alumno 22	12	43.72	0	49.64	1	50.27	1.15	Tipo III
Alumno 23	13	46.91	1	61.13	7	66.99	1.43	Tipo IV
Alumno 24	12	43.67	0	52.8	2	54.15	1.24	Tipo II

Tabla 4.3 Resultados de la Prueba D.E.M (continuación)

Alumno	Edad	Vertical		Horizontal		Ajuste de tiempo	Ratio	Tipo
		Tiempo	Errores	Tiempo	Errores			
Alumno 25	12	37.97	0	39.51	2	40.52	1.07	Tipo III
Alumno 26	12	45.48	0	55.93	4	58.87	1.29	Tipo III
Alumno 27	12	30.59	0	45.42	1	45.99	1.50	Tipo II
Alumno 28	13	46.73	4	48.81	2	50.06	1.07	Tipo III
Alumno 29	12	43.62	1	46.83	2	48.03	1.10	Tipo III
Alumno 30	12	37.63	0	39.83	2	40.85	1.09	Tipo II
Alumno 31	13	37.51	1	42.7	6	46.16	1.23	Tipo III
Alumno 32	12	45.49	0	50.65	2	51.95	1.14	Tipo II
Alumno 33	12	39.64	4	49.19	2	50.45	1.27	Tipo II
Alumno 34	14	33.92	0	37.28	1	37.75	1.11	Tipo I
Alumno 35	12	35	0	39.9	3	41.45	1.18	Tipo I
Alumno 36	12	41.08	0	33.82	4	35.60	0.87	Tipo II
Alumno 37	13	118.46	2	100.85	9	113.63	0.96	Tipo IV
Alumno 38	13	44.66	0	41.84	4	44.04	0.99	Tipo III
Alumno 39	13	48.11	2	54.51	4	57.38	1.19	Tipo III
Alumno 40	13	41.67	0	56.47	2	57.92	1.39	Tipo IV

Tabla 4.4 Desempeño de los estudiantes (Primera evaluación)

Alumno	Edad	Genero	Test DEM	Nivel de Distracción	Estimación de la comprensión lectora	Respuestas correctas	Porcentaje de todas las pruebas	Clasificación calculada por el sistema
Alumno 1	12	Masculino	Tipo 3	MEDIO	72%	3	73	SUFICIENTE
alumno 2	13	Femenino	Tipo 3	MEDIO	52%	1	58	SUFICIENTE
Alumno 3	12	Femenino	Tipo 4	MEDIO	56%	2	55.25	SUFICIENTE
Alumno 4	13	Femenino	Tipo 4	MEDIO	60%	2	56.25	SUFICIENTE
Alumno 5	12	Masculino	Tipo 3	MEDIO	44%	1	56	SUFICIENTE
Alumno 6	12	Femenino	Tipo 4	MEDIO	56%	2	55.25	SUFICIENTE
Alumno 7	12	Masculino	Tipo 4	ALTO	68%	2	44.5	INSUFICIENTE
Alumno 8	12	Femenino	Tipo 2	MEDIO	100%	5	91.25	EFICIENTE
Alumno 9	13	Masculino	Tipo 2	MEDIO	88%	4	83.25	EFICIENTE
Alumno 10	12	Masculino	Tipo 2	MEDIO	88%	4	83.25	EFICIENTE
Alumno 11	13	Femenino	Tipo 3	MEDIO	80%	3	75	SUFICIENTE
Alumno 12	13	Femenino	Tipo 1	MEDIO	92%	4	89.25	EFICIENTE
Alumno 13	13	Masculino	Tipo 4	MEDIO	68%	2	58.25	SUFICIENTE
Alumno 14	13	Masculino	Tipo 4	MEDIO	72%	2	59.25	SUFICIENTE
Alumno 15	12	Masculino	Tipo 2	MEDIO	64%	2	67.25	SUFICIENTE
Alumno 16	12	Femenino	Tipo 3	MEDIO	60%	1	60	SUFICIENTE
Alumno 17	12	Femenino	Tipo 3	MEDIO	72%	3	73	SUFICIENTE
Alumno 18	12	Femenino	Tipo 3	MEDIO	76%	2	69	SUFICIENTE
Alumno 19	12	Masculino	Tipo 3	MEDIO	72%	2	68	SUFICIENTE
Alumno 20	12	Masculino	Tipo 3	MEDIO	60%	2	65	SUFICIENTE

Tabla 4.4 Desempeño de los estudiantes (Primera evaluación)

Alumno	Edad	Genero	Test DEM	Nivel de Distracción	Estimación de la comprensión lectora	Respuestas correctas	Porcentaje de todas las pruebas	Clasificación calculada por el sistema
Alumno 21	12	Masculino	Tipo 2	BAJO	100%	5	95	EFICIENTE
Alumno 22	13	Femenino	Tipo 3	MEDIO	68%	2	67	SUFICIENTE
Alumno 23	12	Masculino	Tipo 3	MEDIO	60%	1	60	SUFICIENTE
Alumno 24	12	Femenino	Tipo 2	ALTO	72%	2	55.5	SUFICIENTE
Alumno 25	13	Masculino	Tipo 4	ALTO	52%	1	35.5	INSUFICIENTE
Alumno 26	12	Masculino	Tipo 4	MEDIO	68%	2	58.25	SUFICIENTE
Alumno 27	13	Femenino	Tipo 3	MEDIO	84%	3	76	EFICIENTE
Alumno 28	12	Femenino	Tipo 2	MEDIO	72%	3	74.25	SUFICIENTE
Alumno 29	12	Femenino	Tipo 2	MEDIO	92%	4	84.25	EFICIENTE
Alumno 30	14	Femenino	Tipo 1	BAJO	80%	3	85	EFICIENTE
Alumno 31	12	Masculino	Tipo 2	MEDIO	80%	3	76.25	EFICIENTE
Alumno 32	12	Masculino	Tipo 3	MEDIO	88%	4	82	EFICIENTE
Alumno 33	13	Masculino	Tipo 4	ALTO	56%	2	41.5	INSUFICIENTE
Alumno 34	13	Masculino	Tipo 3	MEDIO	80%	3	75	SUFICIENTE
Alumno 35	13	Masculino	Tipo 3	MEDIO	80%	3	75	SUFICIENTE
Alumno 36	13	Femenino	Tipo 3	MEDIO	60%	1	60	SUFICIENTE
Alumno 37	12	Masculino	Tipo 3	MEDIO	48%	2	62	SUFICIENTE
Alumno 38	13	Masculino	Tipo 4	MEDIO	44%	1	47.25	INSUFICIENTE
Alumno 39	13	Masculino	Tipo 3	ALTO	92%	4	69.25	SUFICIENTE
Alumno 40	14	Masculino	Tipo 2	MEDIO	72%	2	69.25	SUFICIENTE

Una vez clasificados todos los alumnos por el sistema se realizó una comparación entre la clasificación hecha por las docentes y la generada por el sistema, y se encontró que la plataforma clasificó de manera similar a más del 67 % de los estudiantes. Esto sugiere que la plataforma logra clasificar a los estudiantes con un nivel significativo de similitud en comparación con la clasificación que obtienen en el aula, lo que demuestra que la implementación del sistema propuesto tiene un alto grado de precisión en la clasificación de los estudiantes y es viable para su implementación en entornos educativos a un costo accesible. La Tabla 4.5 muestra el comparativo entre la clasificación dada por las docentes y la clasificación obtenida por la plataforma.

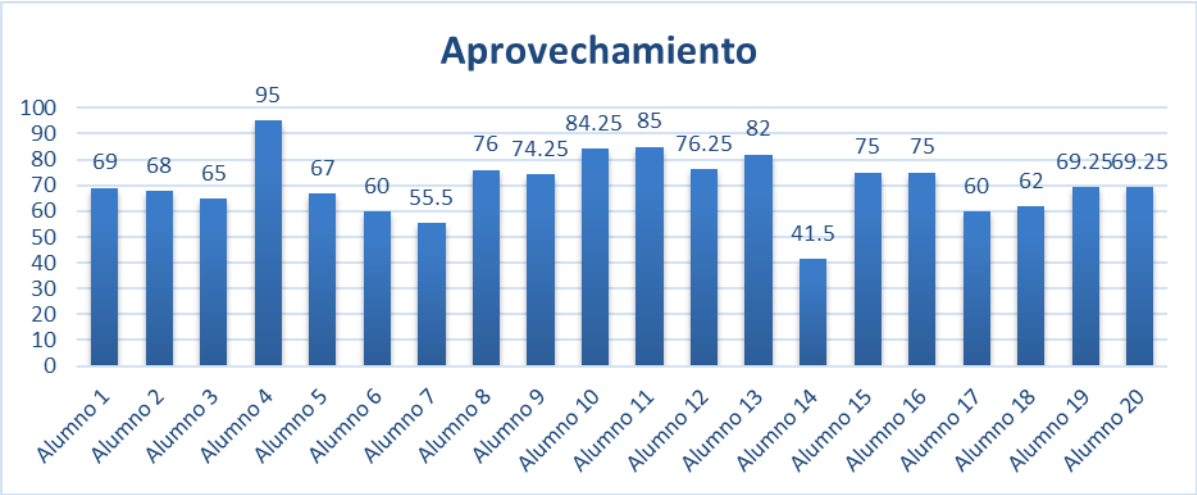
Tabla 4.5 Comparativo de la clasificación de los estudiantes

Alumno	Porcentaje de rendimiento en todas las pruebas	Clasificación otorgado por la profesora	Clasificación asignada por la plataforma
Alumno 1	73	Suficiente	Eficiente
Alumno 2	58	Suficiente	Suficiente
Alumno 3	55.25	Suficiente	Suficiente
Alumno 4	56.25	Suficiente	Suficiente
Alumno 5	56	Suficiente	Suficiente
Alumno 6	55.25	Suficiente	Suficiente
Alumno 7	44.5	Insuficiente	Insuficiente
Alumno 8	91.25	Eficiente	Eficiente
Alumno 9	83.25	Eficiente	Suficiente
Alumno 10	83.25	Eficiente	Eficiente
Alumno 11	75	Suficiente	Suficiente
Alumno 12	89.25	Eficiente	Eficiente
Alumno 13	58.25	Suficiente	Eficiente
Alumno 14	59.25	Suficiente	Suficiente
Alumno 15	67.25	Suficiente	Eficiente
Alumno 16	60	Suficiente	Eficiente

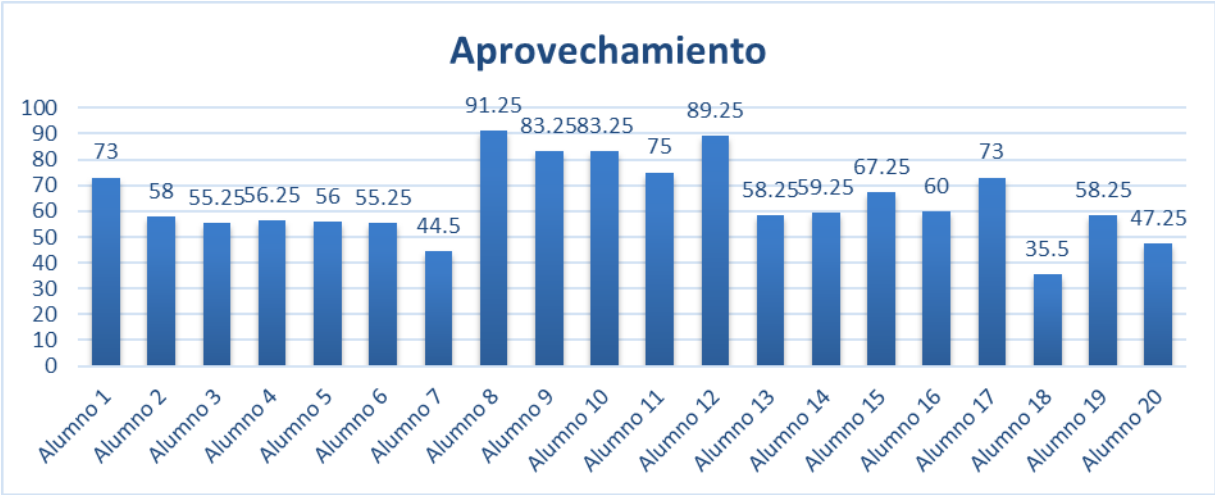
Tabla 4.5 Comparativo de la clasificación de los estudiantes

Alumno	Porcentaje de rendimiento en todas las pruebas	Clasificación otorgado por la profesora	Clasificación asignada por la plataforma
Alumno 17	73	Suficiente	Eficiente
Alumno 18	69	Suficiente	Eficiente
Alumno 19	68	Suficiente	Eficiente
Alumno 20	65	Suficiente	Eficiente
Alumno 21	95	Eficiente	Eficiente
Alumno 22	67	Suficiente	Eficiente
Alumno 23	60	Suficiente	Insuficiente
Alumno 24	55.5	Suficiente	Suficiente
Alumno 25	35.5	Insuficiente	Insuficiente
Alumno 26	58.25	Suficiente	Suficiente
Alumno 27	76	Eficiente	Eficiente
Alumno 28	74.25	Suficiente	Suficiente
Alumno 29	84.25	Eficiente	Eficiente
Alumno 30	85	Eficiente	Eficiente
Alumno 31	76.25	Eficiente	Suficiente
Alumno 32	82	Eficiente	Suficiente
Alumno 33	41.5	Insuficiente	Insuficiente
Alumno 34	75	Suficiente	Suficiente
Alumno 35	75	Suficiente	Suficiente
Alumno 36	60	Suficiente	Suficiente
Alumno 37	62	Suficiente	Suficiente
Alumno 38	47.25	Insuficiente	Insuficiente
Alumno 39	69.25	Suficiente	Suficiente
Alumno 40	69.25	Suficiente	Suficiente

La Gráfica 4.1 y 4.2 presentan de manera detallada los resultados obtenidos por los estudiantes durante las pruebas realizadas mediante el sistema propuesto separado por los grupos primero A y primero B. En las gráficas se muestran los porcentajes obtenidos por los estudiantes en las tres pruebas aplicadas, que incluyen la prueba de clasificación oculomotora, la prueba de comprensión lectora y la prueba de velocidad de lectura. Cada barra representa el porcentaje obtenido por cada estudiante en cada prueba.

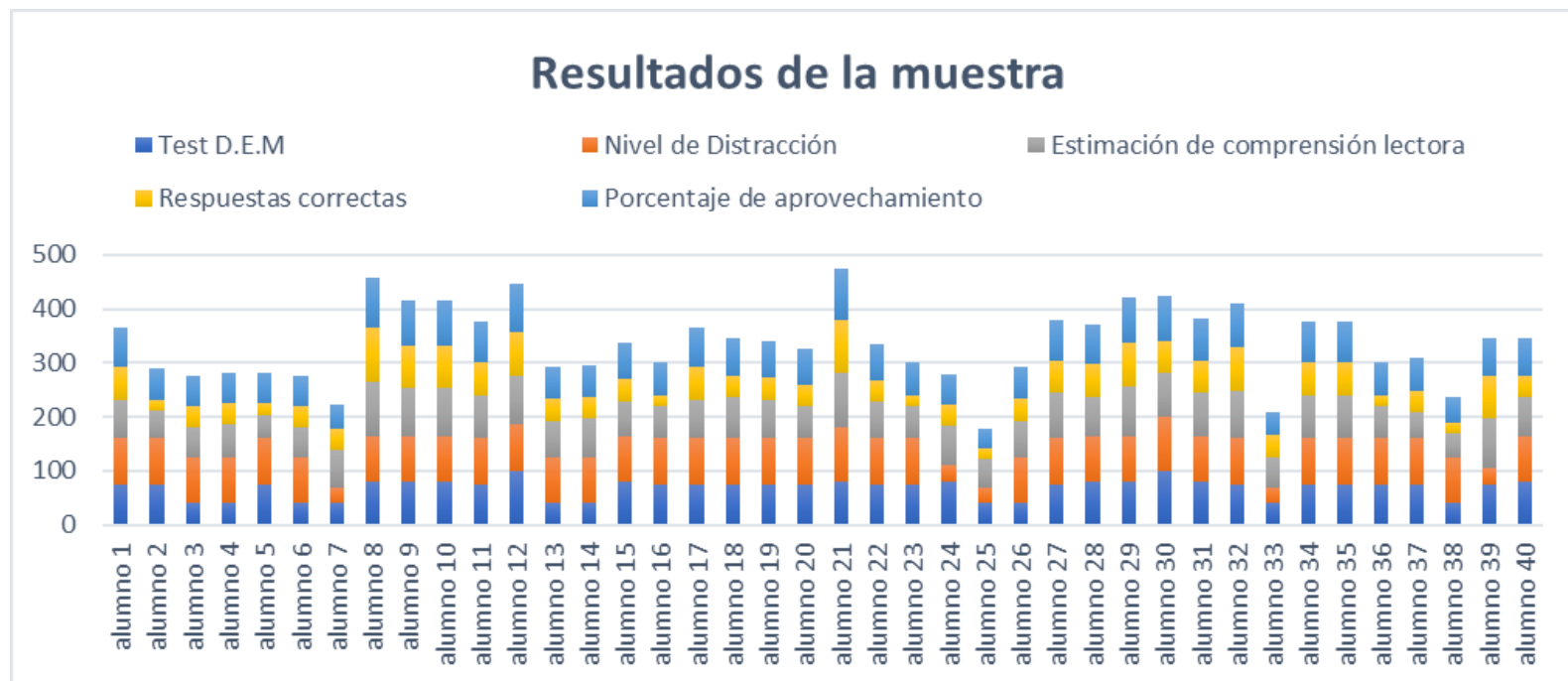


Gráfica 4.1 Porcentaje de aprovechamiento grupo A



Gráfica 4.2 Porcentaje de aprovechamiento grupo B

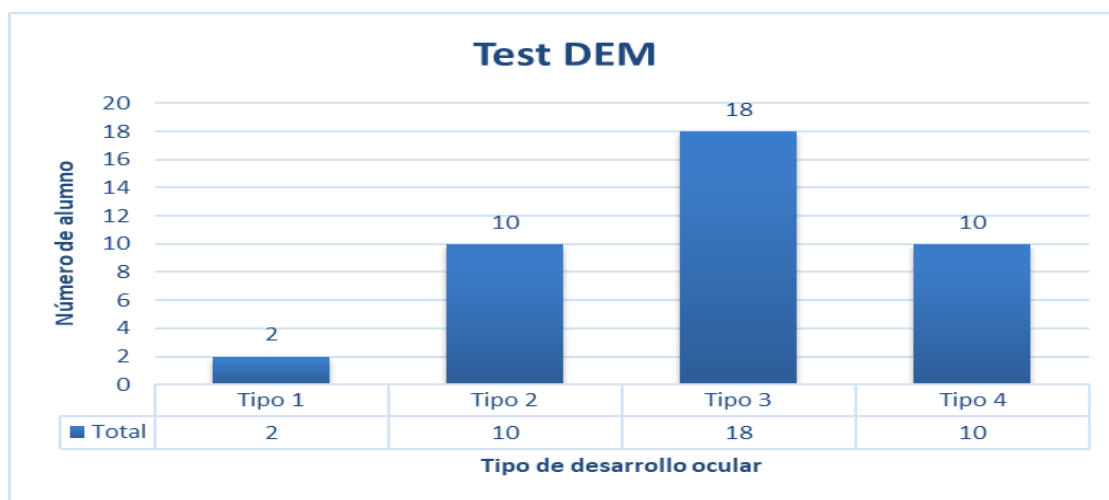
La Gráfica 4.3 presenta los resultados de todas las pruebas realizadas en la muestra de los estudiantes evaluados, utilizando el sistema propuesto en su primera versión. Esta gráfica muestra la distribución de los niveles de aprovechamiento académico obtenidos por los alumnos en cada una de las pruebas realizadas. Los datos presentados en la gráfica son resultado de un proceso de evaluación individual y permite obtener una visión general del desempeño de los estudiantes en las diferentes áreas evaluadas.



Gráfica 4.3 Resultados de la muestra

En general, las gráficas permiten visualizar la distribución de los resultados obtenidos por los estudiantes y es útil para identificar patrones o tendencias en el aprovechamiento académico.

La Gráfica 4.4 muestra la distribución del tipo de desarrollo ocular obtenido por los estudiantes evaluados en la muestra. En ella se observa que el tipo 3 de desarrollo ocular es el más frecuente, con un total de 18 estudiantes de la muestra, seguido del tipo 2 con 10 estudiantes, el tipo 4 con 10 estudiantes y finalmente el tipo 1 con solo 2 estudiantes. Este resultado sugiere que la mayoría de los estudiantes evaluados presentan un patrón de desarrollo ocular similar que no encaja con el nivel educativo donde se encuentra.



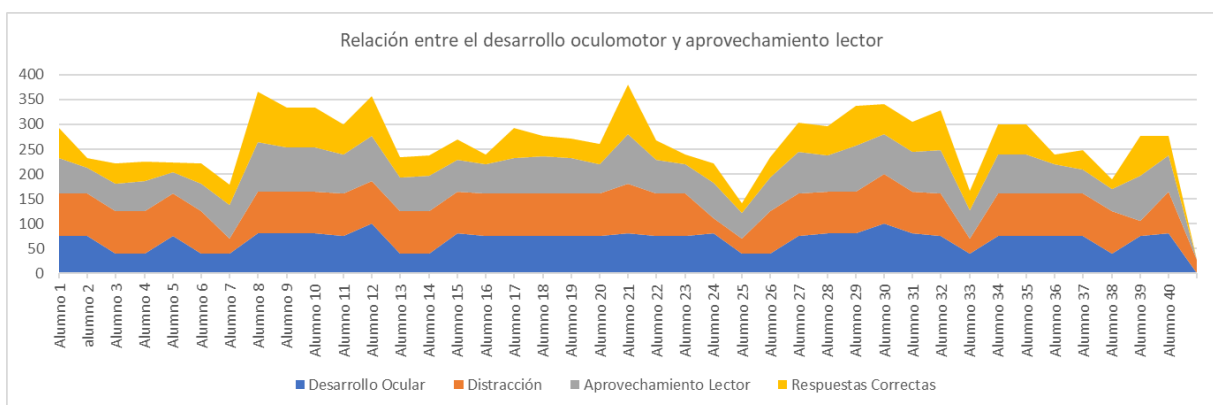
Gráfica 4.4 Desarrollo ocular de la muestra

La Gráfica 4.5 muestra la distribución del nivel de distracción calculado por el sistema de clasificación de los mapas de calor (Figura 4.9) durante la actividad de lectura digital en la muestra evaluada. Cabe mencionar que si el alumno evaluado durante la lectura digital consideraba que su posición ocular no es precisa, la prueba se detenía y se volvía a calibrar el sistema. Los resultados indican que la mayoría de los estudiantes (33) tuvieron un nivel medio de distracción durante la actividad de lectura, mientras que 5 tuvieron un nivel alto y solo 2 tuvieron un nivel bajo. Esta información supone que los estudiantes toman más tiempo al leer la cantidad de palabras acorde a su nivel del primer año de secundaria y que el ver su actividad ocular durante la lectura les produce una distracción.



Grafica 4.5 Desarrollo ocular de la muestra

La Gráfica 4.6 presenta la relación entre el desarrollo oculomotor y el aprovechamiento de los estudiantes evaluados en la muestra. Se observa que hay una correlación entre el tipo de desarrollo oculomotor y el nivel de aprovechamiento, ya que a medida que el tipo de desarrollo oculomotor aumenta, también lo hace el nivel de aprovechamiento. Los estudiantes con un tipo de desarrollo oculomotor más avanzado lograron un mayor nivel de aprovechamiento en las pruebas realizadas por el sistema propuesto.



Gráfica 4.6 Relación entre el desarrollo oculomotor y aprovechamiento lector

La matriz de confusión presentada en la Figura 4.18 muestra que el sistema propuesto en su primera versión logra una gran efectividad en la clasificación de los estudiantes

en los niveles de aprovechamiento correspondientes. Sin embargo, se identificaron algunos aspectos que podrían mejorar la precisión de la clasificación, como el porcentaje de evaluación en los test D.E.M, el nivel de distracción y el porcentaje de respuesta. Para determinar las posibles causas de estos hallazgos, se realizó un análisis exhaustivo de los resultados.

		PREDICCIÓN: CLASIFICACIÓN		
		NIVEL	EFICIENTE	SUFICIENTE
ACTUAL: CLASIFICACIÓN	EFICIENTE	7	3	0
	SUFICIENTE	9	16	1
	INSUFICIENTE	0	0	4

Figura 4.18 Matriz de confusión

Posteriormente a la primera prueba realizada por los estudiantes, se realizó una segunda evaluación, utilizando las mismas pruebas anteriores con la diferencia de que en esta ocasión se trabajaron ejercicios para mejorar la motricidad ocular. Los ejercicios utilizados son de la prueba King-Devick la cual es una evaluación neurológica rápida y sencilla que se utiliza para detectar anomalías en el seguimiento ocular y en la lectura en pacientes con traumatismo craneoencefálico, conmoción cerebral, esclerosis múltiple y otros trastornos neurológicos [41]. Consiste en pedirle al paciente que lea una serie de números en una tabla en el menor tiempo posible como se observa en la Figura 4.19, y el tiempo que tarda en hacerlo se utiliza para evaluar la función ocular y cognitiva del paciente. Aunque originalmente la prueba King-Devick está diseñada para la detección de problemas posteriores a un traumatismo craneoencefálico, en esta segunda evaluación se decidió utilizarla con la finalidad de evaluar la velocidad de los movimientos oculares en los estudiantes. La razón detrás de esta decisión es que la prueba King-Devick es capaz de medir de manera objetiva la velocidad de los movimientos oculares, permitiendo tener una guía para mejorar el nivel de la Prueba de Desarrollo Ocular (D.E.M).

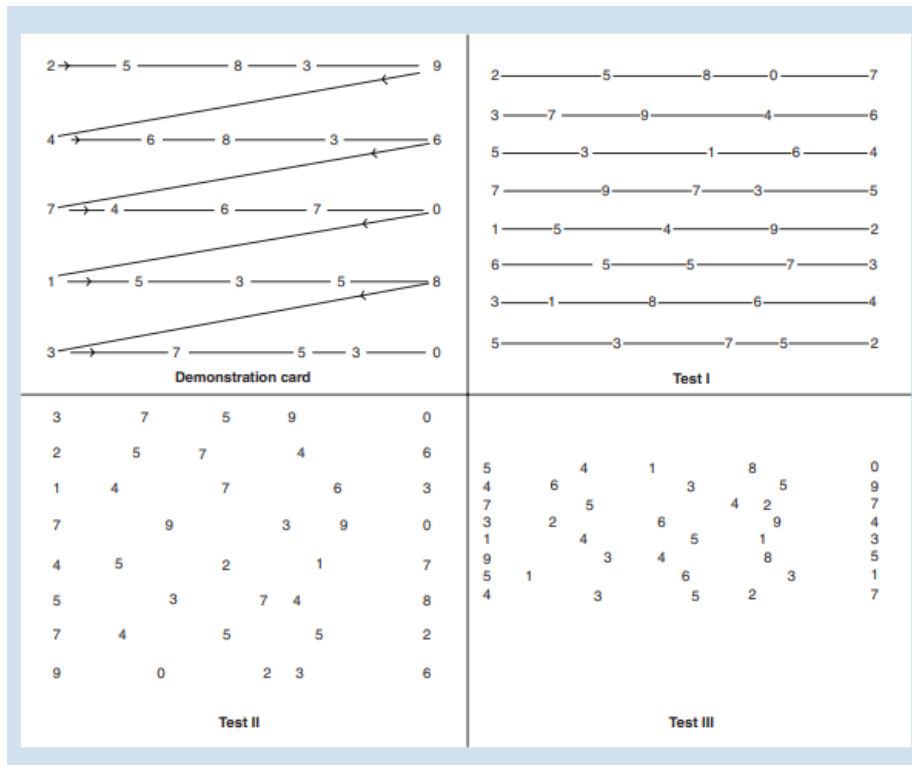


Figura 4.19 Reactivos del Test King-Devick [41]

Durante el desarrollo de la investigación, se implementó un programa de ejercicios de King-Devick con los alumnos durante un periodo de cuatro días, con una duración de una hora diaria. Estos ejercicios se diseñaron específicamente para trabajar los movimientos oculomotores y se llevaron a cabo de manera complementaria a las demás actividades académicas de los estudiantes, sin interferir en su rutina habitual.

Una vez finalizado el periodo de ejercicios oculomotores, se procedió a realizar una segunda evaluación con los estudiantes. De manera individual, cada alumno estuvo sometido nuevamente a las pruebas del *test* D.E.M, que permiten evaluar su desarrollo ocular, así como a la detección de su actividad ocular para medir el nivel de distracciones durante la lectura. Además, con el propósito de evitar respuestas basadas en la memoria de los estudiantes, se utilizó un nuevo texto de comprensión y un conjunto de preguntas diferentes a los empleados en la evaluación anterior

Esta segunda evaluación permitió reafirmar los niveles sobre el desempeño de los estudiantes en las diferentes pruebas. Así como, evaluar la influencia de los ejercicios de King-Devick en el desarrollo ocular de los estudiantes, su nivel de atención y aprovechamiento. Los resultados de esta segunda evaluación se analizaron en detalle y se presentan en la tabla correspondiente (Tabla 4.6), donde se muestran los datos obtenidos por cada estudiante en las diferentes pruebas realizadas. Finalmente la Gráfica 4.7 muestra la comparación entre los resultados obtenidos en la primera y segunda evaluación de los alumnos. Esta gráfica revela las diferencias en el desempeño de los estudiantes en las pruebas realizadas en ambos momentos.

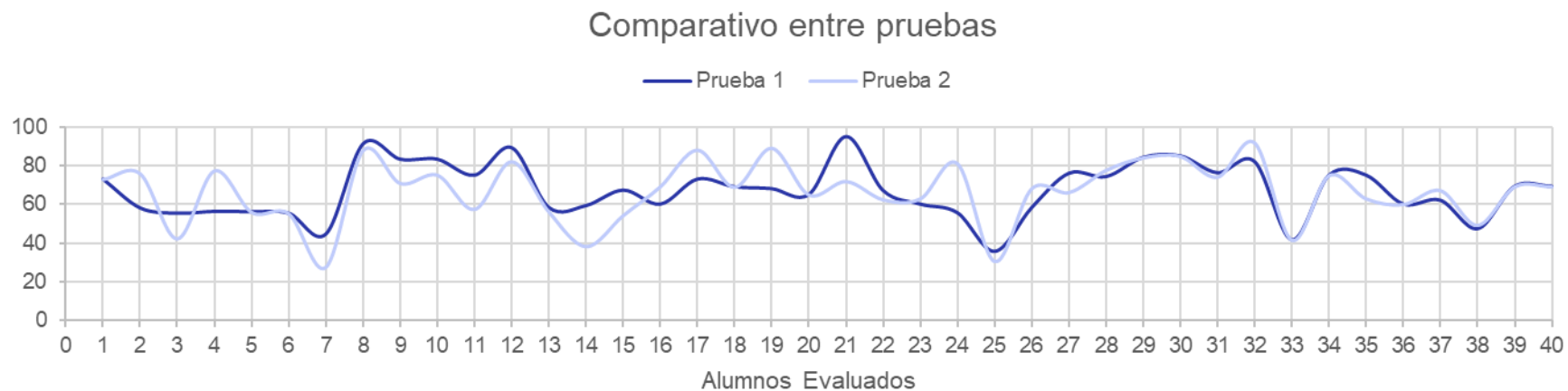
Tras analizar detenidamente los datos recopilados, se encontró que hubo variaciones significativas en el rendimiento de los alumnos. Específicamente, se observó que 12 estudiantes lograron mejorar su desempeño en las pruebas, lo cual indica un progreso notable en sus habilidades y conocimientos. Por otro lado, se identificó que 12 alumnos mantuvieron su nivel de desempeño, lo cual sugiere una estabilidad en sus capacidades y un mantenimiento de sus habilidades adquiridas. Sin embargo, también se detectó que 16 alumnos experimentaron una disminución en su desempeño en comparación con la evaluación anterior. Esto indica la necesidad de analizar detenidamente las posibles causas de este descenso y tomar medidas correctivas para brindarles el apoyo necesario en su proceso educativo.

Tabla 4.7 Resultados obtenidos (segunda evaluación)

Alumno	Edad	Genero	Test DEM	Nivel de Distracción	Estimación de la comprensión lectora	Respuestas correctas	Porcentaje de todas las pruebas	Clasificación calculada por el sistema
Alumno 1	12	Masculino	Tipo 3	MEDIO	72%	3	73	SUFICIENTE
alumno 2	13	Femenino	Tipo 3	MEDIO	84%	3	76	EFICIENTE
Alumno 3	12	Femenino	Tipo 4	MEDIO	44%	0	42.25	INSUFICIENTE
Alumno 4	13	Femenino	Tipo 2	ALTO	100%	5	77.5	EFICIENTE
Alumno 5	12	Masculino	Tipo 3	MEDIO	44%	1	56	SUFICIENTE
Alumno 6	12	Femenino	Tipo 4	MEDIO	56%	2	55.25	SUFICIENTE
Alumno 7	12	Masculino	Tipo 4	ALTO	20%	1	27.5	INSUFICIENTE
Alumno 8	12	Femenino	Tipo 2	BAJO	92%	4	88	EFICIENTE
Alumno 9	13	Masculino	Tipo 4	BAJO	84%	3	71	SUFICIENTE
Alumno 10	12	Masculino	Tipo 1	MEDIO	76%	2	75.25	EFICIENTE
Alumno 11	13	Femenino	Tipo 4	ALTO	80%	4	57.5	SUFICIENTE
Alumno 12	13	Femenino	Tipo 1	MEDIO	84%	3	82.25	EFICIENTE
Alumno 13	13	Masculino	Tipo 4	MEDIO	60%	2	56.25	SUFICIENTE
Alumno 14	13	Masculino	Tipo 4	MEDIO	28%	0	38.25	INSUFICIENTE
Alumno 15	12	Masculino	Tipo 4	MEDIO	52%	2	54.25	SUFICIENTE
Alumno 16	12	Femenino	Tipo 2	MEDIO	72%	2	69.25	SUFICIENTE
Alumno 17	12	Femenino	Tipo 1	MEDIO	88%	4	88.25	EFICIENTE
Alumno 18	12	Femenino	Tipo 3	MEDIO	76%	2	69	SUFICIENTE
Alumno 19	12	Masculino	Tipo 1	MEDIO	92%	4	89.25	EFICIENTE
Alumno 20	12	Masculino	Tipo 3	MEDIO	60%	2	65	SUFICIENTE
Alumno 21	12	Masculino	Tipo 1	BAJO	68%	1	72	SUFICIENTE

Tabla 4.7 Resultados obtenidos (segunda evaluación)

Alumno	Edad	Genero	Test DEM	Nivel de Distracción	Estimación de la comprensión lectora	Respuestas correctas	Porcentaje de todas las pruebas	Clasificación calculada por el sistema
Alumno 22	13	Femenino	Tipo 2	ALTO	80%	3	62.5	SUFICIENTE
Alumno 23	12	Masculino	Tipo 4	BAJO	72%	2	63	SUFICIENTE
Alumno 24	12	Femenino	Tipo 1	MEDIO	80%	3	81.25	EFICIENTE
Alumno 25	13	Masculino	Tipo 4	ALTO	52%	0	30.5	INSUFICIENTE
Alumno 26	12	Masculino	Tipo 2	MEDIO	68%	2	68.25	SUFICIENTE
Alumno 27	13	Femenino	Tipo 1	MEDIO	60%	1	66.25	SUFICIENTE
Alumno 28	12	Femenino	Tipo 3	BAJO	76%	3	77.75	EFICIENTE
Alumno 29	12	Femenino	Tipo 2	MEDIO	92%	4	84.25	EFICIENTE
Alumno 30	14	Femenino	Tipo 1	BAJO	80%	3	85	EFICIENTE
Alumno 31	12	Masculino	Tipo 1	MEDIO	72%	2	74.25	SUFICIENTE
Alumno 32	12	Masculino	Tipo 1	BAJO	88%	4	92	EFICIENTE
Alumno 33	13	Masculino	Tipo 4	ALTO	56%	2	41.5	INSUFICIENTE
Alumno 34	13	Masculino	Tipo 3	MEDIO	80%	3	75	SUFICIENTE
Alumno 35	13	Masculino	Tipo 4	BAJO	72%	2	63	SUFICIENTE
Alumno 36	13	Femenino	Tipo 3	MEDIO	60%	1	60	SUFICIENTE
Alumno 37	12	Masculino	Tipo 4	MEDIO	84%	3	67.25	SUFICIENTE
Alumno 38	13	Masculino	Tipo 4	MEDIO	52%	1	49.25	INSUFICIENTE
Alumno 39	13	Masculino	Tipo 3	ALTO	92%	4	69.25	SUFICIENTE
Alumno 40	14	Masculino	Tipo 2	MEDIO	72%	2	69.25	SUFICIENTE



Disminución	Mantenimiento	Aumento
16	12	12

Grafica 4.7 Comparativo entre pruebas

La Gráfica 4.7 permite visualizar de manera clara y concisa estas variaciones en el desempeño de los alumnos entre la primera y segunda evaluación. A través de esta representación gráfica, se podrá examinar la distribución de los resultados y obtener una perspectiva global de la evolución de los estudiantes durante periodos de evaluación. El análisis detallado de esta gráfica proporcionará información valiosa para comprender las tendencias y los factores que influyen en el rendimiento académico de los alumnos, lo que a su vez permitirá tomar decisiones informadas y diseñar estrategias educativas más efectivas para optimizar su desarrollo y aprendizaje.

Las tablas 4.8 y 4.9 presentadas a continuación, recopilan los resultados respectivamente de los cuestionarios de retroalimentación aplicados a las maestras participantes en este caso de estudio. Estas tablas ofrecen un resumen claro y conciso de las respuestas proporcionadas por las docentes, lo que permite obtener información importante sobre su perspectiva y opinión en relación con la implementación del sistema propuesto. Mediante este cuestionario, se buscó conocer la percepción de las maestras sobre la capacidad del sistema para categorizar correctamente a los alumnos en los diferentes niveles de rendimiento académico. Las respuestas proporcionadas por las docentes permiten evaluar la confiabilidad y precisión del sistema según su experiencia y punto de vista.

Cada fila de la tabla representa una pregunta específica del cuestionario, mientras que las columnas muestran las diferentes respuestas posibles. Esto brinda una visión general de las percepciones y opiniones de las docentes sobre la eficacia del sistema en la clasificación de los estudiantes.

Tabla 4.8 Cuestionario de retroalimentación (Maestra 1)

Maestra 1					
Pregunta	Respuestas				
	(5) Totalmente de Acuerdo	(4) De acuerdo	(3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo	(2) En desacuerdo	(1) Totalmente en desacuerdo
1. ¿El <i>software</i> es fácil de utilizar?	x				
2. ¿El <i>software</i> es útil para evaluar el aprovechamiento escolar de los alumnos?	x				
3. ¿El <i>software</i> es una herramienta útil para identificar a los alumnos con problemas de atención y aprendizaje?	x				
4. ¿El <i>software</i> proporciona información clara y organizada sobre el desempeño de los alumnos?	x				
5. ¿El <i>software</i> es una herramienta útil para el seguimiento y diagnóstico de los alumnos en el aula?	x				

Tabla 4.8 Cuestionario de retroalimentación (continuación)

Maestra 1					
Pregunta	Respuestas				
	(5) Totalmente de Acuerdo	(4) De acuerdo	(3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo	(2) En desacuerdo	(1) Totalmente en desacuerdo
6. ¿Considera que el <i>software</i> podría mejorar la eficiencia de su labor docente?	x				
7. ¿ Considera que el <i>software</i> podría mejorar la calidad de la enseñanza en el aula?		x			
8. ¿ Considera que el <i>software</i> podría mejorar el rendimiento académico de los alumnos?		x			
9. ¿El <i>software</i> es una herramienta accesible para todos los docentes?	x				
10. ¿El <i>software</i> es una herramienta intuitiva y fácil de aprender?		x			
11. ¿El <i>software</i> es una herramienta que se adapta a las necesidades y características de su aula?	x				
12. ¿El <i>software</i> es una herramienta que cumple con sus expectativas?	x				
13. ¿El <i>software</i> es una herramienta que recomendaría a otros docentes?	x				
14. ¿El <i>software</i> es una herramienta que utilizaría de forma regular en su labor docente?		x			
15. ¿El <i>software</i> es una herramienta que considera necesaria para su aula y la evaluación del desempeño de los alumnos?	x				

Tabla 4.9 Cuestionario de retroalimentación (Maestra 2)

Maestra 2					
Pregunta	Respuestas				
	(5) Totalmente de Acuerdo	(4) De acuerdo	(3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo	(2) En desacuerdo	(1) Totalmente en desacuerdo
1. ¿El <i>software</i> es fácil de utilizar?	x				
2. ¿El <i>software</i> es útil para evaluar el aprovechamiento escolar de los alumnos?	x				

Tabla 4.9 Cuestionario de retroalimentación (continuación)

Maestra 2					
Pregunta	Respuestas				
	(5) Totalmente de Acuerdo	(4) De acuerdo	(3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo	(2) En desacuerdo	(1) Totalmente en desacuerdo
3. ¿El <i>software</i> es una herramienta útil para identificar a los alumnos con problemas de atención y aprendizaje?	x				
4. ¿El <i>software</i> proporciona información clara y organizada sobre el desempeño de los alumnos?		x			
5. ¿El <i>software</i> es una herramienta útil para el seguimiento y diagnóstico de los alumnos en el aula?		x			
6. ¿Considera que el <i>software</i> podría mejorar la eficiencia de su labor docente?		x			
7. ¿ Considera que el <i>software</i> podría mejorar la calidad de la enseñanza en el aula?		x			
8. ¿ Considera que el <i>software</i> podría mejorar el rendimiento académico de los alumnos?			x		
9. ¿El <i>software</i> es una herramienta accesible para todos los docentes?	x				
10. ¿El <i>software</i> es una herramienta intuitiva y fácil de aprender?	x				
11. ¿El <i>software</i> es una herramienta que se adapta a las necesidades y características de su aula?	x				
12. ¿El <i>software</i> es una herramienta que cumple con sus expectativas?	x				
13. ¿El <i>software</i> es una herramienta que recomendaría a otros docentes?	x				
14. ¿El <i>software</i> es una herramienta que utilizaría de forma regular en su labor docente?	x				
15. ¿El <i>software</i> es una herramienta que considera necesaria para su aula y la evaluación del desempeño de los alumnos?	x				

Con la finalización de este caso de uso, se obtienen resultados significativos que brindan una base sólida para continuar con el análisis y realizar pruebas adicionales. Estos datos proporcionan información valiosa que permitirá profundizar y explorar nuevas perspectivas para trabajos futuros.

Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones

El presente capítulo tiene como objetivo exponer las conclusiones que se derivaron a partir de la implementación del caso de estudio, así como las recomendaciones que surgieron a partir de los resultados obtenidos.

5.1 Conclusiones

El incremento constante de estudiantes en México que presentan un bajo aprovechamiento académico constituye una problemática de gran preocupación en el ámbito educativo. Esta tendencia alarmante, basada en los resultados más recientes de la prueba PISA, refleja una situación en la que un número significativo de alumnos no logra alcanzar los niveles de rendimiento y competencia adecuados en sus estudios. En los últimos tiempos, los avances tecnológicos en la educación y el uso de dispositivos de seguimiento ocular se consideran herramientas prometedoras para ayudar a analizar y comprender la relación entre la actividad ocular y el aprendizaje de los alumnos y aunque, los dispositivos de seguimiento ocular profesionales siguen siendo la opción más precisa y confiable, los sistemas de seguimiento de ojos basados en visión artificial ofrecen una alternativa más accesible y económica para aquellos con un presupuesto limitado.

En este trabajo, se presentó un sistema web como herramienta docente que ayuda a facilitar la identificación y obtención del comportamiento visual de los estudiantes a través de una cámara web convencional, así como una aproximación de su comprensión durante una lectura en computadora, para clasificarlos en una escala de eficiente, suficiente e insuficiente de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de aprovechamiento lector y motricidad ocular. La investigación contó con la participación de 40 alumnos del primer año de secundaria bajo el consentimiento de las autoridades escolares y la colaboración de 2 maestras y una psicóloga lo que permitió validar la utilidad y eficiencia del sistema. La principal ventaja de esta herramienta es su capacidad para permitir a los docentes evaluar, analizar y visualizar la actividad ocular, así como el nivel de aprovechamiento de los estudiantes durante

la lectura en computadora, lo que permite detectar problemas de atención y aprendizaje en los estudiantes, de igual manera para tomar medidas tempranas que permitan mejorar su desempeño académico y la posibilidad de integrar el sistema en el plan de estudios, para que los docentes puedan utilizarlo como una herramienta de diagnóstico y seguimiento en el aula. La comparación de los resultados obtenidos por el sistema con las clasificaciones realizadas por los docentes reveló una alta similitud, lo que respalda la precisión y confiabilidad del sistema, en la clasificación de los estudiantes.

Además, se identificaron áreas de mejora, como el porcentaje de evaluación en el *test* D.E.M, el nivel de distracción durante la lectura y el porcentaje de respuestas en el cuestionario. Estas observaciones proporcionaron la oportunidad de realizar ajustes y mejoras en el sistema, con el objetivo de aumentar su precisión y utilidad en entornos educativos. El análisis de los datos recopilados también reveló tendencias interesantes, como la relación entre el desarrollo oculomotor y el nivel de aprovechamiento, lo que proporciona una base sólida para futuras investigaciones en el campo de la educación como se muestra en la Gráfica 4.6.

El sistema desarrollado demostró su potencial para brindar una evaluación objetiva y precisa del desempeño académico de los estudiantes. Su fácil implementación, su similitud de clasificación con más del 67 % de los alumnos evaluados y los resultados obtenidos respaldan su viabilidad y relevancia en entornos educativos, generando nuevas oportunidades para mejorar la calidad de la educación y apoyar el desarrollo académico de los estudiantes.

5.2 Recomendaciones

Tras llevar a cabo las pruebas del sistema desarrollado para la evaluación y clasificación de los alumnos de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de aprovechamiento y motricidad ocular en el caso de estudio seleccionado, se

consideran algunas recomendaciones para maximizar la utilidad de esta herramienta educativa obtenida :

- **Continuar mejorando la precisión del sistema:** A partir de las observaciones realizadas, se sugiere realizar ajustes en el porcentaje de evaluación en el *test* D.E.M, el nivel de distracción durante la lectura y el porcentaje de respuestas en el cuestionario. Estos ajustes contribuirán a mejorar la precisión del sistema en la clasificación de los estudiantes y proporcionarán resultados aún más confiables.
- **Realizar evaluaciones periódicas:** Es recomendable llevar a cabo evaluaciones periódicas para monitorear el progreso de los estudiantes a lo largo del tiempo. Esto permitirá identificar tendencias, detectar posibles áreas de mejora y brindar intervenciones tempranas para apoyar el desarrollo académico de los alumnos.
- **Ampliar el estudio a diferentes grupos de estudiantes:** Para obtener una perspectiva más amplia y representativa, se sugiere ampliar el alcance del estudio y evaluar a estudiantes de diferentes edades, grados y contextos educativos. Esto ayudará a validar la efectividad del sistema en diversos entornos y proporcionará información más completa sobre el desempeño académico de los estudiantes.
- **Fomentar la capacitación y concientización de los docentes:** Es fundamental brindar capacitación y orientación a los docentes sobre el uso adecuado y beneficios del sistema. Esto les permitirá aprovechar al máximo la herramienta, interpretar los resultados obtenidos y utilizarlos como base para implementar estrategias pedagógicas y de apoyo personalizadas.
- **Realizar investigaciones adicionales:** Con base en los resultados obtenidos, se recomienda llevar a cabo investigaciones adicionales para explorar en profundidad la relación entre el desarrollo oculomotor y el rendimiento académico, así como otros factores que puedan influir en el desempeño estudiantil. Estas investigaciones contribuirán a fortalecer la base de

conocimientos en el campo de la educación y proporcionarán información valiosa para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje.

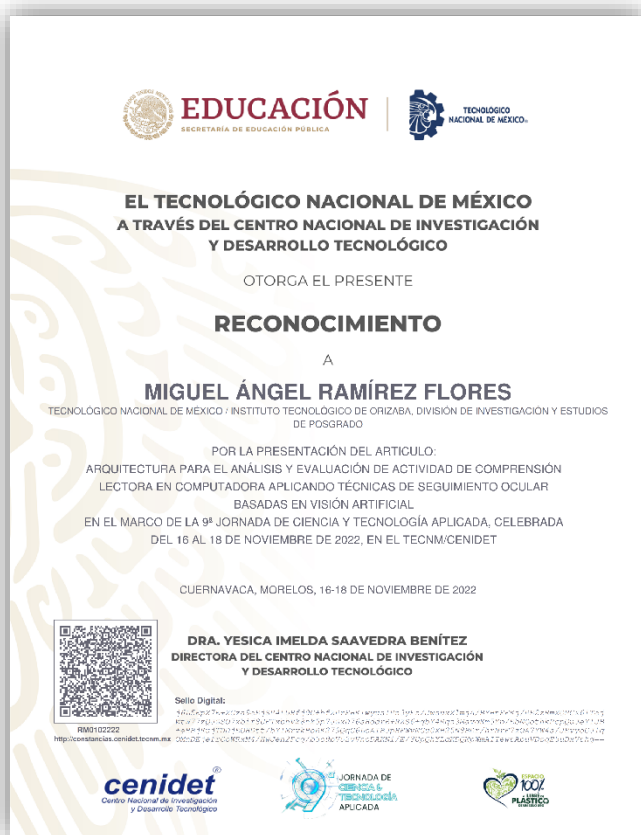
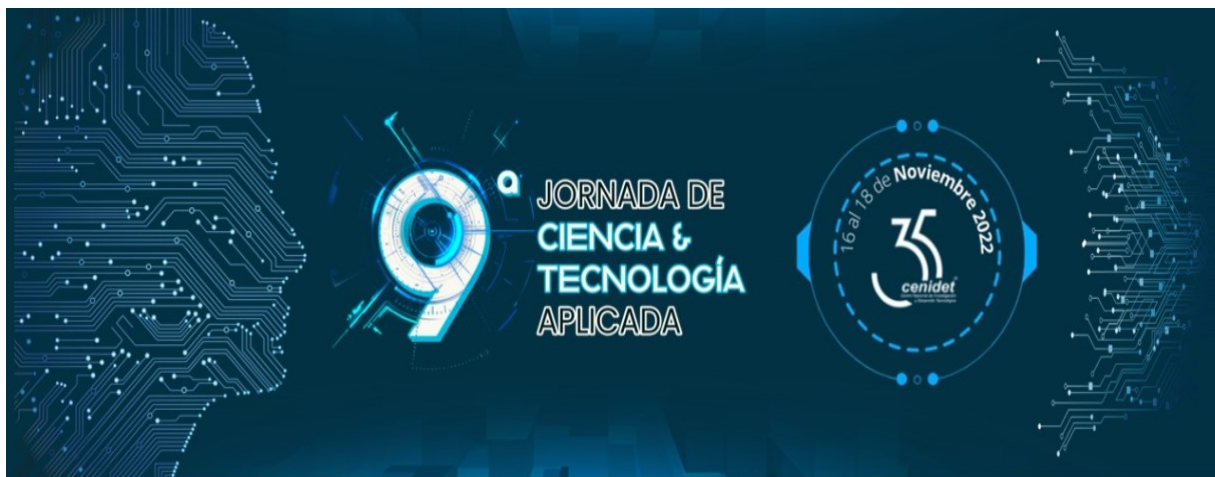
Estas recomendaciones apuntan a mejorar la precisión y utilidad del sistema desarrollado, promoviendo la calidad de la educación y el apoyo al desarrollo académico de los estudiantes. Al implementar estas recomendaciones, se espera lograr un mayor impacto en la evaluación y mejora del desempeño estudiantil.

5.3 Trabajos a futuro

Como investigaciones futuras, se tiene la intención de profundizar en el análisis y detección de trastornos visuales que afecten el aprendizaje de los estudiantes en diversos niveles educativos mediante la implementación de dispositivos de seguimiento ocular accesibles y rentables. También se pretende incorporar diversos algoritmos de aprendizaje automático con el fin de mejorar aún más la eficiencia y la validez de los resultados obtenidos a través del sistema. Esta tarea será esencial para poder identificar problemas visuales tempranos en los estudiantes y proporcionar intervenciones adecuadas para garantizar un desempeño académico óptimo.

Anexos y/o apéndices

Productos académicos



Miguel Ángel Ramírez Flores, María Antonieta Abud Figueroa, Mario Andrés Paredes Valverde, Ignacio López Martínez, Ulises Juárez Martínez

Diseño de una arquitectura para la aplicación de técnicas de seguimiento ocular basadas en visión artificial para el análisis y evaluación de una actividad de comprensión lectora en computadora

9JCyTA, noviembre 2022.

Estado: Presentado.



Miguel Ángel Ramírez Flores, María Antonieta Abud Figueroa, Mario Andrés Paredes Valverde, Ignacio López Martínez, Ulises Juárez Martínez

Sistema para evaluar el grado de atención y aprovechamiento de estudiantes en correlación con la actividad ocular durante una actividad de comprensión lectora en computadora



COMIA 2023, mayo 2023.

Estado: Presentado.

Bibliografía

- [1] V. M. Franchi, M. E. S. Guerra, B. C. A. C. Novaes, M. L. Favero, and S. Pirana, "Reading and comprehension: phoniatric assessment in students with reading difficulties," *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, doi: 10.1016/j.bjorl.2021.05.014. 2021.
- [2] J. R. Kirby, "Reading Comprehension: Its Nature and Development," *ResearchGate*,. https://www.researchgate.net/publication/242598620_Reading_Comprehension_Its_Nature_and_Development, 2007.
- [3] N. Putri and Sari, "Improving reading comprehension through brainstorming in eighth grade students of smp kerta yoga ubud in academic year 2014/2015" <http://repository.unmas.ac.id/medias/journal/R.771.FKIP-ING-1.pdf>, 2015.
- [4] J. R. Kirby, "Reading comprehension: Its nature and development. Encyclopedia of Language and Literacy Development", *Canadian Language and Literacy Research Network*. <http://www.literacyencyclopedia.ca/pdfs/topic.php?topId=227>
- [5] Aware Biometrics, "Reconocimiento del iris - Software y Soluciones Biométricas," *Aware*, . <https://www.aware.com/es/reconocimiento-del-iris/> , 2021.
- [6] A. Schall and J. Romano Bergstrom, "Introduction to Eye Tracking," *Eye Tracking in User Experience Design*, pp. 3–26, doi: 10.1016/b978-0-12-408138-3.00001-7. 2014.
- [7] "What is eye tracking? | How eye tracking works - Tobii," *Tobii.com*, <https://www.tobii.com/group/about/this-is-eye-tracking/>, Jul. 24, 2015.
- [8] "Human eye - Extraocular muscles | Britannica," *Encyclopedia Britannica*, <https://www.britannica.com/science/human-eye/Extraocular-muscles#ref64870>, 2022.
- [9] "Visión humana y movimientos oculares." https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23577/1/registro-de-movimientos-oculares-con-el-eye-tracker-mobile-eye-xg_Cap02.pdf,
- [10] Cabanillas-Centeno, María Isabel, "Relación entre movimientos oculares y lectura en alumnos de 2º de primaria," *Unir.net*, , doi: <https://reunir.unir.net/handle/123456789/1294>.

- [11] A. F. Klaib, N. O. Alsrehin, W. Y. Melhem, H. O. Bashtawi, and A. A. Magableh, "Eye tracking algorithms, techniques, tools, and applications with an emphasis on machine learning and Internet of Things technologies," *Expert Systems with Applications*, vol. 166, p. 114037, doi: 10.1016/j.eswa.2020.114037.
- [12] T. Haslwanter and A. H. Clarke, "Eye movement measurement," *Vertigo and Imbalance: Clinical Neurophysiology of the Vestibular System*, pp. 61–79, doi: 10.1016/s1567-4231(10)09005-2, 2010.
- [13] D. Walters, "Computer vision | Encyclopedia of Computer Science," *Acm.org*, <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1074100.1074274>
- [14] M. Sloan, "Machine learning, explained | MIT Sloan," *Mit.edu*, <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/machine-learning-explained>, Apr. 21, 2021
- [15] IBM Cloud Education, "What is Machine Learning?," *Ibm.com*, <https://www.ibm.com/cloud/learn/machine-learning#toc-what-is-ma-qhM6PX35>, Jul. 15, 2020.
- [16] "Artificial Intelligence for Image Processing: Methods, Techniques and Tools," *Apriorit*, Sep. 17, 2020. <https://www.apriorit.com/dev-blog/599-ai-for-image-processing>
- [17] IBM Cloud Education, "What are Neural Networks?," *Ibm.com*, Aug. 17, 2020. <https://www.ibm.com/cloud/learn/neural-networks>.
- [18] C.-S. Chang, C.-M. Chen, and Y.-C. Lin, "A Visual Interactive Reading System Based on Eye Tracking Technology to Improve Digital Reading Performance," *7th International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI)*, , doi: 10.1109/iiai-aa.2018.00043. Jul. 2018.
- [19] X. Zhang, S.-M. Yuan, M.-D. Chen, and X. Liu, "A Complete System for Analysis of Video Lecture Based on Eye Tracking," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 49056–49066, doi: 10.1109/access.2018.2865754, 2018
- [20] K. Alhasan, L. Chen, and F. Chen, "An Experimental Study of Learning Behaviour in an ELearning Environment," *IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)*, , doi: 10.1109/hpcc/smartcity/dss.2018.00231, Jun. 2018.

- [21] N. Nugrahaningsih, M. Porta, and A. Klašnja-Milićević, "Assessing learning styles through eye tracking for e-learning applications," *Computer Science and Information Systems*, vol. 18, no. 4, pp. 1287–1309, 2021. DOI:10.2298/CSIS201201035N.
- [22] N. Al Madi and J. Khan, "Constructing Semantic Networks of Comprehension from Eye-Movement During Reading," *IEEE 12th International Conference on Semantic Computing (ICSC)*, doi: 10.1109/icsc.2018.00016. Jan. 2018
- [23] J. Calado, E. Marcelino, F. Ferreira, J. Sarraipa . Eye-Tracking Student's Behaviour For E-Learning Improvement. doi: 8978-8986. 10.21125/edulearn.2019.2221, 2019.
- [24] Chivu, Raluca, Turlacu, Luiza, Stoica, Ivona, Radu & Andra. Identifying the effectiveness of e-learning platforms among students using Eye-Tracking technology. doi: 10.4995/HEAD18.2018.8046, 2018.
- [25] M. Kohutek, M. Turcani, & M. Magdin, "Improving student reading comprehension of learning materials using the analysis of Eye-Tracking data," *17th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, Nov. 2019, doi: 10.1109/iceta48886.2019.9040102, 2019
- [26] M. Ivanović, A. Klašnja-Milićević, J. Ivković & M. Porta. Integration of Eye Tracking Technologies and Methods in an E-learning System. In *Proceedings of the 8th Balkan Conference in Informatics (BCI '17)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 29, 1–4. DOI: 10.1145/3136273.3136278 , 2017
- [27] D. Zhou, J. Huang, and J. Dang, "Investigation of the Comprehension Process during Silent Reading based on Eye Movements," *2018 11th International Symposium on Chinese Spoken Language Processing (ISCSLP)*, doi: 10.1109/isclsp.2018.8706573), Nov. 2018.
- [28] L. Copeland & T. Gedeon, "Measuring reading comprehension using eye movements," *IEEE 4th International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, doi: 10.1109/coginfocom.2013.6719207, Dec. 2013.
- [29] W. Lin, Y. Kotakehara, Y. Hirota, M. Murakami, K. Kakusho, and H.-P. Yueh, "Modeling Reading Behaviors: An Automatic Approach to Eye Movement Analytics," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 63580–63590, doi: 10.1109/access.2021.3074913, 2021.
- [30] S. Bottos & B. Balasingam, "Tracking the Progression of Reading Using Eye-Gaze Point Measurements and Hidden Markov Models," *IEEE Transactions on*

Instrumentation and Measurement, vol. 69, no. 10, pp. 7857–7868, doi: 10.1109/tim.2020.2983525, Oct. 2020.

- [31] F. Tehranchi, F. Ritter, & C. Chae, “Visual Attention during E-Learning: Eye-tracking Shows that Making Salient Areas More Prominent Helps Learning in Online Tutors”. Available: <https://cognitivesciencesociety.org/cogsci20/papers/0791/0791.pdf>.
- [32] J. Li, G. Ngai, H. V. Leong, & S. C. F. Chan, “Your Eye Tells How Well You Comprehend,” 2016 IEEE 40th Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), doi: 10.1109/compsac.2016.220, Jun. 2016.
- [33] “¿Qué es JavaScript? - JavaScript explicado - AWS,” *Amazon Web Services, Inc.*, 2022. <https://aws.amazon.com/es/what-is/javascript/>
- [34] “PHP: ¿Qué es PHP? - Manual,” *Php.net*, 2022. <https://www.php.net/manual/es/intro-what-is.php>
- [35] “Online Eye Tracking | Webcam eye-tracking software,” *GazeRecorder*, <https://gazerecorder.com>
- [36] Microsoft, “Visual Studio Code,” *Visualstudio.com*, <https://code.visualstudio.com/docs/editor/whyvscode>.
- [37] “About MariaDB Server - MariaDB.org,” *MariaDB.org*, <https://mariadb.org/about/>
- [38] Conecta Software, “Scrum para Dummies: qué es y cómo funciona - Conecta Software,” *Conecta Software*, Oct. 07, 2020. <https://www.conectasoftware.com/produccion/scrum-para-dummies/>
- [39] Secretaría de Educación Pública, “*Estándares Nacionales de Habilidad Lectora. Estándares de lectura*,” 14 de julio de 2014. <https://www.gob.mx/sep/acciones-y-programas/estandares-nacionales-de-habilidad-lectora-estandares-de-lectura>
- [40] J. Eduardo, “Evaluación diagnóstica 2022,” *Mejoredu.gob.mx*, 2022. <https://www.mejoredu.gob.mx/evaluacion-diagnostica-2022>
- [41] King-Devick technologies, Inc. “What is the King-Devick Test”, *Kingdevicktest.com*, 2016.