

Transformando la Oftalmología: Plataforma Ágil y Accesible para Diagnóstico Cromático

Mayra Carrión-Toro¹, Marco Santórum¹, David Morales-Martínez¹,
Juan López-Rodríguez, Julián Galindo Losada¹, Patricia Acosta-Vargas²

mayra.carrion@epn.edu.ec; marco.santorum@epn.edu.ec; david.morales03@epn.edu.ec;
juan.lopezo8@epn.edu.ec; julian.galindo@epn.edu.ec; patricia.acosta@udla.edu.ec

¹ Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería de Sistemas, 170525, Quito, Ecuador.

² Universidad De Las Américas, Intelligent and Interactive Systems Laboratory, 170125, Quito, Ecuador.

DOI: 10.17013/risti.57.19-38

Resumen: Este trabajo aborda el panorama en evolución de la oftalmología mediante el desarrollo e implementación de SIONDAL, una plataforma digital de información en salud diseñada para evaluar y detectar deficiencias oftalmológicas, particularmente en la visión cromática y la agudeza visual. Con el objetivo de superar las limitaciones de las pruebas físicas tradicionales, como el test de Ishihara y el test de Farnsworth-Munsell, se adoptó un enfoque metodológico basado en el marco ágil Scrum. Este permitió una planificación iterativa y una colaboración continua con profesionales clínicos, asegurando la alineación funcional y técnica del sistema con las necesidades reales del entorno médico. La plataforma web fue desarrollada con especial énfasis en la usabilidad y accesibilidad, evaluadas mediante dos metodologías complementarias: (1) una evaluación de usabilidad basada en el Cuestionario de Usabilidad de Lewis (SUS), aplicada a usuarios finales, cuya media de resultados alcanzó un 95,71 % de aceptación; y (2) una evaluación de accesibilidad conforme a las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG) 2.1, utilizando la herramienta WAVE, obteniendo un cumplimiento del 97,13 % en las páginas analizadas. Los resultados obtenidos evidencian que SIONDAL constituye una solución digital eficaz, accesible y centrada en el usuario, que optimiza los procesos de administración, ejecución y seguimiento de pruebas oftalmológicas, al tiempo que refuerza los principios de sostenibilidad, calidad y equidad en el diseño de tecnologías para la salud.

Palabras-clave: Oftalmología; eSalud; Sistema de información de salud; Usabilidad; Accesibilidad.

Transforming Ophthalmology: An Agile and Accessible Platform for Chromatic Diagnosis

Abstract: This study addresses the evolving landscape of ophthalmology through the development and implementation of SIONDAL, a digital health information platform designed to assess and detect ophthalmologic deficiencies, particularly in color vision and visual acuity. To overcome the limitations of traditional physical

tests—such as the Ishihara and Farnsworth-Munsell tests—a methodological approach based on the agile Scrum framework was adopted. This enabled iterative planning and continuous collaboration with clinical professionals, ensuring both functional and technical alignment of the system with real-world medical needs. The web-based platform was developed with a strong emphasis on usability and accessibility, evaluated through two complementary methods: (1) a usability assessment using the System Usability Scale (SUS), applied to end users, which yielded an average acceptance score of 95.71%; and (2) an accessibility evaluation based on the Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1, conducted using the WAVE tool, achieving 97.13% compliance across the analyzed pages. The results demonstrate that SIONDAL constitutes an effective, accessible, and user-centered digital solution that enhances the administration, execution, and monitoring of ophthalmologic tests, while reinforcing principles of sustainability, quality, and equity in digital health technology design.

Keywords: Ophthalmology; eHealth; Health Information System; Usability; Accessibility.

1. Introducción

El avance tecnológico actual ha despertado el interés de diversas organizaciones por mejorar la eficiencia y calidad de los servicios ofrecidos, especialmente en los centros de atención médica centrados en la salud humana. Sin embargo, este progreso también ha revelado desafíos significativos en la aplicación de exámenes altamente efectivos, como los relacionados con la oftalmología, debido al tiempo considerable requerido para su preparación y ejecución.

La oftalmología, una disciplina dedicada al estudio del ojo y el cuidado de la visión (RAE, 2024), enfrenta la necesidad de proporcionar información rápida y precisa a los pacientes. Es esencial optimizar los procesos relacionados con la aplicación de pruebas oftalmológicas, tanto las que se usan comúnmente como aquellas que rara vez se aplican debido a su preparación prolongada.

En oftalmología, se evalúan factores como la agudeza visual, el campo visual y la distinción cromática (Opeluce Team, 2022). Cada uno de estos factores requiere pruebas específicas y recursos apropiados. Por ejemplo, para evaluar la agudeza visual, se ha optado por utilizar optotipos digitales, que ofrecen ventajas como durabilidad y flexibilidad de ubicación en contraste con sus versiones físicas (Molina, 2008). Uno de los métodos más empleados para identificar deficiencias en la percepción del color es el test de Farnsworth-Munsell (Beauchamp et al., 1999). Este test, en su forma tradicional, consta de 84 piezas donde el tono del color varía ligeramente, las cuales se presentan al paciente para que las ordene según su similitud cromática (Arana & Castillo, 2003).

La realización manual de esta prueba suele llevar hasta 16 minutos, sin contar el tiempo necesario para preparar y organizar las piezas por parte del especialista (E. Rivera et al., 2017). Además, una vez aplicada la prueba, es necesario realizar varios cálculos para obtener el resultado final, cuyo tiempo puede variar dependiendo de las habilidades matemáticas del evaluador. Aunque el test es altamente eficiente en términos de resultados, su complejidad y dificultad en la aplicación pueden limitar su viabilidad en el mercado actual.

Por otro lado, el test más empleado para el análisis de la visión cromática y considerado por muchos como la mejor, es el test Ishihara, basado en láminas pseudoisocromáticas. Aunque altamente fiable, este test también requiere recursos físicos, como hasta 38 láminas, y puede detectar deficiencias congénitas con una fiabilidad de entre el 90% y el 95% (Arana & Castillo, 2003). Esta evaluación implica emplear elementos físicos como láminas, piezas e imágenes, lo que resulta en mayores gastos, problemas de transporte, prolongación del tiempo de aplicación y menor disponibilidad en contraste con la utilización de una versión digital (Fernández Jiménez-Ortiz, 2018).

La gestión de historias clínicas en formato físico representa otra dificultad que impacta en la gestión del tiempo. La búsqueda de registros específicos puede resultar en retrasos de hasta 35 minutos, y la emisión de copias puede aumentar estos tiempos entre 15 a 25 minutos adicionales (Morales Fernández, 2019).

Para abordar estos desafíos, este documento propone el desarrollo de una herramienta de software que optimice los procesos relacionados con la detección y clasificación de deficiencias oftalmológicas, específicamente en agudeza visual y discriminación cromática. Esta solución digitalizará los tests de Farnsworth-Munsell e Ishihara, eliminando así la necesidad de recursos físicos y mejorando la eficiencia en la preparación, ejecución y administración de las pruebas oftalmológicas.

Esta propuesta se suma a otros proyectos desarrollados como herramientas inclusivas que buscan agilizar la atención médica y mejorar la accesibilidad a los servicios de salud, tal como se ha evidenciado en iniciativas anteriores (Inácio et al., 2022; Li et al., 2021; Ludwig et al., 2016; Pulido et al., 2022; Vilela et al., 2023). Estos avances subrayan la importancia de utilizar la tecnología no solo para optimizar los procesos médicos, sino también para ofrecer soluciones más accesibles y eficientes en la atención oftalmológica y otras áreas de la medicina.

El artículo está estructurado de la siguiente manera: en la Sección 2, se profundiza en los avances de la informática en medicina, con énfasis en la creación de sistemas de salud electrónicos, además de destacar la importancia de los Test de Farnsworth-Munsell y Test de Ishihara. La Sección 3 aborda el proceso de desarrollo de la propuesta, desde su diseño hasta su evaluación. En la Sección 4, se analizan los resultados encontrados, centrándose especialmente en la usabilidad y accesibilidad del proyecto. Finalmente, la Sección 5 presenta las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

2. Marco Teórico

El uso de tecnologías digitales en salud ha evolucionado rápidamente en las últimas dos décadas, transformando la manera en que se diagnostican y tratan múltiples afecciones médicas (León, 2020; The Galaxy Community, 2022). Esta transformación incluye la automatización de pruebas clínicas, el desarrollo de sistemas expertos y la implementación de plataformas accesibles para personas con discapacidad (Yani, 2018). A pesar de estos avances, existe una brecha significativa en la digitalización de herramientas diagnósticas en oftalmología en Latinoamérica, particularmente aquellas relacionadas con la evaluación de deficiencias en la visión del color, como el daltonismo.

2.1. Informática en la Medicina

La informática médica implica el procesamiento automático de la información mediante sistemas computacionales y dispositivos electrónicos. Su incorporación en la práctica médica ha representado un avance cualitativo significativo, logrando nuevos métodos de análisis eficaces. Las mejoras en el procesamiento informático aplicado a la salud han incrementado la rapidez, precisión y eficiencia del diagnóstico, así como la eficacia de los tratamientos en diversas especialidades clínicas (Ahmad et al., 2021).

A nivel internacional, numerosos artículos han abordado el papel de la informática en la medicina, abarcando especialidades como cardiología, odontología, traumatología, radiología y oftalmología, entre otras. Es evidente que estos sistemas no reemplazarán la relación tradicional médico-paciente, pero sí mejorarán y optimizarán los tiempos de consulta (Guillén-Mendoza et al., 2017; Sevilla Rubio, 2019), lo cual es crucial para reducir los tiempos de espera de los pacientes (Gómez Pérez, 2019).

En el nuevo milenio, la medicina de precisión ha ganado relevancia gracias a los sistemas informáticos, que permiten analizar y comparar una mayor cantidad de datos en menos tiempo, extrayendo información útil para el diagnóstico y tratamiento (Hamamoto et al., 2020). La incorporación de las tecnologías de la información (TI) en las ciencias de la salud se ha convertido en una tendencia generalizada (Cubillas Mercado et al., 2019). La introducción de las TI ha transformado los esquemas tradicionales de transmisión de conocimientos pues el uso de computadoras no solo se limita a la investigación, sino que también es un recurso importante para la atención al paciente, permitiendo el intercambio continuo y actualizado de información y datos (Pérez Martinot, 2017).

Ejemplos concretos de este avance se pueden observar en el desarrollo de una plataforma para la realización de evaluaciones psicológicas, la cual ha demostrado de manera prometedora cómo los sistemas digitales pueden agilizar la toma de pruebas, además de mejorar el seguimiento y el contacto con los pacientes (Inácio et al., 2022). En el campo de la oftalmología, se ha identificado la necesidad de herramientas digitales que permitan la detección temprana de problemas visuales, especialmente en pacientes con discapacidad visual. Estas herramientas complementan los métodos tradicionales al facilitar un tratamiento oportuno y un seguimiento más preciso de cada caso clínico (Pulido et al., 2022).

Entre los avances recientes, destaca una aplicación que digitaliza dos pruebas optométricas clave —el Test de Mirada Preferencial y el Test de Sensibilidad al Contraste—, modernizando su administración y mejorando la evaluación de la agudeza visual y la sensibilidad al contraste (A. Gómez & Alonso, 2023). Asimismo, en Colombia se desarrolló una plataforma orientada a resolver las limitaciones que enfrentan los terapeutas en la gestión de información clínica. Frente a soluciones externas insuficientes, se propuso un sistema web propio que permita una administración integral y personalizada de los datos de los pacientes (González Salazar & Vigoya Bolívar, 2023).

Por otra parte, la automatización del diagnóstico ocular a través de plataformas móviles incluye pruebas diagnósticas, captura e interpretación de imágenes, integración de resultados y presentación en interfaces accesibles. Aunque aún se requieren avances, especialmente en el reconocimiento de imágenes e integración diagnóstica, estas

tecnologías podrían mejorar el acceso, reducir costos y aumentar la precisión en la atención oftalmológica (Vilela et al., 2023).

Estos desarrollos reflejan el potencial de las tecnologías de la información para transformar el diagnóstico y tratamiento médico, optimizando la atención y elevando la calidad de los servicios de salud.

2.2. Daltonismo

El daltonismo es una deficiencia en la percepción del color, clasificada tradicionalmente como congénita o adquirida. La forma congénita se presenta desde el nacimiento, afecta a ambos ojos y disminuye gradualmente la percepción visual. En contraste, la deficiencia adquirida puede afectar a uno o ambos ojos, reduciendo la percepción en ciertas áreas de la visión. Sin embargo, se ha reportado que el tipo congénito es más prevalente que el adquirido (M. M. Rivera et al., 2018). Aproximadamente el 8% de los hombres y el 0.5% de las mujeres nacen con deficiencia en la visión del color, lo que significa que alrededor de 300 millones de personas en todo el mundo tienen deficiencias cromáticas heredadas (Ishihara, 1918).

Esta alteración provoca dificultades en tareas que requieren diferenciar tonalidades de colores, limitando el estudio de especialidades como aviación, bomberos, carreras militares y farmacia. No obstante, estudios han demostrado que no existe correlación entre inteligencia y daltonismo en el nivel secundario (Salih et al., 2020).

Para la evaluación de la visión cromática, la mayoría de los estándares y profesionales utilizan dos pruebas analógicas: el test de 38 láminas de Ishihara y el test de 100 tonalidades de Farnsworth-Munsell (Carneiro et al., 2019; León, 2020; Sevilla Rubio, 2019).

2.3. Test de Ishihara

Desde su primera publicación en 1918 por el Dr. Shinobu Ishihara, la prueba de Ishihara se ha extendido globalmente y sigue siendo ampliamente utilizada para evaluar la visión del color (Ishihara, 1918). Este método cualitativo es altamente efectivo para detectar defectos cromáticos, especialmente los congénitos o leves, lo que lo convierte en una de las pruebas más populares. La prueba de Ishihara es reconocida principalmente para diagnosticar déficits congénitos rojo-verde (protanopia, deuteranopia, protanomalia y deuteranomalia), aunque no es adecuada para detectar tritanopia (déficit azul-amarillo) (GIMA, 2021; Rodríguez-Carmona et al., 2021).

En el test de Ishihara se utilizan cuatro tipos de láminas, cada una con una función específica. Las láminas transformadas muestran respuestas diferentes según la deficiencia cromática del observador. Las láminas con número desaparecido son discernibles solo por aquellos sin problemas de visión cromática, mientras que las láminas con dígito oculto son visibles solo para observadores con anomalías. Las láminas cualitativas ayudan a afinar el diagnóstico, determinando si se trata de una anomalía o una enfermedad (Zarazaga et al., 2019). La prueba suele presentarse en un libro con láminas de puntos coloridos que forman números, facilitando su uso: simplemente se le pide al sujeto que identifique el número en cada lámina, ver Figura 1 (Yanto et al., 2022).

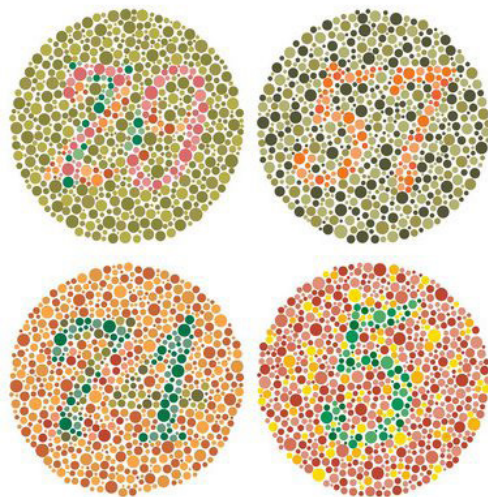


Figura 1 – Láminas del test de Ishihara (Instituto Oftalmológico Hoyos, 2024)

Para una interpretación precisa, es esencial que un especialista interactúe con el paciente, entendiendo cómo visualiza las láminas. Estas láminas están diseñadas para ser un instrumento rápido y eficaz en el diagnóstico preliminar de deficiencias cromáticas (Birch, 1997; Cole, 2007; Dain, 2004). Aunque presentan ventajas significativas, el formato en papel tiene desventajas como el desvanecimiento de colores con el tiempo y la susceptibilidad a daños físicos. Por ello, se recomienda la digitalización de la prueba para minimizar errores (Yanto et al., 2022).

2.4. Test de Farnsworth-Munsell

El test de Farnsworth-Munsell es una prueba utilizada para diagnosticar deficiencias en la percepción del color. Consta de 84 piezas con ligeras variaciones en el tono, que se presentan al paciente para que las ordene según su similitud cromática (Arana & Castillo, 2003). Debido a la complejidad de esta prueba, los pacientes pueden tardar hasta 16 minutos en completarla, sin considerar el tiempo necesario para la preparación de las piezas por parte del especialista (E. Rivera et al., 2017).

La tarea principal del sujeto consiste en ordenar las piezas a lo largo de rectas de confusión de los dicrómatas. Para el proceso de ordenamiento, los tonos se dividen en cuatro secciones (cajas), ver Figura 2. Cada caja contiene 21 tonos dentro de los rangos especificados, además de dos piezas fijas. Los tonos inmóviles se sitúan al inicio y al final de cada caja como referencia (Universidad de Navarra, 2021). Para verificar el orden impuesto por el sujeto, cada tono tiene un valor indicativo de su posición correcta. El método de cálculo para asignar la puntuación al paciente se basa en el método por construcción. Este método establece que la distancia perceptual entre dos fichas consecutivas es constante, e igual a la mínima diferencia perceptible (mdp) por un observador (Luque et al., 2001).



Figura 2 – Test de Color de Farnsworth-Munsell (Colorlite, 2024)

Aunque esta prueba es más difícil de aplicar y desarrollar que el test de Ishihara, ofrece una mayor capacidad diagnóstica. Si el especialista sospecha de una alteración adquirida en la visión del color, se recomienda realizar la prueba monocularmente (usando un solo ojo).

3. Metodología

Para el desarrollo del sistema se adoptó un enfoque iterativo e incremental basado en metodologías ágiles, con énfasis en la experiencia del usuario como factor clave de calidad (O. T. Gómez et al., 2010). El oftalmólogo, en calidad de usuario final, participó activamente como sujeto evaluador durante todo el proceso, validando continuamente los avances funcionales.

Se empleó el framework SCRUM para facilitar la comunicación continua con los stakeholders y asegurar entregas parciales en periodos cortos, lo que permitió una rápida adaptación a cambios y una mejor comprensión de los requisitos (Schwaber & Sutherland, 2020). En este contexto, se desarrolló la plataforma SIONDAL, que digitaliza dos pruebas visuales esenciales: el Test de Ishihara y el Test de Farnsworth-Munsell. Aunque el sistema no realiza una clasificación detallada del tipo de alteración cromática, sí proporciona un diagnóstico general sobre los tonos que el paciente no logra distinguir.

El proceso de desarrollo se estructuró en cuatro etapas: requerimientos, diseño, implementación y evaluación. En la etapa de requerimientos se recopilaban datos mediante entrevistas, reuniones y visitas de campo. El diseño incluyó la elaboración de prototipos y el modelado de la base de datos. La implementación se ejecutó por medio de sprints que permitieron entregas continuas y funcionales. Finalmente, la evaluación se centró en comprobar la usabilidad y accesibilidad del sistema desarrollado.

3.1. Requerimientos

En la fase inicial se realizó una investigación para comprender los requisitos del sistema y la metodología de aplicación de los test de Ishihara y Farnsworth-Munsell. Esto permitió diseñar una entrevista estructurada al Product Owner, cuyas preguntas fueron definidas previamente y compartidas con antelación. La entrevista reveló que el

diagnóstico automático es viable con el test de Farnsworth-Munsell, pero no con el de Ishihara, que requiere interpretación experta.

Además, se establecieron algunas restricciones para la plataforma SIONDAL. El diagnóstico generado por el test de Farnsworth-Munsell debe ser editable para que el especialista pueda optimizarlo, añadiendo o eliminando información según sea necesario. En cuanto al test de Ishihara, los resultados no identificarán el tipo de daltonismo del paciente, ya que el test puede personalizarse en términos de número y orden de las láminas. Las respuestas obtenidas en base a las preguntas planteadas facilitaron la generación de las historias de usuario épicas, ver Figura 3, y a partir de estas se derivaron las historias de usuario.

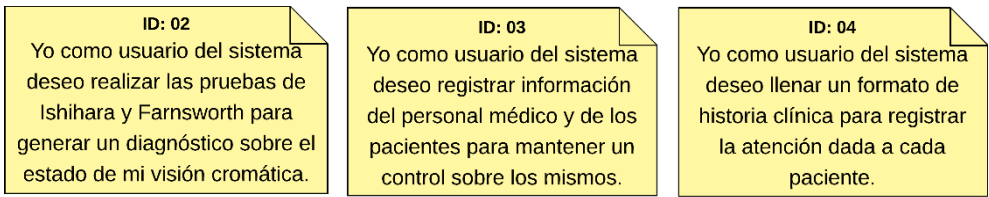


Figura 3 – Historias de usuario épicas

3.2. Diseño

Una vez terminada la elicitación de requerimientos se procedió a diseñar las interfaces y la arquitectura de la plataforma. Los resultados obtenidos en esta etapa proporcionaron una comprensión detallada de los entregables que se produjeron durante la fase de implementación, sirviendo como referencia esencial para el equipo de desarrollo. Para el desarrollo de la plataforma SIONDAL se utilizó una arquitectura específica, como se muestra en la Figura 4.

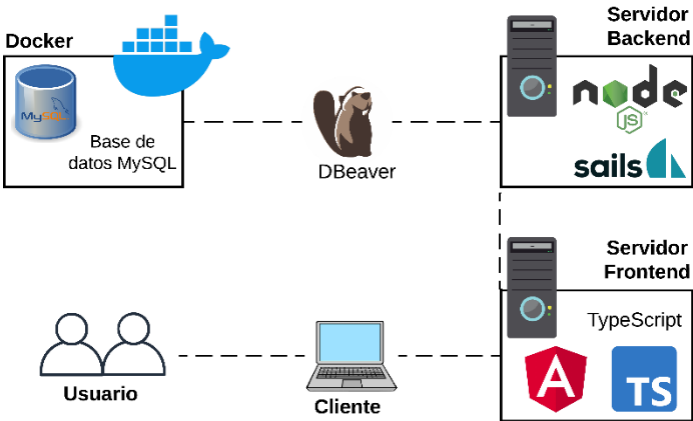


Figura 4 – Arquitectura de la plataforma SIONDAL

El sistema conto con una base de datos MySQL alojada en un contenedor Docker. El servidor backend, que utiliza tecnologías como Node.js y Sails.js, se conectó a esta base de datos mediante DBeaver. Para acceder a los recursos proporcionados por el backend, se implementó un servidor frontend utilizando TypeScript y Angular. Finalmente, un dispositivo terminal actuó como cliente, permitiendo a los usuarios interactuar con el sistema.

3.2.1. Diseño de arquitectura

Se implementó una base de datos relacional para gestionar eficientemente grandes volúmenes de información médica. Ver Figura 5. La tabla del centro médico centraliza las relaciones con pacientes, personal e imágenes, mientras que la historia clínica, con más atributos, se vincula directamente con los pacientes y los resultados de las pruebas de Farnsworth Munsell e Ishihara.

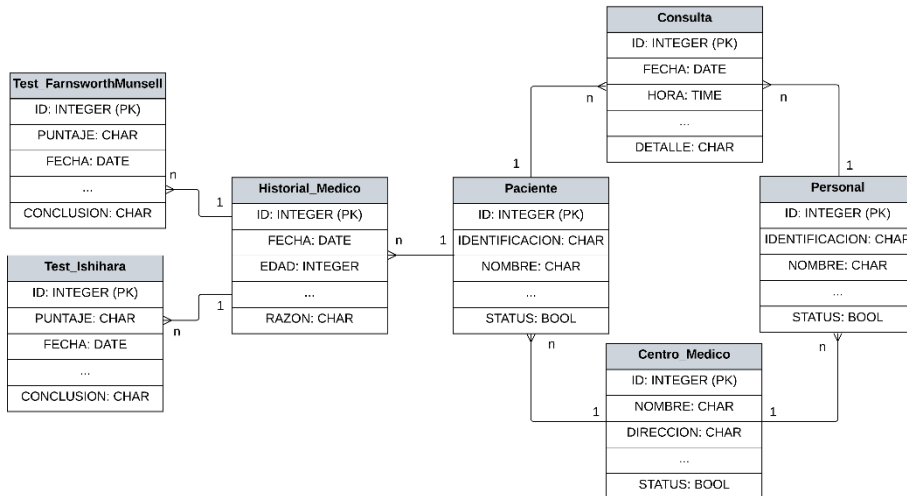


Figura 5 – Diagrama relacional de la base de datos de la plataforma SIONDAL

Como componente clave de la arquitectura utilizada, se implementó un servidor backend con tecnologías como Node.js y Sails.js. Este backend gestiona la capa de acceso a datos en aplicaciones o dispositivos, procesando las peticiones del servidor frontend y manejando tanto los datos recibidos como los enviados (Chapaval, 2025). Se utilizó Sails.js, basado en el framework Express, que facilita la gestión de peticiones en tiempo real mediante Socket.io y la creación de APIs RESTful (Sails JS, 2023). Además, se desarrolló una API en el servidor backend que recibe solicitudes del frontend y devuelve los recursos solicitados en formato JSON.

En el servidor frontend, encargado de la parte visual de la aplicación web, se definieron las interfaces, la estructura y la lógica necesarias para el correcto funcionamiento del sistema. Se utilizó AngularJS, un framework open-source desarrollado por Google, que

facilita la creación de aplicaciones web al evitar la repetición de código, ser modular y escalable, y utilizar TypeScript como lenguaje principal de programación (Angular JS, 2023).

3.2.2. Diseño de interfaces

El diseño de interfaces comenzó basándose en los requerimientos identificados, definiendo las principales entidades del sistema. Inicialmente, se creó un mockup utilizando la herramienta Figma, una aplicación web especializada en el diseño de proyectos. La principal ventaja de Figma es que proporciona un entorno con todas las herramientas necesarias para diseñar interfaces de usuario y simular su funcionalidad (Figma, 2024).

La primera versión de las interfaces fue evaluada utilizando las heurísticas de usabilidad de Jakob Nielsen, mejorando significativamente las interfaces originales mediante la adición de títulos informativos, mensajes de ayuda y error, y la información del usuario activo en el sistema.

3.3. Implementación

En esta fase, se integraron todos los fundamentos teóricos y procesos previamente descritos, facilitando la aplicación del Framework Scrum. La implementación comenzó con la base de datos, el componente esencial del sistema y el núcleo de todas las conexiones. Se estructuró en nueve sprints, cada uno con una duración de una a dos semanas. Los módulos para la gestión de personal y pacientes se desarrollaron primero debido a su simplicidad, mientras que los módulos para los test de Farnsworth-Munsell e Ishihara se abordaron en sprints posteriores.

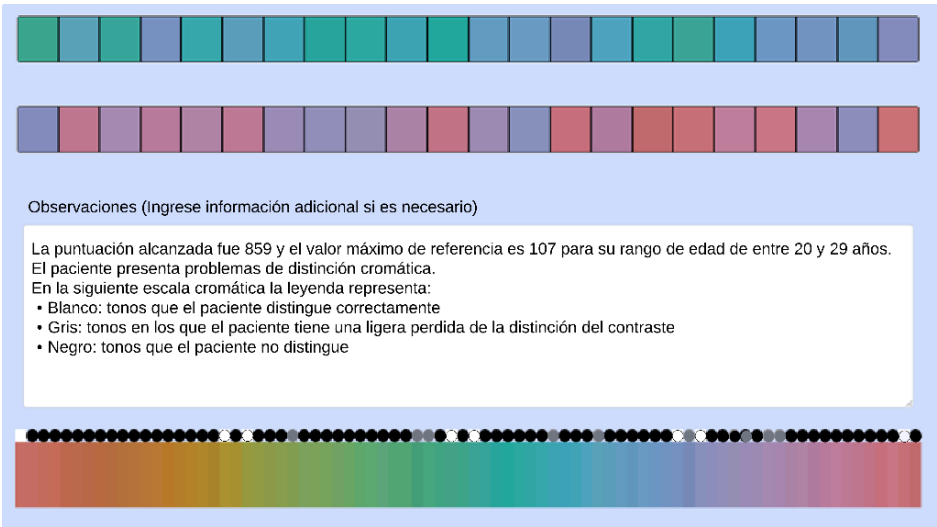


Figura 6 – Resultados del test de Farnsworth-Munsell digitalizado

La visualización de los resultados fue optimizada. Al finalizar el test de Farnsworth-Munsell, se presenta una conclusión en un campo de texto editable, permitiendo al personal médico agregar observaciones pertinentes. Además, se incluye una escala cromática que muestra, mediante tonos, las áreas donde el paciente tiene dificultades para distinguir colores: blanco para tonos distinguidos sin problemas, gris para dificultad leve y negro para tonos no distinguibles, ver Figura 6.

La prueba de Ishihara experimentó modificaciones significativas en su interfaz. Se mejoró la disposición de las imágenes para que el sujeto evaluado pueda enfocarse en una imagen a la vez. Las láminas se muestran en la pantalla con un tamaño mayor y de manera secuencial, mejorando la experiencia del usuario. A continuación, se presenta la Figura 7, que muestra la vista actualizada.



Figura 7 – Test de Ishihara digitalizado

El proceso de desarrollo fue verificado mediante pruebas unitarias, de integración y regresión, garantizando la estabilidad del sistema y la incorporación adecuada de nuevas funciones. La validación final se realizó con pruebas de aceptación orientadas al cumplimiento de los requisitos del usuario.

3.4. Evaluación

La ONU describe el diseño universal como una estrategia que busca crear productos, entornos, programas y servicios utilizables por todas las personas, sin necesidad de adaptaciones o diseños especializados (ONU, 2016).

La evaluación de usabilidad es crucial en el desarrollo de productos digitales, permitiendo detectar y abordar problemas que los usuarios puedan enfrentar. La accesibilidad, definida como la facilidad con la que las personas pueden utilizar una aplicación de software, se evaluó siguiendo las pautas establecidas por el Consorcio World Wide Web (W3C) y las Pautas de Accesibilidad al Contenido Web (WCAG) 2.1. (W3C, 2023). Se

aplicó un enfoque combinado para evaluar la accesibilidad en el software, utilizando tanto una herramienta automática como una evaluación manual realizada por expertos en accesibilidad.

3.4.1. Evaluación de Usabilidad

Esta sección detalla la evaluación de usabilidad de la plataforma web oftalmológica, cuyo objetivo es reducir el tiempo, la complejidad y los costos asociados con las pruebas de agudeza visual y distinción cromática. La evaluación siguió el protocolo propuesto por Abhay Rautela (Rautela, 2020) y utilizó el cuestionario de Lewis (Lewis, 2018). Este enfoque permitió evaluar si se lograron los objetivos propuestos para la plataforma oftalmológica, el protocolo se ilustra en la Figura 8.

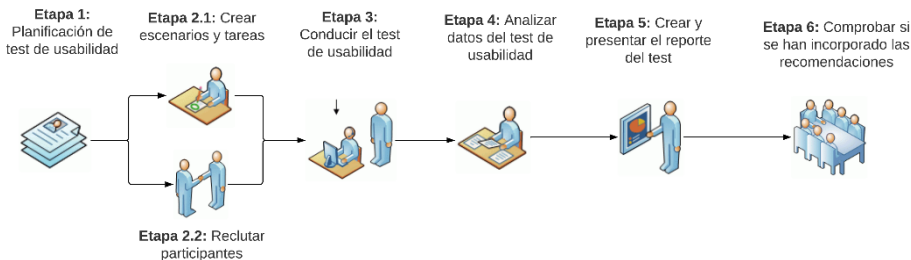


Figura 8 – Protocolo de evaluación de usabilidad

La evaluación contó con 15 usuarios, como recomienda Laura Faulkner, al realizar una evaluación de usabilidad con mínimo cinco usuarios, los resultados de los problemas de usabilidad detectados oscilan entre el 55% y el 85% (Faulkner, 2003). Durante la evaluación, un experto en usabilidad proporcionó una introducción al sistema y dos oftalmólogos y un optometrista guiaron a los usuarios en las pruebas. Los participantes completaron las tareas asignadas dentro del sistema y evaluaron cada pregunta del cuestionario de usabilidad utilizando una escala Likert de 7 puntos (Muguira, 2023), ver Tabla 1.

Escala	Descripción
1	Totalmente en desacuerdo
2	En desacuerdo
3	Levemente en desacuerdo
4	Ni de acuerdo ni en desacuerdo
5	Levemente de acuerdo
6	De acuerdo
7	Totalmente de acuerdo
N/A	No Aplica (N/A)

Tabla 1 – Escala de Likert

Al finalizar la evaluación, se analizaron los resultados y se contabilizaron los problemas de usabilidad identificados, además de considerar e incorporar las observaciones y recomendaciones proporcionadas por los evaluadores al equipo de desarrollo.

3.4.2. Evaluación de Accesibilidad

El rápido desarrollo de la tecnología de la información y la comunicación ha impactado significativamente en la oftalmología (Li et al., 2021). Por consiguiente, resulta fundamental diseñar y evaluar plataformas digitales accesibles que respondan a las diversas necesidades, optimizando tanto tiempos como costos en los servicios de salud. Este estudio se centró en la evaluación de diez interfaces web de la plataforma, que incluían funciones de gestión de pacientes y la administración de pruebas de distinción cromática.

Para evaluar el nivel de accesibilidad de la plataforma, se aplicaron las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG) 2.1 (W3C, 2023) junto con la herramienta WAVE, con el objetivo de alcanzar el nivel AA de conformidad. El proceso contempló nueve fases, ver Figura 9, que incluyeron desde la definición de criterios hasta la verificación final de las mejoras. Se evaluaron interfaces relacionadas con la gestión de pacientes y la aplicación de pruebas cromáticas.

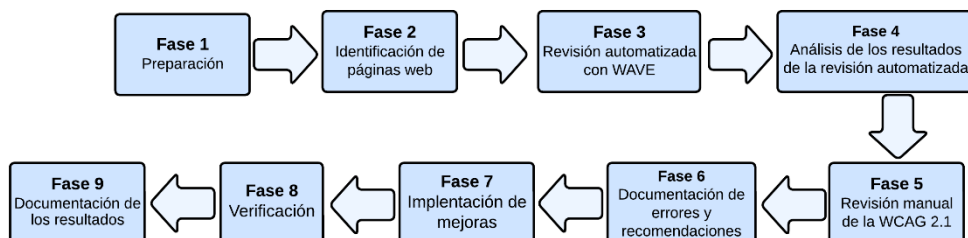


Figura 9 – Protocolo de evaluación de accesibilidad

La metodología combinó un análisis automatizado con WAVE —para identificar problemas como etiquetas ausentes, encabezados mal estructurados y bajo contraste— y una revisión manual por expertos, quienes priorizaron los hallazgos según su impacto, ver Figura 10. Posteriormente, se implementaron correcciones, se verificó su efectividad y se documentaron los resultados para futuras mejoras.

3.5. Limitaciones, desafíos y perspectivas futuras

Durante el desarrollo de la plataforma SIONDAL se enfrentaron diversos desafíos técnicos y operativos. Uno de los principales fue la automatización del diagnóstico: mientras se logró implementar un diagnóstico editable para el test de Farnsworth-Munsell, la interpretación del test de Ishihara aún requiere el criterio del especialista, evidenciando las limitaciones para digitalizar pruebas con alta carga subjetiva. Como proyección futura, se plantea incorporar inteligencia artificial para apoyar el diagnóstico, en complemento con la evaluación clínica.



Figura 10 – Evaluación de accesibilidad con herramienta Wave

Otro desafío relevante fue asegurar la accesibilidad y usabilidad conforme a las pautas WCAG 2.1, lo que implicó revisar interfaces, ajustar la navegación y mejorar el contraste visual, extendiendo los tiempos de desarrollo previstos.

Entre las principales debilidades se encuentra la necesidad de calibrar correctamente el dispositivo que ejecuta los test, garantizando la fidelidad cromática. Aunque esta configuración se realiza una sola vez, se recomiendan revisiones periódicas mínimas.

Como evolución futura, se prevé integrar modelos de aprendizaje automático para clasificar patrones de alteración cromática, mejorar la interpretación de resultados y establecer un sistema de soporte a la decisión clínica, lo cual fortalecería la precisión diagnóstica y la autonomía del sistema en contextos con limitada supervisión especializada.

4. Resultados

La plataforma oftalmológica SIONDAL fue desarrollada con éxito, cumpliendo los objetivos establecidos mediante la digitalización de pruebas clave de agudeza visual y discriminación cromática. Diseñada con un enfoque intuitivo, la herramienta mejoró significativamente la productividad del centro médico, optimizando el flujo de trabajo, acortando los tiempos de consulta y elevando la calidad de atención. La evaluación simultánea de pacientes, a través de tests digitales, permitió ahorrar tiempo y recursos físicos.

La digitalización redujo notablemente el tiempo de aplicación de las pruebas en comparación con los métodos tradicionales, automatizando el registro de resultados en las historias clínicas digitales y eliminando procesos de transcripción manual. Además, se logró un ahorro sustancial en materiales, al prescindir de las láminas impresas del test de Ishihara y los componentes físicos del test de Farnsworth-Munsell.

La incorporación de diagnóstico automatizado brindó apoyo clínico al profesional, mejorando la precisión y rapidez sin reemplazar su intervención, recomendándose siempre la validación por parte de un especialista.

La usabilidad de la plataforma fue evaluada mediante la escala System Usability Scale (SUS) adaptada por Lewis, aplicada a 15 usuarios finales que ejecutaron tareas relacionadas con gestión de pacientes, administración de pruebas y generación de reportes. Los resultados obtenidos fueron altamente favorables, con un puntaje de usabilidad del 95,71%, clasificado como “Excelente” según la escala de Bangor (Bangor et al., 2009). La Figura 11 muestra la distribución de las puntuaciones. Durante el proceso de retroalimentación se identificaron dificultades menores de navegación e interpretación de íconos, las cuales fueron corregidas mediante rediseños iterativos y nuevas rondas de pruebas.

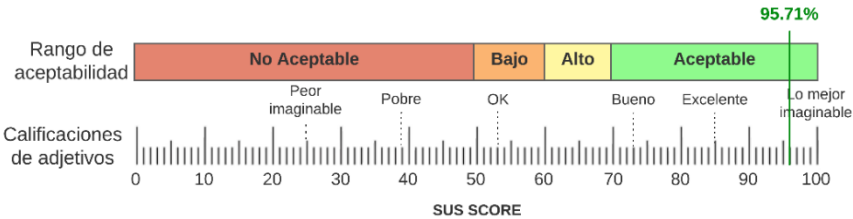


Figura 11 – Escala de Bangor

La evaluación de accesibilidad se realizó sobre 10 interfaces clave del sistema, empleando la herramienta automatizada WAVE junto con una revisión manual basada en las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG) 2.1, nivel AA. Las páginas evaluadas incluían módulos de registro, gestión clínica y aplicación de pruebas oftalmológicas.

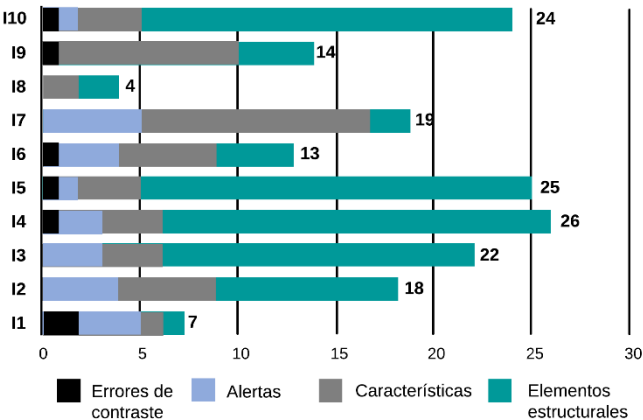


Figura 12 – Resultados de evaluación de accesibilidad

El análisis arrojó un cumplimiento del 97.13 % con las WCAG 2.1. Entre los principales errores detectados inicialmente estuvieron problemas de contraste de color, etiquetas faltantes en formularios y jerarquías incorrectas en encabezados HTML. Todos estos errores fueron documentados, priorizados e intervenidos conforme al protocolo de accesibilidad descrito en la sección de metodología (ver Figura 12). La verificación final, posterior a las correcciones, confirmó el cumplimiento con el estándar establecido.

5. Conclusiones y Trabajo Futuro

En conclusión, el desarrollo de la plataforma SIONDAL representa un avance sustancial en la digitalización de pruebas oftalmológicas, al integrar de forma efectiva herramientas como el test de Farnsworth-Munsell y el test de Ishihara en una solución digital accesible, intuitiva y clínicamente robusta. Esta plataforma no solo automatiza procesos clave, sino que también mejora la calidad de atención y optimiza la experiencia del usuario final.

Las pruebas tradicionales, si bien ampliamente utilizadas, presentan limitaciones relacionadas con el desgaste físico, la dependencia de condiciones lumínicas y el manejo manual de resultados. En cambio, las versiones digitalizadas implementadas en SIONDAL ofrecen administración simplificada, resultados automatizados y una integración directa con historias clínicas electrónicas. No obstante, se mantiene la necesidad de calibración de pantalla para preservar la fidelidad del color, y la supervisión profesional sigue siendo esencial para validar los diagnósticos.

El uso del marco ágil Scrum permitió un desarrollo flexible y centrado en el usuario, con entregas incrementales y validaciones constantes. La plataforma fue evaluada con el System Usability Scale (versión de Lewis), alcanzando un 95% de satisfacción, y con base en las pautas WCAG 2.1, alcanzó un 97,13% de cumplimiento en accesibilidad. Estos resultados evidencian una solución sólida, eficaz y alineada con estándares internacionales de calidad en salud digital.

Como proyección a futuro, se propone ampliar sus capacidades mediante funciones como exportación de resultados, envío digital de informes y una mayor integración con sistemas de mensajería clínica. Estas mejoras permitirán no solo fortalecer el diagnóstico de deficiencias visuales, sino también posicionar a clínicas oftalmológicas con una ventaja competitiva significativa en entornos altamente exigentes.

Referencias

- Ahmad, Z., Rahim, S., Zubair, M., & Abdul-Ghafar, J. (2021). Artificial intelligence (AI) in medicine, current applications and future role with special emphasis on its potential and promise in pathology: present and future impact, obstacles including costs and acceptance among pathologists, practical and philosophical considerations; A comprehensive review. *Diagnostic Pathology*, 16(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s13000-021-01085-4>
- Angular JS. (2023). Angular JS. <https://docs.angularjs.org/guide>
- Arana, G., & Castillo, D. (2003). Alteraciones de la visión al color en pacientes presbítas.

- Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of usability studies*, 4(3), 114–123. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2835587.2835589>
- Beauchamp, M. S., Haxby, J. V., Jennings, J. E., & DeYoe, E. A. (1999). An fMRI version of the Farnsworth–Munsell 100-Hue test reveals multiple color-selective areas in human ventral occipitotemporal cortex. *Cerebral cortex*, 9(3), 257–263. <https://doi.org/10.1093/cercor/9.3.257>
- Birch, J. (1997). Efficiency of the Ishihara test for identifying red-green colour deficiency. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 17(5), 403–408.
- Carneiro, R., Toscano, J. C., & Díaz, T. (2019). Los desafíos de las TIC para el cambio educativo.
- Chapaval, N. (2025, junio 3). Qué es Frontend y Backend: características, diferencias y ejemplos. <https://platzi.com/blog/que-es-frontend-y-backend/>
- Cole, B. L. (2007). Assessment of inherited colour vision defects in clinical practice. *Clinical and experimental optometry*, 90(3), 157–175. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2007.00135.x>
- Colorlite. (2024). Farnsworth Munsell 84 Hue Test. <https://www.colorlitelens.com/farnsworth-munsell-100-color-blind-test-more>
- Cubillas Mercado, J. J., Quero Haro, M., Ramos Rodriguez, M. B., Ramos, M. I., Lopez, W., & Gonzalez Conejo, J. M. (2019). Use of the mobile application of Salud Responde for the optimisation of health resources. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2019.03.003>
- Faulkner, L. (2003). Beyond the five-user assumption: Benefits of increased sample sizes in usability testing. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 35, 379–383. <https://doi.org/10.3758/BF03195514>
- Fernández Jiménez-Ortiz, H. (2018). Valoración de la discromatopsia adquirida mediante nueva aplicación informática en pacientes con neuropatías ópticas desmielinizantes. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/15717>
- Figma. (2024). Figma. <https://www.figma.com/>
- GIMA. (2021). Ishihara Colour Test– Book of 38 plates. <https://www.gimaitaly.com/>
- Gómez, A., & Alonso, A. (2023). Aplicación para apoyo a terapias y diagnóstico visual (Bachelor). Universidad de la Salle.
- Gómez, O. T., López, P. P. R., & Bacalla, J. S. (2010). Criterios de selección de metodologías de desarrollo de software. *Industrial data*, 13(2), 70–74. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81619984009>
- Gómez Pérez, R. P. (2019). Process management to reduce waiting times in the outpatient clinic at the Carlos Andrade Marín Hospital (Universidad Andina Simón Bolívar). <http://hdl.handle.net/10644/6587>

- González Salazar, S. A., & Vigoya Bolívar, M. Á. (2023). Plataforma para diagnóstico y seguimiento de terapia visual. Universidad de la Salle.
- Guillén-Mendoza, R. V, Arteaga-Espinoza, S. X., & Figueroa-Suárez, J. A. (2017). Las tecnologías de información y comunicación (TIC's) en odontología. *Polo del Conocimiento*, 2(4), 120–128. <https://doi.org/10.23857/pc.v2i4.120>
- Hamamoto, R., Suvarna, K., Yamada, M., Kobayashi, K., Shinkai, N., Miyake, M., Takahashi, M., Jinnai, S., Shimoyama, R., & Sakai, A. (2020). Application of artificial intelligence technology in oncology: Towards the establishment of precision medicine. *Cancers*, 12(12), 3532. <https://doi.org/10.3390/cancers12123532>
- Inácio, D., Cardoso, A., & Lopes, E. (2022). Uma arquitetura de sistema específica para testes psicológicos computadorizados apoiados por técnicas de computação afetiva. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (47), 128–141. <https://doi.org/10.17013/risti.47.128-141>
- Instituto Oftalmológico Hoyos. (2024). Test Colores - ishihara. <https://iohoyos.com/pruebas-oftalmologicas/test-colores-ishihara/>
- Ishihara, S. (1918). Tests for color blindness. *American Journal of Ophthalmology*, 1(5), 376.
- León, F. J. N. (2020). Educación médica continua: oportunidades de innovación en la era digital. *Revista Médica Hondureña*, 88(Supl. 1), 41–44.
- Lewis, J. R. (2018). Measuring perceived usability: The CSUQ, SUS, and UMUX. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 34(12), 1148–1156. <https://doi.org/10.1080/10447318.2017.1418805>
- Li, J.-P. O., Liu, H., Ting, D. S. J., Jeon, S., Chan, R. V. P., Kim, J. E., Sim, D. A., Thomas, P. B. M., Lin, H., & Chen, Y. (2021). Digital technology, tele-medicine and artificial intelligence in ophthalmology: A global perspective. *Progress in retinal and eye research*, 82, 100900. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2020.100900>
- Ludwig, C., Shan, M., Nguyen, N. P., Choi, D., Ku, V., & Lam, C. (2016). The Future of Automated Mobile Eye Diagnosis. *Journal of Mobile Technology in Medicine*, 5, 44–50. <https://doi.org/10.7309/jmtm.5.2.7>
- Luque, M., De Fez, M., & Diez, M. (2001). Directrices para la administración y puntuación del test Farnsworth-Munsell de 100 tonos. *Ver y oír*, 413–420. <http://hdl.handle.net/10045/18427>
- Molina, N. P. (2008). Comparación de la efectividad de los optotipos Snellen y Bailey Lovie para medir la agudeza visual en pacientes entre cinco y doce años con ambliopía refractiva y ambliopía estrábica. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 6(10), 19–28. <https://ciencia.lasalle.edu.co/svo/vol6/iss10/2/>
- Morales Fernandez, S. I. (2019). Sistema informático basado en el diagnóstico clínico para la gestión documental en los consultorios de oftalmología, 2019. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/39579>

- ONU. (2016). Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad. <https://www.coe.int/es/web/compass/convention-on-the-rights-of-persons-with-disabilities>
- Opeluce Team. (2022, mayo 15). Examen de la vista: ¿en qué consiste y cuáles son los tipos más comunes? <https://www.opeluce.com.pe/blog/examen-de-la-vista/>
- Pérez Martinot, M. (2017). Uso actual de las tecnologías de información y comunicación en la educación médica. *Revista medica herediana*, 28(4), 258–265.
- Pulido, D. A. A., Quintero, P. A. A., & Reina, F. A. (2022). Prototipo electrónico BlindTI como herramienta de aprendizaje para niños en condición de discapacidad visual. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (48), 5–22. <https://doi.org/10.17013/risti.48.5-22>
- RAE. (2024). Definición Oftalmología. <https://dle.rae.es/oftalmolog%C3%ADa>
- Rautela, A. (2020). The Usability Testing Process. En *Cone Trees*. <https://www.conetrees.com/articles/the-usability-testing-process-diagram/>
- Rivera, E., Martínez, S. E., & López, R. E. (2017). Comparación de la efectividad del test Farnsworth Munsell 100 Hue computarizado frente a su versión manual estándar. *Revista Ciencias de la Salud y Educación Médicas*, 1(1), 36–44.
- Rivera, M. M., Díaz, A. P., Reich, J. C., Gallegos, J. P. P., & Zezzatti, A. O. (2018). Identificador de semáforos mediante un algoritmo PSO como clasificador de color en conjunto con detección de área de interés mediante algoritmo K-means. *Big Data Analytics: Una perspectiva multidisciplinaria para la mejora del proceso de toma de decisiones en las organizaciones*, 275.
- Rodriguez-Carmona, M., Evans, B. E. W., & Barbur, J. L. (2021). Color vision assessment-2: Color assessment outcomes using single and multi-test protocols. *Color Research & Application*, 46(1), 21–32. <https://doi.org/10.1002/col.22598>
- Sails JS. (2023). Sails JS. <https://sailsjs.com/>
- Salih, A. E., Elsherif, M., Ali, M., Vahdati, N., Yetisen, A. K., & Butt, H. (2020). Ophthalmic wearable devices for color blindness management. *Advanced Materials Technologies*, 5(8), 1901134. <https://doi.org/10.1002/admt.201901134>
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). La guía definitiva de Scrum: las reglas del juego. <https://repositorio.uvm.edu.ve/handle/123456789/59>
- Sevilla Rubio, J. C. (2019). La salud digital en cardiología y electrocardiografía: presente y futuro. *Enfermería en cardiología: revista científica e informativa de la Asociación Española de Enfermería en Cardiología*, 78, 29–36.
- The Galaxy Community. (2022). The Galaxy platform for accessible, reproducible and collaborative biomedical analyses: 2022 update. *Nucleic Acids Research*, 50, W345–W351.
- Universidad de Navarra. (2021). Test de Farnsworth - Munsell. <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/test-farnsworth>

- Vilela, M. A. P., Arrigo, A., Parodi, M. B., & da Silva Mengue, C. (2023). Smartphone Eye Examination: Artificial Intelligence and Telemedicine. *Telemedicine and e-Health*, 30(2), 341–353. <https://doi.org/10.1089/tmj.2023.0041>
- W3C. (2023). WCAG 2.1. <https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/wcag/>
- Yani, A. (2018). Utilization of technology in the health of community health. *Promotif: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(1), 97–103. <https://doi.org/10.56338/pjkm.v8i1.235>
- Yanto, A. B. H., Fauzi, A., Maulana, A., Permana, R., & Utami, D. Y. (2022). Color Blind Detection Application Design Using The Ishihara Method Using The Android OS Platform. *INFOKUM*, 10(5), 227–235. <https://infor.seaninstitute.org/index.php/infokum/article/view/889>
- Zarazaga, A. F., Vásquez, J. G., & Royo, V. P. (2019). Revisión de los principales test clínicos para evaluar la visión del color. *Archivos de la sociedad española de oftalmología*, 94(1), 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.oftal.2018.08.006>