

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS  
INFORMÁTICOS Y DE COMPUTACIÓN**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA INFORMÁTICO PARA LA  
EVALUACIÓN Y DETECCIÓN DE DEFICIENCIAS  
OFTALMOLÓGICAS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
SISTEMAS INFORMÁTICOS Y DE COMPUTACIÓN**

**LÓPEZ RODRÍGUEZ JUAN ANTONIO**  
juan.lopez08@epn.edu.ec

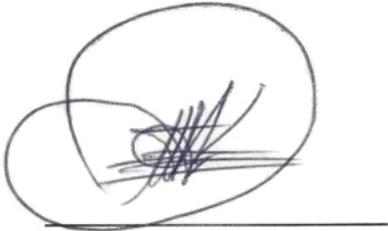
**DIRECTOR: PhD. SANTÓRUM GAIBOR MARCO OSWALDO**  
marco.santorum@epn.edu.ec

**CODIRECTORA: MSc. CARRIÓN TORO MAYRA DEL CISNE**  
mayra.carrion@epn.edu.ec

**Quito, abril 2022**

## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Antonio López Rodríguez bajo nuestra supervisión.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a central scribble, positioned above a horizontal line.

**PhD. Marco Santórum**

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

A handwritten signature in black ink, appearing as a series of connected, fluid strokes, positioned above a horizontal line.

**MSc. Mayra Carrión**

**CODIRECTORA DEL PROYECTO**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Juan Antonio López Rodríguez, con cédula de identidad 1757279508. Declaro que el trabajo descrito en el presente documento es de mi autoría; que no ha sido utilizado ni presentado previamente para ninguna calificación de nivel profesional o de grado; y, que he realizado una investigación científica mediante la lectura de la bibliografía citada.

Mediante la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual referentes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente en abril del año 2022.



---

**Juan Antonio López Rodríguez**

## DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a una persona muy especial con la que no pude compartir tanto como hubiese querido, sin embargo, no fue necesario más tiempo a su lado para entender la gran magnitud de su amor, aunque sí fue necesario para demostrarle cuan recíproco era su cariño, mi abuelo.

También dedico este trabajo a mi abuela, quien con su amor incondicional ha sido una segunda madre y lamento que no se encuentre aquí hoy.

A mis padres, lo más importante, que siempre me han brindado su apoyo en cada momento de mi vida, en la cual nunca faltó su cariño, amor y sacrificio.

A mi tío, quien siempre nos ha visto a mi hermano y a mí como a unos hijos, y me gustaría que también forme parte de este momento.

Juan López

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias al Ecuador, maravilloso país que me ha acogido y me ha hecho sentir como en casa, gracias a su gente que me ha permitido conocer nuevas culturas y explorar nuevos horizontes.

Gracias a la Escuela Politécnica Nacional por formarme como un miembro más de su distinguida academia del conocimiento y por permitirme conocer a personas tan brillantes y serviciales.

Gracias a mis tutores, Mayra Carrión y Marco Santorum, quienes brindaron su ayuda incondicional y constituyeron un gran apoyo para el normal desarrollo y cierre de este proyecto. De igual a forma agradezco a Juan Benavides, miembro del equipo de la Escuela Politécnica Nacional, por su trabajo en conjunto con mis tutores.

Gracias a mis padres, Marta y Armando, que desde siempre han estado prestos a hacer lo imposible en aras de brindarnos apoyo. Gracias por su comprensión, educación y por haberme inculcado todos los valores que los convierten en un ejemplo a seguir.

Gracias a Armando Andrés, Camila Blanco, Isabel María, Daliana Zambrano, Julio Andrés, Juan José Morales y Andrés Pantoja, que han sido un apoyo fundamental durante mi proceso académico y en el ámbito personal.

Gracias a mis amistades, por acompañarme y apoyarme en los momentos más difíciles.

Gracias a los que no se encuentran físicamente conmigo, pero que los llevo cada día en el pensamiento.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I:	14
1 INTRODUCCIÓN	14
1.1 PROBLEMÁTICA	15
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3 ALCANCE	17
1.3.1 SOLUCIÓN DE SOFTWARE PARA DETECCIÓN DE DEFICIENCIAS	17
1.4 MARCO DE REFERENCIA	18
1.4.1 EMPLEO DE LA INFORMÁTICA EN LA MEDICINA	19
1.4.2 VENTAJAS DE INCORPORAR TI EN CIENCIAS DE LA SALUD	19
1.4.3 INCLUSIÓN DE LAS TI EN EL ÁREA DE LA OFTAMOLOGÍA	20
1.5 EL DALTONISMO	21
1.5.1 ASPECTOS FUNDAMENTALES	21
1.6 EXÁMENES OFTALMOLÓGICOS PARA EL DALTONISMO	23
1.6.1 TEST DE FARNSWORTH-MUNSELL	23
1.6.2 TEST DE ISHIHARA	25
1.6.2.1 DIAGNÓSTICO DEL TEST ISHIHARA	26
1.7 RESUMEN DEL CAPÍTULO I	28
CAPÍTULO II:	29
2 METODOLOGÍA	29
2.1 SCRUM	30
2.1.1 DEFINICIÓN Y ENFOQUE	30
2.1.2 ARTEFACTOS DE SCRUM	30
2.1.3 ROLES DE SCRUM	31
2.1.4 EVENTOS DE SCRUM	32
2.2 APLICACIÓN DE SCRUM	32
2.2.1 ETAPA DE REQUERIMIENTOS	34
2.2.1.1 PROCESO DE LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS	34
2.2.1.2 DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS	36
2.2.1.3 RESTRICCIONES DEL SISTEMA	47
2.2.2 ETAPA DE DISEÑO	48
2.2.2.1 DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA	49
2.2.2.2 SERVIDOR FRONTEND	49

2.2.2.3 SERVIDOR BACKEND .....	51
2.2.2.4 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS.....	51
2.2.2.5 SERVICIOS REST .....	53
2.2.2.6 DISEÑO DE INTERFACES.....	55
2.2.3 ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN .....	61
2.2.3.1 HERRAMIENTAS DE DESARROLLO .....	61
2.2.3.1.1 DISPOSITIVO Y SISTEMA OPERATIVO .....	61
2.2.3.1.3 ENTORNO DE DESARROLLO.....	62
2.2.3.1.5 GESTOR DE BASE DE DATOS.....	63
2.2.3.1.6 DOCKER.....	63
2.2.3.1.7 DBEAVER.....	64
2.2.3.2 APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA METODOLOGÍA .....	65
2.2.3.2.1 IMPLEMENTACIÓN.....	66
2.2.3.2.2 PRIMER SPRINT .....	66
2.2.3.2.3 SEGUNDO SPRINT.....	69
2.2.3.2.4 TERCER SPRINT .....	71
2.2.3.2.5 CUARTO SPRINT .....	73
2.2.3.2.6 QUINTO SPRINT .....	74
2.2.3.2.7 SEXTO SPRINT .....	76
2.2.3.2.8 SÉPTIMO SPRINT .....	76
2.2.3.2.9 OCTAVO SPRINT .....	78
2.2.3.2.9 NOVENO SPRINT.....	79
2.3 RESUMEN DEL CAPÍTULO II .....	80
CAPÍTULO III:.....	81
3 PRUEBAS Y EVALUACIÓN .....	81
3.1 FUNCIONALIDAD .....	81
3.2 USABILIDAD.....	87
3.2.1 MÉTRICAS DE USABILIDAD .....	89
3.2.2 EVALUACIÓN DE LA USABILIDAD .....	91
3.2.3 DEFINICIÓN DEL CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN DE USABILIDAD.....	92
3.2.4 PROTOCOLO DE EVALUACIÓN DE LA USABILIDAD.....	94
3.2.4.1 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA PRUEBA .....	95
3.2.4.2 PREPARACIÓN DE LA PRUEBA.....	96
3.2.4.3 FASE DE SELECCIÓN DE LOS PARTICIPANTES .....	96
3.2.5 APLICACIÓN DE LA PRUEBA DE USABILIDAD .....	97
3.2.5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	108

3.3 RESUMEN DEL CAPÍTULO III .....	118
CAPITULO IV .....	119
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	119
4.1 CONCLUSIONES.....	119
4.2 RECOMENDACIONES .....	120
4.3 BIBLIOGRAFÍA.....	121
4.4 ANEXOS.....	133

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores estándares de puntuación por rango de edad. Creada por el autor con información tomada de [42].	24
Tabla 2. Diagnóstico en base a las láminas. Creado por el autor en base a la información de la página 59 de [44].	27
Tabla 3. Roles definidos para aplicar Scrum. Creado por el autor.	32
Tabla 4. Criterios de aceptación para HU03. Creado por el autor.	37
Tabla 5. Criterios de aceptación para HU05. Creado por el autor.	38
Tabla 6. Criterios de aceptación para HU06. Creado por el autor.	38
Tabla 7. Criterios de aceptación para HU07. Creado por el autor.	39
Tabla 8. Criterios de aceptación para HU08. Creado por el autor.	40
Tabla 9. Criterios de aceptación para HU09. Creado por el autor.	41
Tabla 10. Criterios de aceptación para HU10. Creado por el autor.	42
Tabla 11. Criterios de aceptación para HU01. Creado por el autor.	43
Tabla 12. Criterios de aceptación para HU02. Creado por el autor.	44
Tabla 13. Criterios de aceptación para HU04. Creado por el autor.	45
Tabla 14. Criterios de aceptación para HU11. Creado por el autor.	46
Tabla 15. Criterios de aceptación para HU21. Creado por el autor.	47
Tabla 16. Ejemplos de casos de prueba. Creado por el autor.	86
Tabla 17. Ejemplos de atributos de usabilidad y métricas. Creado por el autor.	90
Tabla 18. Tareas definidas para usuarios con rol de personal médico. Creado por el autor.	101
Tabla 19. Tareas definidas para usuarios con rol de administrador. Creado por el autor.	104
Tabla 20. Tareas definidas para usuarios con rol de superadministrador. Creado por el autor.	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes del ojo (A) y anexos oculares (B). Tomado de [35].	22
Figura 2. Diferentes formas de visualizar la misma imagen según la deficiencia. Tomado de [35].	26
Figura 3. Entrevista estructurada. Creado por el autor.	35
Figura 4. HU03 y HU05. Creado por el autor.	36
Figura 5. HU06, HU07 y HU08. Creado por el autor.	38
Figura 6. HU09 y HU10. Creado por el autor.	40
Figura 7. HU01, HU02, HU04 y HU11. Creado por el autor.	42
Figura 8. HU04 y HU21. Creado por el autor.	46
Figura 9. Arquitectura del sistema. Creado por el autor.	49
Figura 10. Diagrama de la base de datos. Creado por el autor.	53
Figura 11. Mockups de las vistas “Centro médico” y “Pacientes”. Creado por el autor.	55
Figura 12. Mockups de las vistas “Nuevo Personal” y “Nuevo Paciente”. Creado por el autor.	56
Figura 13. Mockups de las vistas “Test de Farnsworth” y “Test de Ishihara”. Creado por el autor.	56
Figura 16. Validaciones. Creado por el autor.	59
Figura 17. Botón de guardar Habilitado/Deshabilitado. Creado por el autor.	59
Figura 18. Vista del Test de Farnsworth. Creado por el autor.	59
Figura 19. Vista de la conclusión del Test de Farnsworth. Creado por el autor.	60
Figura 20. Vista del Test de Ishihara. Creado por el autor.	60
Figura 21. Comparativa entre diferentes mockups y las vistas finales. Creado por el autor.	61
Figura 22. Variables de entorno para configuración de MySQL en Kitematic. Creado por el autor.	64
Figura 23. Conexión desde DBeaver a la base de datos. Creado por el autor.	65
Figura 24. Tablas obtenidas mediante la conexión en DBeaver. Creado por el autor.	65
Figura 25. Vista por defecto del Backend. Creado por el autor.	66
Figura 26. Base de datos MySQL en ejecución en Kitematic. Creado por el autor.	67
Figura 27. Pruebas realizadas desde Postman. Creado por el autor.	68
Figura 28. Ejemplo de los modelos creados en el servidor backend. Creado por el autor.	68
Figura 29. Ruta para el inicio de sesión. Creado por el autor.	69
Figura 30. Ejemplo de vista dentro del sistema. Creado por el autor.	70
Figura 31. Vista para crear un nuevo personal. Creado por el autor.	71
Figura 32. Vista de los datos del personal. Creado por el autor.	72
Figura 33. Vista de los datos de los pacientes. Creado por el autor.	73
Figura 34. Vista de las historias clínicas de un paciente. Creado por el autor.	74
Figura 35. Formulario para la creación de imágenes para el Test de Ishihara. Creado por el autor.	74

Figura 36. Formulario para la creación de imágenes para el Test de Ishihara con archivo de imagen cargado. Creado por el autor.....	75
Figura 37. Vista de selección de la prueba a aplicar. Creado por el autor.....	75
Figura 38. Cajas del Test de Farnsworth. Creado por el autor. ....	76
Figura 39. Vista del Test de Farnsworth con instrucciones. Creado por el autor. ....	77
Figura 40. Vista de las conclusiones del Test de Farnsworth. Creado por el autor.....	77
Figura 41. Ejemplo de los Guards creados. Creado por el autor. ....	79
Figura 42. Vista de inicio de sesión. Creado por el autor. ....	79
Figura 43. Cuestionario para evaluación de usabilidad.....	92
Figura 44. Proceso de evaluación de la usabilidad. Tomado de [135].....	95
Figura 45. Ejemplo de carta de consentimiento firmada. Creado por el autor.....	98
Figura 46. Aplicación web desplegada en red local. Creado por el autor.....	99
Figura 47. Usuarios con rol de personal médico. Creado por el autor.....	107
Figura 48. Usuarios con rol de administrador. Creado por el autor.....	108
Figura 49. Usuarios con rol de superadministrador. Creado por el autor. ....	108
Figura 50. Clasificación de respuestas por preguntas. Creado por el autor.....	109
Figura 51. Respuestas de pregunta 1. Creado por el autor. ....	109
Figura 52. Respuestas de pregunta 2. Creado por el autor. ....	110
Figura 53. Respuestas de pregunta 3. Creado por el autor. ....	110
Figura 54. Respuestas de pregunta 4. Creado por el autor. ....	111
Figura 55. Respuestas de pregunta 5. Creado por el autor. ....	111
Figura 56. Respuestas de pregunta 6. Creado por el autor. ....	112
Figura 57. Respuestas de pregunta 7. Creado por el autor. ....	112
Figura 58. Respuestas de pregunta 8. Creado por el autor. ....	113
Figura 59. Respuestas de pregunta 9. Creado por el autor. ....	113
Figura 60. Respuestas de pregunta 10. Creado por el autor. ....	114
Figura 61. Respuestas de pregunta 11. Creado por el autor. ....	114
Figura 62. Respuestas de pregunta 12. Creado por el autor. ....	115
Figura 63. Respuestas de pregunta 13. Creado por el autor. ....	115
Figura 64. Respuestas de pregunta 14. Creado por el autor. ....	116
Figura 65. Respuestas de pregunta 15. Creado por el autor. ....	116
Figura 63. Respuestas de pregunta 13. Creado por el autor. ....	117
Figura 64. Estadísticas generales de las respuestas. Creado por el autor.....	117

## RESUMEN

El presente proyecto propone el desarrollo de un sistema informático para la evaluación y detección de deficiencias oftalmológicas. Para lo cual se abordará la problemática de la existencia de pruebas altamente eficientes y los factores que interfieren negativamente en la aplicación de las mismas en formato físico. Adicionalmente se tratarán las ventajas que obtienen dichas pruebas al ser implementadas como parte de una solución de software y los criterios de evaluación y mejora de estas.

El proceso queda registrado desde el inicio del proyecto con la etapa de requerimientos, seguida de las etapas de diseño e implementación, mediante el uso del Framework Scrum, para facilitar la interacción con expertos en el tema. Respecto al proceso de implementación, se desarrolló mediante iteraciones conocidas como sprint. Cada sprint se encuentra documentado haciendo énfasis en las tareas realizadas, las cuales se pueden verificar según lo registrado en el Sprint Backlog.

Finalmente se profundizará en el proceso de evaluación del sistema, obtenido como resultado en las etapas anteriores. Se explicarán los criterios bajo los que se realizaron las pruebas de funcionalidad y usabilidad. Detallando desde la selección de los usuarios que participaron en dichas evaluaciones hasta el análisis de los resultados generados tras la aplicación de un formulario previamente definido. Todo en aras de cumplir con los objetivos propuestos para el proyecto en cuestión.

**PALABRAS CLAVE:** Farnsworth-Munsell, Ishihara, oftalmología, daltonismo, agudeza visual, Scrum, desarrollo, evaluación.

## **ABSTRACT**

This project proposes the development of a computer system for the evaluation and detection of ophthalmological deficiencies. The problem of the existence of highly efficient tests and the factors that negatively interfere in their application in physical format will be addressed. Additionally, the advantages obtained by these tests when they are implemented as part of a software solution and the criteria for evaluating and improving them will be discussed.

The process is recorded from the beginning of the project with the requirements stage, followed by the design and implementation stages, through the use of the Scrum Framework, to facilitate interaction with experts on the subject. As for the implementation process, it will be developed through iterations known as sprints. Each sprint is documented emphasizing the tasks performed, which can be verified against the records of the Sprint Backlog.

Finally, the evaluation process of the system, obtained as a result of the previous stages, will be addressed. The criteria under which the functionality and usability tests were carried out will be explained. It is detailed from the selection of the users who participated in these evaluations to the analysis of the results generated after the application of a previously defined form. All in order to meet the objectives proposed for the project in question.

**KEYWORDS:** Farnsworth-Munsell, Ishihara, ophthalmology, colour blindness, visual acuity, Scrum, development, evaluation.

# **CAPÍTULO I:**

## **1 INTRODUCCIÓN**

El avance tecnológico actual y el alto nivel competitivo del mercado han hecho que las diferentes organizaciones se interesen en brindar un servicio más rápido y óptimo, capaz de superar en calidad y eficiencia a sus rivales comerciales. Los centros orientados a la salud humana, al formar parte del mercado, también compiten entre ellos, intentando optimizar procesos para disminuir los tiempos de atención sin afectar la calidad del servicio. Como consecuencia de esto, algunos exámenes altamente efectivos no son aplicados, debido al tiempo que requieren para su preparación y aplicación.

Esta situación se evidencia en la oftalmología, la cual es la rama de la medicina, orientada al estudio del ojo y el cuidado de la visión [1]. Es fundamental que los profesionales relacionados al cuidado de la vista y ciencias oftalmológicas puedan proporcionar información rápida, precisa y específica a sus pacientes. Debido a esto, se requieren optimizar los procesos relacionados a la aplicación de las pruebas que se encuentran actualmente en uso, así como de las pruebas que debido a su extenso proceso de preparación no son aplicadas comúnmente en la actualidad.

El test de Farnsworth-Munsell es una de las pruebas utilizadas para diagnosticar deficiencias en la percepción del color, sin embargo, su duración puede llegar a ser de hasta 16 minutos, sin incluir el tiempo de preparación requerido para la correcta aplicación del test por cada paciente. Posteriormente a la aplicación se deben realizar diferentes cálculos para obtener el resultado final, el tiempo en esta fase puede variar en función de las destrezas matemáticas del sujeto que aplica la prueba. La alta eficiencia del test mantiene vigentes sus estudios, mientras que la dificultad para aplicarlo hace que no resulte óptimo para competir en el mercado actual.

El presente trabajo propone el desarrollo de una herramienta de software capaz de detectar y clasificar deficiencias oftalmológicas vinculadas a la agudeza visual y a la discriminación cromática. Con el fin de optimizar el tiempo de los diferentes procesos que tienen lugar en los centros oftalmológicos, la herramienta dispondrá de varias funcionalidades entre las que se encuentran la gestión del personal médico y de los pacientes, así como de las respectivas historias clínicas. Además, contará con el test de Farnsworth Munsell totalmente digitalizado, lo cual reducirá considerablemente el tiempo dedicado al mismo. El test de Ishihara también estará presente en la herramienta, y permitirá la carga de nuevas imágenes para la aplicación y mejora del mismo.

El desarrollo del sistema será bajo metodologías ágiles, siendo SCRUM el Framework definido como propuesta principal debido a que la interacción activa con los doctores que cumplirán el rol de stakeholders, facilitará la comprensión de los requerimientos vinculados al tema. Para esto se definen cuatro etapas fundamentales. La etapa de requerimientos, donde mediante visitas, reuniones y entrevistas se obtendrá la información necesaria para el desarrollo. La etapa de diseño, donde se generarán los prototipos en forma esquemática y el diagrama de la base de datos. La etapa de implementación donde se iniciará el desarrollo organizado en sprints, lo cual permitirá la generación de módulos que serán evaluados por especialistas oftalmológicos. Finalmente, la etapa de evaluación, donde se comprobará la funcionalidad del producto mediante pruebas de componentes basadas en casos de uso.

El presente trabajo de titulación se ha estructurado en cuatro capítulos con el contenido descrito a continuación y los apartados dedicados a bibliografía y anexos.

- Capítulo I: Durante este capítulo, el lector conocerá la problemática planteada y los objetivos del proyecto respecto a la misma. Además, se describirá el alcance y el marco de referencia utilizado, especificando en gran medida el concepto de daltonismo. El capítulo finaliza con la explicación de los exámenes de Farnsworth e Ishihara y del proceso para aplicar ambas pruebas.
- Capítulo II: En el capítulo dos, se profundizará sobre el Framework Scrum y todos los aspectos referentes a su aplicación práctica. Entre los aspectos que se destacan en esta sección se tienen las etapas de requerimientos, diseño e implementación.
- Capítulo III: Durante el capítulo tres, se abordará el proceso de evaluación, haciendo énfasis en las pruebas de funcionalidad y usabilidad aplicadas a la solución de software desarrollada.
- Capítulo IV: El capítulo cuatro, es también el capítulo final, donde se muestran las conclusiones y recomendaciones determinadas durante el proceso descrito a lo largo del documento.

## **1.1 PROBLEMÁTICA**

La oftalmología es la rama de la medicina, orientada al estudio del ojo y el cuidado de la visión [1]. Es fundamental que los profesionales relacionados al cuidado de la vista y ciencias oftalmológicas puedan proporcionar información rápida, precisa y específica a sus pacientes.

En oftalmología los factores comúnmente evaluados son la agudeza visual, el campo visual y distinción cromática [2]. Cada factor posee una amplia gama de pruebas, las cuales requieren de medios e instrumentos. Para la agudeza visual se utiliza el optotipo, ya sea en forma digital, carillas, proyecciones o paneles [3]. El uso de optotipos digitales proporciona mayores ventajas debido a que no se deteriora con el tiempo ni requiere de una ubicación física preestablecida en la consulta [4].

El test de Farnsworth-Munsell también constituye una de las pruebas utilizadas para diagnosticar deficiencias en la percepción del color [5]. La versión tradicional de la prueba dispone de 84 piezas donde el tono del color varía ligeramente, las cuales son presentadas al paciente para que las ordene en función de su similitud cromática [6]. Debido a la complejidad de la prueba los pacientes tienden a demorarse hasta 16 minutos, al realizarla manualmente, sin considerar el tiempo dedicado a la preparación y organización de las piezas por parte del especialista [7].

La prueba más empleada para el análisis de la visión cromática y considerada por muchos como la mejor, es la denominada Ishihara, basada en láminas pseudoisocromáticas. La prueba tradicional consta de hasta 38 láminas y puede detectar deficiencias congénitas con una fiabilidad de entre el 90% y el 95% [6].

La mayoría de las pruebas existentes, donde se incluyen las nombradas anteriormente, requieren el uso de recursos como láminas, piezas e imágenes, en formato físico, lo que deriva en mayores costes, dificultad de transporte, mayor tiempo de administración y menor disponibilidad en comparación con el uso de una versión digital [8]. También se debe considerar que el uso de una solución de software que reemplace las pruebas tradicionales por pruebas digitalizadas puede lograr una reducción del tiempo total de consulta del 30% al 40% [9].

Generalmente cada paciente dispone de una historia clínica, donde se registran datos como edad, género y profesión, antecedentes familiares y personales, patologías, hábitos, tratamientos, alergias y el motivo de las consultas principalmente [10]. El manejo de historias clínicas en formato físico también es un problema que afecta los temas de tiempo. Cuando el personal debe ubicar determinado registro, la acción puede incurrir en demoras de entre 25 y 35 minutos, y en caso de requerir la emisión de una copia, la demora se puede incrementar en alrededor de 15 a 25 minutos adicionales [11].

Los problemas mencionados requieren una solución. La propuesta planteada en este documento se basa en el desarrollo de una herramienta de software capaz de detectar y

clasificar deficiencias oftalmológicas vinculadas a la agudeza visual y a la discriminación cromática. Esta solución de software optimizará los tiempos de preparación, ejecución, organización y administración de las pruebas tradicionales brindando una versión digital, además permitirá eliminar la dificultad de movilidad y el desgaste material asociado con el uso de recursos físicos. Así también esta propuesta permitirá reducir los tiempos asociados a la gestión de historias clínicas oftalmológicas, al proporcionar una relación directa entre el paciente y su historia clínica.

## **1.2 OBJETIVOS**

El presente proyecto de titulación se basa en los siguientes objetivos:

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un sistema informático para la evaluación y detección de deficiencias oftalmológicas mediante un enfoque de desarrollo ágil.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Implementar una solución de software que permita la aplicación de pruebas cromáticas y de agudeza visual tradicionales, como el test de Farnsworth Munsell y la prueba de Ishihara.
- Diseñar la arquitectura de datos y la arquitectura de la interfaz bajo tecnologías de desarrollo web, basadas en NodeJS y Angular.
- Evaluar el sistema mediante pruebas de funcionalidad y usabilidad.
- Desplegar el sistema en un ambiente de producción web.

## **1.3 ALCANCE**

### **1.3.1 SOLUCIÓN DE SOFTWARE PARA DETECCIÓN DE DEFICIENCIAS**

En el presente trabajo de titulación se realizará una descripción del proceso de desarrollo de un sistema capaz de detectar la existencia de anomalías en la visión cromática, basado en metodologías ágiles. Se definirán dos pruebas fundamentales para este proceso, las cuales se conocen como el Test de Ishihara y el Test de Farnsworth Munsell. Ambas pruebas serán digitalizadas dentro del sistema, por lo que se profundizará en la metodología de aplicación de cada una. Además, se explicará por qué, actualmente, la prueba de Farnsworth ha perdido popularidad respecto a su versión física y cómo, los factores que influyen en esto pueden ser solventados con la digitalización del test.

Se detallará el proceso de aplicación del Framework Scrum durante el desarrollo del sistema propuesto. Entre los factores que se especificarán se encuentra la definición de los roles que intervienen, los artefactos utilizados y las diferentes etapas que fueron aplicadas. También se profundizará en las tecnologías utilizadas para el desarrollo y la arquitectura diseñada para el sistema. Para finalizar se explicará el proceso de evaluación del sistema, basado en pruebas de funcionalidad y usabilidad.

Al finalizar el trabajo de titulación se dispondrá de un sistema funcional orientado a la detección de deficiencias en la visión cromática humana y su respectivo manual de usuario. Además, entre los resultados se incluirán diferentes archivos que contendrán el sprint backlog, las láminas de Ishihara, los casos de prueba utilizados para evaluar, los resultados de las pruebas realizadas y los formatos que fueron necesarios durante el proceso.

El presente proyecto plantea la digitalización de las pruebas antes mencionadas, debido a lo cual se debe enfatizar en que las metodologías originales de aplicación de las pruebas serán optimizadas, mas no serán modificadas. Se generará una mejor visualización de los resultados obtenidos al finalizar la aplicación del test de Farnsworth, sin embargo, no serán modificados los criterios diagnósticos ni la forma de calificación para la obtención de los respectivos resultados.

Debido a la gran cantidad de posibles respuestas a obtener tras la aplicación del test de Ishihara, el sistema generará un diagnóstico totalmente válido y general en base a los resultados obtenidos. Es decir que el sistema no generará un diagnóstico que clasifique el tipo de alteración de la visión cromática, pero sí identificará los tonos que el paciente tiene problemas para distinguir. En caso de que se quiera optimizar el diagnóstico de esta prueba, la misma debe ser aplicada por un especialista que en base a su criterio médico pueda realizar observaciones sobre el comportamiento del paciente durante la aplicación de la prueba.

## **1.4 MARCO DE REFERENCIA**

El avance de las tecnologías de la información (TI) sigue marcando pautas en el actual progreso científico [12], siendo palpable su enérgico protagonismo en todas las áreas del desarrollo humano [13], apreciándose en esta última década, un profundo adelanto y amplio uso en las ciencias de la salud, lo que ha dado lugar a la creación de diversos recursos informáticos para contribuir a un mejor trabajo en las especialidades médicas [14]. A continuación, se demuestra en el presente capítulo la importancia teórica y el impacto de las TI en el escenario de la salud, específicamente en la oftalmología.

### **1.4.1 EMPLEO DE LA INFORMÁTICA EN LA MEDICINA**

Al referirse a la informática entra en consideración el procesamiento automático de la información a través de sistemas computacionales y dispositivos electrónicos, su introducción en la praxis médica ha experimentado un salto cualitativo para el positivo logro de nuevos métodos de análisis. Las mejoras observadas en el procesamiento informático aplicado al área de la salud han contribuido con la precisión, rapidez, eficiencia del diagnóstico y eficacia de los tratamientos en las especialidades clínicas [15].

A escala internacional varios han sido los artículos dedicados al papel de la informática relacionada a trabajos médicos que incluyen especialidades como la cardiología, odontología, traumatología, radiología, oftalmología, entre otros; siendo lógico que estos sistemas no serán el reemplazo de la tradicional relación médico-paciente, pero sí mejorarán y optimizarán los tiempos de consultas [16], [17], [18], aspectos importantes ante la búsqueda de alternativas para reducir el tiempo de espera de los pacientes. [19]

El espectro, aplicabilidad o dimensión cultural de la informática médica, se construye sobre la unidad dialéctica persistente en la sistematización de la informatización en ámbitos de salud, es allí donde los profesionales o colaboradores se apropian a través de los recursos informáticos del conjunto de conocimientos, habilidades y valoraciones, desde su propia cultura laboral, ampliando sus competencias al profundizar en el empleo de la informática como ciencia, lo cual irá incrementando su utilización en el sistema de salud [20].

En el nuevo milenio se expresa cotidianamente el impacto de la medicina de precisión, allí es inobjetable alejar los sistemas informáticos del diagnóstico y presencia en el tratamiento médico seleccionado para cada paciente. Ya es posible analizar y comparar una mayor cantidad de datos en menor tiempo, extrayendo en este proceso la información verdaderamente útil que será aplicada en el diagnóstico y tratamiento [21].

### **1.4.2 VENTAJAS DE INCORPORAR TI EN CIENCIAS DE LA SALUD**

Las tecnologías de la información se han generalizado integrándose en área educativas donde convergen estudios multidisciplinarios de diversas ciencias con la medicina [22], por ello, las TI en los planes de estudios concernientes a esta rama no han quedado fuera a este fenómeno, siendo importante incrementar las competencias en profesores y alumnos, quienes adoptan estos recursos desde el proceso enseñanza-aprendizaje con una alta aplicabilidad práctica en su campo de acción [23], [24].

Ya es una tendencia generalizada la incorporación de las TI en las ciencias de la salud [25], incrementándose el uso la computadora no solo como un medio de investigación. Esta, además, es un importante recurso para la atención a los pacientes, debido a que con ella son capaces de intercambiar información y datos, teniendo en cuenta un proceso continuo y actualizado. La introducción de las TI ha roto los esquemas tradicionales de transmisión de conocimientos [26].

A pesar de ser loable el uso de las TI en la medicina, también se ha apreciado algún número de detractores, recientemente en una encuesta realizada en el Reino Unido, se observó como resultado que un 63% de la población objetivo mostraron incomodidad al preguntársele si sentían satisfacción en que sus datos personales fueran utilizados para mejorar la atención médica; por otra parte en Alemania, una investigación revela que el 83% de los médicos y estudiantes de medicina, confían en la mejora del trabajo con el uso de la automatización en la medicina y, en EE.UU los decisores de las organizaciones sanitarias también confían en que la introducción de las TI mejorará la medicina [27].

### **1.4.3 INCLUSIÓN DE LAS TI EN EL ÁREA DE LA OFTAMOLOGÍA**

Como es conocido, la oftalmología es la especialidad médica que se ocupa de las enfermedades del sistema ocular incluyendo sus anexos, en este tenor, el ojo es el primordial órgano de los sentidos y forma parte del sistema nervioso central, al realizar los exámenes oftalmoscópicos se observan directamente las estructuras anatómicas internas del ojo, lo cual permite determinar patologías o niveles de afectación.

A través de la visión se puede recibir aproximadamente un 80% de los estímulos que alcanzan al encéfalo, es sumamente importante para la vida mantener una buena salud visual, la pérdida o daño permanente a este órgano, llega a constituir un elemento de alta incapacidad. En este contexto, en la oftalmología, se abordan las enfermedades que causan déficit visual por afectación ocular [28].

A raíz de la pandemia de COVID-19, se han presentado múltiples cambios en la atención médica y específicamente la práctica oftalmológica también ha sido alterada, aunque se aprecie el alcance de la anhelada normalidad, cobra mayor trascendencia el eficiente uso de los recursos informáticos, en esa base se ha catalizado la telemedicina y el empleo de las TD de forma forzosa, donde se amplía el uso de plataformas online y simuladores, como factores que ayudan ante la reciente adversidad, en el control y manejo del tiempo de consulta más centradas en el paciente [29].

La llegada y progreso de las TI creó una circunstancia sin precedentes en la oftalmología, esta especialidad se adaptó a los nuevos modelos utilizando los recursos tecnológicos amparados en las innovaciones digitales, que han creado un ecosistema interdependiente ofreciendo oportunidades para ampliar nuevos modelos de atención ocular [30].

Dentro de la oftalmología se ha prosperado y aumentado los trabajos científicos basadas en imágenes, brindando soluciones sincrónicas a los desafíos que enfrentan los oftalmólogos y los proveedores de atención médica en esta especialidad alrededor del mundo, pues, los servicios oftálmicos se adaptaron rápidamente y formaron una “nueva normalidad” en el acogimiento de las innovaciones digitales [31].

Actualmente estos elementos de juicio reflejan la necesidad de continuar buscando soluciones novedosas para la mejora de los servicios de atención oftalmológica para la población en general [32].

## **1.5 EL DALTONISMO**

Con los antecedentes mencionados es evidente que la integración de las TI en la oftalmología se mantiene en constante evolución, tanto doctores en medicina como los profesionales informáticos suman esfuerzos para integrar las nuevas tecnologías y con ello alcanzar beneficios tangibles en los pacientes, aspecto que también aportará un positivo impacto social. Actualmente no se dispone de muchas pruebas diseñadas y validadas particularmente para la evaluación de deficiencia de la visión del color [8], aspecto que será profundizado a continuación.

### **1.5.1 ASPECTOS FUNDAMENTALES**

Aunque se ha escuchado frecuentemente sobre el daltonismo, pocos individuos no son conscientes de la enorme cifra de personas que padecen de esta alteración, o simplemente no conocen a profundidad qué es, de hecho, existen personas que descubren tener daltonismo a edades tardías, generalmente por falta de diagnóstico temprano de la misma [33].

También es prudente aceptar que siempre se ha tratado de buscar alternativas de ayuda para quienes padecen de esta alteración, brindándoles opciones que les auxilien en la diferenciación de los colores que no perciben, se han programado algunas herramientas de recolorado de imágenes, así como, dispositivos con la intención de mejorar su experiencia visual [34].

Antes de adentrarse en el tema, es oportuno repasar al ojo humano. Esta es una estructura notable producida a partir del desarrollo coordinado de múltiples tejidos, con contribuciones de origen neuroectodérmico, ectodérmico y mesodérmico. Al mismo lo conforman las siguientes capas: una capa resistente (Córnea-esclerótica), la Úvea, siendo la capa compuesta por el cuerpo ciliar, el iris y las coroides. En el caso de la retina, es la capa neurosensorial receptora de los estímulos luminosos, además, para ser traducidos en imágenes en el cerebro, esta los traslada a través del nervio óptico. En el caso de los anexos oculares quedan compuestos por las cejas, párpados, pestañas, el sistema lagrimal y los músculos extraoculares como se observa en la figura 1.

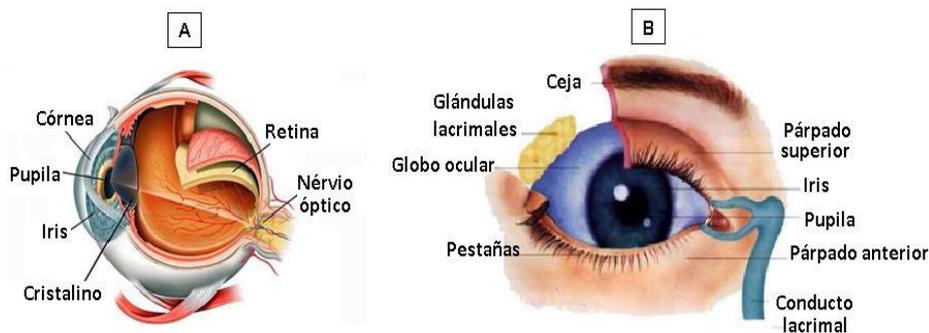


Figura 1. Partes del ojo (A) y anexos oculares (B). Tomado de [35].

Continuando con la temática sobre la deficiencia de la visión del color, se plantea que el daltonismo como enfermedad ocular, puede ser adquirida o congénita, siendo un trastorno ocular que trae consigo el impedimento de percibir y/o distinguir ciertos colores, existiendo un tipo de daltonismo denominado “total”, en casos muy raros, donde los individuos observan una escala de grises [36], [37], [38].

En el caso de ser congénita se presenta desde el nacimiento, aquejando a ambos ojos y disminuyendo gradualmente la percepción de la vista, entre tanto, cuando es una patología adquirida la afectación puede ocurrir en uno o ambos ojos, reduciendo la percepción en algunas regiones de la vista, pero, si ha sido publicado que el tipo congénito es más común que el daltonismo adquirido [39].

Quienes padecen de esta alteración poseen dificultades en diversas tareas o labores que implican diferenciar tonalidades de colores. Además, se les restringe el estudio de especialidades que requieren una visión normal del color, como la aviación, bomberos, carreras de perfil militar, farmacia, entre otros. Sin embargo, se ha encontrado estudios que demuestran la no existencia una correlación entre la inteligencia y el daltonismo a nivel de secundaria, la correlación se observó negativa al analizar daltonismo y el éxito de los individuos [40].

## 1.6 EXÁMENES OFTALMOLÓGICOS PARA EL DALTONISMO

### 1.6.1 TEST DE FARNSWORTH-MUNSELL

El test de Farnsworth-Munsell también constituye una de las pruebas utilizadas para diagnosticar deficiencias en la percepción del color [5]. La versión tradicional de la prueba dispone de 84 piezas donde el tono del color varía ligeramente, las cuales son presentadas al paciente para que él las ordene en función de su similitud cromática [6]. Debido a la complejidad de la prueba los pacientes tienden a demorarse hasta 16 minutos, al realizarla manualmente, sin considerar el tiempo dedicado a la preparación y organización de las piezas por parte del especialista [4].

La prueba de Farnsworth – Munsell resulta ser la de mayor complejidad en el momento de aplicarla físicamente debido a la extensa cantidad de cálculos que implica. Para la digitalización de este test se debe considerar que el paciente dispondrá de un conjunto de muestras coloreadas con diferentes tonos.

La tarea principal a desarrollar por el sujeto es la ordenación de las piezas a lo largo de rectas de confusión de los dicrómatas. Esta prueba resulta más difícil de aplicar y desarrollar que el test de Ishihara, en compensación brinda una mayor capacidad diagnóstica. En caso de que exista sospecha por parte del especialista de una alteración adquirida de la visión del color, se aconseja aplicar la prueba monocularmente [41].

Para el proceso de ordenamiento los tonos se dividen en cuatro secciones denominadas cajas. La primera caja contiene tonos que varían desde el rosa al amarillo, en la segunda del amarillo al azul verdoso. La tercera contemplará tonos entre azul verdoso y azul, mientras que la cuarta abarca desde el azul al rosa, incluyendo el púrpura. Cada caja tiene entre 21 y 22 tonos cada uno dentro de los rangos especificados, además de disponer de dos piezas fijas. Los tonos inmóviles se sitúan al inicio y al final de cada caja con el objeto de ser utilizados como referencia por el paciente [41].

Para la comprobación del orden impuesto por el sujeto de prueba, cada tono posee un valor como indicador de su posición correcta. El procedimiento de cálculo para asignar la puntuación al paciente se basa en el método por construcción. Este método plantea que la distancia perceptual entre dos fichas consecutivas del test es constante, e igual a la mínima diferencia perceptible (mdp) por un observador [42].

La distancia entre las piezas  $N$  y  $N+1$  debe ser de 1 mdp, lo mismo aplica entre  $N+1$  y  $N+2$ . En general la distancia perceptual entre  $N_1$  y  $N_2$  es  $|N_1 - N_2|$  mdps. El procedimiento

de Farnsworth plantea que para puntuar una ficha determinada se calcula la suma de las distancias perceptuales entre esa ficha y la que le precede y le sigue en la ordenación realizada por el paciente. En el caso de una ordenación totalmente correcta la suma de mdps de cada ficha es de 2, debido a que la distancia entre cada una con sus vecinas inmediatas sería de 1 mdp. Debido a esto para obtener la puntuación final del test se debe restar a la suma calculada, el valor de 2 que constituye la mínima puntuación posible [42].

Para el método tradicional se recomienda realizar la prueba tres veces consecutivas mientras el examinador calcula y toma nota de los resultados. Para el diagnóstico se debe calcular el error total como la suma de las puntuaciones de cada ficha y los centros de gravedad para encontrar las regiones de mayor pérdida de discriminación cromática [42].

La tabla 1 ilustra los valores estándares de puntuación máxima normal al 95% de confianza, definidos por rango de edad. Estos datos facilitan el establecimiento del diagnóstico según el tiempo de vida del paciente [42].

Rango de edad	Puntuación máxima normal (95% confianza)	Raíz cuadrada del error	
		Media	Desviación estándar
10-14	193		1.85
15-19	122	6.63	1.91
20-29	107	5.69	2.07
30-39	133	6.71	2.90
40-49	188	8.23	2.44
50-59	234	8.68	2.64
60-69	268	9.57	2.44

*Tabla 1. Valores estándares de puntuación por rango de edad. Creada por el autor con información tomada de [42].*

## 1.6.2 TEST DE ISHIHARA

El test Ishihara fue diseñado por el Dr. Shinobu Ishihara, consiste en una prueba cualitativa utilizada para evaluar defectos cromáticos en la visión humana. Es altamente sensitivo para determinar problemas congénitos o defectos leves, debido a lo cual, es una de las pruebas más populares. Existen dos versiones de la prueba, que varían según la cantidad de imágenes utilizadas. La primera versión consta de 24 láminas pseudocromáticas, mientras que la segunda dispone de 38 [43].

El principio del test consiste en una matriz de puntos con diferentes tonos y tamaños, dispuestos en tales posiciones que conformen una imagen. Generalmente se representan formas numéricas, líneas o figuras. Si el sujeto al que se aplica la prueba no presenta alteraciones en el eje rojo-verde, podrá identificar las formas presentadas.

Ante los ojos de los pacientes con deficiencias en el eje mencionado, los puntos que conforman la imagen serán indistintos, debido a lo cual confundirán los colores adyacentes al patrón y no podrán distinguir las formas incluidas en las láminas [44].

En el test Ishihara, se distinguen cuatro tipos de láminas y cada una tiene una función determinada. Las láminas transformadas hacen que el observador de respuestas diferentes en función de la afección cromática visual que presente. Las láminas con número desaparecido hacen que solamente los observadores sin problemas de distinción cromática puedan distinguir el número presentado.

Otra clasificación son las láminas con dígito oculto, donde únicamente los observadores anómalos pueden ver el patrón. Finalmente, se dispone de las láminas cualitativas, estas tarjetas se utilizan para afinar el diagnóstico, determinando si se trata de una anomalía o de una enfermedad [45].

Para obtener una interpretación, lo más precisa posible durante la aplicación de la prueba, se requiere de un especialista en constante interacción con el paciente, para comprender la forma en que el sujeto visualiza las láminas. A continuación, la figura 2 representa cómo los diferentes tipos de deficiencias influyen en la interpretación y visualización de los patrones por parte del paciente.

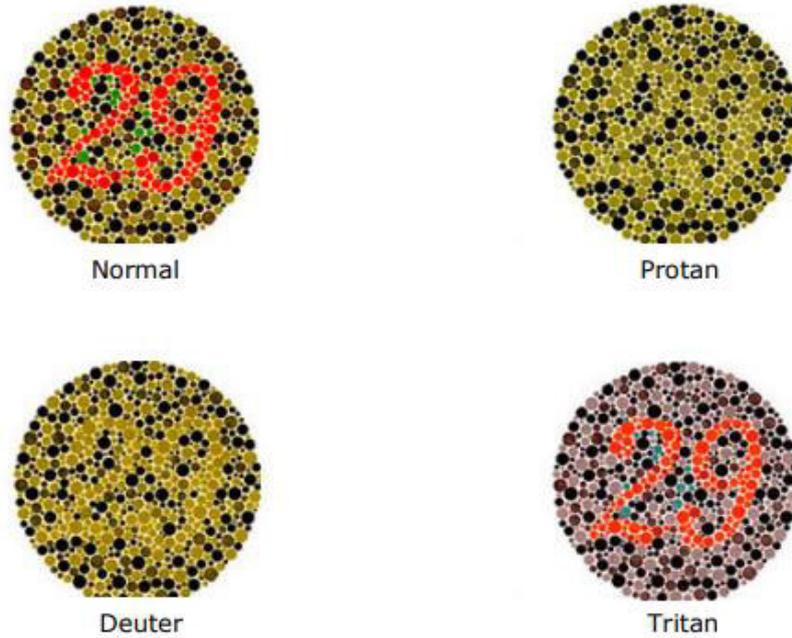


Figura 2. Diferentes formas de visualizar la misma imagen según la deficiencia. Tomado de [35].

### 1.6.2.1 DIAGNÓSTICO DEL TEST ISHIHARA

La numeración utilizada se corresponde con la numeración de las imágenes utilizadas en el test original, el cual se encuentra adjunto en la sección “4.4 Anexos” como “Anexo 1: Numeración de láminas de Ishihara”.

Para realizar un diagnóstico se debe considerar que las láminas de la 2 a la 15 determinan la normalidad o anormalidad de la visión cromática del sujeto evaluado. Las láminas restantes actúan como medio de confirmación para el diagnóstico generado. Los pacientes con visión cromática normal identifican las láminas de la 2 a la 9 correctamente. En cambio, si el paciente presenta alteraciones en la visión cromática, fallará más de 5 láminas durante la aplicación de las primeras 13 [44].

Con el fin de optimizar el diagnóstico por parte de los especialistas se ha generado la tabla 2 que muestra el criterio en base a las láminas en que el paciente falla.

Diagnóstico	Láminas de la prueba
Visión cromática normal	Identifican del 2 al 9 sin error.
Alteración en la visión cromática	Fallan más de 5 láminas durante las primeras 13 imágenes.

Deuteranomalía	<p>Fallan en las láminas 16, 17 y 18.</p> <p>Si es leve, en la lámina 16 lee el número 26, visualizando el 2 más claro. En la 17 lee el número 42, visualizando el 4 más claro y en la lámina 18 realiza el trazo visualizando mejor la línea morada respecto a la otra.</p> <p>Si no es leve, en la 16 solo lee el número 2 y en la 17 el número 4.</p>
Protanomalía	<p>Fallan en las láminas 16, 17 y 18.</p> <p>Si es leve, en la lámina 16, lee el número 26 visualizando el 6 más claro. Mientras que en la 17 lee el número 42 visualizando más claro el 2 y en la 18 solamente puede observar la línea morada.</p>
Deuteranope	<p>Falla en las láminas 16, 17 y 18.</p> <p>Si es leve, visualiza el trazo de la línea roja y no de la morada. Si no es leve, en la lámina 16 solo visualiza el número 2 y en la 17 solamente el número 4.</p>
Protanope	<p>Falla en la 16, 17 y 18.</p> <p>En la lámina 18 solo visualiza el trazo morado. En la lámina 16 solo lee el número 6 mientras que en la 17 solo visualiza el número 2.</p>
Daltónico	<p>No distingue las líneas en las láminas 19, 22 y 23.</p>

*Tabla 2. Diagnóstico en base a las láminas. Creado por el autor en base a la información de la página 59 de [44].*

## **1.7 RESUMEN DEL CAPÍTULO I**

Como resumen o conclusión fundamental del capítulo se puede confirmar la necesidad de auxiliar el diagnóstico del daltonismo ya que en la mayoría de las clínicas la evaluación manual conlleva un considerable tiempo en la atención de cada paciente, y como hemos observado en este apartado, es posible el uso de las herramientas digitales en el apoyo automático de la etapa de diagnóstico, siendo accesible para los profesionales de la oftalmología debido a la facilidad de empleo y utilidad práctica, ofreciendo ventajas en el cálculo y análisis evaluativo de cada paciente.

## **CAPÍTULO II:**

### **2 METODOLOGÍA**

Para el desarrollo del sistema propuesto, se ha optado por un enfoque iterativo e incremental basado en metodologías ágiles. Durante el proceso el oftalmólogo, que es el usuario final del sistema, actuará como sujeto de prueba, por lo que evaluará permanentemente el producto en desarrollo. Se establecerá especial interés en la experiencia de usuario para que el producto brinde satisfacción y aceptación con altos niveles de calidad [46].

Al ser un producto vinculado a la salud humana se debe obtener la mayor y mejor retroalimentación para crear un producto totalmente funcional y eficiente. Debido a lo cual se propone basarse en el Framework SCRUM para estar en constante interacción con los stakeholder . En este caso, el rol de stakeholder será asumido por una oftalmóloga y un neuro-oftalmólogo. Se seleccionó este tipo de proceso con el fin de obtener entregables funcionales en cortos períodos de tiempo para garantizar la adaptabilidad ante posibles cambios y mejorar la comprensión de los requerimientos [47].

El presente sistema se desarrolla con el objetivo de atender la problemática planteada y con el fin de brindar una alternativa eficiente, capaz de disminuir el tiempo invertido en la gestión de historias clínicas. Otro aspecto que se busca mejorar es el tiempo dedicado a la aplicación de las pruebas para detectar defectos de agudeza de visión y distinción cromática, así como una considerable disminución en el tiempo de organización de los recursos necesarios para aplicar dichas pruebas.

Con la implementación de este software, las clínicas oftalmológicas que lo utilicen dispondrán de beneficios estratégicos con respecto a sus competidores, debido que al mejorar el proceso que utilizan para gestionarse y realizar diagnósticos, también mejora directamente la calidad del servicio [48]. El uso de un sistema que agilice la gestión tanto de pruebas como de historias clínicas implica ventajas como un mejoramiento de la cultura organizacional respecto a las tecnologías de información, aumento de la capacidad de respuesta por parte de la clínica, mayor satisfacción laboral y el logro de los objetivos empresariales trazados por la organización con mayor eficacia [49].

En aras de garantizar la mayor satisfacción del usuario, se dispondrá de asesoría médica por parte de una especialista oftalmológica y de un neuro-oftalmólogo. Además, se tendrá

total acceso a un centro médico especializado en las prácticas vinculadas a la sección de las ciencias médicas descrita en el documento.

## **2.1 SCRUM**

SCRUM es un Framework capaz de flexibilizar el desarrollo de proyectos de desarrollo de software [50]. A continuación, se profundizará en aspectos del Framework Scrum, como su definición y enfoque, los artefactos que utiliza, los roles que intervienen y las diferentes etapas que la conforman.

### **2.1.1 DEFINICIÓN Y ENFOQUE**

La finalidad principal de SCRUM es realizar entregas de valor en cortos períodos de tiempo. Se basa en factores fundamentales como la transparencia, la inspección y la adaptación. Estos principios garantizan que todos los implicados en el proyecto conozcan sobre los avances obtenidos y unifiquen criterios. Facilita la inspección continua para garantizar la fluidez del trabajo realizado. Además, la variable adaptabilidad, permite la realización de cambios cuando sean necesarios con el fin de alcanzar los objetivos propuestos [51].

El elemento principal de los hitos de SCRUM es el sprint. Un sprint consiste en una iteración que se realiza durante el proyecto con el objetivo de general valor. Este tiene una duración máxima de un mes y el tiempo se determina según el nivel de comunicación que se decida establecer con el cliente.

### **2.1.2 ARTEFACTOS DE SCRUM**

Los artefactos en scrum son los elementos capaces de garantizar la transparencia, la coordinación y evitar posibles problemas de comunicación que deriven en un manejo erróneo de la información durante la entrega del proyecto [52].

Entre los artefactos, se tiene el Product Backlog, el cual consiste en una lista de que consta de todos los requerimientos necesarios para la elaboración del proyecto. Permite identificar las necesidades que surgen durante el proyecto, así como las mejoras capaces de agregar valor a las entregas. Es un artefacto cambiante, que puede estar en constante actualización según los avances o nuevos requerimientos [53].

El Sprint Backlog, es otro de los artefactos utilizados en Scrum. El cual se constituye por el conjunto de elementos seleccionados del product backlog para constituir el sprint actual. Permite definir los incrementos dentro del proyecto y alcanzar la meta establecida, conocida también como sprint goal [52].

Los incrementos o increments, son la sumatoria de todos los elementos pertenecientes al producto backlog que han sido completados durante los sprints anteriores. Los incrementos deben estar en condición de utilizarse, por lo que en esta categoría no se deben incluir prototipos, módulos, submódulos o aspectos que tengan pruebas pendientes [52].

### **2.1.3 ROLES DE SCRUM**

Los roles en scrum representan las funciones y responsabilidades asignadas a los involucrados en el proyecto. Se identifican tres roles principales, los cuales son el dueño del producto o producto owner, el equipo de desarrollo conocido como scrum team, y el líder también llamado scrum master [54].

El product owner cumple un rol fundamental en el proceso de scrum debido a que conoce la visión y las necesidades del proyecto, manteniendo el backlog identificando los requerimientos y estableciendo prioridades. Mientras que el scrum master, funciona como la conexión entre el dueño del producto y el equipo de desarrollo. Su principal función es guiar al product owner en la construcción de su visión, eliminando impedimentos y gestionando el proceso de scrum, para posteriormente transmitirle la información al scrum team. Su objetivo es promover la mejora continua además de desarrollar la planificación y conducir los daily meetings [55]. El equipo de desarrollo está compuesto por las personas que desarrollarán el producto de forma autoorganizada y autogestionada con el objetivo de entregar un incremento de software con la finalización de cada ciclo [56].

Para la puesta en práctica de Scrum los roles fueron distribuidos como se evidencia en la tabla 3. Para el rol de producto owner se tiene la colaboración de quienes ejercen el cargo de director y codirector de este proyecto, referentes a Ing. Marco Santorum y a Ing. Mayra Carrión respectivamente, quienes disponen de la experiencia necesaria para dirigir el proyecto.

Adicionalmente en este rol se incluye la labor de la Dra. Yoanka Gonzales, quien ha sido fundamental en el proyecto, proporcionando información respecto a tema oftalmológicos y referenciando a miembros de su personal médico para colaborar con el proyecto. En este caso, al tratarse de un proyecto de titulación desarrollado por un solo estudiante, el rol de Scrum Team fue desempeñado por el autor de este documento, Juan López, quien también desempeñó el rol de Scrum Master.

Rol:	Desempeñado por:
Product Owner	Ing. Marco Santorum Ing. Mayra Carrión Dra. Yoanka Gonzales
Scrum Master	Juan López
Scrum Team	Juan López

*Tabla 3. Roles definidos para aplicar Scrum. Creado por el autor.*

### **2.1.4 EVENTOS DE SCRUM**

En SCRUM se definen diferentes eventos o etapas basados en los sprints, como son la planeación del sprint (sprint planning), la reunión diaria (daily meeting), la revisión del sprint (sprint review) y la retrospectiva del sprint (sprint retrospective) [57]. La planificación del sprint consiste en una reunión donde el equipo de desarrollo define el trabajo que se realizará durante el sprint en cuestión. Específicamente, se definen las tareas a realizar y el objetivo del sprint actual. Esta reunión puede durar hasta 8 horas para un sprint de un mes, debido a la importancia de definir qué se va a hacer y cómo se va a llevar a cabo [51].

Diariamente se realiza el llamado “daily scrum”, el cual consiste en una reunión que tiene una duración máxima de 15 minutos. En la misma se involucra al equipo de desarrollo y al Scrum Master, no es necesaria la intervención del Product Owner en este caso. Durante la reunión se define lo que se realizó el día anterior, lo que se hará el día de hoy y los inconvenientes surgidos que requieren solución [57].

La revisión del sprint es el evento en el que se verifica lo que se entregará al cliente con la finalización del sprint. A esta reunión puede asistir el cliente, teniendo una duración de hasta 4 horas para sprints de un mes de duración. El cliente desarrolla un rol importante en este evento, validando los cambios realizados y brindando su retroalimentación para determinar las nuevas tareas que el Product Owner debe agregar al Product Backlog [58].

### **2.2 APLICACIÓN DE SCRUM**

El Framework Scrum propone cinco etapas principales conocidas como el inicio, la planificación y estimación, la implementación, la revisión y retrospectiva y finalmente el lanzamiento. Durante la etapa de inicio es importante definir visión del proyecto e identificar

a las personas según los roles antes mencionados, principalmente al Scrum Master y a los stakeholders. Durante la primera fase o etapa de inicio, se deben identificar las necesidades básicas del proyecto y del sprint. Además, en esta etapa se define la visión del proyecto y se identifican los diferentes roles.

En el desarrollo de esta fase, surgen las historias de usuarios conocidas como épicas, las cuales abarcan demasiado contenido por lo que posteriormente deben ser fragmentadas en historias de usuario de un tamaño adecuado para poder aplicar las técnicas del desarrollo ágil [59]. Una vez que se tengan desarrolladas las historias épicas, se procede a la creación del backlog para registrar los requerimientos de forma listada [60].

La planificación y estimación constituye la segunda fase, durante la cual se crean y estiman las historias de usuario. Es importante durante esta etapa, identificar las diferentes tareas a realizar para crear el Sprint Backlog. Se recomienda realizar una planificación y estimación de cada sprint, con la finalidad de establecer diferentes metas a cumplir en determinados plazos de tiempo.

Posteriormente toma inicio la tercera etapa, conocida como etapa de implementación. Durante esta fase comienza la generación de entregables, es común realizar actualizaciones sobre el backlog con la finalidad de darle prioridad a las historias de usuario que reflejan mayor valor para el producto. Durante esta etapa, Scrum plantea que se deben hacer las daily stand-up o reuniones diarias para verificar el trabajo realizado y el trabajo que se realizará.

La cuarta etapa, identificada como revisión y retrospectiva, implica realizar una revisión del proceso una vez que todo se encuentre implementado. Se trata de un proceso de autocrítica o evaluación interna en base al trabajo realizado. La principal tarea durante esta fase es demostrar y validar que lo definido para el sprint se haya cumplido de forma exitosa y generar una retrospectiva sobre el mismo.

La fase final, nombrada como lanzamiento, hace referencia a la conclusión o desenlace del proyecto. Durante esta etapa se incluye la entrega del producto, y se definen dos tareas fundamentales que se basan en el envío de los entregables y de la retrospectiva del proyecto [60]. A continuación se detalla cómo las etapas mencionadas anteriormente se aplicaron al desarrollo del presente proyecto [61].

## **2.2.1 ETAPA DE REQUERIMIENTOS**

Durante la primera etapa del proyecto se realizó un proceso de investigación basado en consultas bibliográficas con el objetivo de obtener una mejor idea sobre los requerimientos del tema. Este proceso sentó las bases del conocimiento necesarias para comprender la metodología para aplicar las pruebas de Ishihara y Farnsworth Munsell. Además, permitió la redacción de preguntas orientadas a formar parte de una futura entrevista estructurada con quien cumpliría el rol de Product Owner.

Para este tipo de entrevista se debe definir qué información se desea conocer, en base a lo cual se preparan las preguntas bajo un formato fijo y secuencial. Se recomienda compartir las preguntas con el entrevistado previo a la entrevista con la finalidad de que este pueda estructurar sus respuestas y contestarlas brevemente [62].

Esta etapa jugó un papel fundamental en la definición de roles. Para el rol de Product Owner, se requería alguien que conozca el giro del negocio, preferiblemente con conocimientos en el ámbito de la oftalmología y capaz de definir los aspectos imprescindibles para crear un producto final útil y de calidad. Bajo la visión planteada, se decidió que este rol debía ser desempeñado por un médico especializado en el tema, capaz de apoyar con sus conocimientos en la mejora continua del producto.

Debido a que el presente proyecto, se trata del trabajo de titulación del autor, el mismo actuó como Scrum Team, siendo el encargado de la implementación práctica y el desarrollo del sistema propuesto. El autor, debido a las circunstancias planteadas, también desempeñó el rol de Scrum Master con el objetivo de controlar el cumplimiento de la metodología, definiendo los trabajos a realizar por el Scrum Team y siendo el vínculo directo entre este y el Product Owner.

### **2.2.1.1 PROCESO DE LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS**

Como se mencionó anteriormente, esta etapa inició con un proceso de investigación que permitió la generación de preguntas. Mismas que fueron utilizadas en una posterior reunión con el Product Owner. En la figura 3 donde se recogen las principales preguntas que tuvieron lugar, como hilo conductor durante la, ya mencionada, entrevista.

**ENTREVISTA ESTRUCTURADA**

- 1) ¿Existe una metodología específica para la aplicación del Test de Farnsworth Munsell?
- 2) ¿Qué se considera indispensable para la aplicación del Test de Farnsworth Munsell?
- 3) ¿Es posible generar un diagnóstico automatizado del Test de Farnsworth Munsell?
- 4) ¿Qué criterios se deben tomar en cuenta para generar un diagnóstico automatizado tras la aplicación del Test de Farnsworth Munsell?
- 5) ¿Existe una metodología específica para la aplicación del Test de Ishihara?
- 6) ¿Es posible personalizar el Test de Ishihara?
- 7) ¿Es factible que el usuario pueda seleccionar las imágenes con las que desea evaluar el Test de Ishihara?
- 8) ¿Qué se considera indispensable para la aplicación del Test de Ishihara?
- 9) ¿Es posible generar un diagnóstico automatizado del Test de Ishihara?
- 10) ¿Qué criterios se deben tomar en cuenta para generar un diagnóstico automatizado tras la aplicación del Test de Ishihara?

*Figura 3. Entrevista estructurada. Creado por el autor.*

La entrevista finalizó permitiéndole al entrevistador obtener una mejor visión del proyecto y de los posibles requerimientos del proyecto. Entre las principales conclusiones obtenidas a partir de la respuesta se determinó que es posible y factible realizar cálculos basados en los resultados del Test de Farnsworth Munsell para así generar un diagnóstico de forma automática. En cambio, para el Test de Ishihara, no es factible generar un diagnóstico totalmente automatizado debido a que la valoración del experto durante la aplicación de la prueba constituye un factor de suma importancia para la generación de una conclusión sobre la visión cromática del paciente.

Posteriormente se realizaron dos entrevistas adicionales con un formato no estructurado, cuyo objetivo era comprender las necesidades básicas que debía suplir el sistema y obtener información para el desarrollo de requerimientos más específicos, como los tipos de datos registrados en las historias clínicas de los pacientes, la información que se desea almacenar del personal que interactúe con el sistema o incluso los datos que son fundamentales para un registros y los que se pueden colocar como información adicional de carácter opcional.

### 2.2.1.2 DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS

Las respuestas obtenidas en base a las preguntas planteadas facilitaron la generación de las historias de usuario épicas, de las cuales se adjuntan las más reseñables a continuación.

- Yo como usuario del sistema deseo realizar las pruebas de Ishihara y Farnsworth para generar un diagnóstico sobre el estado de mi visión cromática.
- Yo como usuario del sistema deseo registrar información del personal médico y de los pacientes para mantener un control sobre los mismos.
- Yo como usuario del sistema deseo llenar un formato de historia clínica para registrar la atención dada a cada paciente.

Las épicas fueron desarrolladas como historias de usuario independientes posteriormente, permitiendo la creación del backlog o lista de requerimientos. Para este proceso fueron fundamentales las tres entrevistas iniciales mencionadas anteriormente, siendo una estructurada y las dos posteriores no estructuradas.

El backlog se adjunta como anexo al documento como "Anexo 2: Sprint Backlog", sin embargo, a continuación, se mencionan las principales historias de usuario generadas a partir de las épicas y de las entrevistas no estructuradas realizadas posteriormente.

Referentes a las pruebas propuestas dentro del sistema, se pueden mencionar las historias de usuarios siguientes:

Respecto a la gestión y el acceso se puede observar la figura 4:

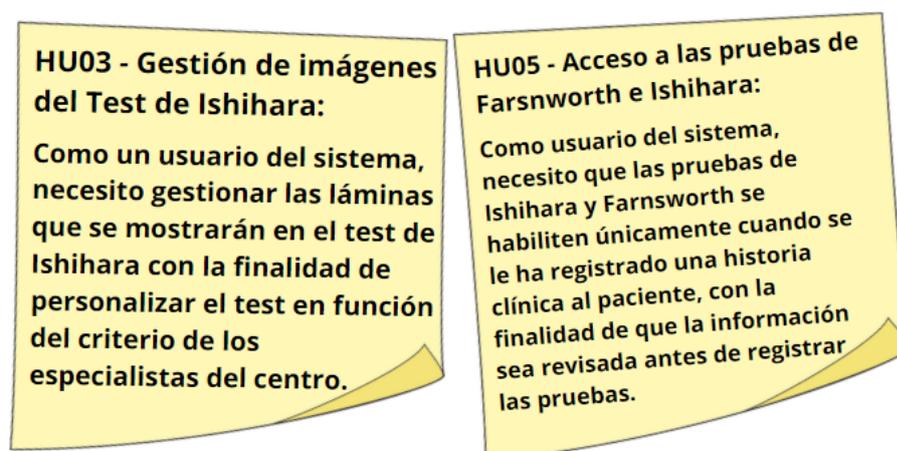


Figura 4. HU03 y HU05. Creado por el autor.

Para la historia con código HU03 referente a la gestión de imágenes del Test de Ishihara se definen los siguientes criterios de aceptación adjuntos en la tabla 4.

Escenario (#)	Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado / Comportamiento esperado
1	Visualización del personal médico.	En caso de que se requiera ver la información de varios miembros del personal.	Cuando se despliegue la pantalla del personal médico.	El sistema mostrará una tabla con información distintiva de cada miembro del personal.
2	Visualización de la información de un miembro del personal	En caso de que se requiera ver la información de un solo miembro del personal médico.	Cuando se acceda a la vista de edición de un miembro del personal médico.	El sistema desplegará un formulario con la información del miembro del personal médico seleccionado.
3	Edición de un miembro del personal médico.	En caso de que se requiera editar la información de un miembro del personal.	Cuando se acceda a la vista de edición de un miembro del personal médico.	El sistema desplegará un formulario con la información del miembro del personal médico seleccionado y disponible para ser editado.
4	Eliminación de un miembro del personal médico.	En caso de que se requiera eliminar a un miembro del personal del sistema.	Cuando se seleccione la opción eliminar en la pantalla de visualización de los miembros del personal médico.	El sistema mostrará un mensaje de confirmación, que de ser positivo deshabilitará al personal médico del sistema. En caso de ser negativo la acción será cancelada.

*Tabla 4. Criterios de aceptación para HU03. Creado por el autor.*

Mientras que los criterios de aceptación definidos para la historia de usuario con código HU05 referente al acceso a las pruebas, tanto de Farnsworth como de Ishihara, se encuentran registrados en la tabla 5.

Escenario (#)	Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado / Comportamiento esperado
1	Completar una historia clínica.	En caso de que no se visualice el botón de acceso a las pruebas.	Cuando se complete la historia clínica y sea guardada.	El sistema mostrará el botón de acceso a las pruebas de Ishihara y Farnsworth.
2	Habilitar el acceso a las pruebas de Ishihara y Farnsworth.	En caso de que se visualice el botón de acceso a las pruebas.	Cuando se seleccione la opción que abre la ventana de las pruebas de Ishihara y Farnsworth.	El sistema desplegará la pantalla de las pruebas de Ishihara y Farnsworth.

Tabla 5. Criterios de aceptación para HU05. Creado por el autor.

Respecto a la aplicación y calificación de la prueba de Ishihara se plantean las historias de usuario recogidas en la figura 5:

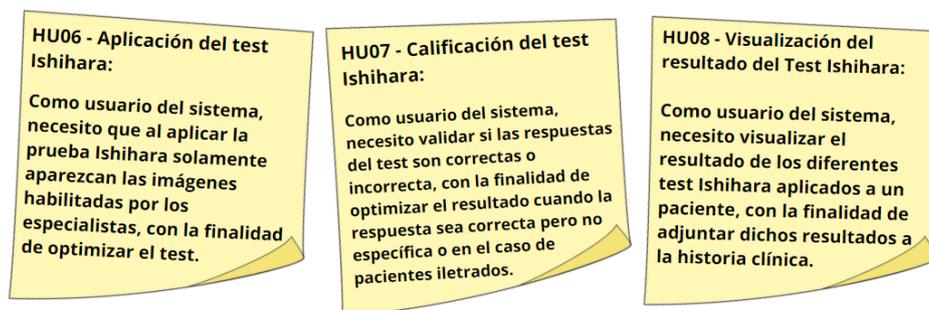


Figura 5. HU06, HU07 y HU08. Creado por el autor.

La tabla 6 resume el criterio de aceptación definido para la historia de usuario con código HU06 relacionada específicamente con el test de Ishihara.

Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado / Comportamiento esperado
Aplicación de la prueba Ishihara	En caso de que se requiera aplicar la prueba de Ishihara.	Cuando se seleccione la opción de la prueba de Ishihara.	El sistema desplegará las imágenes que se encuentran habilitadas para la prueba Ishihara.

Tabla 6. Criterios de aceptación para HU06. Creado por el autor.

Mientras que para la historia de usuario con código HU07 relacionada con la calificación de la prueba de Ishihara se definen los siguientes escenarios con sus respectivos criterios de aceptación adjuntos en la tabla 7.

Escenario (#)	Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado / Comportamiento esperado
1	Aparición de una respuesta correcta como referencia.	En caso de que el personal que aplica la prueba tenga deficiencias en la visión cromática y necesite confirmar cuál es la respuesta correcta.	Cuando el test de Ishihara sea finalizado.	El sistema desplegará la respuesta correcta esperada.
2	Calificación de la respuesta dada por el paciente.	En caso de que el paciente no disponga de los conocimientos necesarios sobre el alfabeto o la forma de los números, o se requiera describir un camino específico en la figura.	Cuando el test de Ishihara sea finalizado.	El sistema desplegará las opciones para seleccionar si las respuestas ingresadas fueron correctas o incorrectas.

*Tabla 7. Criterios de aceptación para HU07. Creado por el autor.*

Para la historia de usuario con código HU08 referente a la visualización del resultado del Test de Ishihara, se definen los criterios de aceptación registrados en la tabla 8.

Escenario (#)	Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado / Comportamiento esperado
1	Aparición de las pruebas adjuntas a la historia clínica.	En caso de que existan pruebas realizadas asociadas a la historia clínica.	Cuando se hayan guardado pruebas de Ishihara o Farnsworth, asociadas a la historia clínica.	El sistema desplegará el resultado de las pruebas previamente realizadas al final de la historia clínica.

2	Despliegue de la historia clínica sin pruebas adjuntas.	En caso de que no existan pruebas realizadas asociadas a la historia clínica.	Cuando la historia clínica sea nueva o no disponga de pruebas realizadas.	El sistema desplegará la historia clínica y no se mostrarán pruebas adjuntas.
---	---	---	---	---

Tabla 8. Criterios de aceptación para HU08. Creado por el autor.

Respecto a la aplicación y calificación del Test de Farnsworth se tienen las dos historias de usuarios que se adjuntan en la figura 6, cuyos códigos son HU09 y HU10, respectivamente. Estas hacen referencia tanto a la aplicación del test de Farnsworth como a la visualización de los resultados:

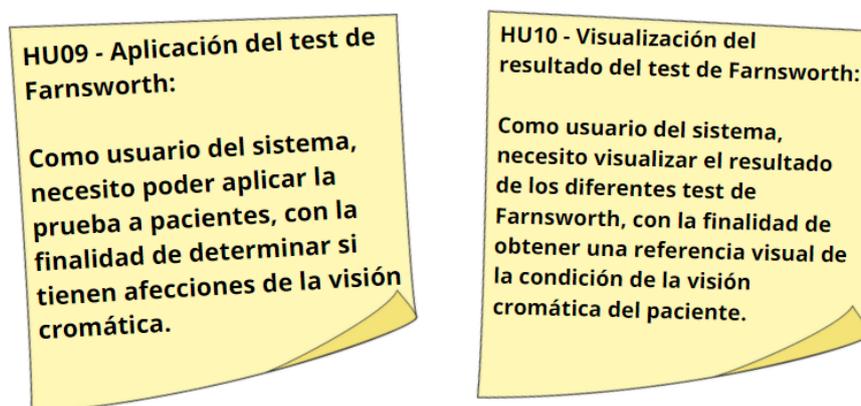


Figura 6. HU09 y HU10. Creado por el autor.

A continuación, se definen cuatro escenarios para la historia de usuario con código HU09, dirigida a la aplicación del test de Farnsworth. Adicionalmente se adjuntan los criterios de aceptación establecidos para cada escenario definidos en la tabla 9.

Escenario (#)	Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado / Comportamiento esperado
1	Aplicación de la prueba de Farnsworth a un paciente	En caso de que se requiera determinar si el paciente tiene problemas en la visión cromática en base al test de Farnsworth.	Cuando sea seleccionada la opción del test de Farnsworth.	El sistema finalizará la prueba de Farnsworth.

2	Aplicación de la prueba de Ishihara a un paciente	En caso de que se requiera determinar si el paciente tiene problemas en la visión cromática en base al test de Ishihara.	Cuando sea seleccionada la opción del test de Ishihara.	El sistema finalizará la prueba de Ishihara.
3	Mostrar los resultados obtenidos al finalizar la prueba de Farnsworth.	En caso de que sea finalizada una prueba de Farnsworth.	Cuando sea finalizado el test de Farnsworth.	El sistema emitirá un prediagnóstico como resultado.
4	Mostrar los resultados obtenidos al finalizar la prueba de Ishihara.	En caso de que sea finalizada una prueba de Ishihara.	Cuando sea finalizado el test de Ishihara.	El sistema emitirá un prediagnóstico y el conteo de imágenes correctas e incorrectas como resultado.

*Tabla 9. Criterios de aceptación para HU09. Creado por el autor.*

Para la comprensión de los resultados obtenidos tras la aplicación del test de Farnsworth se requiere de una visualización intuitiva y entendible, lo cual se define en la historia de usuario con código HU10. A continuación se adjunta la tabla 10, donde se incluyen dos escenarios relacionados con esta historia de usuario

Escenario (#)	Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado / Comportamiento esperado
1	Despliegue de los resultados obtenidos al finalizar un test de Farnsworth.	En caso de que un test de Farnsworth sea finalizado.	Cuando se selecciona la opción de finalizar el test de Farnsworth.	El sistema generará una visualización gráfica de los resultados obtenidos representados en una secuencia cromática.

2	Despliegue de los resultados obtenidos adjuntos en la historia clínica.	En caso de que una historia clínica contenga diferentes resultados de pruebas de Farnsworth.	Cuando se acceda a una historia clínica que contiene resultados de pruebas de Farnsworth.	El sistema adjuntará los resultados con su respectiva representación gráfica según las fechas en que fueron realizadas.
---	---	--	---	---

Tabla 10. Criterios de aceptación para HU10. Creado por el autor.

En base a la segunda época referente al registro de información del personal y de los pacientes, se desarrollaron las siguientes historias de usuario, adjuntas en la figura 7:

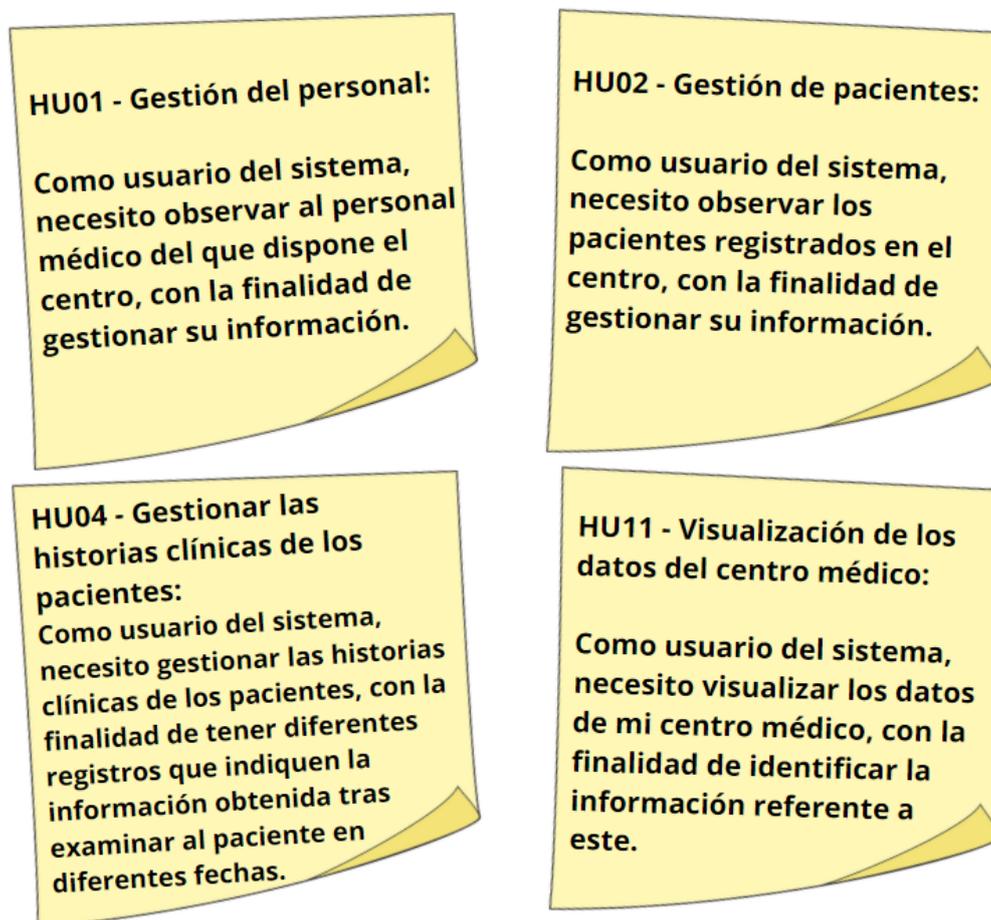


Figura 7. HU01, HU02, HU04 y HU11. Creado por el autor.

Uno de los principales módulos del sistema hace referencia a la gestión del personal, lo cual se detalla en la historia de usuario con código HU01 cuyos criterios de aceptación se registran en la tabla 11.

Escenario (#)	Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado / Comportamiento esperado
1	Visualización del personal médico.	En caso de que se requiera ver la información de varios miembros del personal.	Cuando se despliegue la pantalla del personal médico.	El sistema mostrará una tabla con información distintiva de cada miembro del personal.
2	Visualización de la información de un miembro del personal	En caso de que se requiera ver la información de un solo miembro del personal médico.	Cuando se acceda a la vista de edición de un miembro del personal médico.	El sistema desplegará un formulario con la información del miembro del personal médico seleccionado.
3	Edición de un miembro del personal médico.	En caso de que se requiera editar la información de un miembro del personal.	Cuando se acceda a la vista de edición de un miembro del personal médico.	El sistema desplegará un formulario con la información del miembro del personal médico seleccionado y disponible para ser editado.
4	Eliminación de un miembro del personal médico.	En caso de que se requiera eliminar a un miembro del personal del sistema.	Cuando se seleccione la opción eliminar en la pantalla de visualización de los miembros del personal médico.	El sistema mostrará un mensaje de confirmación, que de ser positivo deshabilitará al personal médico del sistema. En caso de ser negativo la acción será cancelada.

*Tabla 11. Criterios de aceptación para HU01. Creado por el autor.*

Otro apartado de suma importancia en el sistema está constituido por los pacientes y, por ende, su gestión. Esto hace que sea fundamental el acceso a la información de los mismos, para lo cual se define la historia de usuario con código HU02 referente a la gestión de pacientes, para la cual se definen a continuación cuatro escenarios con sus respectivos criterios de aceptación recogidos en la tabla 12.

Escenario (#)	Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado / Comportamiento esperado
1	Visualización de los pacientes.	En caso de que se requiera ver la información de varios pacientes.	Cuando se despliegue la pantalla de los pacientes.	El sistema mostrará una tabla con información distintiva de cada paciente.
2	Visualización de la información de un paciente.	En caso de que se requiera ver la información de un solo paciente.	Cuando se acceda a la vista de edición de un paciente.	El sistema desplegará un formulario con la información del paciente seleccionado.
3	Edición de la información de un paciente.	En caso de que se requiera editar la información de un paciente.	Cuando se acceda a la vista de edición de un paciente.	El sistema desplegará un formulario con la información del paciente seleccionado y disponible para ser editado.
4	Eliminación de un paciente.	En caso de que se requiera eliminar a un paciente del sistema.	Cuando se seleccione la opción eliminar en la pantalla de visualización de los pacientes.	El sistema mostrará un mensaje de confirmación, que de ser positivo deshabilitará al paciente del sistema. En caso de ser negativo la acción será cancelada.

*Tabla 12. Criterios de aceptación para HU02. Creado por el autor.*

Vinculado a los datos del paciente, se encuentra la historia clínica. La que constituye un pilar fundamental en la lógica del sistema. Para la gestión de estas se define la historia de usuario con código HU04, la cual dispone de cuatro escenarios indicados en la tabla 13.

Escenario (#)	Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado / Comportamiento esperado
1	Visualización de las historias clínicas de un paciente.	En caso de que se requiera ver la información de varias historias clínicas de un paciente.	Cuando se despliegue la pantalla de las historias clínicas de un paciente.	El sistema mostrará una tabla con información distintiva de cada historia clínica de un paciente.
2	Visualización de la información de una historia clínica en específico, de un paciente.	En caso de que se requiera ver la información de una sola historia clínica de un paciente.	Cuando se acceda a la vista de edición de una historia clínica de un paciente.	El sistema desplegará un formulario con la información de la historia clínica seleccionada.
3	Edición de la información de una historia clínica de un paciente.	En caso de que se requiera editar la información de una historia clínica de un paciente.	Cuando se acceda a la vista de edición de una historia clínica de un paciente.	El sistema desplegará un formulario con la información de la historia clínica seleccionada y disponible para ser editada.
4	Eliminación de una historia clínica de un paciente.	En caso de que se requiera eliminar una historia clínica de un paciente.	Cuando se seleccione la opción eliminar en la pantalla de visualización de las historias clínicas de un paciente.	El sistema mostrará un mensaje de confirmación, que de ser positivo deshabilitará la historia clínica seleccionada del sistema. En caso de ser negativo la acción será cancelada.

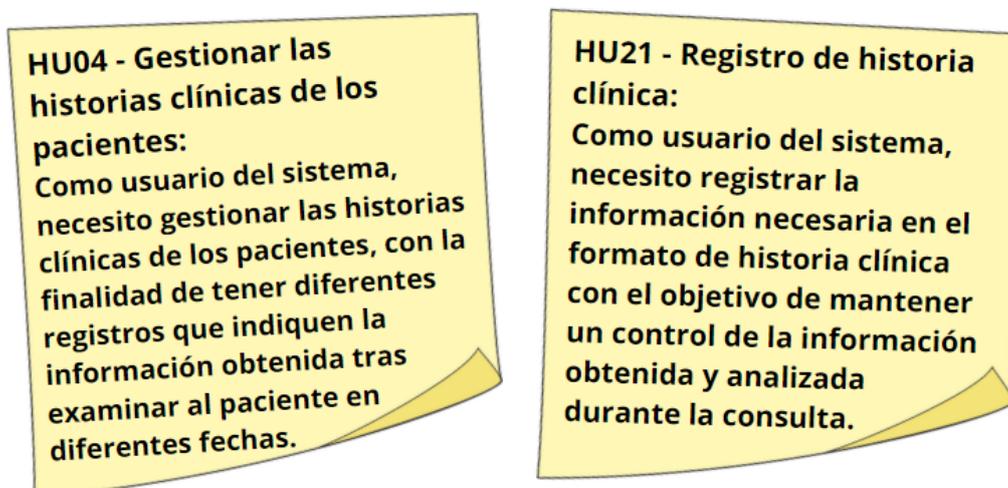
Tabla 13. Criterios de aceptación para HU04. Creado por el autor.

Para concluir con la fragmentación de segunda época, se dispone de la historia de usuario con código HU11, la cual está dedicada a la visualización de la información referente a los centros médicos. Para este caso se define un escenario con el criterio de aceptación definido en la tabla 14.

Escenario (#)	Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado / Comportamiento esperado
1	Despliegue de la información referente al centro médico.	En caso de que se requiera consultar la información de un centro médico.	Cuando se selecciona la opción de Centro Médico en el menú desplegable.	El sistema desplegará la vista que contiene la tabla con la información del centro médico.

*Tabla 14. Criterios de aceptación para HU11. Creado por el autor.*

La tercera época abarca el tema de las historias de usuario de forma general. Por lo cual se decidió definirla bajo dos historias de usuarios, las cuales se evidencian en la figura 8, bajo los códigos HU04, la cual fue mencionada anteriormente, y HU21. Esta última plantea la necesidad del usuario de guardar los registros de las historias clínicas. Entre la información que debe ser guardada en la historia clínica se incluye la siguiente: nombre, teléfono, edad, ocupación, fecha, dirección, motivo de la consulta, valores de lensometría, esferas, cilindros, ejes, prismas y agudeza visual referente al ojo izquierdo como al derecho.



*Figura 8. HU04 y HU21. Creado por el autor.*

Para la historia de usuario con código HU21 se define el criterio de aceptación compuesto por el escenario descrito en la tabla 15.

Escenario (#)	Criterio de aceptación	Contexto	Evento	Resultado / Comportamiento esperado
1	Despliegue del formulario de historia clínica.	En caso de que se requiera llenar la historia clínica de un paciente.	Cuando se seleccione la opción de Historia Clínica en la tabla de visualización de pacientes.	El sistema desplegará el formulario de historia clínica con la información del paciente seleccionado.

*Tabla 15. Criterios de aceptación para HU21. Creado por el autor.*

Finalmente, cabe mencionar que, debido al uso de Scrum, este proceso de requerimientos se mantuvo en mejora continua durante todo el tiempo restante del proyecto. La causa de este hecho se basa en las reuniones conocidas como sprint retrospective o retrospectiva del sprint, durante las cuales se podían generar actualizaciones de los requerimientos con el objetivo de optimizar el backlog en general y los requerimientos que serían abarcados durante el siguiente sprint.

### **2.2.1.3 RESTRICCIONES DEL SISTEMA**

Durante las entrevistas realizadas para el proceso de levantamiento de requerimientos y construcción del backlog fue muy importante definir las restricciones del sistema con el objetivo de optimizar el proceso de desarrollo. Durante la interacción con especialistas se determinó que, en base a valores como la edad del paciente y la puntuación obtenida posteriormente a la aplicación del Test de Farnsworth Munsell, es posible y factible generar un diagnóstico automatizado.

El diagnóstico generado debe basarse en las variables propuestas por el científico que da nombre a esta prueba, las cuales, además, fueron citadas anteriormente en el apartado "1.6.1 Test de Farnsworth Munsell". Dicho diagnóstico debe ser editable con el objetivo de que el especialista pueda modificarlo para optimizarlo, ya sea agregando información relevante obtenida durante la aplicación de la prueba o suprimiendo datos innecesarios.

Respecto al Test de Ishihara, se debe generar un diagnóstico posterior a la aplicación de la prueba. Sin embargo, dicho diagnóstico debe basarse únicamente en los tonos presentes en la imagen. La aplicación de esta prueba no clasificará el tipo de daltonismo presente en

la visión cromática del paciente debido a que las imágenes pueden ser editadas según el número de láminas deseadas o el orden de las mismas con el objetivo de permitir que la prueba sea personalizada según los requerimientos del centro médico. Debido a esto se recomienda que, en caso de requerirse un diagnóstico más específico, la prueba sea aplicada por un experto capaz de interactuar con el paciente para determinar que patrones logra identificar o que partes de las imágenes requieren un mayor esfuerzo por parte del sujeto.

El sistema no tendrá un módulo de agendamiento de citas, sin embargo, si dispondrá de una bitácora y una sección de recordatorios. Ambas secciones serán de uso opcional siempre y cuando el personal médico desee mantener un control de las consultas que ha realizado o de las que se encuentran pendientes, canceladas o incluso eliminadas. Es importante que el personal médico no visualice las consultas eliminadas, no obstante, esta información puede ser accedida a través de usuarios con permisos de administrador o superiores.

### **2.2.2 ETAPA DE DISEÑO**

Previo a la etapa de implementación se define una etapa dedicada a todo lo referente al diseño. Esta fase es de suma importancia debido a que permite manejar la complejidad del proyecto y disminuir el riesgo de realizar procesos de desarrollo erróneos [63]. Los resultados generados durante esta etapa permiten a los involucrados en el proyecto obtener una visión más específica de cómo serán los entregables generados durante la etapa de implementación, además, constituyen una referencia fundamental para el equipo de programación debido a que les permite sentar las bases para el diseño tanto visual como funcional de las interfaces.

En base a los criterios y resultados obtenidos durante la etapa de requerimientos, se procede con el diseño de los aspectos necesarios para el desarrollo exitoso del proyecto. A continuación, en el presente apartado se tratarán temas como el diseño de la arquitectura del sistema, de los servidores frontend y backend, de la base de datos, los servicios y las interfaces. En el caso de estas últimas se adjuntará el diseño inicial y la respectiva comparación con el diseño finalizado y optimizado bajo los principios de las heurísticas de usabilidad propuestas por Nielsen.

### 2.2.2.1 DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Para el desarrollo del sistema en cuestión se utilizó la arquitectura reflejada en la figura 9. El sistema dispone de una base de datos MySQL que se encuentra almacenada en un contenedor de Docker. Otro factor clave es el servidor backend que posee tecnologías de NodeJs y SailsJs, y se conecta a la base de datos mediante DBeaver. Para consumir los recursos brindados por el backend, se implementó un servidor frontend con tecnologías como TypeScript y Angular. Como elemento final en la arquitectura se tiene un dispositivo terminal que actuará como cliente y permitirá a los usuarios interactuar con el sistema.

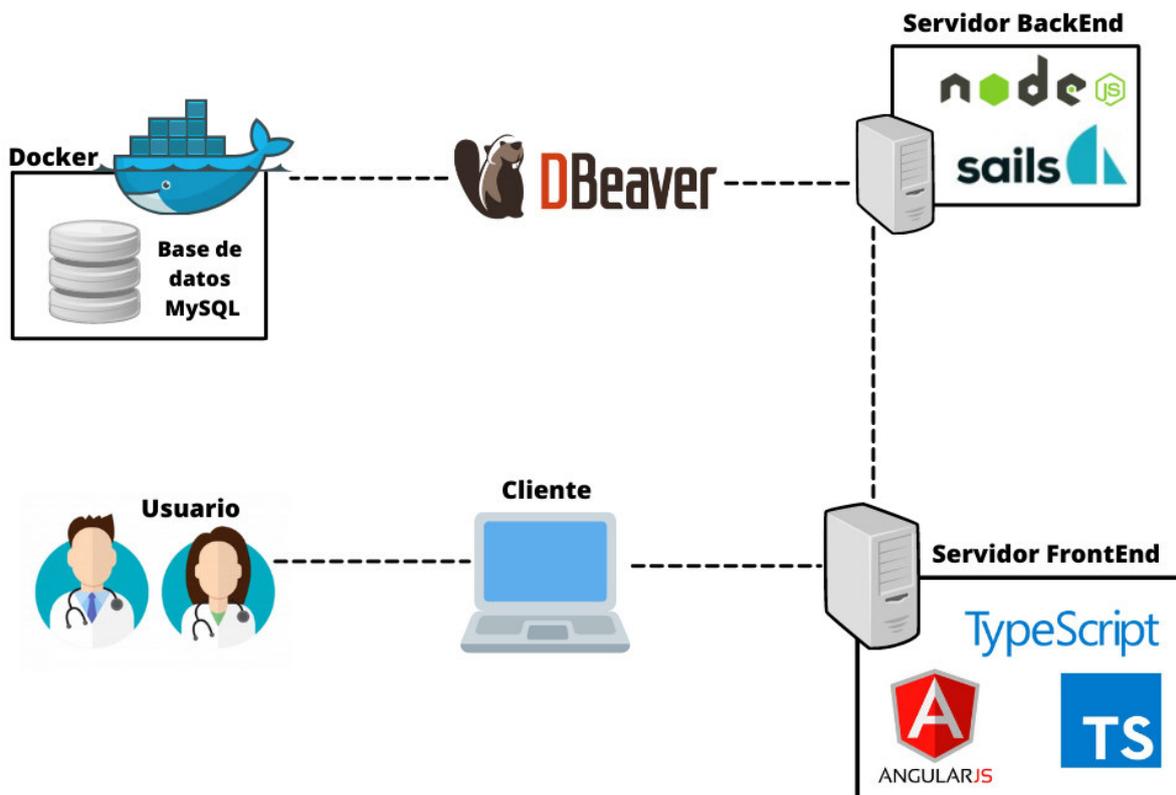


Figura 9. Arquitectura del sistema. Creado por el autor.

### 2.2.2.2 SERVIDOR FRONTEND

En la arquitectura propuesta, el servidor frontend hace referencia a la parte visual de la aplicación web, constituye lo que se muestra a los usuarios y con lo que estos interactúan. En este servidor se definen las interfaces, la estructura y la lógica necesaria para el correcto funcionamiento del sistema. A continuación, se especifican las tecnologías utilizadas para implementar el servidor frontend.

Existen diferentes tecnologías que pueden ser utilizadas en un servidor frontend, en su gran mayoría y en este caso, se requiere de HTML. Este es un lenguaje de marcado de hipertexto, nombrado por sus siglas en inglés HyperText Markup Language [64]. Este lenguaje se utiliza para definir el contenido de un sitio web como texto, imágenes, enlaces, vídeos, listas y otros elementos. Para complementar las estructuras web creadas con HTML se utiliza CSS, conocido como hojas de estilo en cascada o como Cascading Style Sheets. CSS es el estilo utilizado para la presentación del contenido en páginas y aplicaciones web, capaz de mejorar la estructura visual mediante proporcionando estilos al documento HTML [65].

Con el objetivo de mejorar y optimizar los tiempos de programación en el uso de tecnologías como HTML y CSS, surge y se ha implementado Bootstrap, el cual es un framework utilizado para el desarrollo web debido a que permite crear interfaces y elementos con CSS y JavaScript. Su amplia documentación facilita su aprendizaje, además de que se puede utilizar en conjunto con CSS nativo para crear nuevos elementos y estilos para el documento HTML [66].

Es muy común utilizar JavaScript, el cual es un lenguaje de programación que permite implementar funcionalidades de mayor complejidad en ambientes de desarrollo web y otros entornos host [67]. Sin embargo, JavaScript ha presentado diferentes problemas para bases de códigos extensas, aplicaciones de gran escala y proyectos pronosticados para varios años de desarrollo. Debido a esta situación surge en 2012 TypeScript, como una solución brindada por Microsoft para el desarrollo de aplicaciones de gran magnitud con Javascript [68]. Desde su origen, TypeScript ha sido un lenguaje para JavaScript, capaz de agregar herramientas para aplicaciones adaptables a cualquier navegador. TypeScript se compila en JavaScript, facilitando el manejo de errores y la escalabilidad del código [69].

Es posible obtener ciertos beneficios durante la generación del código, como el incremento de la velocidad de desarrollo, la reducción de errores en tiempo de programación y la implementación de librerías, plugins y extensiones [70]. Estas ventajas son proporcionadas al utilizar un framework de desarrollo, para este proyecto se utilizó AngularJS. Este, es un framework opensource desarrollado por Google para facilitar la creación de aplicaciones web. AngularJS evita la repetición de código, es modular, escalable y utiliza TypeScript como lenguaje principal de programación [71].

### **2.2.2.3 SERVIDOR BACKEND**

Como elemento fundamental de la arquitectura utilizada, se tiene el servidor backend, implementado mediante tecnologías como NodeJS y SailsJS. El backend hace referencia a la capa de acceso de datos en aplicaciones o dispositivos donde los usuarios no tiene un acceso directo a la información. Este servidor procesa las peticiones realizadas por el servidor frontend y maneja tanto los datos recibidos como los que debe enviar [72].

NodeJS es un entorno de tiempo de ejecución multiplataforma basado en JavaScript, lenguaje también utilizado en servidores backend. NodeJS se controla mediante eventos, y diseñado para el desarrollo de aplicaciones escalables con múltiples conexiones [73]. La popularidad de NodeJS se debe a las diferentes ventajas que proporciona, como la velocidad en términos de ejecución de código. El uso de APIs asíncronas y sin bloqueos permite optimizar las peticiones. Esto se debe a que el mecanismo de eventos de NodeJS hace que la petición sea enviada y continúe a la siguiente API, mientras que el mecanismo de notificación de eventos avisa al servidor cuando se haya obtenido la respuesta de la primera solicitud sin detener la segunda [74].

NodeJS dispone de diferentes frameworks debido a su popularidad. Para el desarrollo del presente proyecto se utilizó Sails.js que está realizado bajo el framework Express. Proporciona el manejo de peticiones en tiempo real mediante Socket.io y métodos para la creación de APIs basadas en el estándar RESTful [75]. Dicho estándar hace referencia al acrónimo REpresentational State Transfer y ha sido adaptado para manejar un uso estandarizado de los métodos utilizados para las peticiones web [76]. La principal ventaja del uso de Sails.js es que permite automatizar una gran parte del proceso de desarrollo y su principio "Loose Coupling" facilita el uso de componentes opcionales que pueden ser integrados a los proyectos para realizar una configuración rápida, efectiva y óptima del servidor backend [77].

### **2.2.2.4 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS**

Una base de datos se define como una colección organizada de información estructurada que suele almacenarse de forma electrónica. Usualmente las bases de datos son operadas mediante un sistema de gestión de bases de datos (DBMS). Al combinar datos, DBMS y aplicaciones que interactúan con los datos surge lo que se conoce como sistema de base de datos [78]. Las bases de datos permiten operar sobre los datos mediante las acciones de actualización, creación, visualización y eliminación [79].

La mayoría de las organizaciones utilizan el modelo relacional debido a que se puede utilizar siempre que los datos mantengan cierta relación entre sí. Los requerimientos del presente proyecto de titulación conllevaron al uso de una base de datos relacional, la cual es capaz de almacenar grandes volúmenes de datos, manteniendo las respectivas relaciones entre los mismos.

Las bases de datos relacionales son representadas mediante tablas donde las columnas representan los atributos de los datos y las filas los valores de cada atributo. Cada fila constituye un registro, al que se le atribuye un valor de identificador único (ID) [80].

Los diagramas o modelos entidad-relación constituyen una forma muy popular para la representación de las bases de datos relacionales. Se basa en la estructura de un diagrama de flujo capaz de representar como las entidades se relacionan entre sí en un mismo sistema.

En un diagrama entidad-relación las entidades son representadas mediante tablas y los atributos mediante las filas de la tabla de la entidad. Las relaciones se representan mediante líneas con extremos característicos para identificar el tipo de relación [81].

Existen tres tipos principales de relaciones entre las tablas de una base de datos relacional, entre las que se encuentra la relación unívoca o única para referirse a tablas que solo mantienen un registro en cada lado de la relación. Mientras que la relación de muchos a muchos o de varios a varios es utilizada para indicar que un registro de una de las tablas de la relación puede tener muchos registros asociados en la otra tabla y viceversa.

Otro tipo importante de relación surge cuando un registro de una tabla puede tener muchos registros en la otra tabla de la relación, pero no el caso contrario, en este caso se conoce como relación de uno a varios o de uno a muchos [82].

A continuación, en la figura 10 se puede observar el diagrama relacional utilizado para representar la base de datos utilizada en el presente proyecto. En dicho diagrama se aprecia el rol central de la tabla referente al centro médico, que mantiene relaciones de uno a varios con las tablas dedicadas a pacientes, personal e imágenes de la prueba de Ishihara.

Adicionalmente se dispone de la tabla dedicada a las consultas, para vincular al personal médico con un paciente. Esta última tabla constituye la base fundamental para establecer el apartado de recordatorios y la bitácora de consultas dentro del sistema.

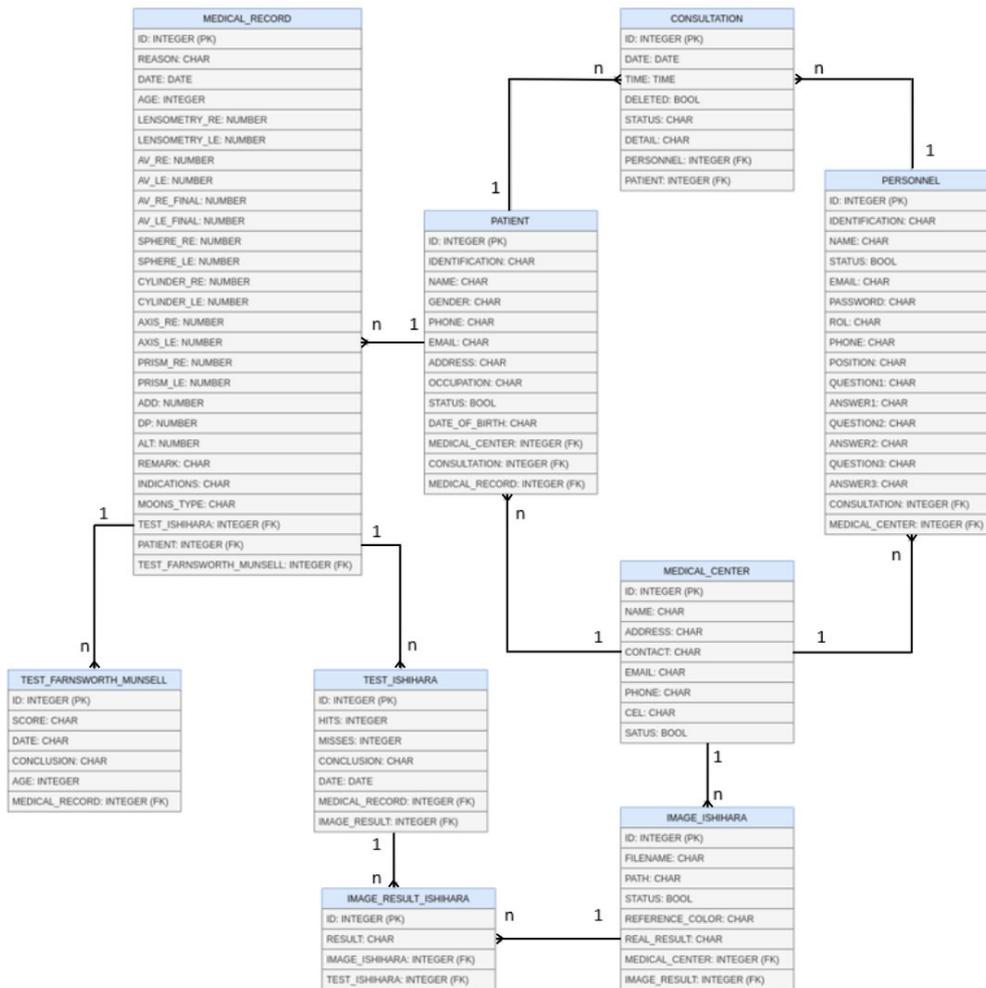


Figura 10. Diagrama de la base de datos. Creado por el autor.

La tabla con mayor cantidad de atributos hace referencia a la historia clínica, por lo que se relaciona directamente con los pacientes, debido a que estos pueden tener muchos registros en su historia clínica. Adicionalmente, dicha tabla se relaciona con ambas pruebas, tanto la de Farnsworth Munsell como la de Ishihara, debido a que los resultados de las mismas y la fecha en la que se aplican tienen una relación directa con el registro generado dentro de la historia clínica del paciente.

### 2.2.2.5 SERVICIOS REST

Para la integración del servidor frontend con el servidor backend, se utilizará una interfaz de programación de aplicaciones, más conocida como API (Application Programming Interfaces) desarrollada por el autor. Una API consiste en un conjunto de protocolos y definiciones con la capacidad de integrar diferentes aplicaciones a través de servicios [83]. Una API permite habilitar el acceso a los recursos que la misma contiene, mientras mantiene la seguridad y el control sobre estos.

En el actual proyecto se generó una API en el servidor backend la cual recibe solicitudes del servidor frontend y devuelve los recursos solicitados en formato JSON. Un JSON, nombrado así por sus siglas en inglés JavaScript Object Notation, constituye un formato ideal para el intercambio de datos. Además, su lectura y escritura es bastante fácil de comprender por los usuarios, así como es simple para el análisis y la generación mediante máquinas [84].

Para generar la API se utilizó el estándar REST, así es como se le conoce a cualquier interfaz capaz de relacionar sistemas, de forma que se utilicen el protocolo HTTP para la obtención de datos o la generación de operaciones sobre los mismos [85]. HTTP es el protocolo de transferencia de hipertexto (Hypertext Transfer Protocol) el cual permite el intercambio de información mediante documentos hipermedia como HTML. El propósito de su diseño fue la comunicación entre navegadores y servidores web por lo que se basa en el clásico modelo cliente-servidor [86].

REST es capaz de crear una petición (REQUEST) a un servidor, enviando toda la información necesaria mientras espera la respuesta (RESPONSE). Al apoyarse en HTTP recurre al uso de sus métodos como son el POST para la creación de recursos, el GET para la consulta, el PUT para la modificación y el DELETE para la eliminación [85]. Todos los objetos o recursos accedidos mediante este estándar poseen un URI o identificador de recursos uniforme (Uniform Resource Identifier) [87] que permite su manipulación directa.

Uno de los servicios implementados en este proyecto puede utilizarse como ejemplo de la aplicación de los principios REST en la construcción de las urls. Una url (uniform resource locator) constituye la dirección única que se le asigna a un recurso para que pueda ser localizado mediante un navegador web [88].

Los pacientes son muy importantes para el funcionamiento del sistema en cuestión, por lo que tienen un servicio dedicado a la manipulación de su información. Para acceder a la información de toda la lista de pacientes, según el estándar REST se puede utilizar una url con el método GET estructurada como GET/Pacientes. Mientras que para obtener la información de un solo paciente se incluye el URI de este, siendo la url GET/Pacientes/1, donde el servidor enviará un response con la información referente al paciente cuyo identificador coincida con el número 1 [89].

En cambio, para la creación se utiliza el método POST y se define en la url como POST/Pacientes a la cual se envía la información del paciente que se desea crear. Para la modificación se utiliza el método PUT o PATCH si es una modificación parcial, con una url estructurada como PUT/Pacientes/2, especificado el identificador del paciente a modificar y

enviado los parámetros que se desean cambiar. Finalmente se tiene el método DELETE, cuyas urls se establecen como DELETE/Recurso/Identificador, donde se especifica de igual forma el recurso y el identificador del objeto que se desea eliminar [89].

### 2.2.2.6 DISEÑO DE INTERFACES

El diseño de interfaces inicio basándose en los requerimientos obtenidos, donde se definieron las principales entidades que tendrían lugar en el sistema. En un principio, se realizó un mouckup mediante el uso de Figma, la cual es una aplicación web dedicada al diseño de proyectos [90]. La principal ventaja es que ofrece un entorno con todas las herramientas necesarias para diseñar las interfaces de usuario y simular su posible funcionalidad [91].

Entre las principales interfaces de las que dispone la aplicación se encuentran las que están orientadas a la gestión de centros médicos, pacientes y el personal del centro. En estas vistas se dispone del título de la pantalla para referenciar la información mostrada, de una barra de búsqueda para optimizar el filtrado de datos y de una tabla con la información necesaria. A continuación, se adjuntan las imágenes iniciales del diseño de las interfaces en la figura 11.

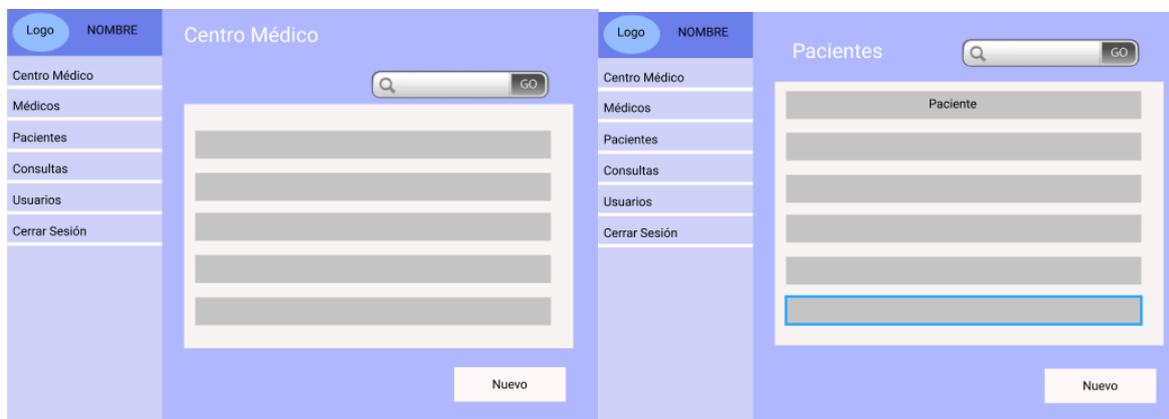


Figura 11. Mockups de las vistas “Centro médico” y “Pacientes”. Creado por el autor.

A la izquierda de la mayoría de las vistas, se adjunta un menú desplegable con accesos directos a las principales interfaces con las que el usuario interactuará. Para la creación y modificación de la información de las varias entidades se utilizarán formularios, donde se desplegará toda la información necesaria para el registro o la actualización como se indica en la figura 12, referente a los formularios dedicados al personal médico y a los pacientes.



Figura 12. Mockups de las vistas “Nuevo Personal” y “Nuevo Paciente”. Creado por el autor.

Entre las vistas de alta relevancia también se encuentran las de las pruebas de Ishihara y Farnsworth Munsell. A continuación, en la figura 13, se adjuntan las imágenes de cómo se planificaban las interfaces antes mencionadas.



Figura 13. Mockups of the “Farnsworth Test” and “Ishihara Test” views. Created by the author.

Posteriormente, se optimizaron las interfaces con el objetivo de hacerlas más funcionales e intuitivas. Para este propósito se decidió aplicar en el proyecto las heurísticas de Nielsen. Dichas heurísticas se basan en 10 principios los cuales se describen a continuación junto a su integración en el proyecto.

Para los usuarios es importante obtener información constante del estado del sistema [92], para lo que se implementaron títulos con la información de las vistas, mensajes de ayuda e información del usuario que se encuentra dentro del sistema. La información mostrada en las interfaces procura mantener un orden lógico y natural, con un lenguaje de fácil comprensión para los posibles usuarios del sistema.

Es imprescindible que el usuario sienta libertad y posea el control sobre el sistema [92]. Para esto se disponibilizó el menú desplegable, a la izquierda de la mayoría de las pantallas, de forma que el usuario tenga total control sobre la navegación. En algunas interfaces con funcionalidades específicas, como en las dedicadas a las pruebas y a formularios de creación o edición, se dispone de botones de cancelar en la parte inferior, de forma que el usuario pueda revertir cualquier acción realizada durante su interacción con la información mostrada.

La prevención de errores junto a la consistencia y los estándares también son principios importantes al momento de aplicar las heurísticas de Nielsen. Se agregaron mensajes de error y de confirmación con el objetivo de que los usuarios conozcan cuando están ingresando valores incorrectos o próximos a cometer algún error. Además, se utilizaron las mismas palabras para estandarizar acciones semejantes a la vista del usuario, como “Guardar”, “Cancelar” y “Aceptar”.

Otro principio de las heurísticas antes mencionadas plantea que los usuarios deben reconocer antes que recordar [92]. Con el objetivo de cumplir con este principio, en todas las interfaces se agregaron instrucciones específicas sobre la funcionalidad de cada una de las vistas. Además, todos los botones, los campos de búsqueda y los formularios disponen de una ayuda que se muestra cuando el usuario mantiene el cursor sobre el elemento en cuestión. Dichas ayudas, indican los atributos por los que se puede filtrar en las búsquedas, ejemplos de los datos que deben ser ingresados en determinados formularios o descripciones de las acciones que realizan los diferentes botones presentes en las vistas.

El sistema, en aras de cumplir con lo planteado por las heurísticas de usabilidad de Jakob Nielsen, mantiene un diseño estético con la menor cantidad de elementos posibles para facilitar su uso y mejorar la eficiencia y experiencia del usuario. A pesar de ser lo suficientemente intuitivo, también se dispone de un manual de usuario, el cual se incluye dentro del sistema con el objetivo de facilitar la documentación necesaria en caso de que los usuarios requieran consultarla.

Con la aplicación de las heurísticas de usabilidad de Nielsen, se hace notable la mejora respecto a la idea inicialmente planteada para el diseño de las vistas. A continuación, se adjunta la figura 14, referente a las interfaces dedicadas a las entidades de pacientes y centros médicos. En ambos casos y en las interfaces similares a estas como las del personal médico y usuarios, se evidencia el título de la vista junto a una barra de búsqueda y un botón para abrir el formulario y crear un nuevo registro de la entidad. Los respectivos datos se encuentran situados en una tabla donde cada fila corresponde a un registro y en la

última columna de la derecha se registran las acciones permitidas para interactuar con el objeto en cuestión.

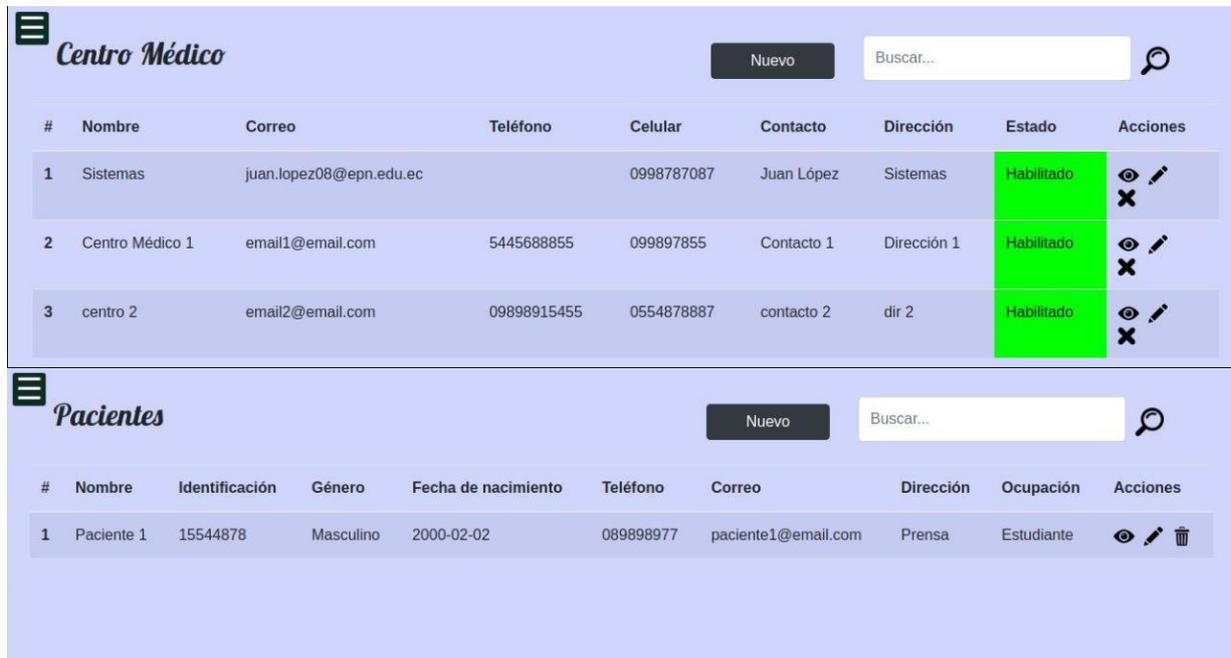


Figura 14. Vistas de “Centro Médico” y “Pacientes”. Creado por el autor.

En los formularios también se evidencia un cambio notable. Las siguientes dos imágenes representadas en la figura 15 corresponden a las vistas dedicadas al registro de nuevo personal y a la edición de la información del paciente. La disposición de los elementos que componen la interfaz se encuentra distribuida uniformemente. En la parte superior izquierda, todo formulario cuenta con un título identificativo que indica el propósito de la vista. Además, se dispone de un subtítulo en cada campo del formulario con el objetivo de que el usuario conozca de forma específica el dato que se espera que sea ingresado en cada elemento.

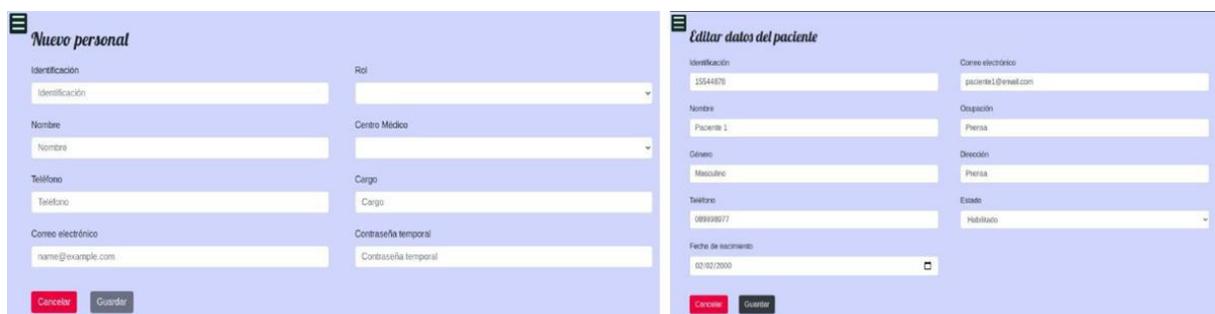
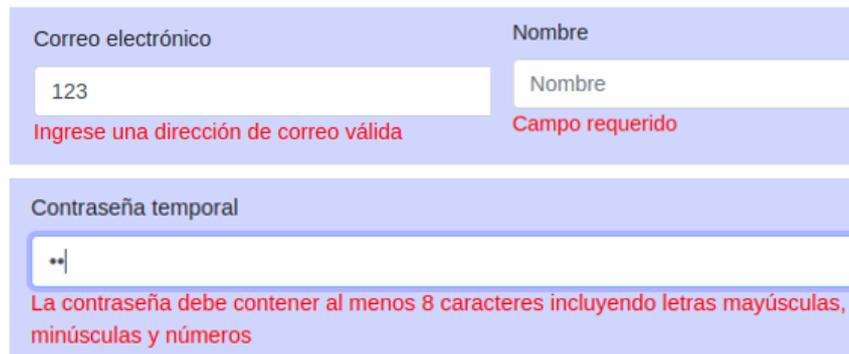


Figura 15. Vistas de “Nuevo personal” y “Editar datos del paciente”. Creado por el autor.

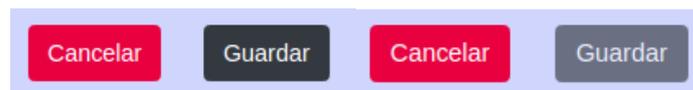
Cada formulario dispone de un botón para cancelar la creación o la edición en cualquier punto, de esta forma los usuarios siempre disponen de una vía de corrección de errores y

mantiene el control sobre sus acciones. Con el objetivo de minimizar la dificultad, una vez que los usuarios seleccionen un campo del formulario, si ingresan información correcta esta será aceptada, mientras que al ingresar valores erróneos o dejar sin información un campo obligatorio, el sistema mostrará bajo un aviso indicando la falencia detectada, y hasta que no sea corregida como se indica en la figura 16. Adicionalmente, se mantendrá inhabilitado el botón que permite guardar la información como se representa en la figura 17.



The image shows a form with two sections. The first section has two input fields: 'Correo electrónico' containing '123' with a red error message 'Ingrese una dirección de correo válida' below it, and 'Nombre' which is empty with a red error message 'Campo requerido' below it. The second section is titled 'Contraseña temporal' and has an input field with two asterisks and a red error message: 'La contraseña debe contener al menos 8 caracteres incluyendo letras mayúsculas, minúsculas y números'.

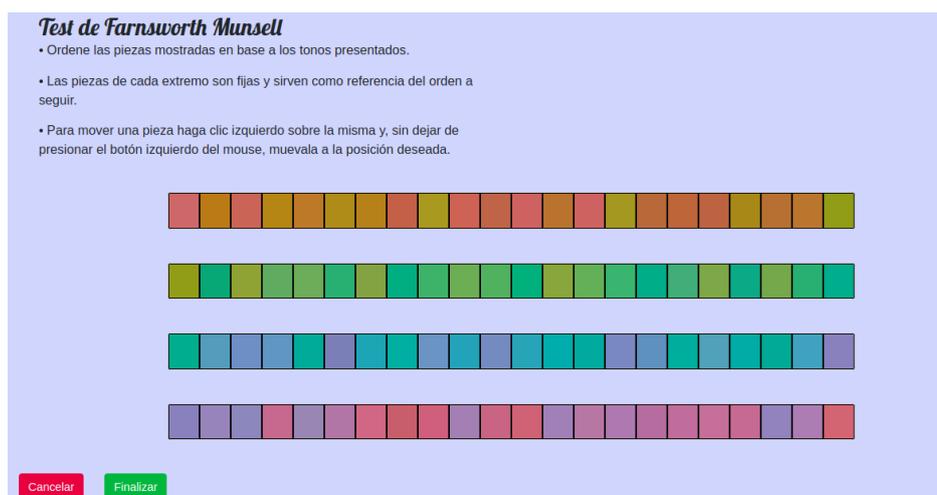
Figura 16. Validaciones. Creado por el autor.



The image shows a horizontal row of four buttons: 'Cancelar' (red), 'Guardar' (grey), 'Cancelar' (red), and 'Guardar' (grey). The 'Guardar' buttons are disabled.

Figura 17. Botón de guardar Habilitado/Deshabilitado. Creado por el autor.

La vista del Test de Farnsworth incorporó grandes mejoras al añadirse el título de la vista y unas instrucciones básicas sobre cómo aplicar la prueba y utilizar la interfaz, la cual se adjunta a continuación en la figura 18.



The image shows the 'Test de Farnsworth Munsell' interface. It has a title and three instructions: 'Ordene las piezas mostradas en base a los tonos presentados.', 'Las piezas de cada extremo son fijas y sirven como referencia del orden a seguir.', and 'Para mover una pieza haga clic izquierdo sobre la misma y, sin dejar de presionar el botón izquierdo del mouse, muevala a la posición deseada.' Below the instructions are four rows of colored blocks. The first row has 15 blocks in shades of red and orange. The second row has 15 blocks in shades of green. The third row has 15 blocks in shades of blue and cyan. The fourth row has 15 blocks in shades of purple and pink. At the bottom left are 'Cancelar' and 'Finalizar' buttons.

Figura 18. Vista del Test de Farnsworth. Creado por el autor.

El modo de visualización de los resultados también fue optimizado. Al finalizar la prueba, se emite una conclusión en un campo de texto habilitado para que el personal médico agregue las observaciones que estime necesarias. Además, se adjunta una escala cromática en la figura 19, donde se representa con los tonos las zonas donde el paciente tiene dificultad para distinguir los tonos. El color blanco se asigna a las zonas de la escala cromática donde se encuentran los tonos que el paciente distingue sin dificultad, mientras que el color gris se utiliza para representar el área donde el paciente tiene una dificultad leve y tolerable. El color negro representa las zonas donde el paciente falló totalmente durante la aplicación de la prueba y por ende hace referencia a los tonos que ante la vista del sujeto evaluado resultan indistinguibles.



Figura 19. Vista de la conclusión del Test de Farnsworth. Creado por el autor.

La prueba de Ishihara sufrió cambios evidentes en su interfaz al ser comparada con el mockup inicial. Actualmente se mejoró la distribución de las imágenes, de forma que el sujeto evaluado centre su atención en una imagen a la vez. Las láminas se despliegan en la pantalla con mayor tamaño que el propuesto inicialmente y de forma secuencial. A continuación, se adjunta la figura 20 donde se evidencian la vista actualizada.

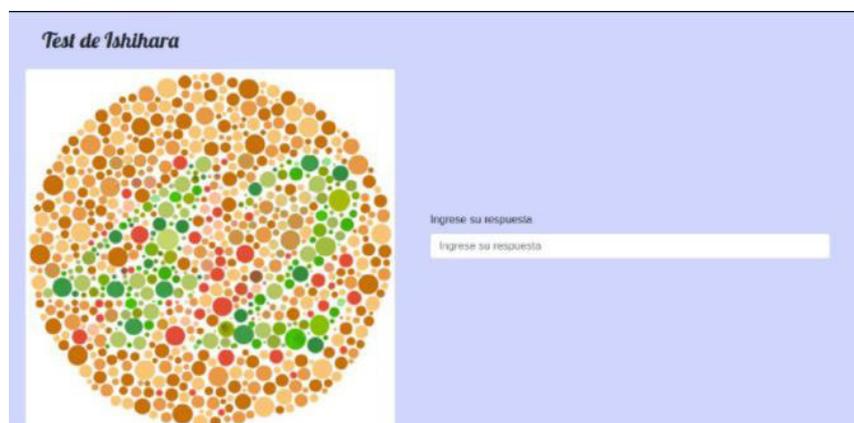


Figura 20. Vista del Test de Ishihara. Creado por el autor.

La siguiente serie de imágenes representadas en la figura 21, reflejan una comparativa en la que se puede apreciar de mejor forma el avance logrado tras la implementación de las interfaces en relación con la idea inicial. A la izquierda se muestra el mockup, mientras que a la derecha se adjunta el resultado final.

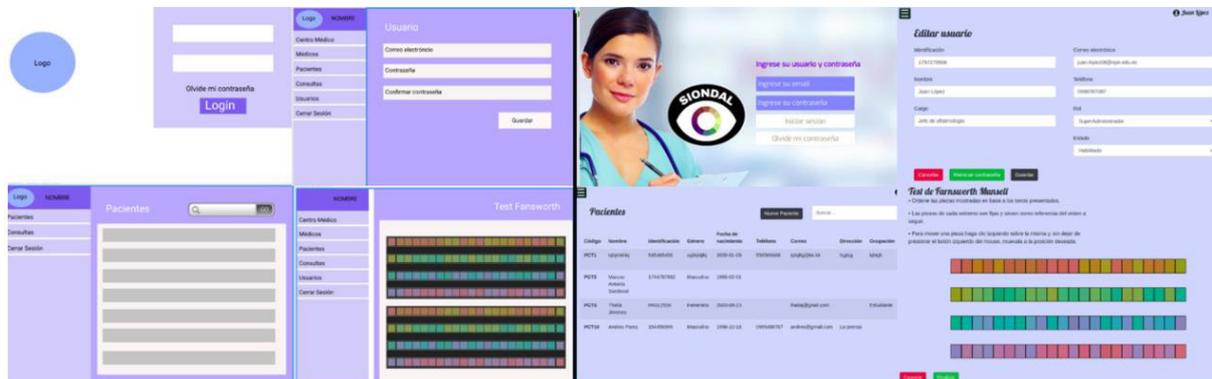


Figura 21. Comparativa entre diferentes mockups y las vistas finales. Creado por el autor.

## 2.2.3 ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN

El siguiente paso, tras la finalización de la etapa de diseño, es la implementación. Durante esta etapa se consolidan todos los fundamentos teóricos y procesos descritos anteriormente en el presente documento. A continuación, se describen las herramientas necesarias y su funcionalidad dentro del proyecto, así como el proceso de desarrollo realizado con la finalidad de obtener resultados tangibles del presente proyecto [93].

### 2.2.3.1 HERRAMIENTAS DE DESARROLLO

Hasta el momento, existe un gran número de variadas herramientas dedicadas al desarrollo de aplicaciones en diferentes entornos [94]. El presente proyecto fue ideado y desarrollado para funcionar como aplicativo web mediante el uso de la arquitectura cliente servidor. Con los antecedentes planteados se determinaron las herramientas y tecnologías que mejor se adaptaban a los requerimientos del proyecto, y que además se describen a continuación.

#### 2.2.3.1.1 DISPOSITIVO Y SISTEMA OPERATIVO

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizó, como herramienta principal, una laptop Dell Inspiron 15 3000 Series, con un procesador Intel Core i5 de Séptima generación. Dell es la marca de una multinacional estadounidense dedica principalmente al desarrollo, fabricación, venta y soporte de computadoras personales, servidores, equipos de red, programas, periféricos y productos en general relacionados al ámbito tecnológico y a la computación [95].

El dispositivo dispone inicialmente del sistema operativo Windows 10 de 64 bits y 8.00 GB de memoria RAM. Windows es como se conoce a la familia de distribuciones de software para computadoras, servidores, teléfonos inteligentes y demás dispositivos comercializados por Microsoft [96].

Con la finalidad de aprovechar al máximo las prestaciones del equipo y en aras de obtener el mejor rendimiento, se decidió instalar y utilizar Ubuntu Linux en una partición del disco, como sistema operativo para el desarrollo del presente proyecto [97]. Ubuntu es un sistema operativo totalmente libre y con un alto grado de estabilidad al compararlo con Windows respecto a la ocurrencia de errores en el sistema [98]. Además, Ubuntu, al pertenecer al concepto del software libre, permite a sus usuarios administradores disponer de todas las libertades de gestión del sistema operativo, lo cual sumado a que requiere de pocos requisitos de hardware para funcionar correctamente, constituyen las principales causas que incurrieron en la decisión de utilizar este sistema antes que Windows [99].

### **2.2.3.1.3 ENTORNO DE DESARROLLO**

Un entorno de desarrollo integrado, conocido también como IDE, por sus siglas en inglés, referentes a Integrated Development Environment, se define como un sistema de software dedicado al diseño de aplicaciones. Un IDE es capaz de combinar múltiples herramientas para desarrolladores y agruparlas en una sola interfaz. Las principales características de las que dispone un IDE son un editor de código fuente, capaz de proporcionar ayudas mediante el completamiento automático, indicaciones visuales y la verificación de errores y alertas durante la escritura del código. Además de disponer de funciones como la automatización de compilaciones locales y de depuración para localizar errores en el código original con una ayuda gráfica [100].

Como IDE para el desarrollo del código fuente del proyecto se utilizó WebStorm. El cual es un entorno de desarrollo, especialmente integrado para JavaScript y las tecnologías relacionadas a dicho lenguaje de programación [101]. Este aspecto, hace que el IDE sea óptimo para el desarrollo del proyecto debido a la compatibilidad con el lenguaje de programación utilizado para el proceso de desarrollo. Además, también es altamente eficiente para trabajar con tecnologías como NodeJS, y con la plataforma Github [101].

Github es un portal web cuyo principal propósito se basa en funcionar como un repositorio de código para aplicaciones y herramientas. Utiliza un sistema de control de versiones conocido como Git, el cual permite la fácil administración de proyectos de desarrollo y demás archivos o documentos. Una de las principales funciones de Git es que permite la

comparación de un archivo con su versión anterior para identificar los cambios realizados sobre el mismo [102]. Github ofrece productos tanto gratuitos como pagados, para el presente proyecto se optó por el uso de las alternativas gratuitas, que cubren la creación y gestión de repositorios tanto privados como públicos [103].

Para la gestión del repositorio en Github de este proyecto se utilizó la interfaz GitKraken. El cual es una interfaz mucho más amigable que la ofrecida por Git y permite visualizar los cambios realizados sobre el proyecto de una forma más gráfica e intuitiva. Además de proporcionar un entorno de colaboración controlado y protegido contra la generación de errores [104].

#### **2.2.3.1.5 GESTOR DE BASE DE DATOS**

Un sistema gestor de base de datos (SGBD) o DBMS por sus siglas en inglés, es un software cuya principal función se basa en la gestión de bases de datos. El objetivo de estos sistemas es el acceso, la extracción y la administración de los datos contenidos en una base de datos [105]. Existen múltiples alternativas cuando se requiere seleccionar un sistema gestor de bases de datos, siendo los más populares Microsoft Access, Microsoft SQL Server, MySQL, Oracle Database entre otros [106].

Para el presente proyecto se utilizó como sistema gestor de base de datos MySQL. MySQL está orientado a la gestión de bases de datos de tipo relacional y ha ganado popularidad al basarse en código abierto. Esta última característica hace que sea fácilmente accesible e ideal para el desarrollo web ya que basa su funcionamiento en el modelo cliente-servidor [107]. Otras características por las que fue seleccionado este DBMS son su compatibilidad con SQL y las vistas personalizadas que permite configurar, lo cual es imprescindible cuando las bases de datos adquieren un tamaño representativo [108].

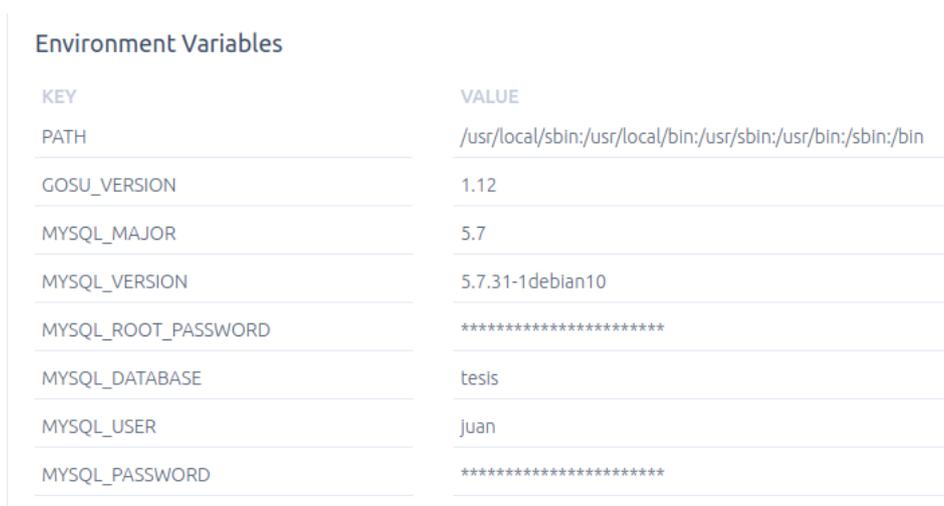
#### **2.2.3.1.6 DOCKER**

Otra herramienta que resultó muy útil durante el desarrollo del presente proyecto fue Docker [109]. Docker es un software que permite empaquetar una aplicación y sus dependencias mediante la creación de contenedores de Linux. Los contenedores funcionan similares a máquinas virtuales con alta modularidad y muy livianas, debido a que Docker trabaja directamente con el kernel de Linux, lo que le permite segregar los procesos para que se ejecuten de forma independiente [110].

Con la finalidad de simplificar el trabajo con Docker se utilizó Kitematic, el cual es un proyecto de código de abierto orientado a la optimización del uso de Docker. Este, además

de automatizar el proceso de instalación de Docker, dispone de una interfaz gráfica que resulta extremadamente intuitiva para sus usuarios. Kitematic permite crear contenedores y realizar cambios sobre las variables de entorno, los registros de transmisión y el terminal de forma rápida y efectiva [111].

Las herramientas descritas en los apartados 2.2.3.1.5 y 2.2.3.1.6, fueron utilizadas para implementar una base de datos MySQL en Docker, mediante la interfaz gráfica de Kitematic. A continuación, se adjunta en la figura 22, la configuración de las variables de entorno de la base de datos, imprescindibles para su correcta ejecución.



KEY	VALUE
PATH	/usr/local/sbin:/usr/local/bin:/usr/sbin:/usr/bin:/sbin:/bin
GOSU_VERSION	1.12
MYSQL_MAJOR	5.7
MYSQL_VERSION	5.7.31-1debian10
MYSQL_ROOT_PASSWORD	*****
MYSQL_DATABASE	tesis
MYSQL_USER	juan
MYSQL_PASSWORD	*****

Figura 22. Variables de entorno para configuración de MySQL en Kitematic. Creado por el autor.

### 2.2.3.1.7 DBEAVER

DBeaver es una herramienta dedicada a la administración de bases de datos. Dispone de una hoja de cálculo donde se visualizan los datos y donde pueden ser manipulados siempre que sea necesario. Se basa en un marco de código abierto y es altamente compatible con bases de datos como MySQL y Oracle. Esta herramienta simplifica los procesos de exportación de datos, permite la escritura con autocompletado de sentencias SQL y la ejecución de scripts [112].

En el presente proyecto, Dbeaver se utilizó como medio de interconexión entre la base de datos y el servidor backend. Simplificó el proceso de visualización de las tablas y de los datos contenidos por las mismas. A continuación, se adjunta la figura 23, referente a la conexión y la visualización de las tablas en la interfaz gráfica de Dbeaver como se evidencia en la figura 24.

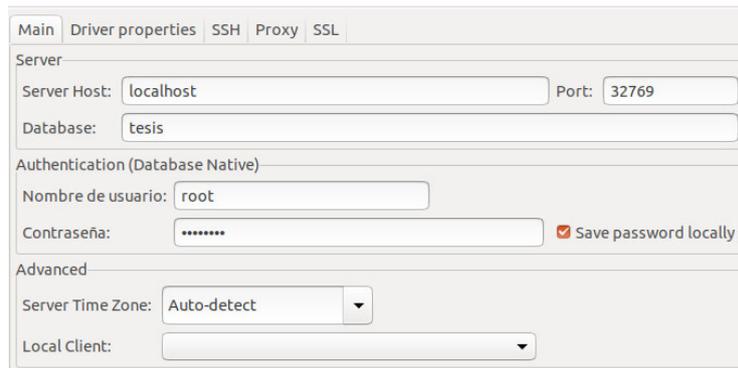


Figura 23. Conexión desde DBeaver a la base de datos. Creado por el autor.

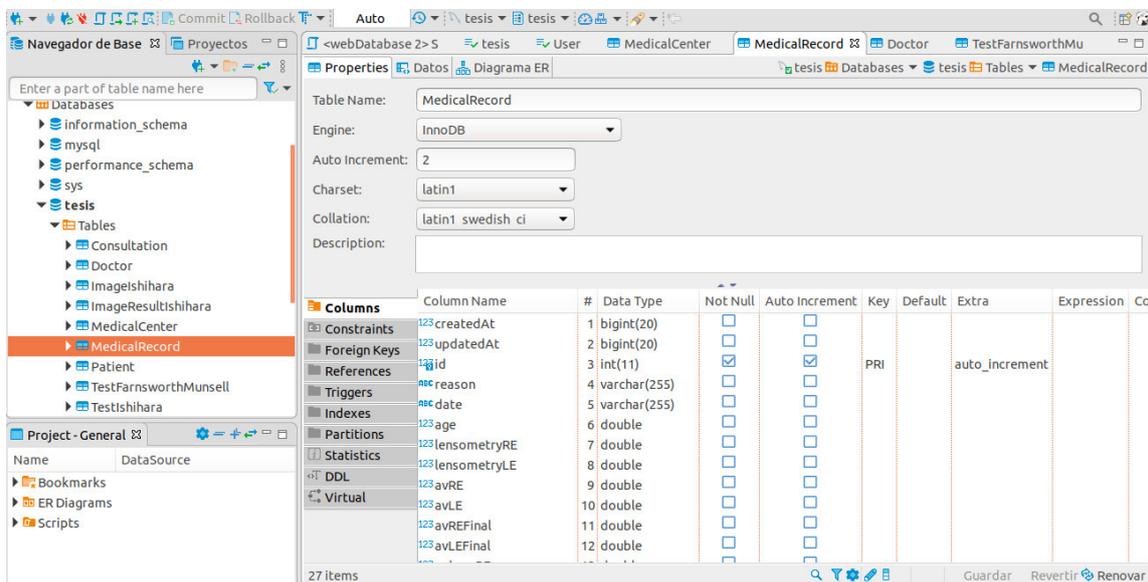


Figura 24. Tablas obtenidas mediante la conexión en DBeaver. Creado por el autor.

### 2.2.3.2 APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA METODOLOGÍA

El presente apartado comprende lo referente a la aplicación práctica del Framework Scrum centrándose en la etapa de desarrollo del proyecto. A continuación se detallan los sprints realizados en base al product backlog generado en etapas anteriores. Además, se abordará detalladamente la generación y el contenido que compone tanto al servidor backend como al frontend. Otros aspectos fundamentales como la implementación de la base de datos con su respectiva conexión también quedan comprendidos dentro de los siguientes índices.

### 2.2.3.2.1 IMPLEMENTACIÓN

El hecho de tener definidos todos los diseños necesarios para la correcta comprensión del proyecto simplificó lo suficiente la aplicación práctica del Framework Scrum. Inicialmente se procedió a implementar la arquitectura propuesta, la cual se encuentra definida en el apartado 2.2.2.1 Diseño de la arquitectura del sistema, y se puede visualizar en la figura 9. El factor crítico para comenzar la implementación lo constituye la base de datos, siendo el sustento principal de todo el sistema y a donde van orientadas todas las conexiones, por lo que se decidió que la misma fuese el primer objetivo por implementar. La etapa de implementación se dividió en un total de nueve (9) sprints. A continuación, se tratarán las tareas principales que fueron desarrolladas durante cada uno de estos.

### 2.2.3.2.2 PRIMER SPRINT

En aras de cumplir con Scrum como enfoque de desarrollo ágil, se inició analizando el Sprint Backlog, en el cual se detallan las tareas a realizar. En base a dicho instrumento se planifican los sprints a realizar. Durante el primer sprint se inició con el levantamiento de los servidores backend y frontend con las tecnologías propuestas en la arquitectura. La figura 25 refleja la página que se genera por defecto tras implementar correctamente el servidor de backend.

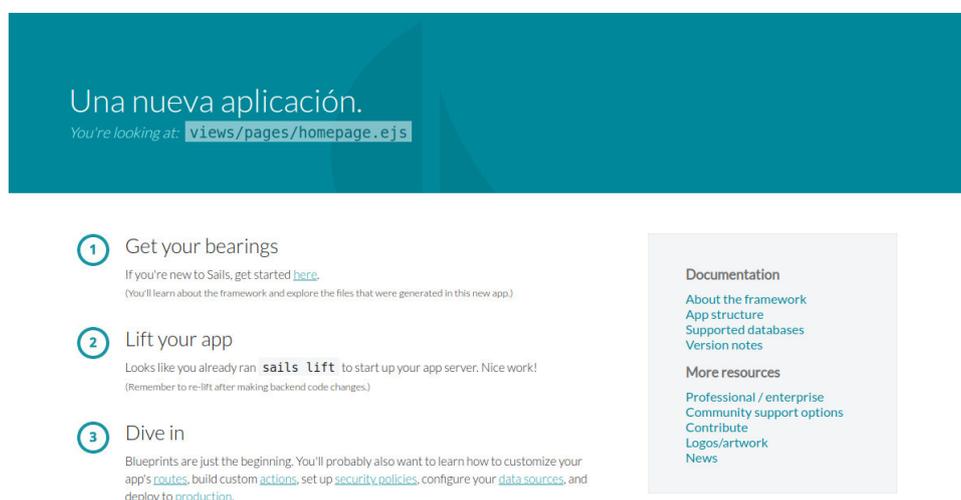


Figura 25. Vista por defecto del Backend. Creado por el autor.

También se implementó la base de datos MySQL dentro de Dockers a través de la interfaz gráfica de Kitematic, como se puede observar en la figura 26. Posteriormente al levantamiento de los tres entornos mencionados, se realizó la conexión con la base de datos, donde se utilizó la herramienta DBeaver.

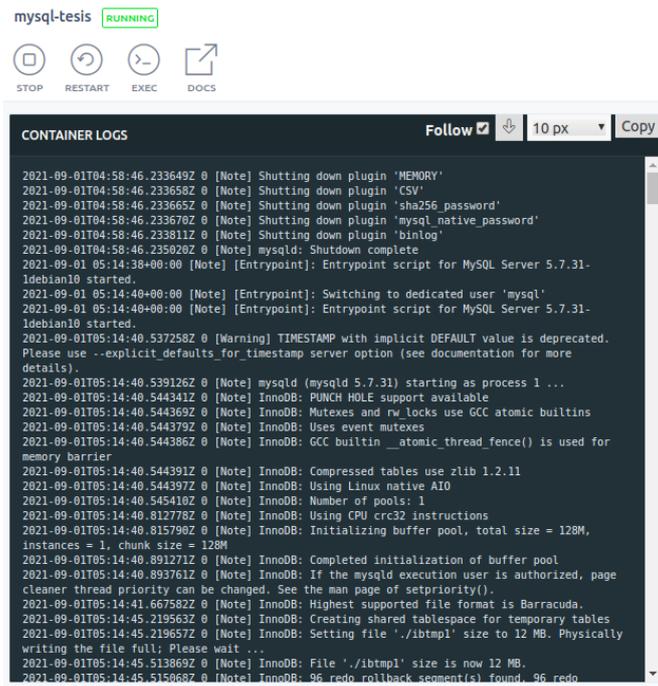


Figura 26. Base de datos MySQL en ejecución en Kitematic. Creado por el autor.

Con el entorno totalmente listo y funcional, se pudo continuar hacia el desarrollo de las siguientes tareas propuestas en el Sprint Backlog y asignadas al presente Sprint, las cuales hacían referencia a la gestión tanto del personal como de pacientes, pruebas de Ishihara y Farnsworth, historias clínicas y usuarios. Para esto, en el servidor backend se crearon los diferentes modelos que serían necesarios y posteriormente se agregaron los respectivos atributos de cada uno.

Mediante la herramienta Postman, la cual es una plataforma dedicada a la creación y utilización de APIs [113], se probaron los diferentes métodos creados para cada modelo con el objetivo de validar su correcto funcionamiento. Todo modelo dispone de los métodos necesarios para la creación (POST), actualización (PUT), lectura (GET) o eliminación (DELETE), sin embargo, este último método solo fue utilizado como medio de depuración de los datos almacenados en la base durante el proceso de validación, ya que dentro del sistema funcional no se recomienda eliminar por completo con el objetivo de que queden registros de la existencia de determinados objetos en la base de datos. La figura 27 muestra la interfaz de Postman, mediante la cual se realizaron las diferentes pruebas para validar el correcto funcionamiento de las APIs.

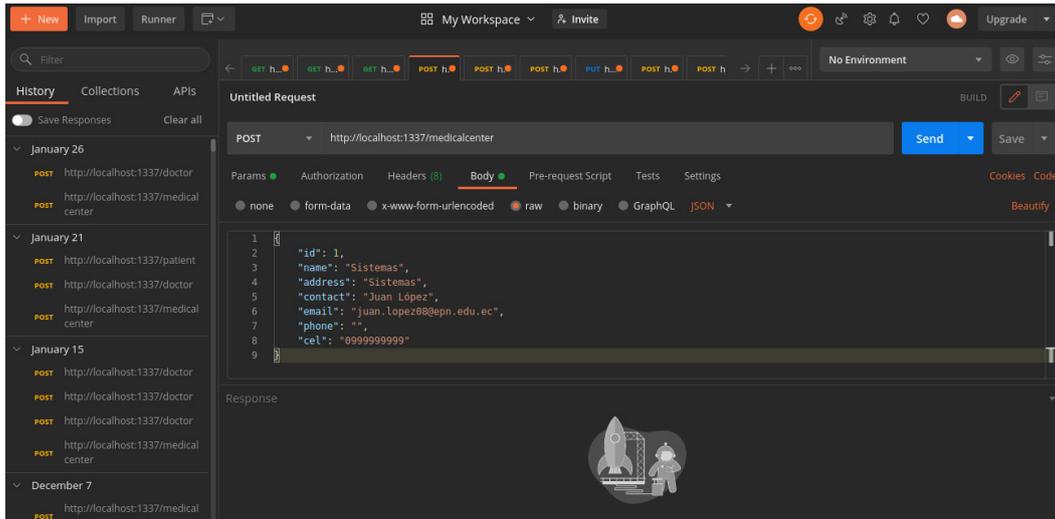


Figura 27. Pruebas realizadas desde Postman. Creado por el autor.

En el caso de los modelos dedicados a las pruebas de Farnsworth e Ishihara, es importante mencionar que durante este sprint solamente se verificó que las APIs respectivas de cada test pudiesen guardar la información que se requiere y que la misma pueda ser consumida y actualizada cuando sea necesario. Para el test de Ishihara se creó un modelo únicamente dedicado a las láminas que se presentarán durante la aplicación de la prueba con el objetivo de que la misma sea totalmente personalizable. Dichas láminas son almacenadas dentro del servidor backend una vez que los usuarios las agreguen al sistema, esto con el objetivo de garantizar su disponibilidad dentro del sistema. A continuación, se adjunta la figura 28 donde se puede visualizar un ejemplo de uno de los modelos antes mencionados, creados en el servidor backend.

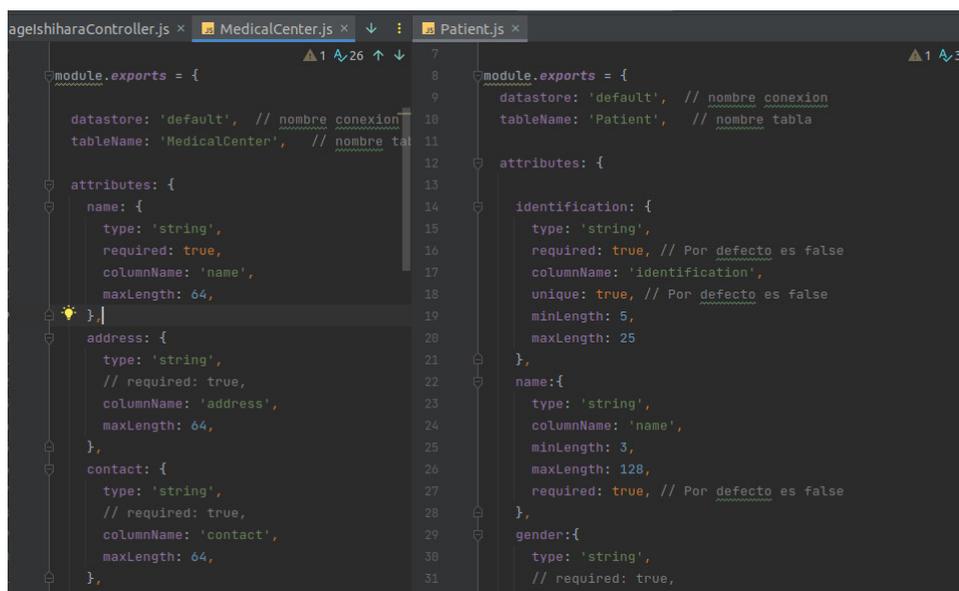


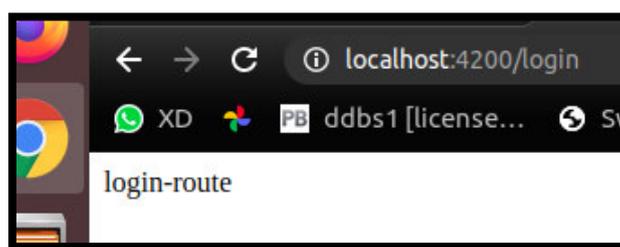
Figura 28. Ejemplo de los modelos creados en el servidor backend. Creado por el autor.

Como resultado del primer sprint, el cual tuvo una duración de una semana, se obtuvo una arquitectura implementada e interconectada y un servidor backend totalmente funcional y validado mediante la herramienta Postman, con la que se verificaron todos los métodos referentes a los modelos creados tanto en el respectivo servidor como en la base de datos. Para el servidor FrontEnd se definió la url de acceso como: `http://localhost:4200/`; mientras que para el BackEnd se utilizó la siguiente: `http://localhost:1337/`.

### 2.2.3.2.3 SEGUNDO SPRINT

El segundo sprint inició agregando validaciones a los tipos de datos de los modelos creados en el servidor BackEnd durante el primer sprint. Estas validaciones fueron identificadas y generadas durante el sprint retrospectivo e incorporadas al segundo sprint. Posteriormente a la realización de esa corrección, el scrum team se centró en las tareas específicamente definidas para el segundo sprint, las cuales comprendían funcionales referentes a la creación de las vistas requeridas y la navegación entre a través de las interfaces.

El presente sprint fue dedicado en su totalidad a la estructuración del servidor FrontEnd tanto en lo referente a los aspectos visuales como de navegación. Primeramente, se definieron todas las rutas que serían necesarias en base a los mockups diseñados y a lo planteado durante las reuniones realizadas previamente. Las rutas fueron habilitadas de forma secuencial para establecer el patrón de navegación siendo la primera ruta en habilitarse la del inicio de sesión o login, como se muestra en la figura 29, la cual contendrá posteriormente la primera vista a la que accederán los usuarios para autenticarse e ingresar al sistema.



*Figura 29. Ruta para el inicio de sesión. Creado por el autor.*

La siguiente ruta, nombrada internamente como "Home", hace referencia a la primera visión del usuario una vez dentro del sistema, donde se le mostrará información general y tendrá acceso a un menú de navegación. Desde dicho menú, bosquejado y mencionado anteriormente durante la etapa de diseño, se habilita la navegación a las rutas restantes, entre las cuales se encuentran las dedicadas a la gestión de centros médicos, pacientes,

personal médico, usuarios, láminas del test Ishihara, historias clínicas y los exámenes visuales propuestos.

La creación de estas rutas se realizó con el objetivo de crear la estructura base del sistema para implementar la navegación entre las diferentes interfaces existentes en el sistema. Este sprint también planteaba la implementación visual de las vistas con el objetivo de generar como resultado una navegación fluida tanto visual como funcionalmente.

Con la finalidad de completar las tareas propuestas se procedió a implementar visualmente la vista dedicada a la gestión del personal médico. Se agregó una tabla con datos por defecto para generar una mejor experiencia visual por parte del product owner durante el sprint retrospectivo. Finalmente, la pantalla mostraría información de personal médico colocada aleatoriamente y los respectivos botones para navegar a las rutas con los formularios para registrar un nuevo personal médico y para editar, visualizar o eliminar un registro existente. Cabe recalcar que estas vistas carecían de funcionalidad al finalizar el sprint, debido a que el objetivo era generar el diseño visual.

A la vista se le agregaron los respectivos estilos mediante el uso de CSS combinado con Bootstrap. Una vez generada la vista como se deseaba, se procedió a estandarizar mediante el uso de componentes, las pantallas contenidas en las restantes rutas. Esta acción permitió mantener la uniformidad visual en el sistema en lo referente a tamaños de letras, colores, estilos de tablas y diseños de botones e iconos. A continuación, se adjunta una muestra de estos elementos en la figura 30.



The image shows a web form with a light blue header and a white body. The header contains a hamburger menu icon and the text "Visualizando registro - Historia Clínica Optométrica". Below the header, the form is titled "Datos del paciente" and contains several input fields arranged in a grid. The fields are: Nombre (kjhhkhkhkj), Identificación (545465456), Teléfono (556565688), Correo electrónico (kjhkj@kk.kk), Ocupación (kjhkh), Dirección (hjhjhj), Fecha de nacimiento (09/01/2000), Edad (22), and Género (ojjhkhkhkj). At the bottom left of the form, there is a button labeled "Editar datos del paciente".

Figura 30. Ejemplo de vista dentro del sistema. Creado por el autor.

El segundo sprint tuvo una duración total de cinco días y se obtuvieron resultados visualmente agradables a ojos del product owner. Al finalizar el sprint se disponía de un sistema, todavía no funcional, pero que permitía al usuario interactuar con formularios y navegar a través de todas las rutas. Durante el sprint retrospectivo se planteó la posible

actualización de los estilos de las vistas y del orden de los elementos que estas contenían, esto siempre y cuando fuese necesario si al habilitar la funcionalidad de la pantalla se requería realizar dichos cambios.

#### 2.2.3.2.4 TERCER SPRINT

El hecho de que no se planteasen cambios durante el sprint retrospectivo anterior permitió iniciar el tercer sprint directamente con las tareas propuestas en el sprint backlog. Para tercero se planteaba agregar la funcionalidad necesaria a las vistas referentes al personal médico, la cual se puede observar en la figura 31. Esta tarea comprende todo lo vinculado a las operaciones CRUD, es decir Create, Read, Update y Delete, lo cual fuera de su acrónimo en inglés significa creación, lectura, actualización o modificación y eliminación, todo esto desde el servidor frontend y sobre el modelo creado en la base de datos y conectado al servidor backend.



The screenshot shows a web form titled "Nuevo personal" on a light blue background. At the top left is a hamburger menu icon, and at the top right is a user profile icon labeled "Juan López". The form is organized into two columns. The left column contains four text input fields: "Identificación", "Nombre", "Teléfono", and "Correo electrónico" (with the placeholder "name@example.com"). The right column contains three dropdown menus: "Rol", "Centro Médico", and "Cargo", followed by a "Contraseña temporal" text input field. At the bottom left of the form are two buttons: a red "Cancelar" button and a grey "Guardar" button.

Figura 31. Vista para crear un nuevo personal. Creado por el autor.

La primera tarea del tercer sprint fue la creación de los servicios mediante los cuales serían consumidos los registros de la base de datos por medio del servidor backend. Para esto se crearon las respectivas funciones que permitían la interacción exitosa entre ambos servidores. Una vez validado el correcto funcionamiento del consumo de la información por parte del frontend, se procede con la siguiente tarea que corresponde a segmentar el consumo de la información en base a las respectivas rutas.

Las acciones realizadas durante el sprint permitieron reemplazar los datos ilustrativos presentes en la tabla de la vista principal del personal médico, y sustituirlos con información almacenada en la base de datos del proyecto. Posteriormente esta acción fue replicada para las restantes vistas principales de cada entidad, las cuales contenían tablas similares.

Se crearon todos los servicios básicos necesarios para obtener la información desde la base de datos, de cada una de las entidades restantes con el objetivo de alimentar las respectivas tablas. La figura 32 refleja la vista referente a la información del personal médico consumiendo datos almacenados en la base de datos.



Código	Nombre	Identificación	Correo	Teléfono	Cargo	Acciones
PCM1	Juan López	1757279508	juan.lopez08@epn.edu.ec	0998787087	Jefe de oftalmología	 
PCM2	Armando Lopez	1122334455	armando@cm.ec		Administrador del sistema	 
PCM3	Daliana Zambrano	175747887	daliana@gmail.com	0945477845	Jefa de médicos	 
PCM4	Marta Rodriguez	174548965	marta@gmail.com		Analista clínico	 

*Figura 32. Vista de los datos del personal. Creado por el autor.*

Una vez que existía un consumo total de información en el servidor frontend, el sprint continúa con la implementación de la funcionalidad en los formularios dedicados a la creación, visualización y edición de los datos referentes determinado registro del personal médico. Con esta acción se agregó total funcionalidad a las interfaces gráficas dedicadas al personal médico, permitiéndole al usuario crear nuevos registros, revisarlos y modificarlos.

Posteriormente se agregaron restricciones a los diferentes campos de los formularios. Las restricciones se basaban en definir un número máximo de caracteres por cada campo del formulario, validaciones para el formato de correo electrónico y mensajes de aviso para alertar la existencia de campos que son requeridos para un registro y sin embargo se encuentran vacíos.

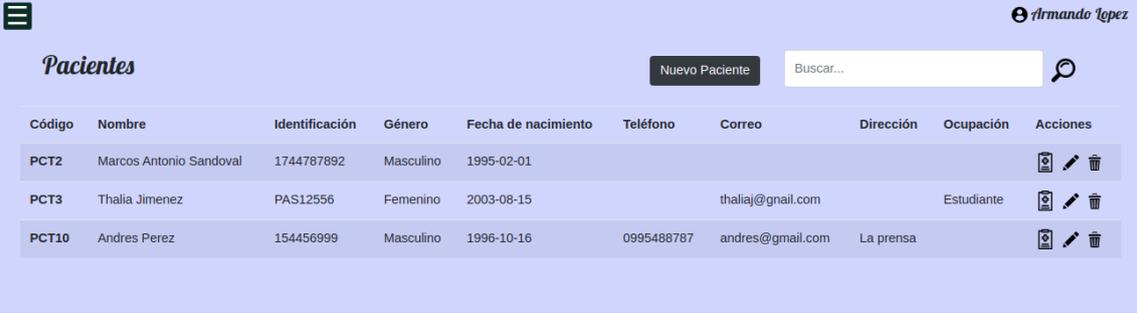
Este sprint tuvo una duración de nueve (9) días, posterior a los cuales se realizó la reunión dedicada a obtener la retrospectiva del sprint. Durante dicha reunión se presentaron grandes avances a nivel de funcionalidad y se decidió realizar una redistribución de los componentes visuales contenidos en los formularios implementados con el objetivo de reorganizar la secuencia de llenado del formulario por parte de los usuarios para que la misma sea más intuitiva.

### 2.2.3.2.5 CUARTO SPRINT

El cuarto sprint toma inicio con la redistribución de los campos del formulario dedicado al personal médico, requerimiento planteado durante la reunión de retrospectiva del sprint anterior. Posteriormente el sprint continúa con las tareas correspondientes a dicho sprint en el sprint backlog. Dichas tareas se basan en replicar las acciones del tercer sprint, pero esta vez con las entidades referentes a pacientes, consultas e historias médicas.

El presente sprint tuvo una duración de cinco (5) días, durante los cuales se logró un avance considerable para el desarrollo del proyecto. Durante el tercer sprint, se desarrolló el código aplicando los conceptos de Clean Code (Código Limpio). Estos conceptos plantean que debe evitarse la complejidad innecesaria, manteniendo el código lo más simple posible y también debe evitarse la repetición innecesaria, por lo que para cumplir con estos planteamientos se desarrolló el código en forma de componentes y funciones que se pudieran reutilizar sin la necesidad de generar duplicidad [114]. Adicionalmente, no se implementaron funcionalidades innecesarias o que no tendrían uso en el sistema, lo cual hace que el código sea más fácil de interpretar, ya que también se utilizaron nombres suficientemente intuitivos para las variables implementadas [115].

Este hecho, facilitó la replicación del código, lo que permitió implementar la funcionalidad necesaria para las vistas referentes a pacientes, consultas e historias clínicas en menos tiempo que el requerido para el tercer sprint donde solo se implementó la funcionalidad de una entidad. Durante la reunión de retrospectiva de este sprint no se planteó la necesidad de realizar cambios y el equipo quedó satisfecho del trabajo realizado durante el mismo. En la figura 33 y en la figura 34 se pueden observar algunas de las vistas desarrolladas durante el presente sprint.



Código	Nombre	Identificación	Género	Fecha de nacimiento	Teléfono	Correo	Dirección	Ocupación	Acciones
PCT2	Marcos Antonio Sandoval	1744787892	Masculino	1995-02-01					  
PCT3	Thalia Jimenez	PAS12556	Femenino	2003-08-15		thaliaj@gmail.com		Estudiante	  
PCT10	Andres Perez	154456999	Masculino	1996-10-16	0995488787	andres@gmail.com	La prensa		  

Figura 33. Vista de los datos de los pacientes. Creado por el autor.

Código	Fecha	Edad	Pruebas realizadas	Motivo	Indicaciones	Acciones
HC3	2022-02-08	27 años	1 Ishihara y 0 Farnsworth	Sequedad en los ojos.	Usar lágrimas artificiales.	
HC2	2022-02-08	27 años	0 Ishihara y 0 Farnsworth	Dolor de cabeza al leer.	Se recomienda el uso de lentes.	

Figura 34. Vista de las historias clínicas de un paciente. Creado por el autor.

### 2.2.3.2.6 QUINTO SPRINT

La implementación de una API capaz de recibir y cargar las imágenes de las láminas del test de Ishihara al servidor fue la tarea principal del quinto sprint. Inicialmente se determinó la necesidad de una interfaz más, que permita al usuario seleccionar a que prueba de las propuestas dentro del sistema desea acceder. Con la creación de esta vista se le otorgo mayor libertad al usuario durante la navegación hacia las pruebas y se implementó una ruta optimizada hacia los test de Ishihara y Farnsworth Munsell.

Posteriormente a la implementación de la API, antes mencionada, se utilizó la herramienta PostMan con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento durante la carga de imágenes al servidor. El formulario dedicado a las imágenes del test de Ishihara también sufrió modificaciones para poder presentar un diseño optimizado e intuitivo. En la Figura 35 se puede observar el formulario para el registro de láminas del Test de Ishihara, mientras que en la figura 36 se puede observar el mismo formulario con una imagen ya cargada, permitiendo la visualización del archivo en cuestión.

Figura 35. Formulario para la creación de imágenes para el Test de Ishihara. Creado por el autor.

Figura 36. Formulario para la creación de imágenes para el Test de Ishihara con archivo de imagen cargado. Creado por el autor.

Luego de que las imágenes se encuentren almacenadas en el servidor, fue necesario construir en base a las mismas una URL que permita su visualización, misma URL que sería utilizada para desplegar las imágenes durante la aplicación de la prueba. Adicionalmente se creó una vista dedicada a la selección de la prueba que se desea aplicar al paciente, la cual se evidencia en la figura 37.

Figura 37. Vista de selección de la prueba a aplicar. Creado por el autor.

Una vez implementada toda la funcionalidad relacionada a la creación de las imágenes, el sprint continuó con los formularios dedicados a la edición y visualización de las mismas. Las tareas realizadas tuvieron una duración total de siete (7) días. Durante ese tiempo se finalizó en su totalidad lo referente a la aplicación de las pruebas de Ishihara, culminando así uno de los puntos más importantes dentro del desarrollo del presente proyecto.

### 2.2.3.2.7 SEXTO SPRINT

Durante la retroalimentación del sprint cinco se identificó un error en el formato con el que se almacenaban las fechas, lo cual causaba errores cuando el sistema calculaba la edad de los pacientes. Debido a esto, el sexto sprint inició con la corrección del error mencionado. Este sprint tuvo una duración de seis (6) días durante los cuales, las actividades realizadas se orientaban a la implementación del test de Farnsworth Munsell.

Inicialmente se modificaron los estilos de la tabla donde se muestra el historial de consultas, esto con la finalidad de que el usuario pueda distinguir con mayor facilidad el estado en el que se encuentra la consulta en sus registros, identificando cada estado con un color diferente. Luego se procedió con la creación de los componentes necesarios para implementar la prueba antes mencionada, por lo que se habilitó la ruta y la vista mediante las cuales los usuarios accederían y visualizarían dicho test.

La implementación de esta prueba tuvo un mayor grado de dificultad en relación a la de Ishihara. Por lo que no se logró implementar en su totalidad durante el presente sprint. Como resultado del mismo se obtuvo una vista totalmente accesible en la que se podía interactuar con una caja donde se contenían los primeros tonos a evaluar durante la prueba, como se observa en la figura 38.

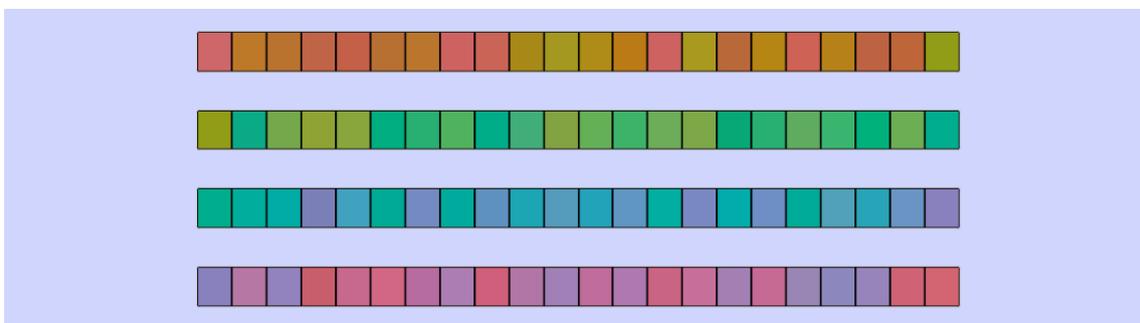


Figura 38. Cajas del Test de Farnsworth. Creado por el autor.

### 2.2.3.2.8 SÉPTIMO SPRINT

El séptimo sprint tuvo como objetivo finalizar el módulo dedicado al test de Farnsworth Munsell en base a los resultados obtenidos durante el sprint anterior. El código utilizado para la implementación de la primera caja de la prueba fue reciclado para agilizar el proceso de creación de las tres cajas siguientes. Con esta acción finalizó visualmente la implementación de la interfaz dedicada al test de Farnsworth Munsell como se representa en la figura 39.



Figura 39. Vista del Test de Farnsworth con instrucciones. Creado por el autor.

Posteriormente se procedió a implementar la parte lógica de la prueba abarcada durante este sprint. La mayor dificultad en esta sección fue el cálculo de los resultados generados tras la realización de la prueba por parte de un usuario y la comprensión de la secuencia de dicha evaluación. El servicio utilizado para guardar los registros del test de Farnsworth Munsell fue editado con el objetivo de optimizar esta función para almacenar los datos netamente necesarios para, en un futuro, reflejar los resultados obtenidos de manera gráfica.

Con el objetivo de que los resultados se presenten de forma intuitiva ante los usuarios, se implementó una escala cromática, la cual se puede observar en la figura 40. Esta se desplegará una vez que el usuario haya finalizado la prueba, indicando los tonos en los que se presenta dificultad para distinguirlos. Además, se implementó un campo de texto donde el sistema generará una conclusión editable en caso de que se desee modificar por parte del especialista que suministra la prueba.



Figura 40. Vista de las conclusiones del Test de Farnsworth. Creado por el autor.

El presente sprint tuvo una duración total de seis (6) días, y obtuvo resultados considerables debido a que con su finalización se cumple el segundo objetivo principal del sistema en cuestión, el cual se trata de la implementación del test de Farnsworth Munsell. Dicha prueba quedó totalmente funcional, sin embargo, durante la reunión de sprint retrospectiva se planteó mejorar la forma de representación de los resultados en la escala cromática. Además, se planteó realizar cambios en la conclusión autogenerada por el sistema con el objetivo de hacerla más precisa. Otro factor a considerar, identificado durante la reunión, lo constituye el hecho de adjuntar los resultados de esta prueba junto con su conclusión en la historia clínica del paciente.

#### **2.2.3.2.9 OCTAVO SPRINT**

La realización de los cambios e implementación de las sugerencias obtenidas durante la retrospectiva del sprint siete, fueron las primeras tareas a desarrollar durante el inicio del octavo sprint. Posteriormente a la implementación de las modificaciones requeridas, se procedió a abarcar las actividades específicamente propuestas para el sprint ocho. Dichas actividades comprendían tareas orientadas a la seguridad del sistema, siendo la primera, la implementación de la funcionalidad en la pantalla de inicio de sesión.

El siguiente paso para mejorar las medidas de seguridad del sistema se basó en la implementación de rutas protegidas mediante el uso de guards. Los guards son interfaces orientadas directamente a la protección de rutas de forma tal, que definen si es posible o no acceder a determinada ruta en base a las condiciones especificadas [116]. Como medida adicional todas las etiquetas href que se encontraban contenidas dentro del sistema fueron remplazadas por rutas protegidas. Este tipo de etiquetas href se utiliza para contener una URL o un fragmento de la misma, con el objetivo de dirigirse hacia un enlace determinado [117]. Antes de implementar las rutas protegidas, era común el uso de estas etiquetas para navegar de una interfaz a otra dentro del sistema.

Además de los guards implementados para las rutas, se decidió colocar una protección adicional, agregando guards en base a los roles del personal. Esto con el objetivo de segmentar los diferentes permisos y funciones de los usuarios dentro del sistema. Los servicios implementados durante el tercer sprint también fueron modificados durante el sprint actual. Se crearon diferentes restricciones para que los miembros del personal de un centro médico no puedan acceder a la información o pacientes de otro centro médico. De manera similar se segmentó la información a la que puede acceder el personal de un centro médico determinado como por ejemplo el historial de consultas, el cual solo puede ser visto por el personal médico al que se le asignó la consulta o por usuarios con permisos de

administrador o superiores. Así mismo se restringieron funcionalidades como la creación, eliminación y actualización de información en función del rol del usuario. La siguiente figura 41 muestra algunos de los guards implementados.

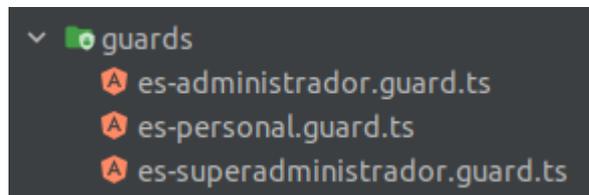


Figura 41. Ejemplo de los Guards creados. Creado por el autor.

Con la finalización del octavo sprint, el cual tuvo una duración de nueve (9) días, se obtuvo un gran avance en términos de seguridad para el sistema en cuestión. Para acceder al sistema y, por ende, a cualquiera de sus vistas se requiere de autenticación mediante usuario y contraseña. Todas las vistas y rutas resultaron protegidas de forma que solo los usuarios autorizados tienen acceso a las funcionalidades disponibles en base a sus permisos. La figura 42 muestra la ruta de inicio de sesión, donde se debe utilizar mediante el usuario y la contraseña como se indicó anteriormente.



Figura 42. Vista de inicio de sesión. Creado por el autor.

### 2.2.3.2.9 NOVENO SPRINT

Durante la retrospectiva del sprint ocho, el personal involucrado se mostró satisfecho con los resultados obtenidos. Se mencionaron las tareas a desarrollar durante el siguiente sprint debido a su relación con lo realizado en el octavo sprint. Con esta premisa, el noveno sprint inicia restringiendo la creación de imágenes para el test de Ishihara, permitiendo solo a los administradores o al personal con permisos superiores a este realizar dicha acción en el sistema.

Hasta el momento en el sistema no existía una vista dedicada la información del usuario que haya iniciado sesión, por lo que durante este sprint se crearon los componentes necesarios para la implementación de la interfaz dedicada al perfil del usuario. De forma similar a los procesos anteriores se realizó el diseño de la vista mediante la reutilización de código y de estilos. Se habilitaron las rutas requeridas y las mismas fueron protegidas mediante el uso de guards. Posteriormente se implementó la funcionalidad necesaria en la interfaz, lo que incluye la visualización y edición de la información del perfil del usuario por sí mismo.

En los formularios referentes a la gestión de usuarios se habilitó un botón con la funcionalidad de restablecer la contraseña, esta opción solo es visible para los administradores del sistema. De igual forma la edición de la mayoría de los atributos relacionados a los usuarios es solamente editable por parte de los administradores con el objetivo de que no se realicen modificaciones no autorizadas. Otra funcionalidad restringida únicamente para los administradores o personal con permisos superiores a estos es la habilidad de deshabilitar usuarios, la cual fue contemplada durante el presente sprint.

Adicionalmente se realizaron mejoras visuales en todas las interfaces bajo los criterios propuestos en las heurísticas de usabilidad de Nielsen, optimizando las interfaces agregando mensajes de ayuda para los usuarios y haciéndolas más intuitivas. Las acciones de eliminar pacientes también fueron habilitadas, a pesar de que realmente no existe una eliminación del registro, se realiza un cambio de estado que evita que el paciente se refleje en el sistema. Otra funcionalidad implementada durante el noveno sprint lo constituyen las barras de búsquedas, las cuales se incluyeron en toda vista que contuviese una tabla, con el objetivo de que los usuarios puedan localizar la información que necesiten con mayor facilidad.

## **2.3 RESUMEN DEL CAPÍTULO II**

Como resumen o conclusión fundamental del capítulo se puede confirmar que se finalizó el proceso de desarrollo de forma exitosa. Fue claramente definido y aplicado el Framework Scrum con sus respectivos roles y eventos. Se obtuvieron los requerimientos necesarios para realizar el diseño de la arquitectura del sistema, la base de datos y las interfaces. Estas acciones permitieron dar continuidad al capítulo con la implementación de los servidores backend y frontend con toda la funcionalidad necesaria en cada uno de estos. Finalmente fueron definidos los principales sprints y se agregó una descripción de cada una, especificando los resultados obtenidos y los criterios analizados en los respectivos eventos vinculados a cada sprint.

## **CAPÍTULO III:**

### **3 PRUEBAS Y EVALUACIÓN**

En el ámbito de la computación, principalmente en lo relacionado al desarrollo de software según lo planteado en “The art of Software Testing” [118], las pruebas se definen como el proceso capaz de demostrar que no existen errores, que el programa realiza las funciones para las que fue creado de forma correcta, y que las pruebas son el medio que establece la confianza de que un programa hace lo que debe hacer. Sin embargo otros autores [119] plantean que las pruebas son el proceso de ejecución realizado con el objetivo de encontrar errores en el funcionamiento de este. El tercer capítulo propone profundizar en conceptos como las pruebas de funcionalidad y usabilidad, brindando definiciones, métricas y evidencias sobre la aplicación de estas en el presente proyecto.

#### **3.1 FUNCIONALIDAD**

Para evaluar la funcionalidad de un sistema, se utilizan las pruebas funcionales. Estas tienen por objetivo detectar errores y verificar que los sistemas cumplan con las funcionalidades específicas para las cuales fueron desarrollados. Estas pruebas también son llamadas pruebas de comportamiento o de caja negra debido a que los analistas de pruebas solamente se enfocan en los datos de entrada y en los datos de salida, lo cual generalmente se define en casos de prueba establecidos previamente al proceso de pruebas [120].

Este tipo de pruebas propone demostrar que la aplicación cumple con las especificaciones y requerimientos definidos en la documentación, además de detectar posibles errores que pueda tener el sistema antes de que se despliegue en un ambiente de producción para así, realizar las respectivas correcciones. Otro objetivo de las pruebas funcionales es asegurar el correcto funcionamiento de la aplicación en su totalidad a pesar de que se realicen cambios en alguna de sus funcionalidades [120].

Las pruebas funcionales aplicadas comprenden las pruebas unitarias o de componentes, las pruebas de integración, de regresión y de aceptación. Estas últimas se detallan en el apartado “3.3 PRUEBAS DE ACEPTACIÓN” [121]. Las pruebas unitarias se basan en la verificación de la funcionalidad de un componente o parte del código en específico. Permiten la detección temprana de errores que serían indetectables hasta etapas más avanzadas del proceso de desarrollo. La principal utilidad de estas pruebas es verificar que la lógica del código se mantendrá funcional ante cualquier situación. Las pruebas unitarias

consumen períodos cortos de tiempos, en el orden de los milisegundos o segundos, lo que permite realizar múltiples pruebas en poco tiempo [122].

Las pruebas de integración, las cuales fueron ejecutadas por el equipo de desarrollado para verificar el correcto funcionamiento de los elementos del software que interactúan entre sí. Se verifica el comportamiento en conjunto de las funcionalidades evaluadas individualmente durante las pruebas unitarias [121]. Estas pruebas permitieron validar las conexiones a la base de datos, el consumo correcto de APIs, la navegación entre rutas y demás aspectos relacionados con el funcionamiento del sistema como un todo. [123]

Las pruebas de regresión jugaron un papel fundamental en el proyecto. Debido a que el sistema estuvo en constante modificación y mejora, era necesario asegurar que los nuevos cambios realizados ya sea con el objetivo de mejorar, incluir una nueva funcionalidad o corregir errores, no afecten el funcionamiento de otro componente del sistema [124]. Estas pruebas se basaron principalmente en la repetición de los casos de prueba realizados en etapas anteriores y que guardaban relación con el módulo modificado. Dichas pruebas fueron aplicadas por el scrum team de forma continua durante el proceso de desarrollo.

Para la evaluación de estas pruebas no se establecieron métricas. Simplemente se definieron los datos de entrada, las acciones a realizar y los datos de salida. Dicha información quedó registrada en el documento "Anexo 3: Casos de prueba" que se encuentra adjunto en la sección de "4.4 Anexos". A continuación, se mencionan ejemplos de algunos de los casos de prueba utilizados para evaluar la funcionalidad de los módulos y del producto en general por parte del scrum team que desarrollaron la función de tester y posteriormente por usuarios del sistema con el objetivo de obtener información referente a la usabilidad la cual se tratará específicamente en el apartado "3.2 USABILIDAD". Se puede agregar que los siguientes casos de prueba, registrados en la tabla 16, los cuales son de suma importancia para el correcto funcionamiento del sistema y por lo que la esta etapa dedicada a las pruebas de funcionalidad finalizó únicamente cuando todos los casos de prueba fueron realizados de forma exitosa.

Caso de prueba	Requisito Funcional	Objetivo del caso de prueba	Entrada	Salida
CP1 Ingresar a la aplicación	El sistema deberá permitir el ingreso a la aplicación mediante el inicio de sesión.	Comprobar que, al ingresar un usuario y contraseña correctos en los respectivos campos de usuarios y	Usuario y contraseña proporcionados. Clic en "Ingresar"	Ingreso exitoso al sistema

		contraseña, al hacer clic en el botón "Ingresar", ingrese al sistema.		
CP2 Abrir el menú	El sistema deberá desplegar el menú con sus respectivas opciones.	Comprobar que al hacer clic en el icono de menú se despliegue el menú.	Usuario y contraseña proporcionados. Clic en ícono del menú	Menú desplegado.
CP3 Acceder a la vista de Centros Médicos	El sistema deberá permitir el acceso a la vista de Centros Médicos.	Comprobar que al hacer clic en el título "Centros Médicos" del menú se despliegue la vista respectiva.	Usuario y contraseña proporcionados. Clic en el elemento "Centros Médicos" del menú desplegable.	Acceso a la vista de Centros Médicos
CP4 Acceder a la vista de Personal Médico	El sistema deberá permitir el acceso a la vista de Personal Médico.	Comprobar que al hacer clic en el título "Personal Médico" del menú se despliegue la vista respectiva.	Usuario y contraseña proporcionados. Clic en el elemento "Personal Médico" del menú desplegable.	Acceso a la vista de Personal Médico
CP5 Acceder a la vista de Pacientes	El sistema deberá permitir el acceso a la vista de Pacientes.	Comprobar que al hacer clic en el título "Pacientes" del menú se despliegue la vista respectiva.	Usuario y contraseña proporcionados. Clic en el elemento "Pacientes" del menú desplegable.	Acceso a la vista de Pacientes
CP6 Acceder a la vista de Usuarios	El sistema deberá permitir el acceso a la vista de Usuarios.	Comprobar que al hacer clic en el título "Usuarios" del menú se despliegue la vista respectiva.	Usuario y contraseña proporcionados. Clic en el elemento "Usuarios" del menú desplegable.	Acceso a la vista de Usuarios

CP7 Acceder a la vista de Bitácora de Consultas	El sistema deberá permitir el acceso a la vista de Bitácora de Consultas.	Comprobar que al hacer clic en el título "Bitácora de Consultas" del menú se despliegue la vista respectiva.	Usuario y contraseña proporcionados. Clic en el elemento "Bitácora de Consultas" del menú desplegable.	Acceso a la vista de Bitácora de Consultas
CP8 Acceder a la vista de Recordatorios de Consultas	El sistema deberá permitir el acceso a la vista de Recordatorios de Consultas.	Comprobar que al hacer clic en el título "Recordatorios" del menú se despliegue la vista respectiva.	Usuario y contraseña proporcionados. Clic en el elemento "Recordatorios" del menú desplegable.	Acceso a la vista de Recordatorios de Consultas
CP9 Acceder a la vista de Mi Perfil	El sistema deberá permitir el acceso a la vista de Mi Perfil.	Comprobar que al hacer clic en el título "Mi Perfil" del menú se despliegue la vista respectiva.	Usuario y contraseña proporcionados. Clic en el elemento "Mi Perfil" del menú desplegable.	Acceso a la vista de Mi Perfil
CP10 Acceder a la vista de Ishihara	El sistema deberá permitir el acceso a la vista de Ishihara.	Comprobar que al hacer clic en el título "Ishihara" del menú se despliegue la vista respectiva.	Usuario y contraseña proporcionados. Clic en el elemento "Ishihara" del menú desplegable.	Acceso a la vista de Ishihara
CP11 Salir de la aplicación	El sistema deberá permitir la salida de la aplicación mediante el cierre de sesión.	Comprobar que al hacer clic en el título del menú desplegable "Cerrar sesión", el usuario salga del sistema.	Usuario y contraseña proporcionados. Clic en el elemento "Cerrar sesión" del menú desplegable.	Cierre de sesión exitoso

CP12 Buscar centro médico	El sistema deberá permitir la realización de búsquedas de centros médicos.	Comprobar que al ingresar una cadena de caracteres se actualiza la tabla de los centros médicos.	Usuario y contraseña proporcionados. Cadena de caracteres: ce Clic en el ícono de búsqueda o presionar la tecla Enter.	Se actualiza la tabla de centros médicos
CP15 Crear un centro médico	El sistema deberá permitir crear un centro médico.	Comprobar que al completar la información del centro médico en el formulario de la vista "Nuevo centro médico" y al hacer clic en el botón "Guardar" se actualiza la información.	Usuario y contraseña proporcionados. Completar el formulario de la vista "Nuevo Centro médico". Clic en el botón "Guardar"	Se crea un nuevo centro médico con la información proporcionada por el usuario
CP17 Buscar paciente	El sistema deberá permitir la realización de búsquedas de pacientes.	Comprobar que al ingresar una cadena de caracteres se actualiza la tabla de los pacientes.	Usuario y contraseña proporcionados. Cadena de caracteres: ce Clic en el ícono de búsqueda o presionar la tecla Enter.	Se actualiza la tabla de paciente
CP19 Editar la información de un paciente	El sistema deberá permitir editar la información de un paciente.	Comprobar que al modificar la información del paciente en la vista "Editar paciente" y al hacer clic en el botón "Guardar" se actualiza la información.	Usuario y contraseña proporcionados. Modificar el campo "Nombre" en el formulario de la vista "Editar paciente", colocar la palabra "Actualizado". Clic en el botón "Guardar"	Se actualiza la información del paciente

CP25 Crear una historia clínica	El sistema deberá permitir crear una historia clínica.	Comprobar que al completar la información de la historia clínica en el formulario de la vista "Nueva historia clínica" y al hacer clic en el botón "Guardar" se registra la información.	Usuario y contraseña proporcionados. Completar el formulario de la vista "Nueva historia clínica". Clic en el botón "Guardar"	Se crea una nueva historia clínica con la información proporcionada por el usuario
CP28 Visualizar la información de una lámina de Ishihara	El sistema deberá permitir visualizar la información de una lámina de Ishihara.	Comprobar que al hacer clic en el ícono de edición (lápiz) de un paciente, se despliega la vista "Editar lámina de Ishihara" con la información de dicha lámina de Ishihara.	Usuario y contraseña proporcionados. Clic en el ícono de editar en un registro de la tabla de lámina de Ishihara.	Se muestra la vista "lámina de Ishihara" con la información de la lámina de Ishihara

*Tabla 16. Ejemplos de casos de prueba. Creado por el autor.*

Las pruebas de funcionalidad se aplicaron prácticamente durante todo el proceso de desarrollo. Al finalizar una nueva funcionalidad se aplicaban pruebas unitarias sobre la misma, adicionalmente se aplicaban pruebas de integración para agregar esta nueva funcionalidad al sistema y que actúe en conjunto con el mismo, para posteriormente realizar las pruebas de regresión y verificar que las funcionalidades restantes no se hayan visto afectadas. Finalmente se realizaba una prueba de aceptación para que los usuarios finales o el product owner validen que las nuevas características cumplan con lo deseado.

Durante la realización de las pruebas unitarias fue donde se identificó la mayor cantidad de errores, lo cual permitió corregir las nuevas funcionalidades antes de ser agregadas al sistema. Una vez que el módulo o la característica modificada, pasaba las pruebas satisfactoriamente, se agregaba al programa. Posteriormente se realizaban las pruebas de integración y regresión, donde no se registraron inconvenientes debido al trabajo realizado por el scrum team durante las pruebas unitarias. Las pruebas de aceptación no reflejaron errores, pero si permitieron obtener retroalimentaciones positivas con el objetivo de hacer modificaciones en los módulos, mayormente visuales.

Las pruebas de usabilidad se aplicaron de forma similar a las de funcionalidad. Al finalizar cada sprint, con el objetivo de obtener una mejor retroalimentación durante el sprint retrospectivo, previamente eran evaluadas las interfaces de los módulos o de las nuevas funcionalidades. Esto permitió identificar que inicialmente no eran muy intuitivas, por lo que se decidió aplicar las heurísticas de usabilidad de Nielsen como se plantea en “2.2.2 Etapa de diseño” el apartado “2.2.2.6 Diseño de interfaces”. Posteriormente, al finalizar el desarrollo de todas las funcionalidades con las que interactúa el usuario, se realizaron pruebas de usabilidad con el sistema desplegado y totalmente funcional con el objetivo de evaluar este aspecto a nivel general.

### **3.2 USABILIDAD**

La usabilidad a nivel general hace referencia a cómo se utiliza determinado elemento, ya sea una herramienta, dispositivos electrónicos, entre otros, para determinar qué tan fácil de manipular es y si cumple o no con el hecho de solventar la necesidad para la que fue creado. En relación al software, la usabilidad va vinculada con la facilidad con que los usuarios lo utilizan para lograr una tarea u objetivo específico [125].

La norma ISO 9241-11 brinda una definición formal de la usabilidad, definiéndola como el grado con el que un producto puede ser utilizado por determinados usuarios para alcanzar determinados objetivos con efectividad, eficiencia y satisfacción en determinado contexto de uso [126]. Dicho contexto de uso se forma según los usuarios, las tareas a realizar, el equipamiento disponible e incluso los entornos sociales y físicos pueden influir [125]. Esta norma, además, brinda una definición sobre cómo medir la usabilidad de productos destacando que, para equipos con pantallas para interacción y visualización, la medición a realizar es dependiente el contexto de uso y de las circunstancias en las que se utiliza el producto en cuestión [126].

En la norma ISO 9241-11 se plantean diferentes atributos con los que se relaciona la usabilidad. Entiéndase por atributo, la propiedad o característica de un software o aplicación. Dichos atributos se especifican a continuación:

**Efectividad:** Se basa en el nivel de precisión de los usuarios mientras hacen uso de la aplicación y en la completitud de las tareas propuestas. Entre los principales indicadores se tiene la tasa de errores cometidos por el usuario durante la realización de determinada tarea [127].

**Eficiencia:** Se basa en la relación de la efectividad y los recursos o el esfuerzo utilizado con el objetivo de lograr una tarea determinada. Esta relación es inversamente proporcional,

lográndose una mayor eficiencia mientras menos esfuerzos o recursos sean empleados. Como indicadores de este atributo se tiene el tiempo que demora el usuario en realizar una tarea en su totalidad y el tiempo dedicado al aprendizaje y a la comprensión del sistema [127].

Satisfacción: Se basa en las experiencias positivas experimentadas por el usuario durante su interacción con el sistema. Este es un atributo subjetivo, por lo que se recomienda utilizar escalas de calificación para obtener una mejor retroalimentación [127].

Además de los atributos de usabilidad planteados anteriormente, existen otros que contribuyen a la medición del grado de usabilidad de una aplicación o software. Jakob Nielsen plantea que la usabilidad puede medirse en base a la facilidad de aprendizaje, la eficiencia, la memorabilidad, los errores y la satisfacción. Además, Nielsen plantea que la importancia de cada atributo se genera en base al contexto del sistema en cuestión [127].

Los atributos a considerar para medir la usabilidad pueden variar debido a la existencia de diferentes puntos de vista respecto a autores que han tratado el tema [128]. A continuación, se especifican otros de los atributos que pueden utilizarse para medir el grado de usabilidad de un sistema.

Memorabilidad: Se relaciona con la facilidad para memorizar la forma de utilizar el sistema y desempeñar determinadas tareas y con la fluidez con la que los usuarios recuerdan cómo utilizar el sistema después de un determinado período de tiempo.

Errores: Se basa en la cantidad de errores que comete el usuario mientras intenta desarrollar una tarea específica utilizando el sistema, también se puede considerar la gravedad de los errores. Si se producen errores es importante que el propio sistema se los dé a conocer al usuario de forma rápida y precisa.

Facilidad de aprendizaje: Se relaciona con la facilidad con la que los usuarios comprenden el sistema y logran cumplir tareas específicas la primera vez que interactúan con el mismo.

Contenido: Se basa en la distribución del contenido y en mantener un estándar en los formatos mediante los cuales, el usuario visualiza la información.

Accesibilidad: Facilidad con la que pueden utilizar el sistema usuarios con posibles limitaciones físicas, auditivas, visuales u otras.

Seguridad: Presencia de mecanismos que protegen el sistema y controlan o limitan las acciones del usuario.

Portabilidad: Capacidad de la aplicación de ser transferida de un entorno a otro, es decir, a través de diferentes plataformas.

Contexto: Se basa en los factores o variables del entorno de uso en el que se interactúa con el aplicativo.

### 3.2.1 MÉTRICAS DE USABILIDAD

Los atributos para determinar el grado de usabilidad de un sistema, mencionados anteriormente, son conceptos abstractos, por ende, no pueden ser medidos directamente. Para obtener medidas en base a estos, se les asocian métricas, las cuales son valores numéricos o nominales que se asignan a determinada característica [129]. Dichas métricas pueden dividirse en estáticas como tamaño del código o bucles en el mismo o dinámicas, que se permiten medir el comportamiento del sistema en ejecución [130]. A continuación, se adjunta la tabla 17, donde se definen los atributos con las respectivas métricas que le fueron asignadas.

Atributos de usabilidad	Métricas
<b>Efectividad</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tareas resueltas en determinado período de tiempo.</li><li>- Porcentaje de tareas completadas con éxito al primer intento.</li><li>- Cantidad de funcionalidades comprendidas durante la primera interacción con el sistema.</li></ul>
<b>Eficiencia</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tiempo empleado en lograr determinado objetivo.</li><li>- Número de clics realizados por objetivo.</li><li>- Tiempo transcurrido en cada pantalla.</li><li>- Eficiencia relativa en comparación con un usuario experto.</li><li>- Tiempo no productivo.</li><li>- Tiempo productivo.</li></ul>

<b>Satisfacción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nivel de dificultad mediante puntuación.</li> <li>- El sistema es intuitivo o no.</li> <li>- Resulta agradable interactuar con el sistema o no.</li> </ul>
<b>Facilidad de aprendizaje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo empleado en finalizar una tarea por primera vez en relación al tiempo requerido para finalizar la misma tarea por segunda vez.</li> <li>- Tiempo empleado en explicaciones y entrenamiento.</li> </ul>
<b>Memorabilidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Número de clics y rutas visitadas para finalizar determinada tarea después de no usar el sistema por determinado período de tiempo.</li> </ul>
<b>Errores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Número de errores.</li> </ul>
<b>Contenido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cantidad de palabras por interfaz.</li> <li>- Cantidad de interfaces.</li> </ul>
<b>Accesibilidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Imágenes con texto alternativo.</li> <li>- Paleta de colores con contrastable.</li> </ul>
<b>Seguridad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Control de usuarios.</li> <li>- Conteo de incidentes detectados.</li> <li>- Cantidad de reglas de seguridad.</li> </ul>
<b>Portabilidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grado con que se desacopla el software del hardware.</li> </ul>
<b>Contexto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grado de conectividad.</li> <li>- Características del dispositivo.</li> </ul>

*Tabla 17. Ejemplos de atributos de usabilidad y métricas. Creado por el autor.*

### 3.2.2 EVALUACIÓN DE LA USABILIDAD

El sistema tratado en el presente documento se estuvo evaluando constantemente bajo los conceptos mencionados anteriormente sobre la usabilidad. Al finalizar cada sprint, los módulos, las interfaces o las nuevas funcionalidades obtenidas como resultado, eran evaluadas bajo criterios de usabilidad con el objetivo de obtener una mejor retroalimentación durante la reunión de sprint retrospectivo. Las pruebas realizadas se basaron en la evaluación empírica, donde usuarios reales eran evaluados mientras realizaban tareas específicamente creadas para los resultados presentados al finalizar el sprint.

Posteriormente a la etapa de implementación y a las pruebas realizadas durante esta, el proceso continúa con una etapa netamente dedicada a la evaluación de la usabilidad del producto obtenido. Para lo cual se reutilizaron pruebas de usabilidad aplicadas durante la etapa de implementación, sin embargo, ahora contaban con una dificultad mayor debido a que ya no se trataba de la evaluación de un módulo o de una interfaz, sino que estas pruebas fueron realizadas sobre el sistema funcional. Dichas pruebas se aplicaron de manera simultánea a las pruebas de funcionalidad, por lo que los usuarios fueron evaluados mientras realizaban los casos de prueba descritos en 3.1.2.2 APLICACIÓN DE LAS PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD.

Para el uso práctico del presente proyecto se han definido tres roles fundamentales los cuales son superadministrador, administrador y personal médico.

- Rol Superadministrador: Tiene como tarea principal la gestión de toda la información del sistema, puede acceder y modificar los datos de todos los centros médicos, así como su total gestión, lo cual incluye la manipulación de los datos referentes a pacientes, personal médico y lo relacionado a estos. El superadministrador puede visualizar, además, la información que para los restantes roles se encuentra eliminada en caso de que se le soliciten determinadas correcciones.
- Rol Administrador: Similar al su rol continuo superior (superadministrador), con la diferencia de que posee ciertas restricciones. El administrador solamente gestiona la información de un centro médico y todo lo referente al mismo, incluyendo los datos referentes a pacientes y personal médico. Las acciones de este rol se encuentran limitadas únicamente a la información que puede visualizar, esto significa que no podrá interactuar con datos que se encuentren eliminados para el centro médico en cuestión.

Finalmente se tiene el rol más básico en relación a la interacción que puede realizar con el sistema.

- Rol Personal Médico: Estos podrán observar e interactuar con la información que los roles superiores hayan referenciado hacia ellos. Adicionalmente podrán gestionar la información de los pacientes, de los recordatorios y la bitácora de consultas y, por consiguiente, las historias clínicas y la aplicación de las pruebas de Farnsworth e Ishihara.

### 3.2.3 DEFINICIÓN DEL CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN DE USABILIDAD

Los cuestionarios constituyen una técnica exploratoria de recogida de datos mediante el enunciado de preguntas en forma sistemática y ordenada, y donde las posibles respuestas se definen mediante un sistema establecido de registro sencillo. El cuestionario se utiliza para obtener información por parte de los entrevistados mediante la comparación de las respuestas obtenidos tras realizar la misma pregunta a diferentes personas [131]. El objetivo del cuestionario es conocer cómo los usuarios utilizan determinado producto y sus criterios al respecto. Debido a lo cual es importante definir las preguntas a realizar [132].

Para la evaluación de la usabilidad del presente proyecto se utilizó un cuestionario proporcionado por la Escuela Politécnica Nacional por parte de MSc. Mayra del Cisne Carrión Toro, codirectora de este trabajo de titulación. Dicho cuestionario se basa en el Cuestionario de Usabilidad de Sistemas Informáticos de Lewis (CSUQ) [133]. A continuación, se evidencia parte de dicho cuestionario en la figura 43.

**EVALUACION USABILIDAD SISTEMA - CSQU**  
(Lewis,2018)

*Please read each statement and indicate how strongly you agree or disagree with the statement by checking the item corresponding to your degree of satisfaction in the 7-point scale.*

*Por favor lea cada una de las preguntas planteadas luego de utilizar la aplicación y culminar con las tareas propuestas, responda con la siguiente escala del 1-7.*

\* Obligatorio

1. Overall, I am satisfied with how easy it is to use this system.  
En general, estoy satisfecho con lo fácil que es usar este sistema. \*

1. Totalmente de acuerdo

2. De acuerdo

3. Ligeramente de acuerdo

4. Ni en acuerdo ni en desacuerdo

5. Ligeramente en desacuerdo

6. En desacuerdo

Figura 43. Cuestionario para evaluación de usabilidad.

El cuestionario en cuestión se compone por 16 preguntas, las cuales tienen 8 opciones de respuestas a seleccionar, entre las que se incluyen:

1. Totalmente de acuerdo.
2. De acuerdo.
3. Ligeramente de acuerdo.
4. Ni en acuerdo ni en desacuerdo.
5. Ligeramente en desacuerdo.
6. En desacuerdo.
7. Totalmente en desacuerdo.
8. N/A

Las preguntas que conforman el cuestionario son las siguientes:

1. En general, estoy satisfecho con lo fácil que es usar este sistema.
2. Es simple usar este sistema.
3. Soy capaz de completar mi trabajo rápidamente usando este sistema.
4. Me siento cómodo usando este sistema.
5. Fue fácil aprender a usar este sistema.
6. Creo que me volví productivo rápidamente usando este sistema.
7. El sistema mostró mensajes de error que me indicaron claramente cómo solucionar problemas.
8. Cada vez que cometía un error al utilizar el sistema, podía recuperarme fácil y rápidamente.
9. La información (como ayuda en línea, mensajes en pantalla y otra documentación) proporcionada con este sistema es clara.
10. Es fácil encontrar la información que necesita.
11. La información proporcionada con el sistema es efectiva para ayudarme a completar mi trabajo.
12. La organización de la información en las pantallas del sistema es clara.
13. La interfaz de este sistema es muy agradable. (incluye ratón, teclado, mouse y pantallas, además los gráficos y lenguaje que se usa).
14. Me gustó usar la interfaz de este sistema.
15. Este sistema tiene todas las funciones y capacidades que espero tener.
16. En general, estoy satisfecho con este sistema.

### **3.2.4 PROTOCOLO DE EVALUACIÓN DE LA USABILIDAD**

Para evaluar la usabilidad de un software se requiere la aplicación de pruebas con el objetivo de obtener medidas e información que permitan generar cierta retroalimentación. Existen cuatro formas básicas de evaluación dentro de las cuales se encuentra la automática, donde se calculan métricas mediante la ejecución del sistema.

La evaluación empírica plantea que el sistema se evalúa mediante el testeado de este por usuarios reales. Adicionalmente se tiene la evaluación formal mediante modelos formales y el uso de fórmulas para el cálculo de medidas de usabilidad; y la evaluación informal basada en reglas generales y en la experiencia del evaluador [125].

Cada método de evaluación requiere la realización de ciertas actividades para cumplir con su objetivo. Entre las actividades más comunes se tiene la captura de información, que permite obtener datos sobre la usabilidad del sistema para posteriormente pasar a la siguiente actividad conocida como el análisis. Mediante esta última se interpreta la información recolectada para determinar los problemas de usabilidad existentes. Finalmente se propone la crítica, donde se plantean las posibles soluciones, se brindan recomendaciones u opciones de mejora para los problemas identificados [125].

Como intento de estandarizar la cuantificación y evaluación de la usabilidad en la interacción humano-computador (HCI Human-Computer Interaction), se han propuesto múltiples modelos o estándares. Estos no constituyen una guía precisa de los atributos, métricas y reglas necesarias para la medición de la usabilidad de un software, debido a que estos factores son muy diversos, dichos estándares no logran cubrirlos a totalidad.

En base a estos platenamientos, las prácticas actualmente definidas suelen ser personalizadas para cada proyecto de desarrollo [134]. En este caso se decidió seguir el protocolo de evaluación propuesto por Abhay Rautela [135], el cual consta de seis fases que se encuentran ilustradas en la figura 44 y adicionalmente serán explicadas a continuación.



Figura 44. Proceso de evaluación de la usabilidad. Tomado de [135].

### 3.2.4.1 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA PRUEBA

Para la realización de las pruebas de usabilidad del sistema desarrollado en el presente proyecto se definen los siguientes objetivos.

- Aplicar el cuestionario propuesto anteriormente como medio de evaluación de la usabilidad del sistema “SIONDAL”.
- Obtener retroalimentación por parte de los usuarios evaluados respecto al grado de satisfacción tras su interacción con el sistema “SIONDAL”.
- Generar información analítica en base a la retroalimentación obtenida durante la aplicación de la evaluación de la usabilidad del sistema “SIONDAL”.

### **3.2.4.2 PREPARACIÓN DE LA PRUEBA**

Previo a la evaluación se prepararon los recursos necesarios para la normal aplicación de esta prueba. Dicha acción implica la preparación de determinada documentación que debe ser proporcionada a los usuarios que intervendrán en el proceso de evaluación. Esta documentación se conforma por tres documentos en el que se incluye el manual de usuario del sistema, el cual contiene información necesaria para que los usuarios generen una idea de las diferentes funcionales incluidas en la aplicación, para mayor información se recomienda leer el "Anexo 4: Manual de usuario", además de disponer de las instrucciones requeridas en caso de que necesitar realizar acciones cuya dificultad suponga un reto para determinado usuario.

Adicionalmente se dispone de una carta de consentimiento, la cual debe ser leída y firmada por cada usuario de forma individual. Dicha carta define los términos para participar en el proceso de evaluación del sistema en cuestión, y adicionalmente consta como la autorización para el uso de los datos obtenidos durante el proceso generados por parte del sujeto que actuará como usuario del sistema durante la evaluación en cuestión, el formato en cuestión se encuentra en el "Anexo 5: Carta de consentimiento". El tercer y último documento se trata de un conjunto de instrucciones que contiene las tareas que el usuario debe realizar para el normal desarrollo de la evaluación. Dicho documento dispone de tres versiones en relación a los tres roles existentes en el sistema (superadministrador, administrador y personal médico). Debido a que cada rol dispone de diferentes permisos en el aplicativo, las funcionalidades a evaluar por cada uno son diferentes, por lo que se detalla un conjunto específico de tareas en base a cada rol en cada versión de este documento. Para profundizar en las diferentes tareas propuestas para cada rol se recomienda la lectura de los anexos "Anexo 6: Usabilidad – Tareas Superadministrador", "Anexo 7: Usabilidad – Tareas Administrador" y "Anexo 8: Usabilidad – Tareas Personal Médico".

### **3.2.4.3 FASE DE SELECCIÓN DE LOS PARTICIPANTES**

Para realizar las pruebas de usabilidad se requirieron 15 usuarios en total. Según Laura Faulkner es posible detectar en promedio desde un 55% hasta un 85% de los problemas de usabilidad con una muestra de 5 usuarios en base a lo planteado en su estudio "Beyond the five-user assumption: Benefits of increased sample sizes in usability testing." [136]. Es decir que para esta muestra en la peor situación solamente se detectarán la mitad de los problemas relacionados a la usabilidad. El hecho de definir una muestra de 15 usuarios representa una mejora representativa debido a que permite identificar mediante la

evaluación desde un 82% hasta un 95% de los problemas de usabilidad presentes en el sistema.

Los 15 usuarios seleccionados tendrán diferentes permisos y actividades en función de los roles definidos en el sistema. La división de los roles para la evaluación se realizó de la siguiente forma:

Rol superadministrador: Para este rol se establecieron 5 usuarios, los cuales poseen conocimientos avanzados en el manejo de sistemas informáticos. Por lo que para este rol se solicitó la colaboración de estudiantes universitarios diestros en el manejo de tecnología. Estos usuarios tienen la tarea de crear centros médicos y cargar los datos necesarios para que los roles inferiores puedan interactuar con los mismos.

Rol administrador: Para este rol se establecieron 5 usuarios, los cuales son jóvenes que han interactuado con la tecnología de forma continua, en su mayoría estudiantes. Estos tendrán como principal tarea, la gestión de la información proporcionada por los superadministradores.

Rol personal médico: Para este rol, de igual forma se definieron 5 usuarios. En este caso, para el manejo del presente rol fueron definidos usuarios sin conocimientos directos de la carrera de Ingeniería en Sistemas Informáticos y de Computación, con conocimientos básicos respecto al manejo de la tecnología. La mayoría de estos usuarios se encuentran relacionados con las ciencias médicas.

### **3.2.5 APLICACIÓN DE LA PRUEBA DE USABILIDAD**

El primer paso dentro del proceso de aplicación de la prueba de usabilidad fue la realización de una reunión presencial previamente planificada donde los usuarios participantes recibirían indicaciones sobre cómo estaba planificada la actividad evaluativa. Adicionalmente, cada usuario recibió la documentación mencionada anteriormente y fue definida la vía de comunicación mediante la cual se solventarían las dudas emergentes durante la evaluación.

Durante este proceso se les entregó a los usuarios el formato definido para la carta de consentimiento. Posteriormente se procedió a la lectura del mismo con el objetivo de que los participantes conocieran los términos de su participación y concedieran la respectiva autorización para manipular los datos obtenidos durante la evaluación. En la figura 45 se evidencia un ejemplo de este documento completado y firmado por uno de los usuarios a evaluar y por el facilitador del mismo.

**Carta de consentimiento**

El propósito de este estudio es evaluar las funcionalidades de la aplicación web Siondal desarrollada por Juan Antonio López Rodríguez como proyecto de titulación para la Escuela Politécnica Nacional.

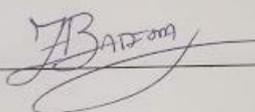
Como voluntario del estudio, su participación será anónima si lo desea, caso contrario se tomará una fotografía cuyo uso será únicamente como evidencia de su participación en la evaluación.

Se le pedirá realizar una serie de tareas en un período de tiempo determinado. Al finalizar dichas tareas deberá contestar un cuestionario.

La evaluación podrá ser videograbada, en este caso el uso de la grabación será estrictamente confidencial y con el fin de estudiar las características del sistema.

El proceso evaluativo durará aproximadamente 30 minutos. En caso de que el participante se encuentre inconforme con la evaluación, podrá dar por terminada su participación en el momento que lo desee.

Yo ZAYMA BATORA FERNANDEZ, acepto participar en esta evaluación, entiendo por completo sus términos y mis derechos como participante, detallados en el presente documento, del cual he recibido una copia.

Firma del participante: 

Fecha: 05 / 03 / 2022

Facilitador que entrega este formato: Juan Antonio López Rodríguez

Firma del facilitador: 

Figura 45. Ejemplo de carta de consentimiento firmada. Creado por el autor.

Para acceder al sistema se realizó un despliegue del mismo en una red local la cual sería totalmente accesible para los usuarios a evaluar. En la figura 46 se visualizan dos pantallas con la interfaz de inicio de sesión accedida mediante el navegador Google Chrome.

La pantalla que se encuentra a la izquierda corresponde a la laptop donde se desarrolló el código del sistema, la cual adicionalmente, actuó como servidor en estas pruebas para realizar el despliegue del sistema en la red.

La pantalla que se visualiza al fondo a la derecha, corresponde a una computadora de escritorio, la cual se habilitó para realizar las pruebas. El enlace mediante el cual se accedió al sistema se adjunta a continuación: <http://192.168.100.13:4200/login>

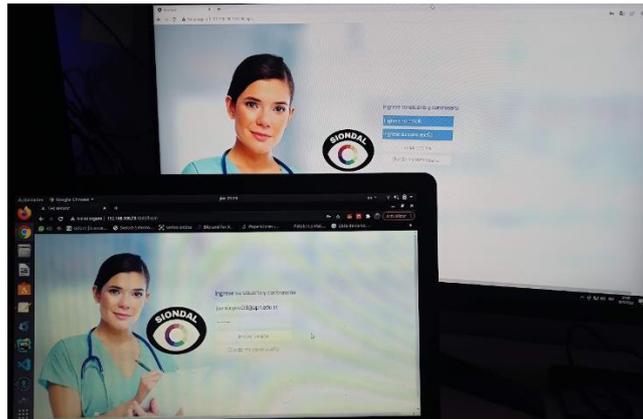


Figura 46. Aplicación web desplegada en red local. Creado por el autor.

Como se mencionó en el apartado 3.2.4.3 “Fase de selección de los participantes”, existen tres roles fundamentales en el sistema, por lo que se prepararon tres documentos, uno para cada rol, donde se definían las tareas a realizar. En estos documentos se recogían todas las funcionalidades que contempla el funcionamiento del sistema, sin embargo, para la aplicación de la prueba solamente se emplearon 10 tareas por usuario, en base al rol asignado.

A continuación, las tablas 18, 19 y 20 resumen las tareas definidas para personal médico, administrador y superadministrador respectivamente, presentadas con mayor frecuencia durante la evaluación. Para consultar el total de tareas disponibles se recomienda la lectura de “Anexo 6: Usabilidad – Tareas Superadministrador”, “Anexo 7: Usabilidad – Tareas Administrador” y “Anexo 8: Usabilidad – Tareas Personal Médico” debido a que se definieron en total 25 tareas para el personal médico, 41 tareas para los administradores y 45 tareas para los superadministradores. El número de tareas incrementa de forma proporcional al aumento de las funcionalidades referentes al rol en cuestión.

Código	TAREA	Entrada	Salida
T2	Ingreso exitoso a la aplicación	Se debe utilizar el usuario y la contraseña definidos en el documento "Credenciales", en el apartado "Credenciales correctas". Clic en "Ingresar"	Ingreso exitoso al sistema.
T5	Crear un paciente.	Clic en el botón con el nombre "Nuevo Paciente". El usuario debe acceder al formulario dedicado a la creación de pacientes, utilizando como guía la información provista por sistema. El usuario debe completar y guardar dicho formulario.	Se crea un nuevo paciente con la información proporcionada por el usuario.

<b>T7</b>	Editar la información de un paciente	<p>Situarse en la pantalla de "Paciente".</p> <p>Hacer clic en el icono del lápiz de edición en el registro que se desea modificar para acceder al formulario de edición.</p> <p>Una vez en el formulario se puede editar y guardar la información.</p>	Se actualiza la información del paciente.
<b>T9</b>	Crear un nuevo registro de historia clínica para un paciente	<p>Clic en el botón con el nombre "Nuevo Registro".</p> <p>El usuario debe acceder al formulario dedicado a la creación de registros de historia clínica, utilizando como guía la información provista por sistema.</p> <p>El usuario debe completar y guardar dicho formulario.</p>	Se crea un nuevo registro de historia clínica con la información proporcionada por el usuario.
<b>T10</b>	Crear un registro de Test de Ishihara para un paciente	<p>Clic en el botón con el icono de una escala de colores.</p> <p>Clic en el test de Ishihara.</p> <p>El usuario debe acceder a la vista dedicada al test de Ishihara, utilizando como guía la información provista por sistema.</p> <p>El usuario debe completar y guardar dicho test.</p>	Se crea un nuevo registro de test de Ishihara en el registro de historia clínica con la información proporcionada por el usuario.
<b>T11</b>	Crear un registro de Test de Farnsworth para un paciente	<p>Clic en el botón con el icono de una escala de colores.</p> <p>Clic en el test de Farnsworth.</p> <p>El usuario debe acceder a la vista dedicada al test de Ishihara, utilizando como guía la información provista por sistema.</p> <p>El usuario debe completar y guardar dicho test.</p>	Se crea un nuevo registro de test de Farnsworth en el registro de historia clínica con la información proporcionada por el usuario.
<b>T12</b>	Visualizar el registro de la historia clínica de un paciente con las pruebas realizadas adjuntas.	<p>Clic en el icono del menú desplegable.</p> <p>Clic en "Pacientes".</p> <p>Clic en el icono con forma de Hoja con una cruz de salud, en el registro del paciente del que se desea visualizar la historia clínica.</p> <p>Clic en el icono del ojo en el registro de historia clínica que se desea visualizar.</p>	Se despliega la pantalla con toda la información del registro de historia clínica seleccionado.
<b>T15</b>	Editar la información de mi perfil como usuario	<p>Situarse en la pantalla de "Mi perfil".</p> <p>Hacer clic en el botón "Editar" para acceder al formulario de edición.</p> <p>Una vez en el formulario se puede editar y guardar la información.</p>	Se actualiza la información del usuario cuya sesión se encuentra iniciada.

<b>T17</b>	Crear un registro en la bitácora de consultas	<p>Clic en el botón con el nombre "Nueva consulta".</p> <p>El usuario debe acceder al formulario dedicado a la creación de consultas, utilizando como guía la información provista por sistema.</p> <p>El usuario debe completar y guardar dicho formulario.</p> <p>Para que la consulta se visualice en la bitácora debe guardarse con un estado diferente de "Pendiente".</p>	Se crea un nuevo registro en la bitácora de consultas con la información proporcionada por el usuario.
<b>T21</b>	Crear un registro en los recordatorios de consultas	<p>Clic en el botón con el nombre "Nueva consulta".</p> <p>El usuario debe acceder al formulario dedicado a la creación de consultas, utilizando como guía la información provista por sistema.</p> <p>El usuario debe completar y guardar dicho formulario.</p> <p>Para que la consulta se visualice en la bitácora debe guardarse con el estado de "Pendiente".</p>	Se crea un nuevo registro en los recordatorios de consultas con la información proporcionada por el usuario.
<b>T25</b>	Recuperar contraseña	<p>En la pantalla de inicio de sesión hacer clic en "Olvidé mi contraseña".</p> <p>Completar los formularios con los datos solicitados.</p>	Se actualiza la contraseña del usuario a la proporcionada por dicho usuario.

*Tabla 18. Tareas definidas para usuarios con rol de personal médico. Creado por el autor.*

<b>Código</b>	<b>Tareas</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
<b>T2</b>	Ingreso exitoso a la aplicación	<p>Se debe utilizar el usuario y la contraseña definidos en el documento "Credenciales", en el apartado "Credenciales correctas".</p> <p>Clic en "Ingresar"</p>	Ingreso exitoso al sistema.
<b>T4</b>	Visualizar la información del centro médico.	<p>Clic en el icono del menú desplegable.</p> <p>Clic en "Centro Médico"</p>	El usuario visualiza la información del centro médico de forma exitosa.
<b>T7</b>	Crear un paciente.	<p>Clic en el botón con el nombre "Nuevo Paciente".</p> <p>El usuario debe acceder al formulario dedicado a la creación de pacientes, utilizando como guía la información provista por sistema.</p> <p>El usuario debe completar y guardar dicho formulario.</p>	Se crea un nuevo paciente con la información proporcionada por el usuario.

<b>T12</b>	Crear un registro de Test de Ishihara para un paciente	<p>Clic en el botón con el icono de una escala de colores.</p> <p>Clic en el test de Ishihara.</p> <p>El usuario debe acceder a la vista dedicada al test de Ishihara, utilizando como guía la información provista por sistema.</p> <p>El usuario debe completar y guardar dicho test.</p>	Se crea un nuevo registro de test de Ishihara en el registro de historia clínica con la información proporcionada por el usuario.
<b>T13</b>	Crear un registro de Test de Farnsworth para un paciente	<p>Clic en el botón con el icono de una escala de colores.</p> <p>Clic en el test de Farnsworth.</p> <p>El usuario debe acceder a la vista dedicada al test de Ishihara, utilizando como guía la información provista por sistema.</p> <p>El usuario debe completar y guardar dicho test.</p>	Se crea un nuevo registro de test de Farnsworth en el registro de historia clínica con la información proporcionada por el usuario.
<b>T15</b>	Visualizar la lista del personal médico	<p>Clic en el icono del menú desplegable.</p> <p>Clic en "Personal Médico".</p>	Se despliega la pantalla "Personal Médico" con una tabla que contiene los registros de estos.
<b>T16</b>	Crear un personal médico	<p>Clic en el botón con el nombre "Nuevo Personal Médico".</p> <p>El usuario debe acceder al formulario dedicado a la creación de personal médico, utilizando como guía la información provista por sistema.</p> <p>El usuario debe completar y guardar dicho formulario.</p>	Se crea un nuevo miembro del personal médico con la información proporcionada por el usuario.
<b>T18</b>	Editar la información de un miembro del personal médico	<p>Situarse en la pantalla de "Personal Médico".</p> <p>Hacer clic en el icono del lápiz de edición en el registro que se desea modificar para acceder al formulario de edición.</p> <p>Una vez en el formulario se puede editar y guardar la información.</p>	Se actualiza la información del miembro del personal médico.
<b>T19</b>	Visualizar la lista de usuarios	<p>Clic en el icono del menú desplegable.</p> <p>Clic en "Usuarios".</p>	Se despliega la pantalla "Usuarios" con una tabla que contiene los registros de estos.

<b>T20</b>	Crear un usuario	<p>Clic en el botón con el nombre "Nuevo Usuario".</p> <p>El usuario debe acceder al formulario dedicado a la creación de usuarios, utilizando como guía la información provista por sistema.</p> <p>El usuario debe completar y guardar dicho formulario.</p>	Se crea un nuevo usuario con la información proporcionada por el usuario.
<b>T22</b>	Editar la información de un usuario	<p>Situarse en la pantalla de "Usuarios".</p> <p>Hacer clic en el icono del lápiz de edición en el registro que se desea modificar para acceder al formulario de edición.</p> <p>Una vez en el formulario se puede editar y guardar la información.</p>	Se actualiza la información del usuario.
<b>T24</b>	Crear una imagen de Ishihara	<p>Clic en el botón con el nombre "Nueva Imagen de Ishihara".</p> <p>El usuario debe acceder al formulario dedicado a la creación de imágenes de Ishihara, utilizando como guía la información provista por sistema.</p> <p>El usuario debe completar y guardar dicho formulario.</p>	Se crea una nueva imagen de Ishihara con la información proporcionada por el usuario.
<b>T26</b>	Editar la información de una imagen de Ishihara	<p>Situarse en la pantalla de "Imagen de Ishihara".</p> <p>Hacer clic en el icono del lápiz de edición en el registro que se desea modificar para acceder al formulario de edición.</p> <p>Una vez en el formulario se puede editar y guardar la información.</p>	Se actualiza la información de la imagen de Ishihara.
<b>T27</b>	Deshabilitar una imagen del test de Ishihara	<p>Hacer clic en el icono de la cruz en el registro que se desea bloquear.</p> <p>Aceptar el mensaje de confirmación para realizar el deshabilitar.</p>	Se cambia el estado de la imagen a "Deshabilitado" y esta no se visualiza cuando se aplica el test de Ishihara.
<b>T28</b>	Habilitar una imagen del test de Ishihara	<p>Hacer clic en el icono del check en el registro que se desea desbloquear.</p> <p>Aceptar el mensaje de confirmación para realizar el habilitar.</p>	Se cambia el estado de la imagen a "Habilitado" y esta se visualiza cuando se aplica el test de Ishihara.

<b>T40</b>	Recuperar contraseña	En la pantalla de inicio de sesión hacer clic en "Olvidé mi contraseña". Completar los formularios con los datos solicitados.	Se actualiza la contraseña del usuario a la proporcionada por dicho usuario.
<b>T41</b>	Restablecer contraseña	Situarse en la pantalla de "Usuarios". Hacer clic en el icono del lápiz de edición en el registro que se desea modificar para acceder al formulario de edición. Una vez en el formulario hacer clic en el botón "Restablecer contraseña".	Se actualiza la contraseña del usuario a la contraseña por defecto.

*Tabla 19. Tareas definidas para usuarios con rol de administrador. Creado por el autor.*

<b>Código</b>	<b>Caso de prueba</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
<b>T2</b>	Ingreso exitoso a la aplicación	Se debe utilizar el usuario y la contraseña definidos en el documento "Credenciales", en el apartado "Credenciales correctas". Clic en "Ingresar"	Ingreso exitoso al sistema.
<b>T4</b>	Visualizar la lista de centros médicos	Clic en el icono del menú desplegable. Clic en "Centros Médicos"	El usuario visualiza la información de los centros médicos de forma exitosa.
<b>T5</b>	Crear un centro médico	Clic en el botón con el nombre "Nuevo Centro Médico". El usuario debe acceder al formulario dedicado a la creación de centros médicos, utilizando como guía la información provista por sistema. El usuario debe completar y guardar dicho formulario.	Se crea un nuevo centro médico con la información proporcionada por el usuario.
<b>T7</b>	Modificar la información de un centro médico	Situarse en la pantalla de "Centro Médico". Hacer clic en el icono del lápiz de edición en el registro que se desea modificar para acceder al formulario de edición. Una vez en el formulario se puede editar y guardar la información.	Se actualiza la información del centro médico.

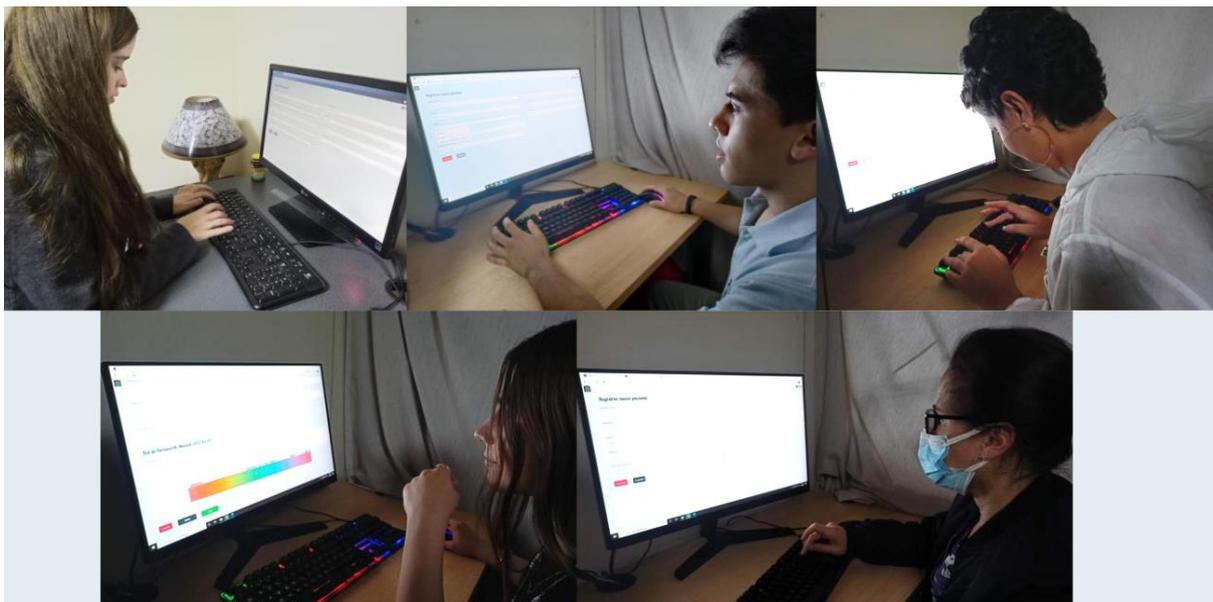
<b>T8</b>	Bloquear un centro médico.	Hacer clic en el icono de la cruz en el registro que se desea bloquear. Aceptar el mensaje de confirmación para realizar el bloqueo.	Ningún usuario del relacionado con el centro médico puede acceder ni hacer uso del sistema.
<b>T9</b>	Desbloquear un centro médico.	Hacer clic en el icono del check en el registro que se desea desbloquear. Aceptar el mensaje de confirmación para realizar el desbloqueo.	Todos los usuario desbloqueados y relacionados con el centro médico pueden acceder y hacer uso del sistema.
<b>T11</b>	Crear un paciente.	Clic en el botón con el nombre "Nuevo Paciente". El usuario debe acceder al formulario dedicado a la creación de pacientes, utilizando como guía la información provista por sistema. El usuario debe completar y guardar dicho formulario.	Se crea un nuevo paciente con la información proporcionada por el usuario.
<b>T16</b>	Crear un registro de Test de Ishihara para un paciente	Clic en el botón con el icono de una escala de colores. Clic en el test de Ishihara. El usuario debe acceder a la vista dedicada al test de Ishihara, utilizando como guía la información provista por sistema. El usuario debe completar y guardar dicho test.	Se crea un nuevo registro de test de Ishihara en el registro de historia clínica con la información proporcionada por el usuario.
<b>T17</b>	Crear un registro de Test de Farnsworth para un paciente	Clic en el botón con el icono de una escala de colores. Clic en el test de Farnsworth. El usuario debe acceder a la vista dedicada al test de Ishihara, utilizando como guía la información provista por sistema. El usuario debe completar y guardar dicho test.	Se crea un nuevo registro de test de Farnsworth en el registro de historia clínica con la información proporcionada por el usuario.
<b>T19</b>	Visualizar la lista del personal médico	Clic en el icono del menú desplegable. Clic en "Personal Médico".	Se despliega la pantalla "Personal Médico" con una tabla que contiene los registros de estos.
<b>T20</b>	Crear un personal médico	Clic en el botón con el nombre "Nuevo Personal Médico".	Se crea un nuevo miembro del personal

		<p>El usuario debe acceder al formulario dedicado a la creación de personal médico, utilizando como guía la información provista por sistema.</p> <p>El usuario debe completar y guardar dicho formulario.</p>	<p>médico con la información proporcionada por el usuario.</p>
<b>T22</b>	<p>Editar la información de un miembro del personal médico</p>	<p>Situarse en la pantalla de "Personal Médico".</p> <p>Hacer clic en el icono del lápiz de edición en el registro que se desea modificar para acceder al formulario de edición.</p> <p>Una vez en el formulario se puede editar y guardar la información.</p>	<p>Se actualiza la información del miembro del personal médico.</p>
<b>T23</b>	<p>Visualizar la lista de usuarios</p>	<p>Clic en el icono del menú desplegable.</p> <p>Clic en "Usuarios".</p>	<p>Se despliega la pantalla "Usuarios" con una tabla que contiene los registros de estos.</p>
<b>T24</b>	<p>Crear un usuario</p>	<p>Clic en el botón con el nombre "Nuevo Usuario".</p> <p>El usuario debe acceder al formulario dedicado a la creación de usuarios, utilizando como guía la información provista por sistema.</p> <p>El usuario debe completar y guardar dicho formulario.</p>	<p>Se crea un nuevo usuario con la información proporcionada por el usuario.</p>
<b>T26</b>	<p>Editar la información de un usuario</p>	<p>Situarse en la pantalla de "Usuarios".</p> <p>Hacer clic en el icono del lápiz de edición en el registro que se desea modificar para acceder al formulario de edición.</p> <p>Una vez en el formulario se puede editar y guardar la información.</p>	<p>Se actualiza la información del usuario.</p>
<b>T27</b>	<p>Visualizar la lista de imágenes de Ishihara</p>	<p>Clic en el icono del menú desplegable.</p> <p>Clic en "Imágenes de Ishihara".</p>	<p>Se despliega la pantalla "Imágenes de Ishihara" con una tabla que contiene los registros de estas.</p>
<b>T28</b>	<p>Crear una imagen de Ishihara</p>	<p>"Clic en el botón con el nombre "Nueva Imagen de Ishihara".</p> <p>El usuario debe acceder al formulario dedicado a la creación de imágenes de Ishihara, utilizando como guía la información provista por sistema.</p> <p>El usuario debe completar y guardar dicho formulario."</p>	<p>Se crea una nueva imagen de Ishihara con la información proporcionada por el usuario.</p>

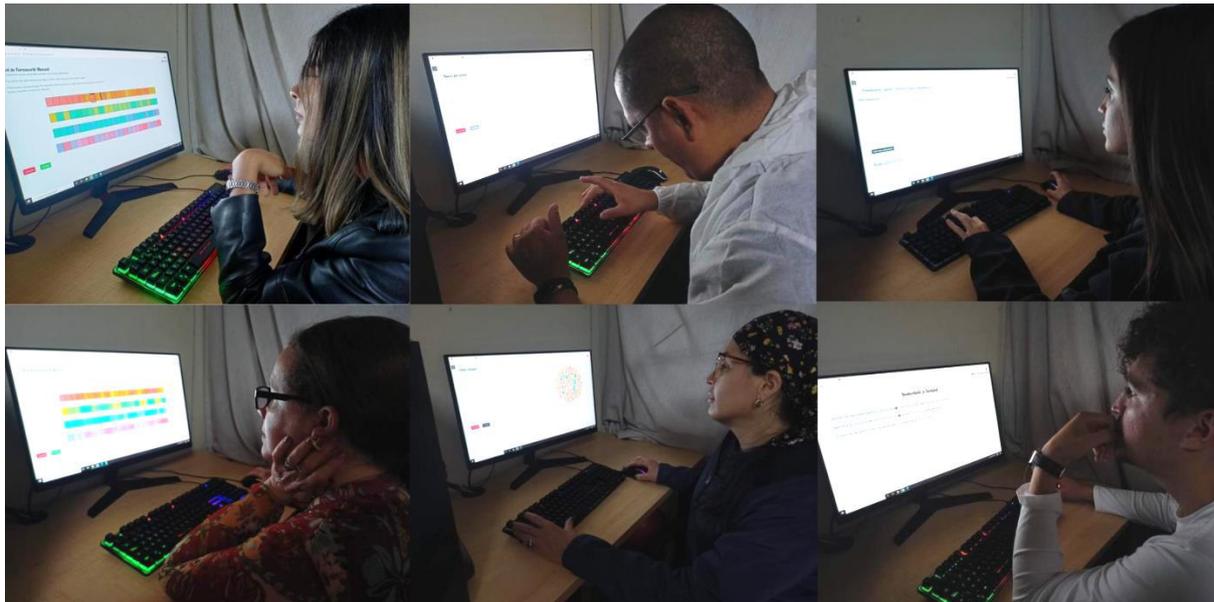
<b>T31</b>	Deshabilitar una imagen del test de Ishihara	Hacer clic en el icono de la cruz en el registro que se desea bloquear. Aceptar el mensaje de confirmación para realizar el deshabilitar.	Se cambia el estado de la imagen a "Deshabilitado" y esta no se visualiza cuando se aplica el test de Ishihara.
<b>T32</b>	Habilitar una imagen del test de Ishihara	Hacer clic en el icono del check en el registro que se desea desbloquear. Aceptar el mensaje de confirmación para realizar el habilitar.	Se cambia el estado de la imagen a "Habilitado" y esta se visualiza cuando se aplica el test de Ishihara.

*Tabla 20. Tareas definidas para usuarios con rol de superadministrador. Creado por el autor.*

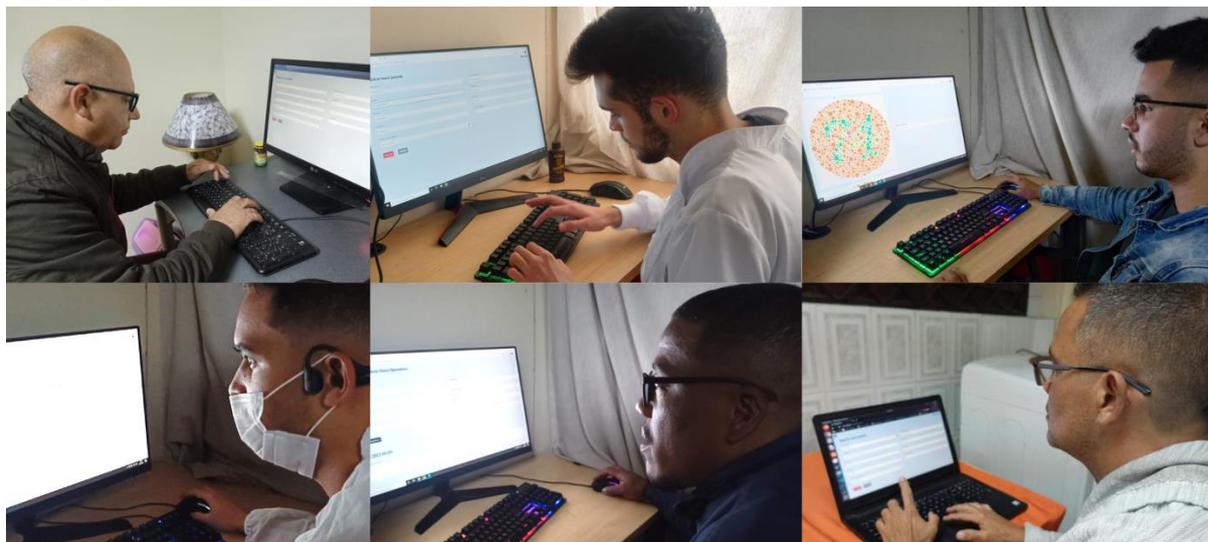
Debido a que la aplicación de la prueba fue de forma presencial se registró, mediante fotografía, la asistencia de los usuarios como evidencia mientras estos interactuaban con el sistema. En la carta de consentimiento firmada por cada usuario autorizan al uso de las fotografías obtenidas durante la aplicación de la evaluación, las cuales se adjuntan a continuación en las figuras 47, 48 y 49, referentes a los grupos de personal médico, administradores y superadministradores respectivamente. Es importante mencionar que con el objetivo de asegurar la participación de mínimo 15 usuarios, se citaron 20 personas de las cuales asistieron 17 a realizar la evaluación como se evidencia en las siguientes imágenes.



*Figura 47. Usuarios con rol de personal médico. Creado por el autor.*



*Figura 48. Usuarios con rol de administrador. Creado por el autor.*



*Figura 49. Usuarios con rol de superadministrador. Creado por el autor.*

### **3.2.5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

El presente análisis se basa en el cuestionario de Lewis propuesto anteriormente, que fue contestado por cada usuario al finalizar el proceso de evaluación de la usabilidad. Dicho cuestionario posee un total de 16 preguntas, como se mencionó anteriormente, de las cuales, todas fueron contestadas por cada usuario evaluado y las respuestas se registraron en base a las opciones mencionadas en el apartado “3.2.3 Definición del cuestionario”.

La figura 50 muestra un resumen de las respuestas obtenidas por cada pregunta. Adicionalmente se adjunta sobre cada barra el número de usuarios que proporcionaron la respuesta en cuestión a la pregunta correspondiente.

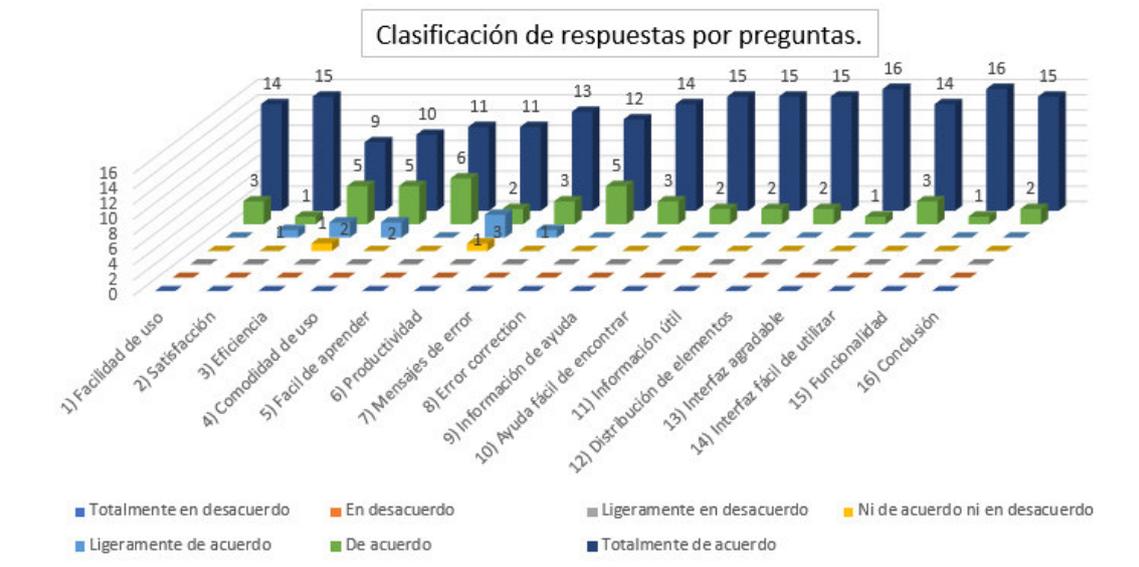


Figura 50. Clasificación de respuestas por preguntas. Creado por el autor.

La siguiente serie de figuras representa los resultados obtenidos en cada pregunta de forma individual. El análisis de la figura 51 indica que 3 usuarios (18%) están de acuerdo con que es fácil de usar el sistema. Mientras que 14 usuarios (82%) están totalmente de acuerdo con esta afirmación.

**1. En general, estoy satisfecho con lo fácil que es usar este sistema.**



Figura 51. Respuestas de pregunta 1. Creado por el autor.

En el caso de la pregunta número dos que plantea: “En general, estoy satisfecho con el sistema”, los resultados reflejan que el 88% (15 usuarios) están totalmente de acuerdo con la afirmación, mientras que un 6% (1 usuario) está de acuerdo y otro 6% (1 usuario) se encuentra ligeramente de acuerdo como se evidencia en la figura 52.

### 2. En general, estoy satisfecho con este sistema.

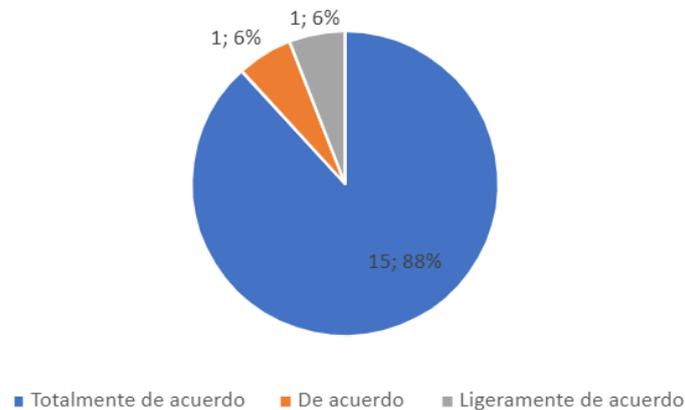


Figura 52. Respuestas de pregunta 2. Creado por el autor.

La tercera pregunta obtuvo 9 respuestas (53%) que planteaban estar totalmente de acuerdo con que el usuario evaluado es capaz de completar su trabajo rápidamente utilizando el sistema. Mientras que 5 usuarios (29%) estuvieron de acuerdo, 2 (12%) ligeramente de acuerdo y un usuario (6%) seleccionó la opción “Ni en acuerdo ni en desacuerdo”. Estos resultados pueden ser observados de forma gráfica en la figura 53.

### 3. Soy capaz de completar mi trabajo rápidamente usando este sistema.

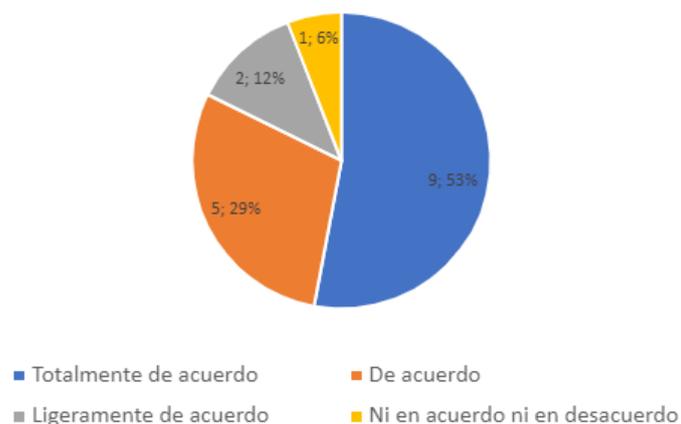


Figura 53. Respuestas de pregunta 3. Creado por el autor.

Respecto a la pregunta cuatro, se puede observar la figura 54, que hace referencia a la comodidad del usuario evaluado mientras utiliza el sistema, un 59% (10 usuarios) están totalmente de acuerdo con la afirmación planteada, mientras que el 29% (5 usuarios) están de acuerdo y 2 usuarios (12%) están ligeramente de acuerdo.

#### 4. Me siento cómodo usando este sistema.

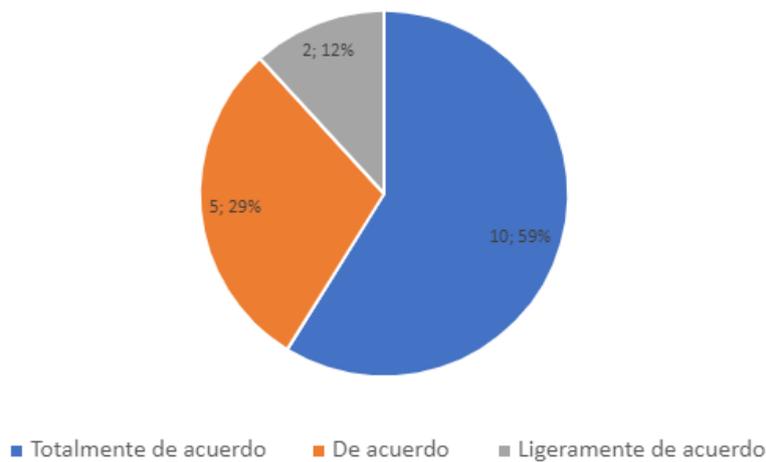


Figura 54. Respuestas de pregunta 4. Creado por el autor.

Respecto a la quinta pregunta, el 65% de los usuarios (11) está totalmente de acuerdo con que fue fácil aprender a usar el sistema. Mientras que 6 usuarios están de acuerdo con esta afirmación, los cuales hacen referencia al 35% como se evidencia en la figura 55.

#### 5. Fue fácil aprender a usar este sistema.

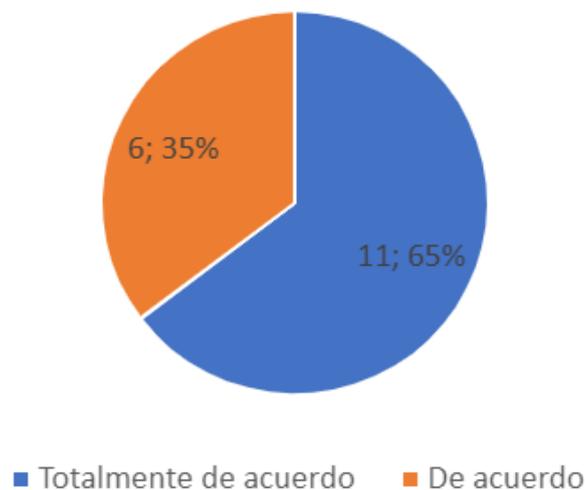
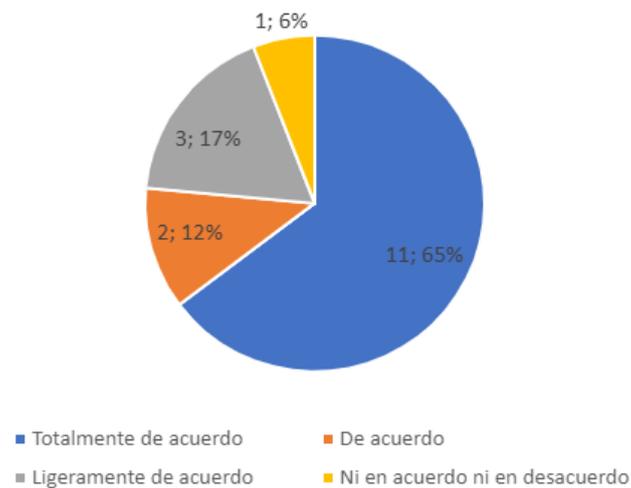


Figura 55. Respuestas de pregunta 5. Creado por el autor.

La figura 56 muestra los resultados obtenidos respecto a la productividad del usuario evaluado al utilizar el sistema. El 65% (11 usuarios) están totalmente de acuerdo con que su productividad aumentó, mientras que el 12% (2 usuarios) están de acuerdo con esta afirmación. Sin embargo 3 usuarios (17%) están ligeramente de acuerdo y uno (6%) no está de acuerdo ni en desacuerdo.

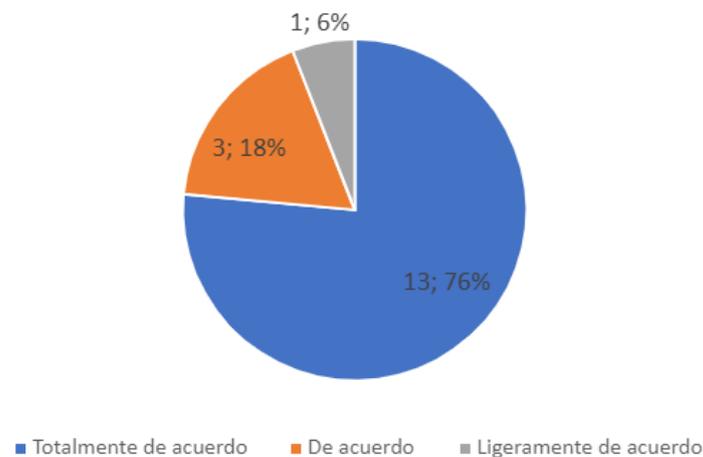
**6. Creo que me volví productivo rápidamente usando este sistema.**



*Figura 56. Respuestas de pregunta 6. Creado por el autor.*

Respecto a la séptima pregunta, las respuestas indican que el 76% de los usuarios (13) están totalmente de acuerdo en que el sistema muestra mensajes de error con indicaciones claras para resolver el problema. Mientras que el 18% está de acuerdo con esta afirmación y el 6% está ligeramente de acuerdo, como se evidencia en la figura 57.

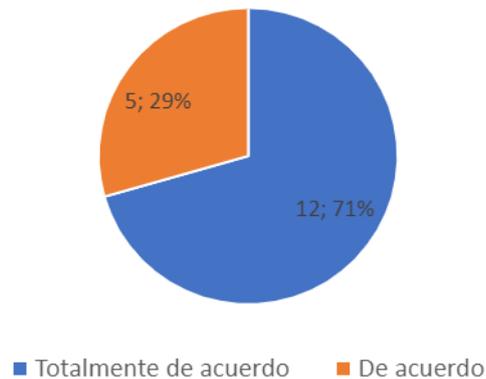
**7. El sistema mostró mensajes de error que me indicaron claramente cómo solucionar problemas.**



*Figura 57. Respuestas de pregunta 7. Creado por el autor.*

La octava pregunta, cuyas respuestas se evidencia en la figura 58, plantea: “Cada vez que cometía un error al utilizar el sistema, podía recuperarme fácil y rápidamente”. En este casi el 71% (12) usuarios están totalmente de acuerdo con la afirmación mientras que el 29% restante (5 usuarios) están de acuerdo con la misma.

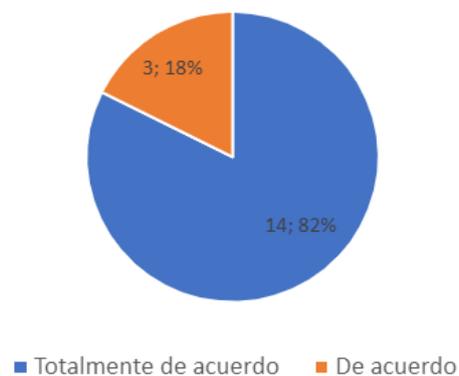
**8. Cada vez que cometía un error al utilizar el sistema, podía recuperarme fácil y rápidamente.**



*Figura 58. Respuestas de pregunta 8. Creado por el autor.*

A cada usuario se le dio acceso al manual de usuario del sistema, lo que permitió que tuvieran acceso a la documentación necesario. En base a esto, las respuestas de la pregunta nueve registran que 14 usuarios están totalmente de acuerdo y 3 están de acuerdo con la afirmación propuesta como se observa en la figura 59.

**9. La información (como ayuda en línea, mensajes en pantalla y otra documentación) proporcionada con este sistema es clara.**



*Figura 59. Respuestas de pregunta 9. Creado por el autor.*

La décima pregunta se basa en la facilidad para encontrar la información que el usuario puede necesitar. En este caso el 88% estuvo de totalmente de acuerdo con la afirmación, mientras que el 12% estuvo de acuerdo con la misma como se evidencia en la figura 60.

### 10. Es fácil encontrar la información que necesita.

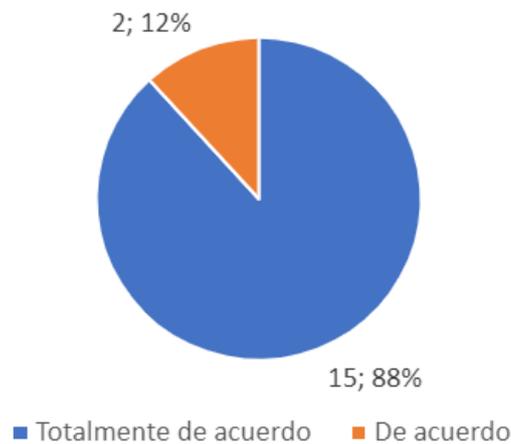


Figura 60. Respuestas de pregunta 10. Creado por el autor.

Los resultados obtenidos en la pregunta 11 se recogen en la figura 61, donde se evidencia que el 88% de los usuarios evaluados está totalmente de acuerdo con que la información proporcionada por el sistema es efectiva para ayudarles a completar su trabajo. Adicionalmente, el 12% restante estuvo de acuerdo con esta afirmación.

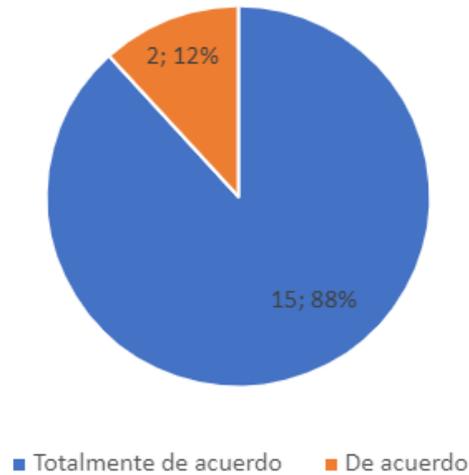
### 11. La información proporcionada con el sistema es efectiva para ayudarme a completar mi trabajo.



Figura 61. Respuestas de pregunta 11. Creado por el autor.

La figura 62 evidencia que el 88% de los usuarios y el restante 12% están totalmente de acuerdo y de acuerdo respectivamente, con que la organización de la información en las pantallas del sistema es clara.

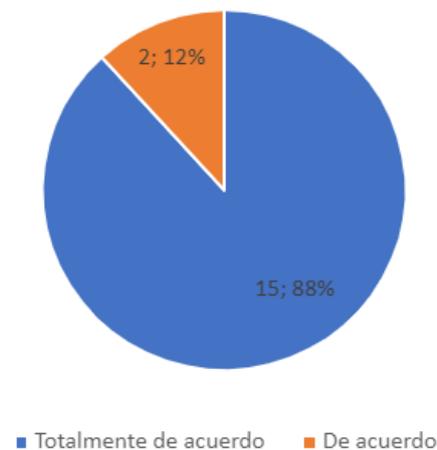
**12. La organización de la información en las pantallas del sistema es clara.**



*Figura 62. Respuestas de pregunta 12. Creado por el autor.*

En el caso de la pregunta 13, el 88% de los usuarios evaluados estuvieron totalmente de acuerdo en que la interfaz del sistema les resulta agradable, y el 12% restante estuvo de acuerdo con la misma afirmación como se representa en el gráfico de la figura 63.

**13. La interfaz de este sistema es muy agradable. ( incluye raton, teclado, mouse y pantallas, además los gráficos y lenguaje que se usa)**



*Figura 63. Respuestas de pregunta 13. Creado por el autor.*

Las respuestas de la pregunta 14 indican que al 82% de los usuarios les gustó utilizar la interfaz del sistema, estando totalmente de acuerdo con la afirmación planteada. el 18% restante estuvo de acuerdo con la misma afirmación como se evidencia en la figura 64.

#### 14. Me gustó usar la interfaz de este sistema.

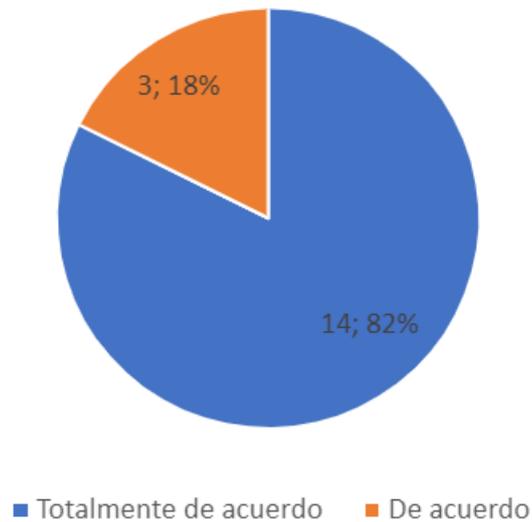


Figura 64. Respuestas de pregunta 14. Creado por el autor.

La pregunta 15 se basa en si el sistema posee todas las funcionalidades que los usuarios evaluados esperaban encontrar en el mismo. En este caso el 94% de los usuarios está totalmente de acuerdo con el planteamiento y el 6% restante está de acuerdo con el mismo.

#### 15. Este sistema tiene todas las funciones y capacidades que espero tener.

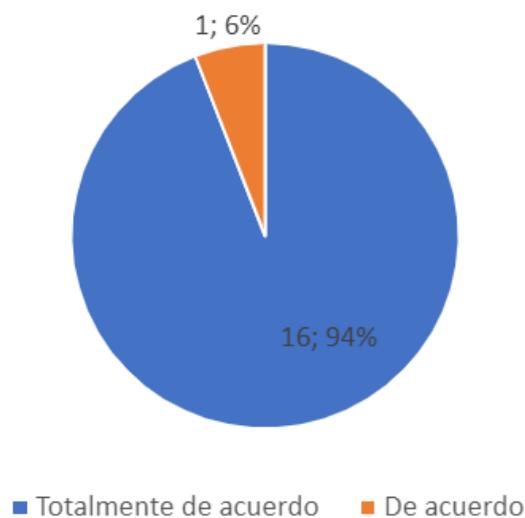


Figura 65. Respuestas de pregunta 15. Creado por el autor.

La última pregunta, número 16, plantea: “En general, estoy satisfecho con este sistema”. En este caso las respuestas fueron positivas debido a que el 88% (15 usuarios) respondieron que están totalmente de acuerdo mientras que el porcentaje restante (2), respondió que estaban de acuerdo.

16. En general, estoy satisfecho con este sistema.

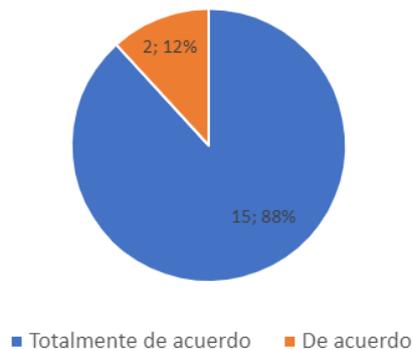


Figura 63. Respuestas de pregunta 16. Creado por el autor.

En total se registraron 272 respuestas, debido a que corresponden a las 16 preguntas que fueron respondidas por los 17 usuarios evaluados. En base a este planteamiento se puede afirmar que los resultados del proceso de evaluación son totalmente satisfactorios debido a que el 79.04% de las respuestas obtenidas corresponden al criterio “Totalmente de acuerdo”, esta cifra hace referencia a 215 de las respuestas obtenidas. Adicionalmente se registraron 46 respuestas vinculadas a la opción “De acuerdo”, lo cual representa el 16.91% del total obtenido. Mientras que 9 respuestas coinciden con la opción “Ligeramente de acuerdo”, correspondiente al 3.30%. Sin embargo, apenas un 0.73% correspondiente a dos respuestas, registran la opción “Ni en acuerdo, ni en desacuerdo”. Las estadísticas descritas se pueden visualizar de forma gráfica en la figura 64.

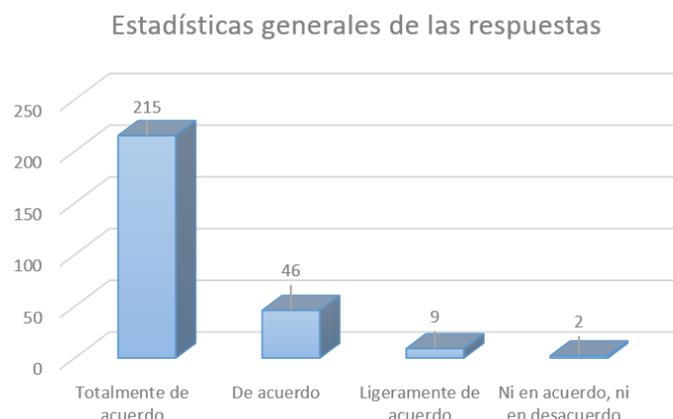


Figura 64. Estadísticas generales de las respuestas. Creado por el autor.

### **3.3 RESUMEN DEL CAPÍTULO III**

Durante el tercer capítulo titulado “Pruebas y evaluación” se abordaron los temas relacionados a la evaluación de la funcionalidad y usabilidad del sistema. Se definió el cuestionario de evaluación para su posterior evaluación junto al protocolo de aplicación de las pruebas de usabilidad. Adicionalmente se definieron los objetivos de estas pruebas y se documentó el proceso de aplicación de las mismas. El último punto representativo del capítulo comprende el análisis de los resultados obtenidos durante el proceso de evaluación.

Los objetivos propuestos fueron cumplidos. Esta afirmación se sustenta debido a que se aplicó el cuestionario propuesto como medio de evaluación de la usabilidad, lo cual permitió obtener una retroalimentación por parte de los usuarios evaluados respecto al grado de satisfacción al interactuar con el sistema. Al finalizar el proceso de evaluación se generó información en base a las respuestas obtenidas a partir del cuestionario aplicado.

La aplicación de estas pruebas resultó de máxima utilidad debido a que permitió mejorar en aspectos de diseño en base a las retroalimentaciones obtenidas. Además, permitió la reducción del trabajo durante el desarrollo al reducir los cambios a realizar posteriormente. También permitió mejorar el uso del sistema y hacerlo más intuitivo para el usuario, reduciendo el esfuerzo del mismo al interactuar con la aplicación y aumentar su productividad. En general se logró mejorar la calidad del producto, creando una herramienta totalmente funcional y fácil de utilizar.

En la sección “4.4 Anexos”, se adjuntan los resultados de la encuesta realizada como “Anexo 9: Resultados generales de la encuesta” y “Anexo 9.1: Resultados detallados de la encuesta”. Además, se adjuntan las firmas de consentimiento adquiridas durante la evaluación de la usabilidad como “Anexo 10: Firmas de consentimiento”, debido a que cada usuario completo el formato de la carta de consentimiento registrado en el “Anexo 5: Carta de consentimiento”.

## **CAPITULO IV**

### **4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El cuarto capítulo que compone el presente documento abarca las conclusiones obtenidas durante el proceso realizado para desarrollar el proyecto en cuestión. Adicionalmente se tratan las recomendaciones generadas durante las diferentes etapas que se encuentran recogidas en los capítulos.

#### **4.1 CONCLUSIONES**

Se puede concluir que con la culminación del presente proyecto quedó desarrollado un sistema informático para la evaluación y detección de deficiencias oftalmológicas mediante un enfoque de desarrollo ágil. Lo cual corresponde al cumplimiento del objetivo general planteado al inicio de este documento en el apartado "1.2.1 Objetivo general". Este hecho se sustenta con el cumplimiento de los cuatro objetivos específicos propuestos en el "1.2.2 Objetivos específicos".

Al finalizar el proyecto, se implementó una solución de software que permite a los usuarios aplicar y registrar los resultados de las pruebas cromáticas y de agudeza visual tradicionales, como el test de Farnsworth Munsell y la prueba de Ishihara. Adicionalmente se disponía de una arquitectura de datos totalmente funcional, en conjunto con interfaces desarrolladas bajo tecnologías web basadas en NodeJS y en Angular. El resultado fue desplegado en un ambiente de producción totalmente web y accesible desde una red local, donde fueron evaluados exitosamente aspectos de funcionalidad y usabilidad por parte de usuarios reales.

El uso del enfoque ágil, específicamente, con la aplicación de Scrum, simplificó el proceso de desarrollo, permitiendo al scrum team definir claramente las tareas a desarrollar por cada sprint, lo que permitió trabajar de forma organizada y eficiente. Las reuniones diarias facilitaron la comprensión de las actividades que tendrían lugar en el día a día, principalmente durante la etapa de desarrollo. De igual manera, las reuniones dedicadas a la retrospectiva del sprint, permitieron realizar pruebas de funcionalidad de manera periódica sobre los módulos que se iban generando como resultados de cada sprint.

Adicionalmente, estas reuniones, constituyeron las bases para identificar los cambios que posteriormente mejorarían la funcionalidad y la usabilidad del sistema, y se tornaron un factor fundamental para agilizar el proceso de desarrollo. Principalmente las reuniones de retrospectiva del sprint determinaron la toma de acciones que permitieron agregar

funcionalidades adicionales y necesarias como lo son los módulos dedicados a la gestión de establecimientos médicos para manipular la información de los mismos y del personal de trabajo. Para dicho personal se crearon módulos como una bitácora y un recordatorio de consultas para brindar a los especialistas una herramienta mediante la cual puedan registrar su trabajo o agregar consultas pendientes.

La aplicación de las heurísticas de usabilidad de Nielsen constituyó un gran valor agregado en el momento de realizar las pruebas de usabilidad, permitiendo que las interfaces planteadas inicialmente en los mockups se convirtieran en la composición necesaria para un sistema totalmente intuitivo y amigable con los usuarios, como se evidencia en los resultados obtenidos en la versión del cuestionario de Lewis aplicado individualmente a cada usuario al finalizar la evaluación de usabilidad, donde más del 95% de las respuestas obtenidas corresponden a criterios positivos.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

Para este proyecto o para el desarrollo de proyectos similares relacionados con aspectos médicos se recomienda contar con la opinión y continua revisión por parte de los especialistas, para lo cual se recomienda adicionalmente aplicar scrum, lo que permite este tipo de interacción para obtener retrospectivas de forma constante.

Se recomienda mantener un formato para los casos de prueba, como se realizó en el presente proyecto, lo cual puede ser utilizado para la construcción del manual de usuario y para la aplicación de las pruebas de usabilidad o funcionalidad.

Se recomienda implementar un módulo de idiomas, que permita la selección de diferentes lenguajes con el objetivo de adaptar el sistema para diferentes países en caso de comercialización internacional.

Se recomienda implementar pruebas adicionales para brindar una herramienta más competitiva en el diagnóstico de problemas en la visión cromática y en la agudeza visual. Adicionalmente se recomienda implementar el despliegue de un optotipo digital u otros exámenes relacionados.

Se recomienda agregar opciones de reportería que permitan descargar la información de cada paciente, como la historia clínica o reportes de los resultados obtenidos en un registro específico de esta. Otra recomendación es adaptar tecnologías como puede ser un chat api de WhatsApp o un servicio de email para el envío de resultados a los pacientes a modo de informe.

### 4.3 BIBLIOGRAFÍA

- [1] “oftalmología | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE.” <https://dle.rae.es/oftalmología> (accessed Feb. 19, 2022).
- [2] D. S. I. L, “EL EXAMEN OFTALMOLOGICO,” 2017. [Online]. Available: <https://www.oftalandes.cl/assets/uploads/2017/07/examen.pdf>.
- [3] “Optotipo.” <https://materialmedico.org/optotipo/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [4] “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 - Dialnet.” <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5599270> (accessed Feb. 19, 2022).
- [5] M. S. Beauchamp, J. V. Haxby, J. E. Jennings, and E. A. DeYoe, “An fMRI Version of the Farnsworth–Munsell 100-Hue Test Reveals Multiple Color-selective Areas in Human Ventral Occipitotemporal Cortex,” *Cereb. Cortex*, vol. 9, no. 3, pp. 257–263, Apr. 1999, doi: 10.1093/CERCOR/9.3.257.
- [6] GORKA ARANA EZKURRA Y DIVA HEIDY CASTILLO MEZA, “ALTERACIONES DE LA VISIÓN AL COLOR,” *fundacionvisioncoi*, Jun. 2003.
- [7] E. A. M. Rivera, S. Estefanía Urbina Martínez, R. Enoch, and A. López, “RCSEM Volumen 1 | Número 1 | enero,” p. 2017.
- [8] H. Fernández, “Valoración de la discromatopsia adquirida mediante nueva aplicación informática en pacientes con neuropatías ópticas desmielinizantes.,” 2018.
- [9] R. A. Murphy, “Comparing Color Vision Testing Using the Farnsworth-Munsell 100-Hue, Ishihara Compatible, and Digital TCV Software,” pp. 4–23, Accessed: Feb. 19, 2022. [Online]. Available: <http://commons.pacificu.edu/opt/9>.
- [10] Casaroli-Marano Ricardo P., “PRÁCTICAS DE HABILIDADES CLÍNICAS EN OFTAMOLOGÍA,” Aug. 2012. Accessed: Feb. 19, 2022. [Online]. Available: <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/45883/1/GuionPracticasOftalmologia2012-2013.pdf>.
- [11] S. I. (ORCID: 0000-0002-1609-8765) Br. Morales Fernandez, “Sistema informático

basado en el diagnóstico clínico para la gestión documental en los consultorios de oftalmología, 2019,” Lima – Perú, 2019.

- [12] M. García, J. Reyes, and G. Godínez, “Las Tic en la educación superior , innovaciones y retos,” *Rev. Iberoam. Ciencias Soc. y Humanísticas*, vol. 6, no. 12, 2017, doi: 10.23913/ricsh.v6i12.135.
- [13] R. Carneiro, J. C. Toscano, and T. Díaz, “Los desafíos de las TIC para el cambio educativo,” 2021.
- [14] F. León, “Educación médica continua: oportunidades de innovación en la era digital.,” *Rev. Med. Hondur.*, vol. 88, no. 1, pp. 41–44, 2020.
- [15] A. Ahuja, “The impact of artificial intelligence in medicine on the future role of the physician,” *Peer J*, vol. 7, no. 2, p. e7702, 2019.
- [16] J. C. Rubio, “La salud digital en cardiología y electrocardiografía: presente y futuro,” *Enferm Cardiol.*, vol. 26, no. 78, pp. 29–36, 2019.
- [17] R. Guillén, S. Arteaga, and J. Figueroa, “Information and communication technologies (ICTs) in dentistry,” *Pol. Con.*, vol. 2, no. 4, pp. 120–128, 2017.
- [18] J. S. Acuña, I. C. Guachamin, N. F. Varela, and W. G. Jiménez, “Teleoftalmología y teleoptometría: estrategias de atención en salud en constante avance.,” *Cienc Tecnol Salud Vis Ocul.*, vol. 2, pp. 93–105, 2016.
- [19] R. Gómez, “Gestión por procesos para la disminución del tiempo de espera en la consulta externa del Hospital Carlos Andrade Marín,” 2019.
- [20] E. G. Santisteban, Y. F. Remon, and N. M. Enamorado, “Dimensión cultural de la Informática Médica.,” *RAC Rev. Angolana Ciências*, vol. 2, no. 3, pp. 373–394, 2020.
- [21] R. Hamamoto et al., “Application of artificial intelligence technology in oncology: towards the establishment of precision medicine,” *Cánceres*, vol. 12, no. 12, p. 3532, 2020.
- [22] I. Grau, “La sociedad red y la información en salud digital,” *Atención Primaria*, vol. 49, no. 2, pp. 67–68, 2017.
- [23] D. K. Flores and J. E. Garrido, “Competencias digitales para los nuevos escenarios de aprendizaje en el contexto universitario,” *Rev. Sci.*, vol. 4, no. 14, pp. 44–61, 2019,

doi: 10.29394/scientific.issn.2542-2987.2019.4.14.2.44-61.

- [24] I. Barrios, E. Benítez, R. Rojas, K. Zárate, and M. Lird, “Herramientas informáticas y oportunidades para el estudiante de medicina investigador.,” *Med. Clínica y Soc.*, vol. 1, no. 2, pp. 119–125, 2017.
- [25] J. Mercado, M. Haro, M. Rodríguez, M. Ramos, W. López, and J. Conejo, “Use of the mobile application of Salud Responde for the optimisation of health resources,” *Atención Médica*, vol. 51, no. 10, pp. 660–666, 2019.
- [26] M. Pérez, “Uso actual de las tecnologías de información y comunicación en la educación médica.,” *Rev. Médica Hered.*, vol. 28, no. 4, pp. 258–265, 2017.
- [27] T. Mihata et al., “Five-Year Follow-up of Arthroscopic Superior Capsule Reconstruction for Irreparable Rotator Cuff Tears,” *J Bone Jt. Surg Am*, vol. 101, no. 21, pp. 1921–1930, 2019.
- [28] T. Fernández, M. Alonso, A. Cruz, R. García, Y. García, and F. Suárez, “Software educativo. Disminución de la agudeza visual, para alumnos de Medicina y especialistas en MGI,” *Edumed Holguín*, pp. 1–14, 2018.
- [29] J. Lacorzana, F. de Arriba, and A. Fernández, “AJOE: pasado, presente y futuro. ¿Qué ocurre con los jóvenes oftalmólogos?,” *Arch Soc Esp Oftalmol.*, vol. 95, no. 10, pp. 469–470., 2020.
- [30] J. Li et al., “Digital technology, tele-medicine and artificial intelligence in ophthalmology: A global perspective,” *Prog. Retin. Eye Res.*, 2020.
- [31] S. Saleem, L. Pasquale, P. Sidoti, and J. Tsai, “Oftalmología virtual: telemedicina en la era del COVID-19.,” *Rev. estadounidense Oftalmol.*, vol. 216, pp. 237–242, 2020.
- [32] D. Gunasekeran and T. Wong, “Artificial intelligence in ophthalmology in 2020: a technology at the Cusp for translation and implementation,” *Asia-Pacific J. Ophthalmol.*, vol. 9, no. 2, 2020.
- [33] M. A. Blastre, “Creación de marca y aplicación móvil para personas con daltonismo.,” 2021.
- [34] A. Ruiz, “Algoritmos para mejorar la experiencia visual de personas con daltonismo (Bachelor’s thesis).,” 2020.

- [35] M. Castro, Y. Chicangana, and Y. Pérez, "Prevalencia de patologías del segmento anterior, en adultos mayores, atendidos en los hogares geriátricos del municipio de San Carlos de Guaroa, departamento del Meta, durante el primer semestre del año 2019. Facultad de Optometría, Universidad Santo Tomás," 2020.
- [36] M. C. Puell, "Anomalías de la visión del color.," 2020.
- [37] E. Lozano, "Análisis de las alteraciones visuales en la toma del color dental mediante espectrofotometría y guías dentales.," 2018.
- [38] L. Beltramello, "La percezione cromatica e le discromatopsie Colour Perception and its Impairments: Dyschromatopsia.," 2018.
- [39] M. Rivera, P. D. Martín, C. R. Alejandro, P. G. Juana, J. Ponce, and A. Ochoa, "Identificador de semáforos mediante un algoritmo PSO como clasificador de color en conjunto con detección de área de interés mediante algoritmo K-means.," pp. 275–290, 2018.
- [40] A. Salih, M. Elsherif, M. Ali, N. Vahdati, A. Yetisen, and H. Butt, "Ophthalmic Wearable Devices for Color Blindness Management," *Adv. Mater. Technol.*, vol. 1901134, pp. 1–13, 2020.
- [41] "Test de Farnsworth - Munsell." <http://tecnologiamedicaoftalmo.blogspot.com/2018/02/test-de-farnsworth-munsell.html> (accessed Feb. 19, 2022).
- [42] F. D. Luque, "Directrices para la administración y puntuación del test Farnsworth-Munsell de 100 tonos," Valencia, Aug. 2001. Accessed: Feb. 19, 2022. [Online]. Available: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18427/1/fm100.pdf>.
- [43] "Test de Ishihara." <http://tecnologiamedicaoftalmo.blogspot.com/2017/11/test-de-ishihara.html> (accessed Feb. 19, 2022).
- [44] Y. Mireya Valero Valero, "Estudio clínico comparativo entre el test TC-COI con el test de Ishihara en niños de 6 a 12 años del colegio Colseguros de Bogotá," 2008, Accessed: Feb. 19, 2022. [Online]. Available: <https://ciencia.lasalle.edu.co/>.
- [45] A. F. Zarazaga, J. Gutiérrez Vásquez, and V. P. Royo, "ARTICLE IN PRESS ARCHIVOS DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE OFTALMOLOGÍA Revisión de los principales test clínicos para evaluar la visión del color," 2018, doi:

10.1016/j.ofthal.2018.08.006.

- [46] I. O. Tinoco Gómez, I. Pedro, P. Rosales López, and I. J. Salas Bacalla, "SISTEMA E INFORMÁTICA," *Ind. data*, vol. 13, no. 2, p. 2010.
- [47] "Vista de ¿Por qué implementar Scrum?"  
<https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revistao/article/view/1253/1218>  
(accessed Feb. 19, 2022).
- [48] M. Muñoz, G. Gasca, and C. Valtierra, "Caracterizando las Necesidades de las Pymes para Implementar Mejoras de Procesos Software: Una Comparativa entre la Teoría y la Realidad," *RISTI - Rev. Ibérica Sist. e Tecnol. Informação*, no. SPE1, pp. 1–15, Mar. 2014, doi: 10.4304/RISTI.E1.1-15.
- [49] I. Yordano García Dousat, "TITLE: Why Is It Important to Implement Competences Management Systems in Our Enterprises?," 2009, Accessed: Feb. 19, 2022. [Online]. Available: [www.gestiopolis.com](http://www.gestiopolis.com)].
- [50] "Metodología SCRUM para desarrollo de software a medida."  
<https://www.softeng.es/es-es/empresa/metodologias-de-trabajo/metodologia-scrum.html> (accessed Feb. 19, 2022).
- [51] ENCARNA ABELLÁN, "Metodología Scrum: qué es y cómo funciona," May 2020.  
<https://www.wearemarketing.com/es/blog/metodologia-scrum-que-es-y-como-funciona.html> (accessed Feb. 19, 2022).
- [52] "¿Qué son los Artefactos de Scrum? - KZI Kaizenia cursos agile, scrum, six sigma."  
<https://kzi.mx/que-son-los-artefactos-de-scrum/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [53] "Artefactos Scrum ¿Qué son y para qué sirven? – Viewnext."  
<https://www.viewnext.com/artefactos-scrum/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [54] Juan Palacio, "Scrum Manager I Las reglas de scrum," 2015, Accessed: Feb. 19, 2022. [Online]. Available: <http://www.streetsofdublin.com/>.
- [55] "Roles y Responsabilidades en un Proyecto Scrum - Gestión de Proyectos Master."  
<https://www.gestiondeproyectos-master.com/roles-y-responsabilidades-en-un-proyecto-scrum/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [56] Julio Roche, "Scrum: roles y responsabilidades | Deloitte España."  
<https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/roles-y-responsabilidades->

- scrum.html (accessed Feb. 19, 2022).
- [57] “Metodología Scrum, una herramienta útil para agilizar tus proyectos - Honduras Digital Challenge.” <https://hondurasdigitalchallenge.com/2020/05/21/metodologia-scrum-una-herramienta-util-para-agilizar-tus-proyectos/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [58] Anna Pérez, “Las 5 etapas en los ‘Sprints’ de un desarrollo Scrum | OBS Business School.” <https://www.obsbusiness.school/blog/las-5-etapas-en-los-sprints-de-un-desarrollo-scrum> (accessed Feb. 19, 2022).
- [59] “Epic - Scrum Manager BoK.” <https://www.scrummanager.net/bok/index.php?title=Epic> (accessed Feb. 19, 2022).
- [60] “▷ Fases de la Metodología Scrum 【5 Etapas y 16 Procesos】 .” <https://blog.comparasoftware.com/fases-metodologia-scrum/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [61] “Proceso y Roles de Scrum.” <https://www.softeng.es/es-es/empresa/metodologias-de-trabajo/metodologia-scrum/proceso-roles-de-scrum.html> (accessed Feb. 19, 2022).
- [62] P. Folgueiras Bertomeu, “La entrevista.”
- [63] “Diseño de software - Ingeniería de requerimientos y realización.” <https://www.voigtmann.de/es/desarrollo-de-software/disenio-de-software/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [64] “HTML: Lenguaje de etiquetas de hipertexto | MDN.” <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTML> (accessed Feb. 19, 2022).
- [65] “CSS | MDN.” <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/CSS> (accessed Feb. 19, 2022).
- [66] “Bootstrap · The most popular HTML, CSS, and JS library in the world.” <https://getbootstrap.com/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [67] “JavaScript | MDN.” <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript> (accessed Feb. 19, 2022).
- [68] “Qué es TypeScript.” <https://codigofacilito.com/articulos/typescript> (accessed Feb. 19, 2022).

- [69] "typescript - npm." <https://www.npmjs.com/package/typescript> (accessed Feb. 19, 2022).
- [70] "¿Qué es un framework?: Descubre todas sus ventajas." <https://www.seoestudios.es/blog/que-es-un-framework/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [71] "AngularJS: Developer Guide: Developer Guide." <https://docs.angularjs.org/guide> (accessed Feb. 19, 2022).
- [72] "Qué es Frontend y Backend, diferencias y características - Platzi." <https://platzi.com/blog/que-es-frontend-y-backend/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [73] Nodejs Docs, "Acerca | Node.js." <https://nodejs.org/es/about/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [74] "¿Qué es Node.js, y para qué sirve?" <https://www.itdo.com/blog/que-es-node-js-y-para-que-sirve/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [75] "Sails.js | Realtime MVC Framework for Node.js." <https://sailsjs.com/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [76] "What is REST - REST API Tutorial," Feb. 16, 2022. <https://restfulapi.net/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [77] "Qué es Sails.js - Platzi." <https://platzi.com/blog/introduccion-sailsjs/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [78] "Qué es una base de datos | Oracle México." <https://www.oracle.com/mx/database/what-is-database/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [79] "¿Qué es CRUD? | Operaciones CRUD en programación - IONOS," Sep. 04, 2019. <https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/crud-las-principales-operaciones-de-bases-de-datos/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [80] Oracle Argentina, "Qué es una base de datos relacional | Oracle Argentina." <https://www.oracle.com/ar/database/what-is-a-relational-database/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [81] "¿Qué es un diagrama entidad-relación? | Lucidchart." <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-entidad-relacion> (accessed Feb. 19, 2022).

- [82] IBM, "Relaciones de bases de datos - Documentación de IBM."  
<https://www.ibm.com/docs/es/control-desk/7.6.1.2?topic=structure-database-relationships> (accessed Feb. 19, 2022).
- [83] Red Hat, "¿Qué es una API?" <https://www.redhat.com/es/topics/api/what-are-application-programming-interfaces> (accessed Feb. 19, 2022).
- [84] IBM, "Formato JSON (JavaScript Object Notation) - Documentación de IBM."  
<https://www.ibm.com/docs/es/baw/20.x?topic=formats-javascript-object-notation-json-format> (accessed Feb. 19, 2022).
- [85] José Manuel Rosa Moncayo, "¿Qué es REST? Conoce su potencia | OpenWebinars," May 17, 2018. <https://openwebinars.net/blog/que-es-rest-conoce-su-potencia/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [86] "HTTP | MDN." <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTTP> (accessed Feb. 19, 2022).
- [87] "¿Qué es el URI? Definición y explicación del identificador - IONOS."  
<https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/uri-identificador-de-recursos-uniformes/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [88] "¿Qué es una URL? Aquí te lo contamos." <https://www.edix.com/es/instituto/que-es-url/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [89] Lucila Armentano, "Buenas prácticas para el Diseño de una API RESTful Pragmática." <https://elbauldelprogramador.com/buenas-practicas-para-el-diseno-de-una-api-restful-pragmatica/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [90] Figma, "¿Qué es Figma?" <https://webdesign.tutsplus.com/es/articles/what-is-figma--cms-32272> (accessed Feb. 19, 2022).
- [91] Laura Ares, "Figma, herramienta de diseño colaborativa - Visual Engineering," Sep. 04, 2019. <https://visual-engin.com/2019/09/04/figma-herramienta-de-diseno-napptilus/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [92] M. Z. Lluch, "Métodos de evaluación sin usuarios."
- [93] "5 etapas del proceso de desarrollo de software - Blog Solbyte," Mar. 28, 2021. <https://www.solbyte.com/blog/5-etapas-del-proceso-de-desarrollo-de-software/> (accessed Feb. 19, 2022).

- [94] ubiquum - code academy, "20 herramientas de desarrollo de software para ser productivo - Ubiquum." <https://ubiquum.com/es/blog/20-herramientas-de-desarrollo-de-software-que-te-haran-mas-productivo/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [95] DELL Oficial, "Computadoras, monitores y soluciones tecnológicas | Dell Ecuador." <https://www.dell.com/es-ec> (accessed Feb. 19, 2022).
- [96] Microsoft, "Explorá el sistema operativo, los equipos, las apps y más con Windows 11 | Microsoft." <https://www.microsoft.com/es-es/windows?r=1> (accessed Feb. 19, 2022).
- [97] Ubuntu México, "¿Qué es Ubuntu?" <https://www.ubuntumx.org/queesubuntu.php> (accessed Feb. 19, 2022).
- [98] Samuel Juliá - GADAE, "¿Qué sistema operativo es mejor, Ubuntu o Windows? - ." <https://www.gadae.com/blog/ubuntu-windows-que-sistema-operativo-es-mejor/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [99] "Linux vs. Windows | Diferencias, ventajas y desventajas - IONOS." <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/linux-vs-windows-el-gran-cuadro-comparativo/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [100] Red Hat, "El concepto de IDE." <https://www.redhat.com/es/topics/middleware/what-is-ide> (accessed Feb. 19, 2022).
- [101] "WebStorm: El IDE más inteligente para JavaScript, creado por JetBrains." <https://www.jetbrains.com/es-es/webstorm/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [102] "Qué es Github y qué es lo que le ofrece a los desarrolladores." <https://www.xataka.com/basics/que-github-que-que-le-ofrece-a-desarrolladores> (accessed Feb. 19, 2022).
- [103] Github Documentación, "Productos de GitHub - GitHub Docs." <https://docs.github.com/es/get-started/learning-about-github/githubs-products> (accessed Feb. 19, 2022).
- [104] GitKraken, "GitKraken Client | Free CLI + Git GUI Windows, Mac & Linux." <https://www.gitkraken.com/git-client> (accessed Feb. 19, 2022).
- [105] IBM, "Sistema gestor de bases de datos - Argentina | IBM." <https://www.ibm.com/ar-es/analytics/database-management> (accessed Feb. 19, 2022).

- [106] “SGBD: introducción al sistema gestor de base de datos - IONOS.”  
<https://www.ionos.es/digitalguide/hosting/cuestiones-tecnicas/sistema-gestor-de-base-de-datos-sgbd/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [107] Angel Robledano, “Qué es MySQL: Características y ventajas | OpenWebinars,” Sep. 24, 2019. <https://openwebinars.net/blog/que-es-mysql/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [108] MySQL Oficial, “MySQL.” <https://www.mysql.com/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [109] Docker Docs, “Docker Documentation | Docker Documentation.”  
<https://docs.docker.com/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [110] Red Hat, “¿Qué es Docker?,” Jan. 09, 2018.  
<https://www.redhat.com/es/topics/containers/what-is-docker> (accessed Feb. 19, 2022).
- [111] Docker Documentation, “Kitematic user guide | Docker Documentation.”  
<https://docker-docs.netlify.app/kitematic/userguide/#overview> (accessed Feb. 19, 2022).
- [112] DBeaver Documentation, “DBeaver Documentation – DBeaver.”  
<https://dbeaver.com/docs/wiki/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [113] Postman Docs, “Postman API Platform | Sign Up for Free.” <https://www.postman.com/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [114] X-Team, “A Few Principles of Clean Code.” <https://x-team.com/blog/principles-clean-code/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [115] { Resumen and E. N. Español, “CLEAN CODE.”
- [116] CanActivate - Angular - Docs, “Angular - CanActivate.”  
<https://angular.io/api/router/CanActivate> (accessed Feb. 19, 2022).
- [117] <a> - Docs, “<a> - HTML: Lenguaje de etiquetas de hipertexto | MDN.”  
<https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTML/Element/a> (accessed Feb. 19, 2022).
- [118] GLENFORD J. MYERS, TOM BADGETT, and COREY SANDLER, THE ART OF SOFTWARE TESTING, Third. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2013.

- [119] S. De Telecomunicación, U. Politécnica, D. E. Madrid, J. Manuel, and S. Peño, “ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y Pruebas de Software. Fundamentos y Técnicas,” 2015.
- [120] J. Camilo and F. Ochoa, “Metodología para testing de software basado en componentes,” 2010.
- [121] Connie Vargas, “Conoce todos los tipos de pruebas funcionales para la calidad de software.” <https://trycore.co/transformacion-digital/tipos-de-pruebas-funcionales/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [122] YeePLY, “¿Qué son las pruebas unitarias y cómo llevar una a cabo?” <https://www.yeeply.com/blog/que-son-pruebas-unitarias/> (accessed Feb. 19, 2022).
- [123] Sandra Verona-Marcos, Yasiel Pérez-Díaz, Lisbán Torres-Pérez, Martha Dunia Delgado-Dapena, and Cornelio Yáñez-Márquez, “Pruebas de rendimiento a componentes de software utilizando programación orientada a aspectos,” La Habana, Dec. 2016. Accessed: Feb. 19, 2022. [Online]. Available: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59362016000300006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362016000300006).
- [124] CRISTIAN ALEJANDRO RIVERA MARTÍNEZ, “AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBAS DE REGRESIÓN,” UNIVERSIDAD DE CHILE , SANTIAGO DE CHILE, 2018.
- [125] L. E. J. Gabriel and D. C. S. Isabel, “USABILIDAD EN APLICACIONES MÓVILES,” ICT-UNPA-62-2013. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5123524.pdf>.
- [126] “ISO - ISO 9241-11:1998 - Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) — Part 11: Guidance on usability.” <https://www.iso.org/standard/16883.html> (accessed Feb. 19, 2022).
- [127] M. Rojas, ; Jaimes, and ; Valencia, “Efectividad, eficacia y eficiencia en equipos de trabajo Effectiveness, efficacy and efficiency in teamworks,” vol. 39, p. 6, 2018.
- [128] E. Folmer and J. Bosch, “Architecting for usability: A survey,” J. Syst. Softw., vol. 70, no. 1–2, pp. 61–78, 2004, doi: 10.1016/S0164-1212(02)00159-0.
- [129] T. DeMarco, “METRIC OF ESTIMATION QUALITY.,” AFIPS Conf. Proc., vol. 52, pp. 753–756, 1983, doi: 10.1145/1500676.1500768.
- [130] A. Tahir and R. Ahmad, “An AOP-based approach for collecting software

- maintainability dynamic metrics,” 2nd Int. Conf. Comput. Res. Dev. ICCRD 2010, pp. 168–172, 2010, doi: 10.1109/ICCRD.2010.26.
- [131] P. López-Roldán and S. Fachelli, “METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN SOCIAL CUANTITATIVA.”
- [132] A. Calvo-Fernández Rodríguez, S. O. Santamaría, and A. Valls Saez, “Métodos de evaluación con usuarios.”
- [133] J. R. Lewis, “Measuring Perceived Usability: The CSUQ, SUS, and UMUX,” *Int. J. Hum. Comput. Interact.*, vol. 34, no. 12, pp. 1148–1156, Dec. 2018, doi: 10.1080/10447318.2017.1418805.
- [134] A. Seffah, M. Donyaee, R. B. Kline, H. K. Padda, A. M. Seffah Donyaee H K Padda, and R. B. Kline, “Usability measurement and metrics: A consolidated model,” *Softw. Qual J*, vol. 14, pp. 159–178, 2006, doi: 10.1007/s11219-006-7600-8.
- [135] Abhay Rautela, “The Usability Testing Process (diagram) — Cone Trees | by Abhay Rautela | ConeTrees | Medium,” Jul. 10, 2018. <https://medium.com/conetrees/the-usability-testing-process-diagram-cone-trees-c77941edfeeb> (accessed Feb. 19, 2022).
- [136] L. Faulkner, “Beyond the five-user assumption: benefits of increased sample sizes in usability testing,” *Behav. Res. Methods. Instrum. Comput.*, vol. 35, no. 3, pp. 379–383, 2003, doi: 10.3758/BF03195514.

#### **4.4 ANEXOS**

Debido a la extensa cantidad de información que respalda el presente proyecto, se adjunta en un CD, en formato digital los archivos listados a continuación.

- Anexo 1: Numeración de láminas de Ishihara.
- Anexo 2: Sprint backlog.
- Anexo 3: Casos de prueba.
- Anexo 4: Manual de usuario.
- Anexo 5: Carta de consentimiento.
- Anexo 6: Usabilidad – Tareas Superadministrador.
- Anexo 7: Usabilidad – Tareas Administrador.
- Anexo 8: Usabilidad – Tareas Personal Médico.
- Anexo 9: Resultados generales de la encuesta.
- Anexo 9.1: Resultados detallados de la encuesta.
- Anexo 10: Firmas de consentimiento.