

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR



**Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de
Telecomunicación**

TRABAJO FIN DE GRADO

**SISTEMA DE DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS SOBRE LA
MEJORA DE LA EXPERIENCIA VISUAL PARA
PERSONAS CON DALTONISMO**

Marta Paz García
Tutor: José María Martínez Sánchez
ABRIL 2021

**SISTEMA DE DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS SOBRE LA
MEJORA DE LA EXPERIENCIA VISUAL PARA
PERSONAS CON DALTONISMO**

**AUTOR: Marta Paz García
TUTOR: José María Martínez Sánchez**

**Video Processing and Understanding Lab
Dpto. Tecnología Electrónica y de las Comunicaciones
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid
Abril de 2021**

Resumen

El daltonismo es un defecto visual de origen genético que impide una visión correcta de los colores y afecta a una parte significativa de la población. Desde hace muchos años se ha intentado mejorar la experiencia visual de las personas que padecen dichas anomalías, además de intentar simplificar su diagnóstico.

En este Trabajo de Fin de Grado, a partir de algoritmos desarrollados anteriormente, se realiza un Producto Mínimo Viable que permita demostrar la viabilidad de los mismos para el diagnóstico y análisis de mejora de la experiencia visual mediante dichos algoritmos, así como recopilar datos para su posterior análisis. Para poder realizar el estudio se ha diseñado una interfaz gráfica que evalúa la experiencia de usuario tanto de personas daltónicas como no daltónicas.

Los usuarios daltónicos realizan dos tipos de test: un test de diagnóstico y otro de validación. El objetivo es comprobar si los algoritmos de simulación, utilizados en el test de diagnóstico, se pueden usar como herramienta para la determinación de los diferentes tipos de discromatopsia y si los algoritmos de recolorado, utilizados en el test de validación, mejoran la experiencia visual de dichos usuarios o, en su defecto, conocer si se pueden mejorar en algún caso.

Por otra parte, los usuarios que no sufren ningún tipo de daltonismo realizan un test cuyo objetivo es conocer las diferencias entre la visión de personas daltónicas y no daltónicas.

Combinando los datos de los test anteriores se podrán sacar conclusiones sobre si el uso de estos algoritmos puede mejorar la vida de las personas daltónicas y cómo su uso en algunos dispositivos puede interferir en la visión de las personas con una visión normal.

Palabras clave

Daltonismo. Discromatopsia. Protanopía. Deuteranopía. Tritanopía. Recolorado. Interfaz gráfica de usuario. Metodología Agile.

Abstract

Colour blindness is a visual disease of genetic origin that prevents correct colour vision and affects a significant part of the population. Since a while, efforts have been made to improve the visual experience of people suffering from these anomalies, in addition to trying to simplify their diagnosis.

In this Bachelor Thesis, based on previously developed algorithms, a Minimum Viable Product has been developed to demonstrate their viability for the diagnosis and analysis of the improvement of the visual experience using these algorithms, as well as to collect data for analysis. To carry out the study, graphical user interface has been carried out for evaluate the user experience of both colour-blind and non-colour-blind people.

Colour-blinded users take two types of tests: a diagnostic test and a validation test. The objective is to check if the simulation algorithms, used in the diagnostic test, can be used as a tool for the determination of the different types of dyschromatopsia and if the recolouring algorithms, used in the validation test, improve the visual experience of such users or, by contrast, to know if they can be improved in any case.

On the other hand, users who do not suffer from any type of colour blindness perform a test whose objective is to know the differences between the vision of colour blind and non-colour-blind people.

Combining the results from the previous tests, it will be possible to draw conclusions about whether the use of these algorithms can improve the lives of colour-blind people and how their use in some devices can interfere with the vision of people with normal vision.

Keywords

Colour blindness. Dichromatopsia. Protanopia. Deuteranopia. Tritanopia. Recolouring. Graphical user interface. Agile methodology.

Agradecimientos

A mis padres y hermana, porque sin ellos no hubiera llegado hasta aquí.

A mi Tutor, José María Martínez Sánchez, por haber hecho que este proyecto sea posible.

Y a todas las personas que me han apoyado en estos años y de la mejor forma.

Gracias.

Marta

INDICE DE CONTENIDOS

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Introducción..... | 1 |
| 1.1 | Motivación..... | 1 |
| 1.2 | Objetivos..... | 1 |
| 1.3 | Alcance del proyecto | 1 |
| 1.4 | Organización de la memoria..... | 2 |
| 2 | Estado del arte | 3 |
| 2.1 | Estudio del daltonismo | 3 |
| 2.2 | Estudios previos..... | 6 |
| 2.2.1 | Implementación del algoritmo de simulación | 6 |
| 2.2.2 | Implementación del algoritmo de recolorado | 7 |
| 2.3 | Breve descripción de las herramientas utilizadas | 7 |
| 2.3.1 | Python..... | 7 |
| 2.3.2 | Flask | 8 |
| 2.3.3 | HTML5..... | 8 |
| 2.3.4 | CSS | 8 |
| 2.3.5 | PostgreSQL..... | 8 |
| 2.3.6 | Apache..... | 9 |
| 3 | Diseño y arquitectura..... | 10 |
| 3.1 | Diagrama de flujo de la aplicación | 10 |
| 3.1.1 | Test de diagnóstico | 11 |
| 3.1.2 | Test de validación..... | 12 |
| 3.1.3 | Test para usuarios no daltónicos..... | 13 |
| 3.2 | Análisis de requisitos..... | 14 |
| 3.2.1 | Requisitos funcionales..... | 14 |
| 3.2.2 | Requisitos no funcionales..... | 15 |
| 3.3 | Restricciones generales..... | 15 |
| 3.4 | Arquitectura y diseño del sistema..... | 16 |
| 3.4.1 | Modelo – <i>BBDD</i> | 18 |
| 3.4.2 | Vista – <i>Frontend</i> | 18 |
| 3.4.3 | Controlador – <i>Backend</i> | 21 |
| 4 | Metodología de desarrollo | 22 |
| 4.1 | Definición de la metodología utilizada..... | 22 |
| 4.1.1 | ¿Qué es <i>Agile</i> ? | 22 |
| 4.1.2 | Su historia..... | 22 |
| 4.1.3 | Principios del Manifiesto <i>Agile</i> | 22 |
| 4.1.4 | ¿Por qué se ha decidido utilizar esta metodología?..... | 23 |
| 4.2 | Cambio de alcance en el proyecto | 25 |
| 4.2.1 | Cambio de alcance en entorno de desarrollo | 25 |
| 4.2.2 | Cambio de alcance en entorno de producción | 26 |
| 5 | Análisis de resultados | 29 |
| 5.1 | Preprocesado..... | 29 |
| 5.2 | Análisis de la muestra..... | 29 |
| 5.3 | Resultados test de daltonismo..... | 31 |
| 5.3.1 | Análisis de la muestra..... | 31 |
| 5.3.2 | Resultados test de diagnóstico | 31 |
| 5.3.3 | Resultados test de validación..... | 34 |
| 5.1 | Resultados test de no daltónicos..... | 34 |

| | |
|--|----|
| 5.1.1 Test con funciones de recolorado | 34 |
| 5.1.2 Test con funciones de simulación..... | 36 |
| 6 Conclusiones y trabajo futuro..... | 39 |
| 6.1 Conclusiones..... | 39 |
| 6.1.1 Respecto a los resultados del test de personas daltónicas | 39 |
| 6.1.2 Respecto a los resultados del test de personas no daltónicas | 39 |
| 6.2 Trabajo futuro | 40 |
| Referencias | 41 |
| Anexos..... | 43 |
| A Severidad máxima aceptada por las personas no daltónicas según el tipo de discromatopsia..... | 43 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 2.1. ESTRUCTURA DE LA RETINA [3] | 3 |
| FIGURA 2.2. LONGITUDES DE ONDA DE BASTONES Y CONOS L (RED), M (GREEN) Y S (BLUE) [5] | 4 |
| FIGURA 2.3. PERCEPCIÓN VISUAL DEL ESPECTRO DE COLORES PARA UNA PERSONA SIN NINGUNA DEFICIENCIA VISUAL (A), DALTÓNICO CON PROTANOPIA (B), TRITANOPIA (C) Y DEUTERANOPIA (D) [7]..... | 5 |
| FIGURA 3.9. DIAGRAMA DE FLUJO VPU – DALTONISMO | 10 |
| FIGURA 3.2. TEST DE DIAGNÓSTICO (PREGUNTA 1) | 11 |
| FIGURA 3.3. TEST VALIDACIÓN (PREGUNTA 1) | 13 |
| FIGURA 3.4. TEST NO DALTÓNICOS (PREGUNTA 1) | 14 |
| FIGURA 3.5: ESTRUCTURA BÁSICA CLIENTE/SERVIDOR | 17 |
| FIGURA 3.6: PATRÓN MODELO-VISTA-CONTROLADOR..... | 17 |
| FIGURA 3.7: TABLA ENTIDAD-RELACIÓN DE LA BASE DE DATOS..... | 18 |
| FIGURA 3.8: CAPTURA VISTA PRINCIPAL..... | 19 |
| FIGURA 3.9: VISTA ÍNDICE | 19 |
| FIGURA 3.10: VISTA RESULTADOS TEST DE DIAGNÓSTICO | 20 |
| FIGURA 3.11. VISTA CONTACTO..... | 20 |
| FIGURA 3.12. VISTA QUIÉNES SOMOS..... | 20 |
| FIGURA 4.1. DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE LAS TAREAS REALIZADAS EN EL PROYECTO..... | 24 |
| FIGURA 4.2. CAMBIO DISEÑO PÁGINA WEB: INCLUIR OPCIÓN “NO PERCIBO DIFERENCIAS” EN EL TEST DE DIAGNÓSTICO..... | 26 |
| FIGURA 4.3. CAMBIO DISEÑO PÁGINA WEB: COLORES EN LOS BOTONES DEL TEST DE NO DALTÓNICOS | 27 |
| FIGURA 4.4. CAMBIO DISEÑO PÁGINA WEB: TAMAÑO DE LAS IMÁGENES EN EL TEST DE DIAGNÓSTICO | 28 |
| FIGURA 5.1. ANÁLISIS POR EDADES DE LA MUESTRA..... | 30 |
| FIGURA 5.2. ANÁLISIS POR SEXO, DEFECTOS VISUALES Y PAÍS DE LA MUESTRA GENERAL | 30 |
| FIGURA 5.3. ANÁLISIS POR SEXO Y DEFECTOS VISUALES DE LA MUESTRA DE PERSONAS DALTÓNICAS | 31 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 5.4. ANÁLISIS VIABILIDAD DIAGNÓSTICO DEL TIPO DE DALTONISMO | 32 |
| FIGURA 5.5. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL TEST Y EL TIPO DE DISCROMATOPSIA SEGÚN EL TOTAL DE LA MUESTRA | 33 |
| FIGURA 5.6. ANÁLISIS DE LAS SEVERIDADES DEL TOTAL DE LA MUESTRA CON VIABILIDAD EN EL TEST “OK” (IZQUIERDA) Y “ERROR” (DERECHA) | 33 |
| FIGURA 5.7. ANÁLISIS RESULTADOS TEST DE VALIDACIÓN | 34 |
| FIGURA 5.8. RESULTADOS DE LOS GRADOS DE SEVERIDAD TOLERADOS POR LAS PERSONAS NO DALTÓNICAS EN EL RECOLOREADO DEL DEFECTO DEUTERANOPIA | 35 |
| FIGURA 5.9. DE IZQUIERDA A DERECHA, IMAGEN ORIGINAL E IMÁGENES RECOLOREADAS CON SEVERIDAD 0.1 PARA TIPOS DE DALTONISMO PROTANOPIA, DEUTERANOPIA Y PROTANOPIA. 35 | |
| FIGURA 5.10. CURVA DE REGRESIÓN TOLERANCIA ACUMULADA POR GRADO DE SEVERIDAD PARA LA SIMULACIÓN DEL DEFECTO PROTANOPIA | 37 |
| FIGURA 5.11. CURVA DE REGRESIÓN TOLERANCIA ACUMULADA POR GRADO DE SEVERIDAD PARA LA SIMULACIÓN DEL DEFECTO DEUTERANOPIA | 37 |
| FIGURA 5.12. CURVA DE REGRESIÓN TOLERANCIA ACUMULADA POR GRADO DE SEVERIDAD PARA LA SIMULACIÓN DEL DEFECTO TRITANOPIA..... | 37 |
| FIGURA 5.13. CURVA DE REGRESIÓN TOLERANCIA ACUMULADA POR GRADO DE SEVERIDAD PARA LA SIMULACIÓN DE LOS TRES TIPOS DE DISCROMATOPSIA | 38 |
| FIGURA 0.1. ANÁLISIS DE LA SEVERIDAD MÁXIMA QUE INDICAN LOS ENCUESTADOS NO DALTÓNICOS QUE SON CAPACES DE TOLERAR EN EL CASO DE PROTANOPIA | 43 |
| FIGURA 0.2. ANÁLISIS DE LA SEVERIDAD MÁXIMA QUE INDICAN LOS ENCUESTADOS NO DALTÓNICOS QUE SON CAPACES DE TOLERAR EN EL CASO DE DEUTERANOPIA | 43 |
| FIGURA 0.3. ANÁLISIS DE LA SEVERIDAD MÁXIMA QUE INDICAN LOS ENCUESTADOS NO DALTÓNICOS QUE SON CAPACES DE TOLERAR EN EL CASO DE TRITANOPIA | 44 |

INDICE DE TABLAS

TABLA 2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS DEFECTOS DE VISIÓN [6]..... 5

1 Introducción

1.1 Motivación

A raíz del Trabajo de Fin de Grado presentado por Alberto Ruiz Guijosa entregado en esta misma universidad con fecha junio de 2020, se plantea la realización de una interfaz gráfica que permita a los usuarios volcar su experiencia sobre el daltonismo, de tal manera, que se puedan recoger estos datos y posteriormente tratarlos para poder extraer conclusiones significativas.

En el trabajo que se ha utilizado como base se realizó un estudio para desarrollar diversos algoritmos que permiten el mejor entendimiento y comportamiento de las personas daltónicas, además de generar un diagnóstico y una mejora de la visión para estas personas. La interfaz generada en el presente trabajo utiliza los algoritmos anteriormente nombrados con el objeto de poder recoger datos que permitan comprobar la validez de estos con pacientes reales. Así, se podrá evaluar la calidad de los algoritmos, además de intentar demostrar que se pueden generar aplicaciones para realizar pruebas de diagnóstico y mejora de experiencia visual relacionados con el daltonismo.

1.2 Objetivos

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es diseñar y desarrollar un Producto Mínimo Viable que nos permita validar las técnicas de simulación de percepción visual por personas daltónicas, para realizar un diagnóstico del tipo y severidad, y el posterior recolorado de imágenes para mejorar su percepción visual.

De manera más específica, los objetivos planteados son los siguientes:

1. En primer lugar, es necesario ajustar los algoritmos de simulación ya disponibles, de tal forma que se pueda generar imágenes según el tipo de daltonismo y severidad del usuario final.
2. Una vez se disponga de los algoritmos ajustados para generar las imágenes, se desarrollará una plataforma que permita generar un test que valide la eficacia de dichos algoritmos.
3. Tras la puesta en marcha de la plataforma, se realizará un análisis de los resultados que permita recabar la mayor cantidad de información y evaluar la eficacia de los algoritmos.

Más concretamente, se intentará validar si las técnicas de simulación de daltonismo son válidas, mediante el test de diagnóstico de la plataforma; validar el recolorado de imágenes mediante el test de validación para personas con daltonismo y, por último, conocer las diferencias existentes entre la visión de las personas que padecen daltonismo y las que no.

1.3 Alcance del proyecto

La presente memoria tiene como alcance la realización de mejoras de los diferentes algoritmos existentes y un *frontend* para la presentación de una interfaz basada en el diagnóstico y validación de tipos de daltonismo y las diferencias entre la visión de personas daltónicas y las que no padecen dicha anomalía.

Todos los datos recogidos en el proyecto son anónimos y pertenecen a una muestra de personas de diferentes ámbitos. Los encuestados podrán ser personas daltónicas o no.

Los resultados que se muestran en el documento representan la categorización de los datos recogidos en la aplicación y después analizados.

La página *web* es accesible desde la siguiente URL: <http://www-vpu.eps.uam.es/daltonismo>

1.4 Organización de la memoria

La memoria consta de los siguientes capítulos:

- Capítulo 1: Se describe la motivación, los objetivos y el alcance del presente trabajo.
 - Capítulo 2: Se explica brevemente qué es el daltonismo y los estudios previos a dicho trabajo; además de los algoritmos de simulación y recolorado que se utilizarán. Por último, se realizará una breve descripción de las herramientas utilizadas.
 - Capítulo 3: Se muestra el diagrama de flujo de la interfaz gráfica de usuario y explica las diferentes partes a las cuales se puede acceder en esta, además de su funcionamiento, arquitectura y diseño.
 - Capítulo 4: Se explica la metodología utilizada para realizar el presente trabajo y los cambios de alcance que se han podido llevar a cabo gracias al uso de dicha metodología.
 - Capítulo 5: Se evalúan los resultados de la muestra mediante un análisis de esta y el posterior estudio de los diferentes resultados obtenido tanto para personas daltónicas como aquellas que no padecen dicha anomalía visual.
 - Capítulo 6: Finalmente, se exponen las diferentes conclusiones y posibles líneas de trabajo futuro.
-

2 Estado del arte

2.1 Estudio del daltonismo

El daltonismo es un defecto de visión que impide una visión correcta de los colores y afecta aproximadamente al 8% de los hombres y el 0,5% de las mujeres del norte de Europa [1]. Esta diferencia por sexo en la afectación se debe a que el daltonismo es una enfermedad hereditaria ligada al cromosoma X, por ello, para que una mujer lo herede debería tener ambos cromosomas X afectados, en cambio, el hombre al heredar un único cromosoma afectado ya padecerá de daltonismo[1].

El daltonismo o deficiencia en la visión del color tiene diferentes grados de severidad, es decir, su afectación puede variar desde la dificultad para distinguir tonos similares hasta la imposibilidad de poder distinguir todos los colores.

El origen del daltonismo se encuentra en la anomalía de las células fotorreceptoras de la retina. La visión “normal” humana se explica mediante un proceso en el cual las células receptoras de la retina captan la luz y la transforman en energía para enviar esta información al nervio óptico, que la traslada al cerebro, donde se produce la interpretación del color. Estas células fotorreceptoras están compuestas de conos y bastones, generando así diferentes rangos de visión según su grado de actuación.

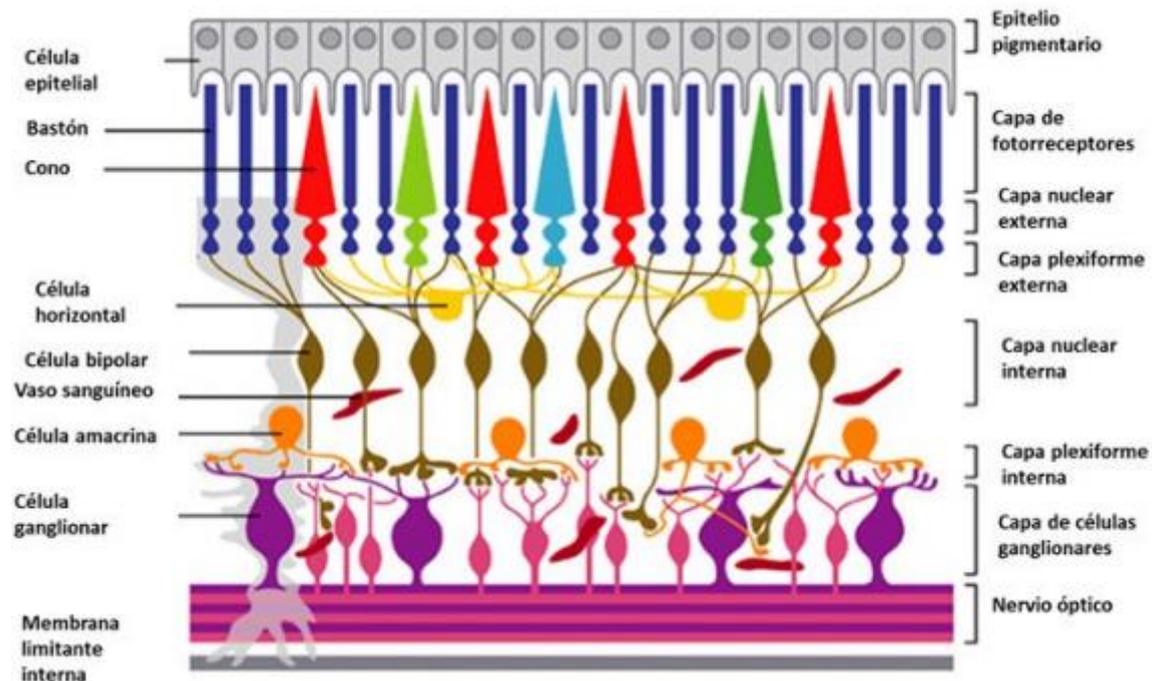


Figura 2.1. Estructura de la retina ;Error! No se encuentra el origen de la referencia.

Por un lado, la visión escotópica, es aquella que se produce con muy bajos niveles de luminosidad gracias a los bastones de la retina y en la cual no existe una gran agudeza visual. La visión escotópica es la responsable de que seamos capaces de ver por la noche, a pesar de no distinguir de una forma tan clara los colores.

En cambio, en la visión fotópica, proporcionada por los conos, existen buenas condiciones de iluminación y es aquella que permite la percepción del color y una agudeza visual mayor que en la visión escotópica.

Es, por tanto, que podemos concluir de una forma resumida que la función de los conos es la de percibir el color y la de los bastones el contraste.

El ojo humano medio tiene en torno a 5 millones [3] de conos sensibles al color, luz del día y la visión fina y detallada. Existen tres tipos de conos según a qué color primario son más sensibles:

1. Conos L: son aquellos más sensibles a una longitud de onda larga y, por tanto, sensibles al color rojo.
2. Conos M: son aquellos más sensibles a una longitud de onda media y, por tanto, sensibles al color verde.
3. Conos S: son aquellos más sensibles a una longitud de onda corta y, por tanto, sensibles al color azul.

Además de diferir en la longitud de onda a la que son más sensibles, los diferentes tipos de conos también difieren en las densidades en las que aparecen en la retina, siendo los conos L y M los que tienen mayor densidad.

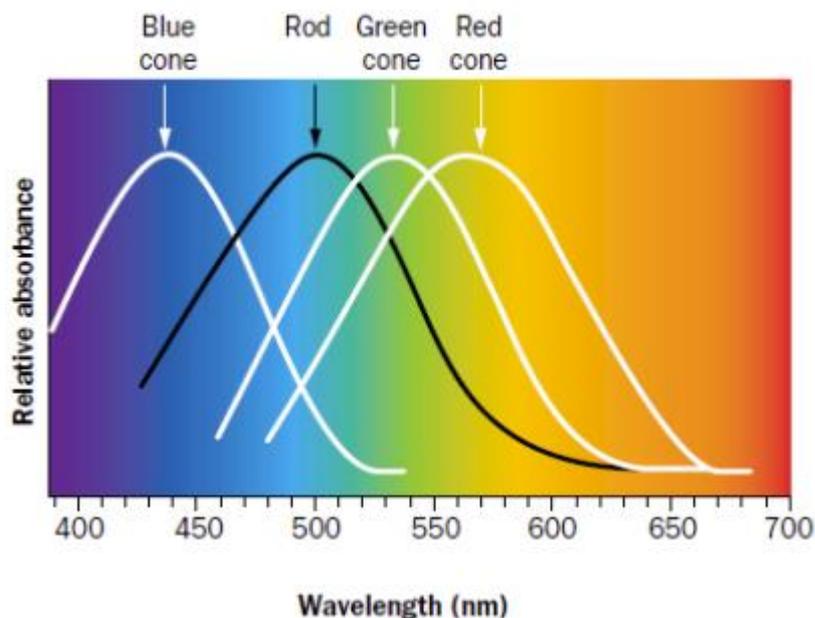


Figura 2.2. Longitudes de onda de bastones y conos L (*red*), M (*green*) y S (*blue*) ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

Debido a la existencia de estos tres conos, a una persona con visión normal se le denomina tricromático. En cambio, las personas que tienen anomalías y no poseen uno de los tres tipos de cono es denominado dicromático; si solo poseen un tipo de cono es denominado monocromático y, por último, aquel que no tiene ningún tipo de cono, es decir, solo posee bastones es denominado acromático. La Tabla 2.1 presenta dicha clasificación de los diferentes tipos de daltonismo y dónde se encuentra la anomalía.

| Deficiencia visión color | | Conos L | Conos M | Conos S | Bastones |
|--------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| Tricromatopsia anómala | Protanomalía | Anómalo | Normal | Normal | Normal |
| | Deuteranomalía | Normal | Anómalo | Normal | Normal |
| | Tritanomalía | Normal | Normal | Anómalo | Normal |
| Discromatopsia | Protanopía | Inexistente | Normal | Normal | Normal |
| | Deuteranopía | Normal | Inexistente | Normal | Normal |
| | Tritanopía | Normal | Normal | Inexistente | Normal |
| Monocromatopsia | Monocromatismo de conos rojos | Normal | Inexistente | Inexistente | Normal |
| | Monocromatismo de conos verdes | Inexistente | Normal | Inexistente | Normal |
| | Monocromatismo de conos azules | Inexistente | Inexistente | Normal | Normal |
| Acromatopsia | Monocromatismo de bastones | Inexistente | Inexistente | Inexistente | Normal |

Tabla 2.1. Clasificación de los defectos de visión [5]

En concreto, este trabajo se centrará en las personas no daltónicas y aquellas que padecen cualquiera de las tres variedades de discromatopsia:

1. Protanopía: deficiencia causada por la inexistencia de conos L, fotorreceptores sensibles al color rojo.
2. Deuteranopía: deficiencia causada por la inexistencia de conos M, fotorreceptores sensibles al color verde.
3. Tritanopía: deficiencia causada por la inexistencia de conos S, fotorreceptores sensibles al color azul.

En la siguiente figura se muestra cómo perciben el espectro de colores las personas que sufren dichas deficiencias.

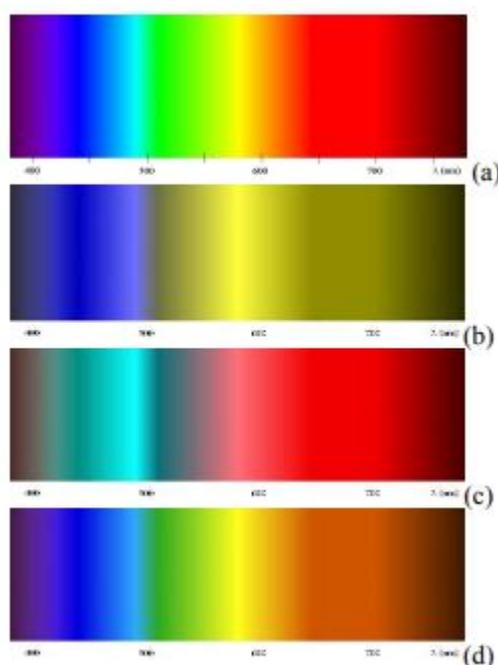


Figura 2.3. Percepción visual del espectro de colores para una persona sin ninguna deficiencia visual (a), daltónico con protanopía (b), tritanopía(C) y deuteranopía (d) [7]

2.2 Estudios previos

Los trabajos realizados en este TFG son continuación de los realizados por Alberto Ruiz Guijosa en su TFG entregado en esta misma universidad con fecha junio de 2020, intentando avanzar en los estudios sobre la experiencia visual de las personas con daltonismo que desarrolló previamente.

El trabajo de Alberto Ruiz Guijosa [5] se basa en los siguientes puntos:

1. Estudio de los diferentes algoritmos de simulación y recolorado existentes.
2. Implementación de un algoritmo de simulación, para poder generar imágenes que simulen las posibles deficiencias a partir del defecto de visión discromatopsia.
3. Implementación de diferentes algoritmos de recolorado, con el objetivo de mejorar la percepción visual de las personas que padezcan las deficiencias ya nombradas.

2.2.1 Implementación del algoritmo de simulación

Tras los estudios realizados sobre los diferentes algoritmos existentes, en el trabajo precedente se utilizaron matrices de simulación para cada uno de los tipos de daltonismo de discromatopsia.

El algoritmo de simulación implementado consiste en tres pasos. El primero de ellos, se encarga de la normalización de los valores de la imagen entre 0 y 1 para, posteriormente, calcular la imagen simulada:

$$\begin{pmatrix} R_* \\ G_* \\ B_* \end{pmatrix} = (C) \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Una vez tenemos la imagen simulada, se desnormalizan los valores para una correcta visualización entre 0 y 255.

De esta manera, se utilizaron diferentes matrices (C) calculadas según los artículos de Machado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Melillo [8] y Viénot [10] para cada uno de los casos:

1. Protanopía: utilizando algoritmos de Melillo y Machado.
2. Deuteranopía: utilizando algoritmos de Viénot, Melillo y Machado.
3. Tritanopía: utilizando algoritmos de Melillo y Machado.

Según la conclusión expuesta en el punto 6.1 del trabajo de referencia:

Podemos concluir que todas ellas son muy similares, con leves diferencias de tonalidad, que se aprecian solamente viendo las imágenes juntas. Con carácter general, la simulación de Machado aporta unos tonos de color un poco más intensos al resto de autores. (Guijosa, 2020, pág. 45)

Por esta razón, en el presente trabajo se ha elegido la simulación de Machado para ser coherente con los resultados del trabajo anterior.

2.2.2 Implementación del algoritmo de recolorado

El algoritmo de recolorado implementado tiene como objetivo sustituir las tonalidades que los daltónicos no perciben correctamente por otras que sí son percibidas, consiguiendo así diferenciar dichos tonos mediante el contraste.

En el trabajo precedente se utilizaron dos algoritmos diferentes para crear estas imágenes simuladas:

1. Recolorado mediante *Fuzzy C-Means Clustering*, y
2. Recolorado mediante transformaciones lineales.

Según las conclusiones expuestas en el apartado 6.1 del trabajo de referencia, el algoritmo de recolorado mediante transformaciones lineales tiene como ventajas el menor coste computacional y la mejor calidad de imagen, en cambio, el algoritmo de recolorado mediante *Fuzzy C-Means Clustering* tiene como ventaja frente al anterior la mayor naturalidad y la mejor diferenciación de tonos para daltónicos protánopes y tritánopes.

“Ahora bien, solamente un individuo dicromático podrá indicarnos qué recolorado es más adecuado. Nosotros, como tricromáticos normales, en algunas de las imágenes de prueba solamente apreciamos diferencias muy sutiles como efectos del recolorado.” (Guijosa, 2020, pág. 45)

En el caso del presente trabajo, se utilizará el algoritmo de recolorado mediante transformaciones lineales, propuesto por Melillo, debido a que el algoritmo mediante *Fuzzy C-Means Clustering* tiene un coste computacional mucho mayor y, por tanto, no es adecuado para aplicaciones en tiempo real, como es la presente.

2.3 Breve descripción de las herramientas utilizadas

Para realizar este proyecto se han utilizado diferentes lenguajes de programación y herramientas. En concreto se han utilizado Python, Flask, PostgreSQL, Apache, HTML5, herramientas de MS Office (Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft PowerPoint) y Microsoft Visio, entre otras.

2.3.1 Python

Python es un lenguaje de programación que se adapta a los sistemas operativos, redes y hardware actuales para el desarrollo web. Su estructura de software libre, multiplataforma, orientado a objetos y que hace uso de un código interpretado, conforma uno de los lenguajes más utilizados actualmente debido a su dinamismo y su fácil interpretación. Además, Python es compatible con diferentes módulos, paquetes o *frameworks* fomentando la reutilización del código y consiguiendo así que para desarrollar una nueva herramienta *web* no sea necesario comenzar desde cero. [11]

Los algoritmos de simulación y recolorado utilizados en este proyecto hacen uso de este lenguaje y de muchas de sus librerías como *numpy*, *matplotlib* o *imageio*, entre otras.

2.3.2 Flask

Flask es un *micro-framework* de Python que tiene como objetivo mantener un núcleo de la aplicación *web* simple pero modulable. Flask no toma decisiones por el programador como pueden hacer otros *frameworks* más conocidos en el mundo de la programación. Una de las características más importantes de Flask es que ya viene con un servidor propio de HTTP, el cual permite probar todas las funcionalidades creadas en desarrollo. [12][13]

En este proyecto en concreto se hace uso de las extensiones de Flask para realizar la integración con la base de datos, la validación de formularios y la gestión de imágenes generadas mediante algoritmos de Python.

2.3.3 HTML5

HTML es el principal lenguaje de programación de alto nivel utilizado en el desarrollo de aplicaciones *web*. HTML se basa en etiquetas las cuales son interpretadas por los diferentes navegadores, haciendo así que sea una programación más rápida y sencilla. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

HTML5 se apoya en la compatibilidad, la utilidad, la interoperabilidad y el acceso universal como principios para aportar mayor valor frente a sus versiones anteriores. Además, una de sus características más relevantes es la separación entre la presentación y el contenido, incluyendo para ello el uso de CSS, consiguiendo así que sea una de las mejores opciones en el mercado para el desarrollo de aplicaciones *web* adaptables a las diferentes tecnologías y dispositivos y, por todo ello, la que se ha decidido utilizar para el desarrollo de este proyecto. [14]

2.3.4 CSS

CSS es un instrumento utilizado en el desarrollo de interfaces gráficas que, integradas con HTML o JavaScript, facilitan el diseño de estas. En concreto, CSS no es tanto un lenguaje de programación como una herramienta o componente que nos permite agregar especificaciones como fuentes, dimensiones o reglas que reduzcan la complejidad del diseño. Esta herramienta no solo permite diseñar los *templates* con mayor precisión, sino que también puede, entre otras cosas, proporcionar una funcionalidad para animar objetos cuando el mouse pasa sobre ellos. [16]

En este trabajo se ha utilizado CSS para poder realizar las transiciones en el menú o índice principal de la página *web* y especificar colores, fuentes y tamaños de estas en pocas líneas de código.

2.3.5 PostgreSQL

El sistema que permite la creación de tablas en las cuales almacenar, administrar, gestionar y recuperar información es el conocido como gestor de base de datos. Actualmente, existen muchos gestores de bases de datos relacionales, como Oracle, MySQL, SQL Server o PostgreSQL.

En este proyecto se ha utilizado PostgreSQL, un gestor de bases de datos relacionales de código libre y orientado a objetos conocido por su fiabilidad a la hora de almacenar y no perder los datos. [17]

2.3.6 Apache

Actualmente, existen en el mercado muchas opciones de servidores *web*, entre las más conocidas se podría destacar Apache y Microsoft Internet Information Services (IIS).

Apache es un servidor HTTP de código abierto para sistemas operativos como Windows o UNIX, entre otros, y el cual funciona siguiendo los estándares HTTP. En el caso de este proyecto y debido a que es el servidor utilizado en el VPULab (*Video Processing and Understanding Lab*), se ha decidido utilizar Apache 2.4 desde la máquina virtual proporcionada.

Además, Apache 2.4, es compatible con el módulo Python *mod_wsgi*, el cual permite la comunicación entre Apache y Python, a través de una interfaz. Esta herramienta se ha utilizado para poder ejecutar los algoritmos desarrollados en lenguaje Python mediante las diferentes llamadas generadas desde las páginas HTML.

3 Diseño y arquitectura

3.1 Diagrama de flujo de la aplicación

Con el objetivo de entender el análisis del sistema, se muestra la forma en la que se ha diseñado la interfaz gráfica de usuario (GUI), es decir, una visión desde el usuario final de su funcionamiento.

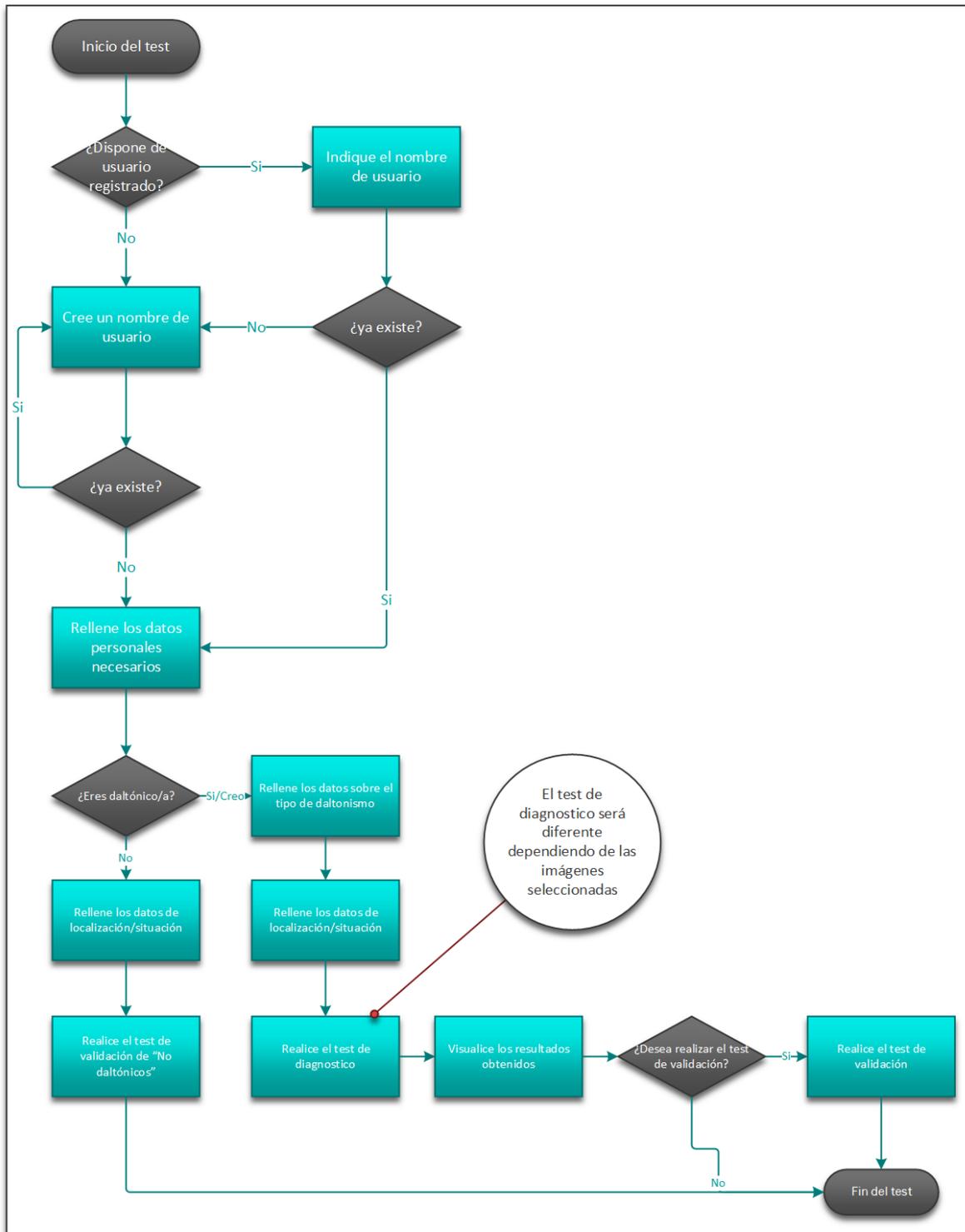


Figura 3.1. Diagrama de flujo VPU – Daltonismo

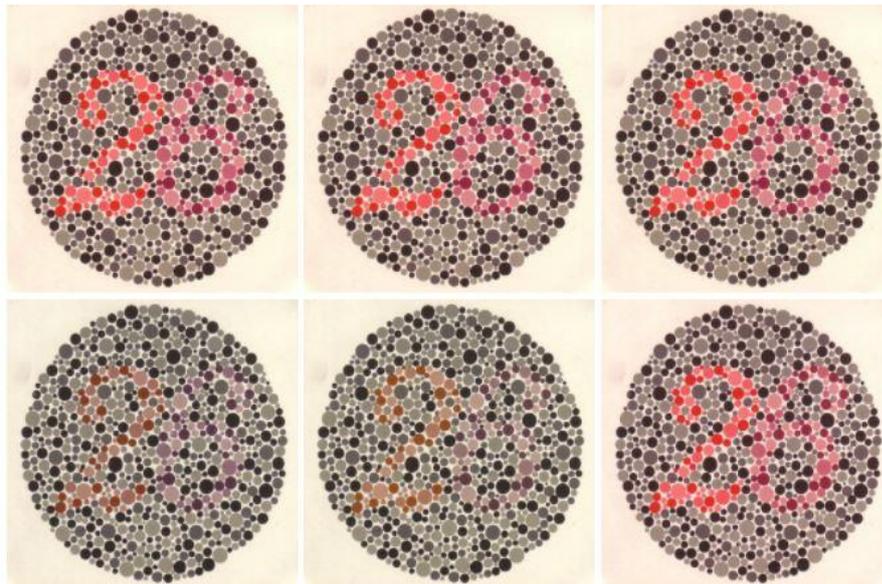
Como se puede visualizar en el diagrama de flujo, una vez el usuario esté registrado se le pide que rellene unos datos personales: sexo, país, fecha de nacimiento, defecto visual (miopía, hipermetropía, astigmatismo, ninguno u otro) y el tipo de diagnóstico de daltonismo. Una vez es conocido si el usuario en cuestión es daltónico o no se realizará una toma de decisión: si el usuario es daltónico se le realizará dos tests, uno de diagnóstico y otro de validación; si el usuario no es daltónico se le realizará el test propuesto para las personas no daltónicas.

3.1.1 Test de diagnóstico

Si el usuario ha indicado que es daltónico, ya sea diagnosticado o no, se le realizará otra pregunta en la cual éste indicará el tipo de daltonismo concreto y se le realizará el test de diagnóstico.

Para entender bien el test de diagnóstico este se explicará en dos fases: diagnóstico del tipo de daltonismo y, posteriormente, diagnóstico de la severidad.

1. **Diagnóstico del tipo de daltonismo:** Para realizar este tipo de diagnóstico donde se decidirá si el usuario padece protanopía, deuteranopía o tritanopía, se le mostrarán al usuario final o encuestado tres pares de imágenes correspondientes a los tres tipos de daltonismo, como se puede apreciar en la siguiente figura.



Selecciona la imagen que sea más parecida a su imagen superior:

Izquierda Centro Derecha

Figura 3.2. Test de diagnóstico (pregunta 1)

Las imágenes superiores son todas la misma lámina de Ishihara original, sin haber sufrido ningún tipo de procesado. En cambio, cada una de las imágenes inferiores están procesadas mediante los algoritmos de simulación explicados anteriormente, por ello, cada una de ellas coincide con un tipo de daltonismo.

Las láminas de Ishihara son adecuadas para el tipo de defecto rojo-verde, es decir, protanopía y deuteranopía, pero no obtienen buenos resultados para diagnosticar tritanopía. La alternativa a estas láminas para el tipo de defecto azul, son las láminas HRR (Hardy Rand and Rittler). [19]

Si en la primera pregunta del test el usuario escoge la opción izquierda, es decir, la correspondiente a este defecto, se le realizará una segunda pregunta, con las láminas HRR, adecuadas para el diagnóstico de este tipo de daltonismo. Si en esta segunda pregunta el usuario vuelve a indicar la imagen correspondiente al defecto tritanope, se considerará que el usuario padece tritanopía y las imágenes posteriores seguirán siendo las láminas HRR. En cambio, si la respuesta es cualquier otra y teniendo en cuenta que la tritanopía es el defecto menos común [1] y, a efectos de este estudio, se considerará que el usuario no es tritanope y las imágenes a utilizar en la segunda parte del test de diagnóstico serán las láminas de Ishidara.

2. **Diagnóstico de severidad:** La finalidad de esta segunda parte del test de diagnóstico es conocer el grado de severidad del encuestado daltónico, valor del 0 al 1 que indica cómo de grave es el daltonismo que padece.

En este tipo de diagnóstico, se presentará al usuario una imagen similar a la Figura 3.4, incluyendo una opción de respuesta que sea “no encuentro diferencia”. En la primera pregunta se mostrarán imágenes simuladas con el tipo de daltonismo ya elegido por el usuario y con severidades 0.2, 0.5 y 0.7. En las siguientes preguntas según avance el test las imágenes mostradas serán simuladas con la severidad calculada mediante la siguiente fórmula:

$$Severidad = Severidad_{anterior} \pm diferencia$$

El valor de la diferencia primero será de 0.2 y, según el test avance, de 0.1 para poder conseguir una severidad final más precisa.

3.1.2 Test de validación

Una vez el usuario final haya sido diagnosticado se tendrá como resultado el tipo de daltonismo que padece y la severidad. Si el resultado de la severidad es 0 significa entonces que el usuario no tiene daltonismo según los algoritmos utilizados. Es, por tanto, que el test de validación solo lo realizarán aquellos usuarios que hayan obtenido como resultado cualquier tipo de daltonismo, pero con una severidad mayor a 0.

El test de validación tiene como objetivo comprobar si las técnicas de recolorado utilizadas son válidas. Así, de forma dinámica presenta a cada usuario final o encuestado las imágenes recoloradas según su tipo de diagnóstico, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3.3. Test validación (pregunta 1)

La imagen situada a la izquierda (1) es la imagen original, sin haber sufrido ningún tipo de procesado. En cambio, la imagen situada a la derecha (2) está procesada mediante los algoritmos de recolorado explicados anteriormente, con los valores de diagnóstico propios del usuario. El encuestado solo tendrá que responder si encuentra diferencias en la tonalidad de la imagen procesada indicándonos así si el algoritmo mejora, empeora o no modifica la visión de la imagen.

Para este test se han utilizado algunas de las imágenes ya incluidas en el trabajo de referencia [5], una imagen sintética libre de derechos e imágenes reales propias de la autora de este proyecto, con el fin de poder comprobar también si la naturaleza de estas influye en el resultado.

3.1.3 Test para usuarios no daltónicos

El test para usuarios no daltónicos se le presenta a los encuestados que manifiestan no tener ninguna deficiencia visual o a aquellos que, a pesar de manifestar que tienen algún tipo de daltonismo, el resultado obtenido en el test de diagnóstico muestra una severidad igual a 0. El test para usuarios no daltónicos tiene como objetivo conocer las diferencias visuales entre una persona con visión normal y las diferentes severidades de personas daltónicas. Además, se pretende conocer el nivel de sensibilidad que poseen los algoritmos de simulación definidos.

El test para usuarios no daltónicos consta de tres preguntas en las que el usuario puede variar la severidad con la que el algoritmo calcula la imagen simulada. El encuestado debe escoger cuál es el punto en el que la imagen original y la simulada tienen diferencias notables en las tonalidades, como se muestra en la siguiente figura.

Pregunta 1

Pulsa "+" para empezar a ver diferencias en las tonalidades de la imagen. Una vez la diferencia sea notable, pulsa "HASTA AQUÍ"

Nota: el objetivo es que sea lo más alto posible que los colores de la imagen llegue a distorsionarse



Figura 3.4. Test no daltónicos (pregunta 1)

Una vez el encuestado ya haya escogido cuál es ese punto, deberá pasar a la siguiente pregunta pulsando el botón “hasta aquí”. El test consta de tres preguntas que, aparentemente pueden parecer iguales ya que muestran las mismas imágenes, pero cada una de ellas simula un tipo de daltonismo diferente, protanopía, deuteranopía y tritanopía. El test se ha realizado con las mismas imágenes para que las tonalidades de esta no influyan en los resultados de los diferentes tipos de daltonismo.

3.2 Análisis de requisitos

El análisis y definición de la arquitectura se refiere a un proceso en el que se examina la situación y se define el problema a solventar. Para ello, es necesario definir un conjunto de requisitos o requerimientos funcionales para el diseño de la aplicación.

Se ha procedido a la captura, definición y análisis de cada uno de los requisitos iniciales, sobre los cuales, debido a la metodología y la tipología de proyecto han surgido cambios sustanciales.

3.2.1 Requisitos funcionales

Se entiende como requisito funcional las diferentes tareas, servicios o funciones que el sistema debe realizar, es decir, la interacción entre el sistema y el usuario final. [18]

A continuación, se presentan los requisitos funcionales que establecen los comportamientos del software de la aplicación:

RQ-F-01: El usuario podrá navegar por el índice de la aplicación *web* y leer las instrucciones y contexto de la aplicación *web*.

RF-F-02: El usuario podrá acceder al apartado de “contacto” donde estará disponible una dirección de correo electrónico.

RF-F-03: El usuario podrá acceder al apartado de “Quiénes somos” donde estará disponible una descripción de las personas responsables del proyecto y un *link* a la página *web* de VPULab.

RF-F-04: El usuario podrá registrarse con un “*nick*” o nombre de usuario, el cual no debe llevar información personal como se indica en las instrucciones.

RF-F-05: El usuario podrá acceder todas las veces que desee con su mismo “*nick*” para realizar el test.

RF-F-06: El usuario podrá realizar el test correspondiente siempre y cuando se hayan completado todos los datos requeridos.

RF-F-07: El usuario podrá visualizar los resultados del test de diagnóstico una vez lo haya terminado.

3.2.2 Requisitos no funcionales

Los requisitos no funcionales son aquellas cualidades que debe tener la arquitectura del programa o aplicación *web* para que se puedan realizar todos los requisitos funcionales definidos. [18]

A continuación, se presentan los requisitos no funcionales:

RQ-NF-01: Solo existirá un único tipo de usuario, el encuestado.

RF-NF-02: Es necesario registrarse con un nombre de usuario o “*nick*” para acceder al test.

RF-NF-03: Es necesario completar todas las preguntas que se muestran al encuestado sobre datos personales para acceder al test. Estos datos serán usados para el posterior estudio.

RF-NF-04: Es necesario completar todas las preguntas sobre las condiciones lumínicas en las que se encuentra el encuestado para acceder al test. Estos datos serán usados para el posterior estudio.

RF-NF-05: El sistema solo permitirá acceder al test de diagnóstico y de validación a aquellos usuarios que hayan indicado ser daltónicos.

RF-NF-06: El sistema realizará una confirmación, mediante el añadido de una pregunta extra, si el usuario daltónico indica padecer tritanopía, por ser el tipo de daltonismo menos común. Si el sistema confirma que el encuestado padece tritanopía las siguientes preguntas del test se realizarán con las láminas HRR (ver punto 3.1)

RF-NF-07: El sistema solo permitirá acceder al test de no daltónicos a aquellos usuarios que hayan indicado no padecer daltonismo.

3.3 Restricciones generales

Debido al entorno regulatorio actual, el proyecto ha tenido varias restricciones en su implementación. La normativa vigente en materia de protección de datos en España, 679/2016 GDPR (*General Data Protection Regulation*) y 03/2018 LOPDGDD (Ley Orgánica de Protección de Datos Personales y Garantía de los Derechos Digitales), determina lo siguiente:

“Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento general de protección de datos) (Texto pertinente a efectos del EEE)” (European Parliament, 27 de abril de 2016)

Se ha decidido como requisito fundamental el no tratamiento de datos personales de personas físicas o jurídicas, entendiendo como dato personal lo siguiente:

“«datos personales»: toda información sobre una persona física identificada o identificable («el interesado»); se considerará persona física identificable toda persona cuya identidad pueda determinarse, directa o indirectamente, en particular mediante un identificador, como por ejemplo un nombre, un número de identificación, datos de localización, un identificador en línea o uno o varios elementos propios de la identidad física, fisiológica, genética, psíquica, económica, cultural o social de dicha persona;” (European Parliament, 27 de abril de 2016, pág. 33)

Por tanto y para evitar tener que afrontar todos los requisitos técnicos de protección de datos personales y el tratamiento de los mismos, cualquier dato que el usuario o encuestado registre en la herramienta no se podrá usar para identificar en ningún momento al usuario. Así bien, todos los resultados del perfilado y “*clusterización*” posterior de datos, serán anónimos.

Además, debido a la necesidad de cumplir la normativa vigente y con motivo de no afrontar todos los requisitos legales, algunas implementaciones se han tenido que desechar de momento. Por ejemplo, una de las ideas más recurrentes y que no se ha podido llevar a cabo ha sido la puesta en funcionamiento de una página en la cual el usuario final pudiese adjuntar sus propias imágenes y que la página *web* las devolviese recoloreadas según el tipo de diagnóstico del usuario en cuestión.

3.4 Arquitectura y diseño del sistema

La arquitectura del sistema define los patrones y las técnicas que se han utilizado para implementar la aplicación. Dependiendo del diseño de la arquitectura de la aplicación se tomarán decisiones de la metodología a utilizar (ver punto 0) y el plan a seguir.

En la arquitectura diseñada existirá un conjunto de servicios definidos en la interfaz o la vista de usuario, en adelante denominado *frontend* y un desarrollo interno de gestión y definición de imágenes, es decir el acceso y tratamiento de los datos, en adelante *backend*.

Esta arquitectura se diseña sobre un **modelo cliente servidor**, el más usado en el desarrollo software. Consiste en dos partes integradas: un servidor y un cliente. En el lado del cliente se desarrolla toda la interfaz y la interacción con el usuario (en este caso, las personas que realizarán el test). El lado del servidor proporciona todos los servicios del lado del cliente, antes descrito, a través de una escucha activa de solicitudes de acción.

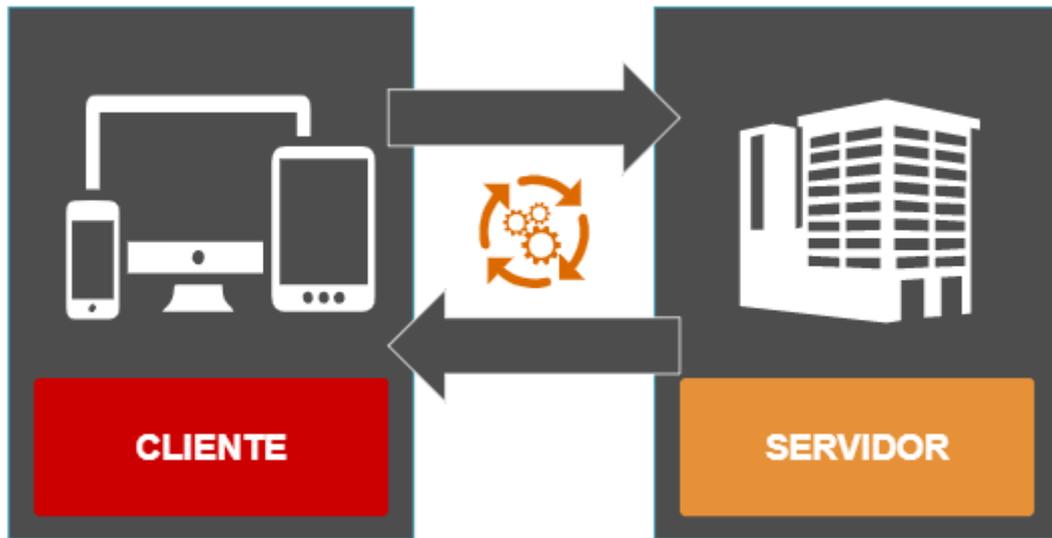


Figura 3.5: Estructura básica cliente/servidor

Para generar un código estructurado se han utilizado patrones comunes, en este caso, la arquitectura de la aplicación sigue un **patrón Modelo-Vista-Controlador**. La elección de este patrón radica en las ventajas que este posee con respecto a la facilidad de implementación en las aplicaciones con una interfaz gráfica dada la separación de los diferentes componentes que interactúan entre sí y se explicarán a continuación.

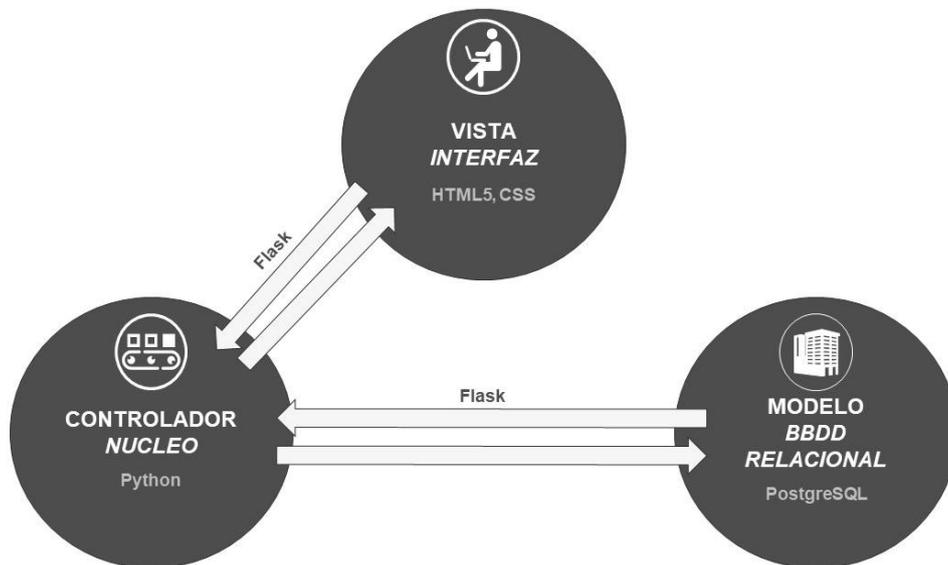


Figura 3.6: Patrón Modelo-Vista-Controlador

En este patrón sencillo, el usuario o encuestado interactúa y manda acciones, mediante la vista o interfaz, al núcleo o controlador que, tras procesar los datos y realizar diferentes funcionalidades, traslada la información a la base de datos del sistema.

3.4.1 Modelo – BBDD

En el diseño de la aplicación, se usa un modelo de entidad relación de base de datos. Donde existe un único “*primary key*” que relaciona todas las tablas entre sí, denominado “*id_usuario*”. Además, cada tabla también tendrá su propio “*primary key*”.

La herramienta utilizada es PostgreSQL, donde se alojan todas las tablas y a donde se accede para poder extraer todos los datos y así realizar su posterior análisis.

A continuación, se muestra la arquitectura de la base de datos relacional utilizada en la aplicación *web*:

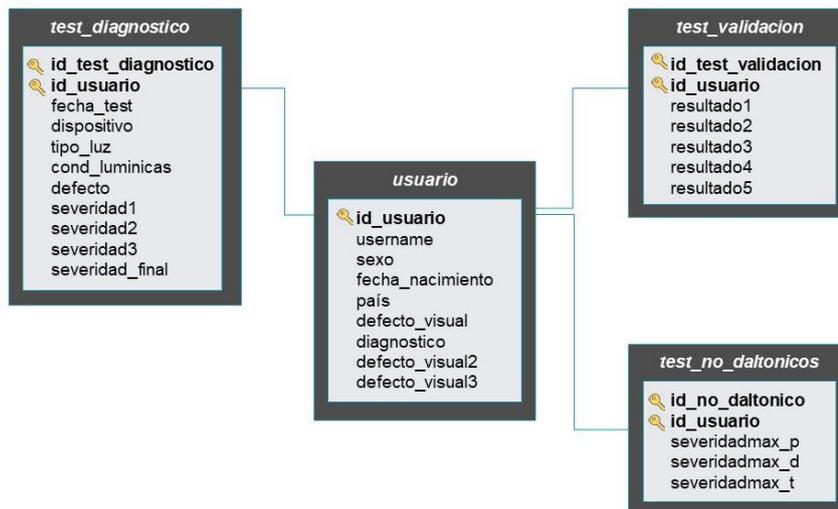


Figura 3.7: Tabla entidad-relación de la base de datos

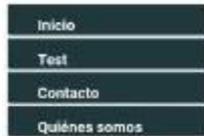
3.4.2 Vista – Frontend

La vista o interfaz gráfica será la única interacción con el usuario o encuestado. A través de esta representación, se realizará cualquier llamada al controlador donde se ejecutarán las peticiones realizadas.

El *frontend* se ha realizado con la tecnología HTML5 para la creación de los diferentes *templates* y formularios. Además, se utiliza también CSS, que gestiona una hoja de estilos común para la estilización de las páginas. Por último, para gestionar la interacción con los diferentes algoritmos generados en Python, se ha utilizado la tecnología Flask.

A continuación, se muestra un resumen de los eventos más importantes de la vista (se mostrarán los eventos finales con el fin de evitar repeticiones de cosas similares):

1. **Página principal:** Vista principal en la cual se realiza una breve explicación del proyecto y cuáles son los pasos a seguir para poder realizar los test, diferenciando entre las personas daltónicas y no daltónicas.



Este portal web nace con el objetivo de poder ayudar a las personas con daltonismo a diferenciar aquellos colores que no perciben correctamente.

- Si NO eres daltónico solo se te pedirá hacer un test.

El test consta de 3 preguntas y tiene como objetivo poder validar el grado de afectación de imágenes recoloreadas para personas daltónicas en personas que no padecen daltonismo.

- Si eres daltónico se te pedirá realizar dos test diferentes: test de diagnóstico y test de validación.

Con el conocido como "test de diagnóstico" buscamos comprobar si las técnicas de simulación de imágenes que han sido desarrolladas anteriormente tienen unos resultados positivos. En este test simplemente se os pedirá seleccionar la imagen que sea más parecida a la imagen inicial.

Con la segunda parte del test o test de validación, buscamos poder comprobar si el test anterior es válido y, además, si las técnicas de recoloreado desarrolladas obtienen buenos resultados. En este test aparecerán 5 preguntas en las que únicamente se pide valorar si la experiencia visual ha mejorado, empeorado o no ha tenido cambios.

Para poder realizar los test es necesario crear un nick de usuario el cual únicamente guardará información anonimizada para posteriormente, poder realizar estudios de los datos obtenidos.

Y lo más importante: ¡GRACIAS!

Para poder empezar a ayudarnos solo tienes que hacer click [aquí](#).

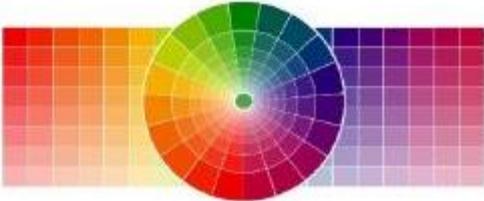


Figura 3.8: Captura vista principal

2. **Índice:** En cualquiera de las páginas de navegación se puede ver un menú que permite acceder a cualquiera de las funcionalidades de la aplicación *web*.

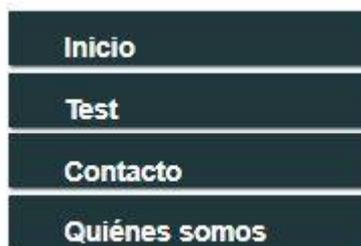


Figura 3.9: Vista índice

3. **Test:** Para que el encuestado pueda acceder a cualquiera de los test según el perfil del que disponga, deberá realizar un registro con el nombre de usuario o *nick*, dando la posibilidad de comprobar si un mismo usuario puede obtener resultados diferentes según el tipo de dispositivo, luz o momento en el que realice el test. Tras realizar este registro podrá acceder directamente al formulario en cual se preguntan datos al usuario y las condiciones del entorno en el momento en el que

realiza el test. Posteriormente, según el tipo de perfil que sea, como se han indicado en el punto 3.1, se le mostrará un tipo de test u otro.

- Resultados:** Vista que aparece al finalizar el test de diagnóstico y donde se puede visualizar el resultado que se ha obtenido en éste, es decir, incluirá el tipo de daltonismo y la severidad correspondiente.

Video Processing and Understanding Lab

ALGORITMOS PARA MEJORAR LA EXPERIENCIA VISUAL DE PERSONAS CON DALTONISMO

UAM Universidad Autónoma de Madrid

Escuela Pública Superior

Inicio

Test

Contacto

Quiénes somos

Estos son los resultados del test de diagnóstico

Hemos llegado a la conclusión de que tu diagnóstico de daltonismo podría ser del tipo tritanopia con un grado de severidad de 0.5 en una escala del 0 al 1.

¿Te gustaría realizar el test de validación? ¡Nos serías de gran ayuda!

En el caso de que no quieras realizarlo puedes volver a inicio

SI

Figura 3.10: Vista resultados test de diagnóstico

- Contacto:** Vista en la cual se indican los datos de contacto por si existe algún problema o sugerencia.

Video Processing and Understanding Lab

ALGORITMOS PARA MEJORAR LA EXPERIENCIA VISUAL DE PERSONAS CON DALTONISMO

UAM Universidad Autónoma de Madrid

Escuela Pública Superior

Inicio

Test

Contacto

Quiénes somos

Contacta con nosotros

Para ponerte en contacto con nosotros puedes escribirnos un correo a la siguiente dirección y estaremos encantados de poder ayudarte. ¡Gracias!

daltonismo-vpu-l@uam.es

Figura 3.11. Vista contacto

- Quiénes somos:** Vista en la cual se indica quién está detrás de la aplicación web.

Video Processing and Understanding Lab

ALGORITMOS PARA MEJORAR LA EXPERIENCIA VISUAL DE PERSONAS CON DALTONISMO

UAM Universidad Autónoma de Madrid

Escuela Pública Superior

Inicio

Test

Contacto

Quiénes somos

¿Quiénes somos?

Mi nombre es Marta Paz García y soy estudiante de Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación de la Universidad Autónoma de Madrid. Esta página web nace del desarrollo de un Trabajo de Fin de Grado que tiene como objetivo llegar a crear una solución que consiga mejorar la experiencia visual de todas aquellas personas con daltonismo.

La persona que me ha permitido desarrollar este trabajo ha sido mi tutor, José María Martínez Sánchez, profesor y miembro del Video Processing and Understanding Lab (VPULab), grupo investigador sobre teoría, métodos y aplicaciones del tratamiento digital de imágenes de la Universidad Autónoma de Madrid.

Figura 3.12. Vista quiénes somos

3.4.3 Controlador – *Backend*

El controlador es un componente que permite poder modificar las distintas vistas de una interfaz. En el caso de esta interfaz en concreto, el *backend* está formado por los diferentes algoritmos mediante los cuales obtenemos las imágenes simuladas y recoloreadas.

Estos algoritmos, ya explicados en el punto 2.2, han sido elaborados en lenguaje Python y son lo que permiten que, según las características del encuestado, se pueden mostrar unas imágenes u otras para poder realizar este test de forma dinámica.

Los algoritmos utilizados han sido modificados para que puedan crear imágenes diferentes según el tipo de severidad o grado de afectación del tipo de daltonismo que se indique. Para ello y puesto que Machado tiene definidas dichas matrices de simulación entre 0 y 1, siendo 0 una visión normal y 1 correspondiente a la discromatopsia, estas matrices han sido incluidas en los algoritmos consiguiendo así que el programa sea capaz de simular la visión de un daltónico con diferentes grados de afectación y, por consecuencia, recolorear imágenes según su grado de severidad y tipo de daltonismo. [5]

4 Metodología de desarrollo

4.1 Definición de la metodología utilizada

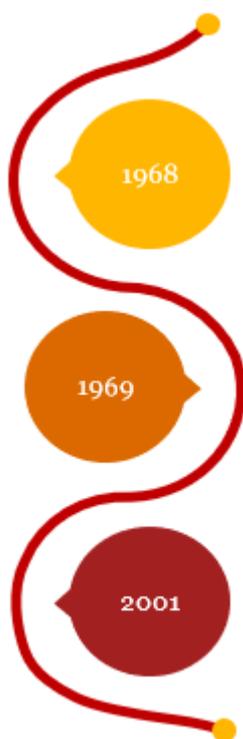
Los líderes de negocio están apostando por prácticas modernas para transformar su negocio con metodologías de trabajo que aceleran la entrega de valor a los clientes, es decir metodologías basadas en los **principios Lean – Agile**.

4.1.1 ¿Qué es Agile?

La gestión *Agile* surgió como antítesis a la gestión de proyectos predictiva, la cual se centra en planificar, calcular presupuestos y marcar plazos de entrega. En cambio, la metodología de gestión *Agile* prioriza las relaciones personales, la operatividad del *software*, la colaboración con el cliente y facilita la respuesta al cambio sobre un plan inicial establecido. Las Metodologías *Agiles* son aquellas que permiten adaptar la forma de trabajo a las condiciones del proyecto, consiguiendo flexibilidad e inmediatez en la respuesta para amoldar el proyecto y su desarrollo a las circunstancias específicas del entorno.

4.1.2 Su historia

Para poder resumir la historia *Agile* se ha realizado una simplificación con los hitos más relevantes sobre esta. [20]



En 1968, surgió la conocida como “Crisis del *software*”. Se celebró la primera conferencia organizada por la OTAN enfocada en analizar los problemas del mundo de la programación y buscar una solución para poder agilizar los procesos de desarrollo de *software*.

Surge así en 1969 la “Ingeniería del *software*”, basada en dos pilares:

- *Ingeniería de procesos*: Defiende que la calidad del resultado depende directamente de la calidad de los procesos empleados
- *Gestión predictiva*: Tiene como objetivo principal garantizar el cumplimiento de agendas y presupuestos.

En marzo de 2001, 17 profesionales del *software* fueron convocados por Kent Beck para discutir sobre los procesos empleados y se acuñó el término “Métodos *Agiles*” para definir aquellos que estaban surgiendo como alternativa a las metodologías formales, fue aquí donde nacieron los principios del Manifiesto *Agile*.

4.1.3 Principios del Manifiesto Agile

El Manifiesto *Agile* establece los siguientes 12 principios: [20][21]

1. “Nuestra principal prioridad es satisfacer al cliente a través de la entrega temprana y continua de software de valor.”
-

2. “Son bienvenidos los requisitos cambiantes, incluso si llegan tarde al desarrollo. Los procesos ágiles se dobligan al cambio como ventaja competitiva para el cliente.”
3. “Entregar con frecuencia software que funcione, en periodos de un par de semanas hasta un par de meses, con preferencia en los periodos breves.”
4. “Las personas del negocio y los desarrolladores deben trabajar juntos de forma cotidiana a través del proyecto.”
5. “Construcción de proyectos en torno a individuos motivados, dándoles la oportunidad y el respaldo que necesitan y procurándoles confianza para que realicen la tarea.”
6. “La forma más eficiente y efectiva de comunicar información de ida y vuelta dentro de un equipo de desarrollo es mediante la conversación cara a cara.”
7. “El software que funciona es la principal medida del progreso.”
8. “Los procesos ágiles promueven el desarrollo sostenido. Los patrocinadores, desarrolladores y usuarios deben mantener un ritmo constante de forma indefinida.”
9. “La atención continua a la excelencia técnica enaltece la agilidad.”
10. “La simplicidad como arte de maximizar la cantidad de trabajo que no se hace es esencial.”
11. “Las mejores arquitecturas, requisitos y diseños emergen de equipos que se autoorganizan.”
12. “En intervalos regulares, el equipo reflexiona sobre la forma de ser más efectivo y ajusta su conducta en consecuencia.”

4.1.4 ¿Por qué se ha decidido utilizar esta metodología?

Tras estudiar los principios y las características principales de las metodologías *Agiles*, se toma la decisión de estructurar el proyecto con estas características, por su sencillez e innovación.

Dentro de la metodología *Agile*, existen varios conjuntos de buenas prácticas que forman marcos o *frameworks* de referencia, como *Kanban*, *XP* (eXtreme Programming) o *Scrum*, entre otros. [20] En el caso de este Trabajo de Fin de Grado, se ha decidido usar una metodología *Agile* adaptada según las necesidades del proyecto y bajo el *framework Scrum*, por ser el más indicado para el desarrollo iterativo que requiere retroalimentación y refinamiento, es decir, desarrollo y mejoras de productos, además de características como las siguientes:

- Es el marco más utilizado y de referencia en el desarrollo *software*.
- Es el desarrollador (autora del TFG) quien realiza la priorización basándose en las necesidades del cliente (*VPULab*).
- El alcance suele estar limitado en el tiempo (fecha límite en junio de 2021).

El desarrollo agile tiene por estrategia el desarrollo incremental a través de iteraciones.

Por la tipología del proyecto se intentará seguir al máximo todas las especificaciones de la guía, aunque hay partes que por sí solas no podrán ser cumplidas. Por tanto y para que no quede duda, se usará un “híbrido” o adaptación de la metodología *Agile* descrita y del *framework Scrum*.

En primer lugar, el *framework Scrum* sigue un plan basado en roles dentro del equipo, entre ellos destaca el *Product Owner*, el *Scrum Master* y el equipo de desarrollo de *software*. Debido a las características del proyecto presente, el único rol que se ha podido tomar es el de *Product Owner*, persona con una visión muy clara sobre qué requisitos debe cumplir el

Producto Mínimo Viable (PMV) y cuándo entregarlo. Además, debe ser una persona que siempre esté disponible para el equipo. Asimismo, debe ser la persona más cercana a negocio siendo capaz de priorizar las tareas de desarrollo según las necesidades planteadas. En el caso de este proyecto, el rol de *Product Owner* lo asumiría el tutor de éste, José María Martínez Sánchez.

Por otro lado, sí se seguirán los “Eventos” necesarios para ser una metodología *Agile* bajo el *framework Scrum*.

- Sprint:** Iteraciones que se realizan con menos de un mes de duración y en donde se realiza una entrega temprana de un PMV al cliente, es decir, pequeñas partes del producto final que puedan ofrecer valor al cliente.
En el caso de este proyecto, se definen diferentes *Sprints* con el tutor de proyecto donde se deberán entregar versiones finales del producto, aunque este tenga nuevas versiones.
- Reunión de planificación (*Sprint Planning*):** Reuniones que suceden justo antes de empezar el *sprint* y en las cuales el equipo acuerda las tareas a acometer en el siguiente *sprint*.
En este caso, se realizan reuniones de planificación con el tutor del proyecto, para delimitar cuál será el próximo PMV y cuáles son las limitaciones en tiempo de las que disponemos.
- Scrum diario (*Daily*):** Este punto no se ajusta a su totalidad a la forma que el *framework scrum* lo define. Por definición, todas las reuniones deben ser cara a cara y diarias, con un tiempo en torno a los 15 minutos.
Debido a la situación actual de COVID-19 y las circunstancias del proyecto se sustituye por un contacto *online* con el tutor del TFG cuando se produzcan avances o bloqueos.
- Revisión de sprint (*Sprint review*):** Reuniones que suceden al terminar cada *sprint* y en donde se presenta el trabajo realizado al *Product Owner* del equipo, para que éste pueda valorar qué tareas considera terminadas o cuáles hay que refinar.
En el caso de este proyecto, se presentará el PMV al tutor del TFG y se anuncia el próximo *sprint* (el contenido y el tiempo de entrega). Debido a que no existen reuniones diarias, la revisión de sprint se realizará semanalmente.

A continuación, se muestra una imagen en la cual se puede visualizar el seguimiento de los hitos más importantes del proyecto.

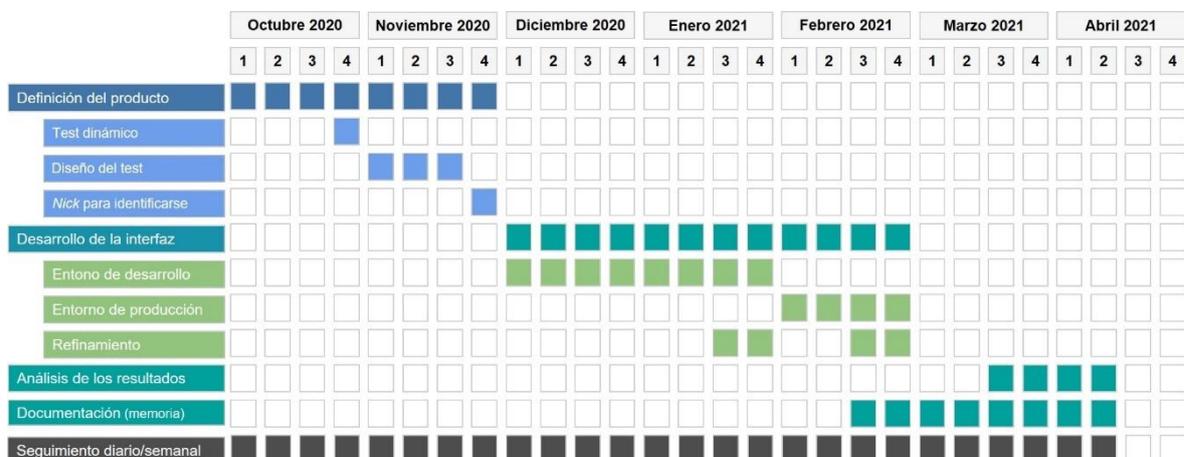


Figura 4.1. Diagrama simplificado de las tareas realizadas en el proyecto

Por último, se añade una fase de mejora continua, donde el producto está en continuo avance y desarrollo. Cualquier problema o mejora será modificada *in-situ* para su correcta integración con la plataforma *web* del *VPULab*.

4.2 Cambio de alcance en el proyecto

Debido a las características del proyecto y la metodología utilizada, se han podido afrontar cambios en el alcance del mismo. Una de las principales prácticas que se gestionan bajo la metodología *Agile* es el método de trabajo adaptativo, donde los cambios son aceptados y se ven como parte de la mejora continua dentro de un proyecto.

Para ello, se define un proceso de control de cambios, donde cada cambio de alcance aprobado, tanto por el tutor como por el desarrollador, supondrá una nueva versión del producto y será subido a un entorno activo o entorno de producción.

Por tanto, se definen diferentes entornos tales como:

- **Desarrollo:** entorno local. Cualquier versión del producto será probado y testeado en un entorno local por el desarrollador.
- **Producción:** entorno activo de interacción con el usuario final o encuestado. Para cualquier subida a producción, se necesita la aprobación expresa del *Product Owner* (tutor del TFG).

4.2.1 Cambio de alcance en entorno de desarrollo

A principios de este proyecto, se tenía como foco principal comprobar, mediante un test o encuesta en la página *web*, la validez de los algoritmos realizados en el proyecto precedente. Uno de los principales hitos a recalcar fue la toma de decisión entre realizar un test estático o dinámico. El test estático se realizaría teniendo un banco de imágenes y el test dinámico tenía como objetivo que la interfaz se conectase con los algoritmos realizados en Python y así poder ir pintando cada una de estas imágenes según el encuestado y sus características, consiguiendo un resultado más escalable a largo plazo y con una mayor posibilidad de personalización según los resultados.

Una vez se había decidido que se llevaría a cabo el desarrollo de un test dinámico y personalizado, se realizó un cambio en el diseño de las preguntas. En principio, se pensaba presentar al encuestado en el test de diagnóstico una imagen principal y diez imágenes sobre las que tenía que elegir cuál o cuáles veía más parecidas a la original. Estas diez imágenes presentadas se correspondían con cada una de las severidades que nuestros algoritmos eran capaces de distinguir. Esta idea no estaba pensada desde la usabilidad ni la experiencia del usuario final, para un encuestado iba a ser muy complicado ser capaz de distinguir tonalidades entre este número de imágenes y el test no iba a ser preciso. Por ello, se desarrolló un nuevo método en cascada, donde se le mostrarían al usuario tres imágenes, cada una de ellas con una severidad diferente y que solo pudiera escoger una de ellas para que, en las próximas preguntas, las diferencias de severidad entre las tres imágenes mostradas fueran reduciéndose, con el objetivo de tener una severidad final más precisa.

Una vez el proyecto iba cogiendo forma y se tenían desarrolladas las primeras pantallas en entorno de desarrollo, se balanceó la idea de crear un *login* con usuario y contraseña. La realización de esta nueva función iba a desencadenar un estudio sobre las leyes y normativas actuales sobre la protección de datos que iba a retrasar mucho la entrega final del proyecto, sin llegar a conseguir grandes ventajas. Esta idea nació de la necesidad de ser capaces de identificar de manera anónima si un usuario entraba y realizaba el test varias veces, es por ello por lo que la solución que mostrásemos a este nuevo reto debería tener en cuenta esta casuística. Como solución se barajaban dos métodos. El primero de ellos consistía en

mostrarle al usuario final un *id* y que este lo guardase para poder identificarse en sus próximas veces, pero esta idea volvía a no tener una visión sobre la experiencia final del usuario. Así, como solución final se planteó que la plataforma permitiese al usuario crear un “*nick*” con el cual poder identificarse y que fuese más sencillo poder recordarlo para futuras veces.

4.2.2 Cambio de alcance en entorno de producción

Una vez realizado todo el trabajo en el entorno de desarrollo y, para ser consecuentes con las mejores prácticas de desarrollo de *software* seguro, se realizaron diversas pruebas que dieron lugar a más cambios en la página *web*, generando diferentes versiones.

Mientras se realizaban estas pruebas se observó que, como usuario final, era complicado responder algunas de las preguntas del test ya que no existía una diferencia significativa entre algunas de las imágenes, sobre todo cuando la severidad con la que se calculaban no era muy diferente. Para conseguir mayor usabilidad en la interfaz, se decidió incluir como respuesta una opción que indicase “no veo diferencias”. La lógica que sigue ahora el programa es, en primer lugar, guardar en la base de datos que el usuario en concreto no ha percibido diferencias y, posteriormente, para el cálculo de las variables que influyan en la creación de las imágenes de las siguientes preguntas se tendrá en cuenta la última respuesta escogida que contenga un valor sobre la severidad.

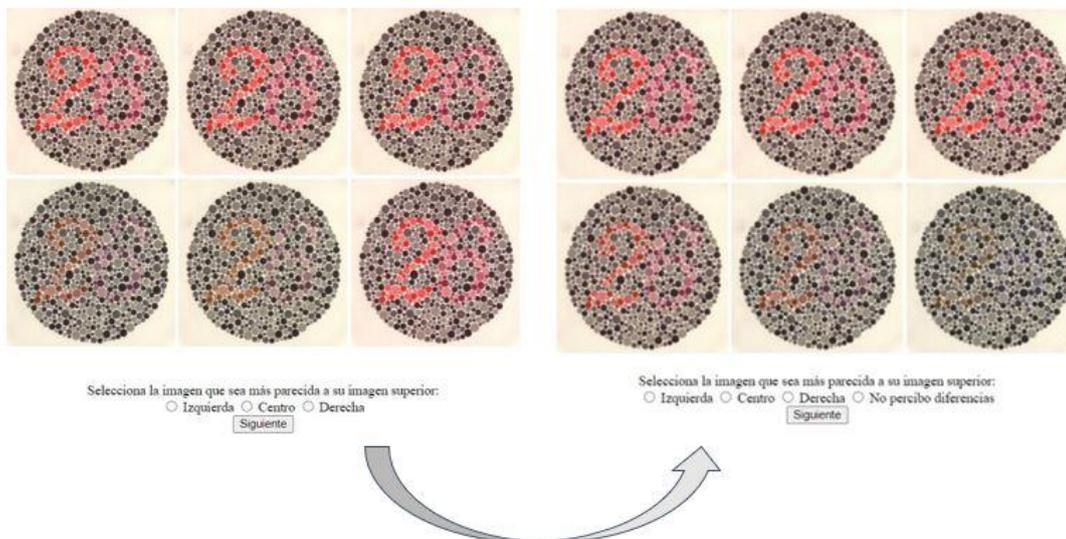


Figura 4.2. Cambio diseño página *web*: incluir opción “no percibo diferencias” en el test de diagnóstico

Una vez la página *web* ya estaba en estado productivo, quedó patente la escasez de datos de personas que padecen daltonismo, a pesar de haberse puesto en contacto con diferentes asociaciones de personas que padecen defectos visuales. Es por ello por lo que necesitábamos incluir en nuestra interfaz datos que nos fuesen útiles a pesar de que los encuestados no fuesen daltónicos, es decir, conseguir una nueva toma de datos. Así, se incluyó, como ya está descrito en el punto 3.1.3, un test para las personas no daltónicas. La primera idea fue conocer si los sistemas de recolorado eran molestos para las personas no daltónicas, pero con la obtención de los primeros resultados y como se sospechaba, se demostró que los algoritmos actuales de recolorado son muy agresivos para las personas no daltónicas, aunque con algunos matices que se explicarán más adelante (ver sección 5.1.1), los resultados iban a ser unánimes. Es aquí cuando se decidió que el correcto test para las

personas no daltónicas debía de ser con los algoritmos de simulación. Con ellos podríamos comprobar las diferencias de visión entre daltónicos y no daltónicos según sus severidades y la precisión que tenían nuestros algoritmos para determinados grados de afectación, siempre distinguiendo entre los tres tipos de daltonismo.

En este proceso, se realizaron también cambios en el diseño de la interfaz, conocidos como cambios de “*Look&Feel*”, mejorando así la usabilidad y la experiencia de usuario de los encuestados. Algunos de estos cambios son los siguientes:

1. Cambio en el color de los botones del test para no daltónicos. El color en las páginas *web* es una decisión muy importante, ya que afecta a la percepción de los usuarios. En un primer momento, los botones se realizaron en tonos grises, pero desde siempre el color gris en un botón se considera como “deshabilitado”, por ello cambiamos el tono a los mismos colores del índice para que, además, hubiese armonía.



Figura 4.3. Cambio diseño página *web*: colores en los botones del test de no daltónicos

2. A pesar de que la página *web* ha sido pensada para visualizarla desde un ordenador, es cierto que, actualmente, es más común el uso de dispositivos móviles. Por ello, se tuvieron que realizar algunos cambios en el tamaño de las imágenes para su correcta visualización en ambos tipos de dispositivos.

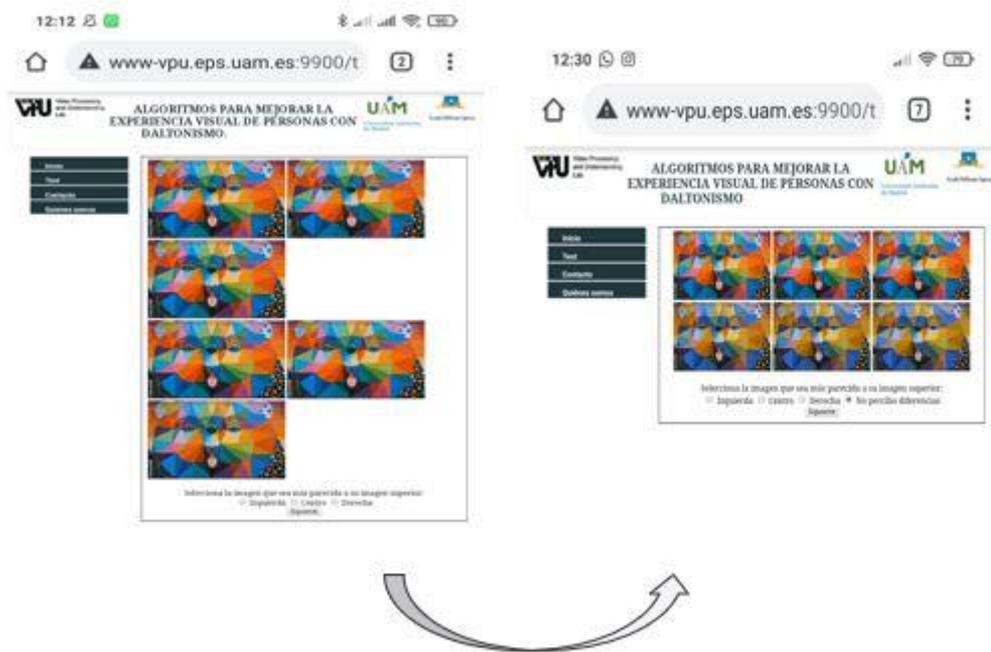


Figura 4.4. Cambio diseño página web: tamaño de las imágenes en el test de diagnóstico

Por último, y debido a todos los cambios y mejoras que había sufrido la plataforma, se rediseñó la base de datos. En este proceso ya existían datos que se habían captado y almacenado en la base de datos, por tanto, estos cambios en el diseño debían tener compatibilidad hacia atrás. Es decir, la base de datos ante este cambio funcional y su posterior evolución debía seguir siendo compatible para que no se produjese ninguna pérdida de información. En un primer momento, todos los datos de las personas no daltónicas se almacenaban en la misma tabla que las personas daltónicas. Como consecuencia, todas las filas tenían valores vacíos y, a pesar de que en ese momento no existía problema ya que la cantidad de datos almacenados no era muy grande, no iba ser un producto escalable. El modelo de datos actual, explicado en el apartado 3.4.1, contiene una tabla única y exclusivamente para las personas que no padecen daltonismo, consiguiendo así un modelo de datos que sea escalable en el futuro.

5 Análisis de resultados

5.1 Preprocesado

El proceso que se lleva a cabo para realizar el análisis de los resultados tiene dos etapas. En un primer lugar, la base de datos que almacena todas las respuestas dadas por los usuarios permite exportar dichos resultados para poder estudiarlos. Una vez se ha conseguido este archivo, se vincula con una hoja realizada en formato Excel, la cual muestra determinadas gráficas de los resultados obtenidos tanto en el test de diagnóstico y validación, como en el test para los usuarios no daltónicos.

El primer paso por realizar antes de sacar conclusiones sobre estos datos sería un preprocesado, en el cual se eliminarían datos incompletos en el modelo que pueden llegar a afectar a los resultados. Esto puede ocurrir si algún usuario ha entrado a realizar el test y, por ejemplo, no lo termina, en determinados casos, si las únicas preguntas que se han respondido son de información sobre condiciones lumínicas estas carecen de sentido si no existen datos sobre el test.

Además, se realiza una clasificación de los resultados obtenidos, en cuatro niveles:

1. “No daltónico”: usuario que realiza el test de no daltónicos porque afirma no padecer dicho defecto de visión.
2. “OK”: usuario daltónico al cual se le diagnostica mediante el test de diagnóstico el mismo defecto visual que dice tener.
3. “Error”: usuario daltónico al cual se le ha diagnosticado un tipo de daltonismo que no coincide con el que dice tener.
4. “No evaluable”: usuario daltónico el cual afirma en la pregunta sobre qué tipo de daltonismo padece tener “otro”, es decir, un daltonismo que no coincide con las tres variedades de discromatopsia que el test en cuestión es capaz de detectar.

Posteriormente, la hoja de Excel realizada muestra gráficos explicativos sobre los datos que se han ido almacenando y que se estudiarán en el siguiente punto.

5.2 Análisis de la muestra

A continuación, se muestra un análisis de los sujetos de la muestra, realizado mediante la técnica de tablas dinámicas de Excel, que permita analizar los resultados obtenidos, teniendo en cuenta que la recogida de estos datos se ha realizado entre los meses de marzo y abril de 2021.

La muestra utilizada en el presente estudio contiene un total de 122 resultados, de los cuales 13 de ellos se estudiarán de forma independiente debido a los cambios sufridos en el test y para que estos no influyan en el resultado general.

Las edades de estos 109 resultados a analizar comprenden el rango entre los 18 y los 60 años, teniendo un gran aumento en la frecuencia de la muestra en las edades más cercanas a los 20 años.

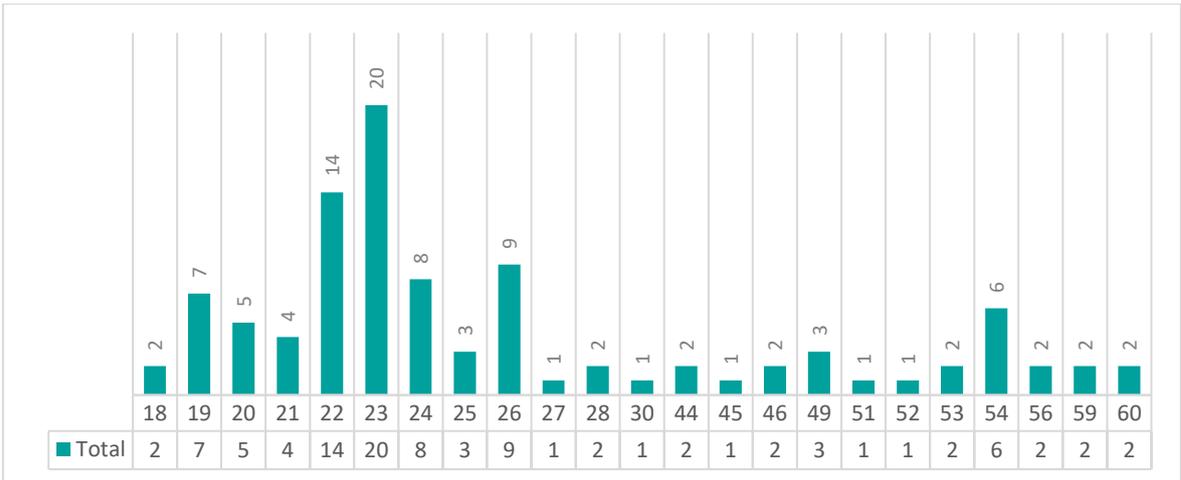


Figura 5.1. Análisis por edades de la muestra

Además, se analiza otro tipo de información como puede ser el sexo, los defectos de visión y el país de la muestra.

Como se puede visualizar en los gráficos adjuntos, un 62,39% de la muestra son mujeres, frente al 37,61% de varones. Posteriormente, se podrá ver cómo en el análisis de la muestra de personas daltónicas este porcentaje es contrario.

Además, podemos concluir que es una muestra mayoritariamente (96,33%) española, de los cuales un 66.98% padecen por lo menos uno de los siguientes defectos visuales: miopía, astigmatismo o hipermetropía.

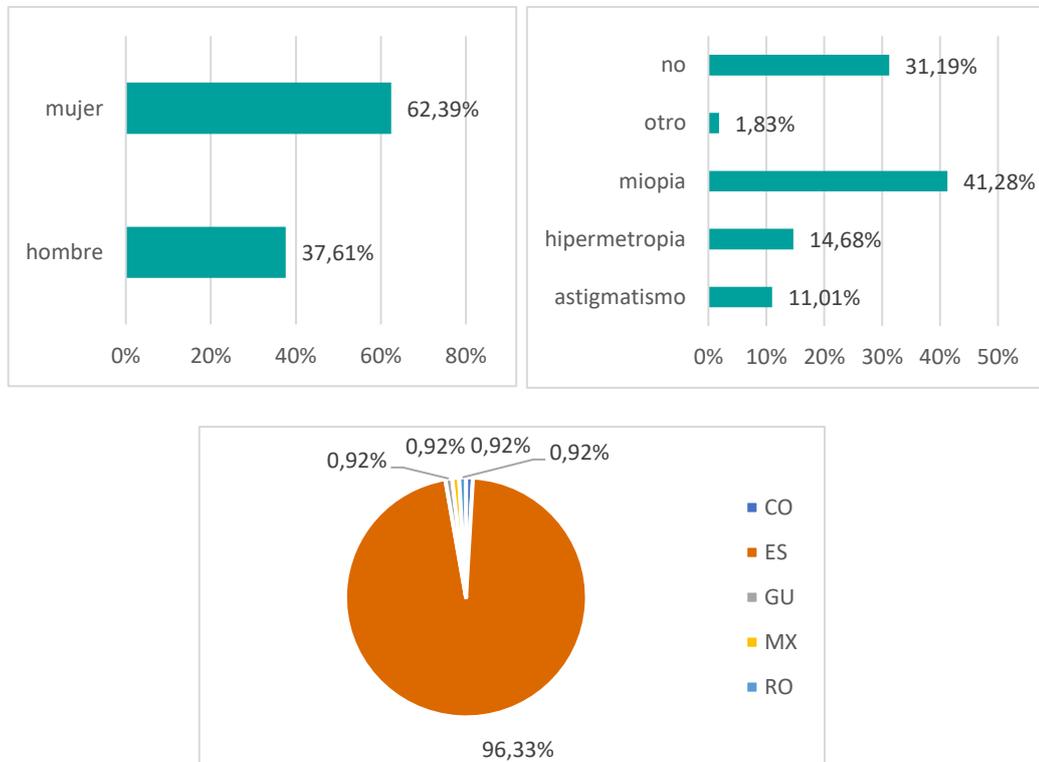


Figura 5.2. Análisis por sexo, defectos visuales y país de la muestra general

Dentro del conjunto de estas muestras, solo 20 de ellas dicen padecer daltonismo, ya sea de forma diagnosticada o por experiencia propia. Es por ello por lo que se realizará un estudio diferenciado entre las personas daltónicas y la que no padecen dicha deficiencia visual.

5.3 Resultados test de daltonismo

5.3.1 Análisis de la muestra

El análisis de edad de la muestra de personas daltónicas no difiere de la muestra general, por el contrario, el sexo y los defectos de visión sí poseen diferencias significativas.

Por un lado, contamos con un mayor número de varones daltónicos (varones = 14, lo que corresponde con el 70% de la muestra) que de mujeres (mujeres = 6).

Por otro lado, en la muestra de personas daltónicas se puede observar un cambio en los defectos visuales con respecto a la muestra general, ya que es el 60% de los sujetos que han realizado el test no padecen ningún tipo de defecto visual, pero debido al bajo número de muestras que se han podido recoger con respecto a los sujetos que padecen daltonismo, no se quiere sacar ninguna conclusión precipitada con respecto a estos datos.

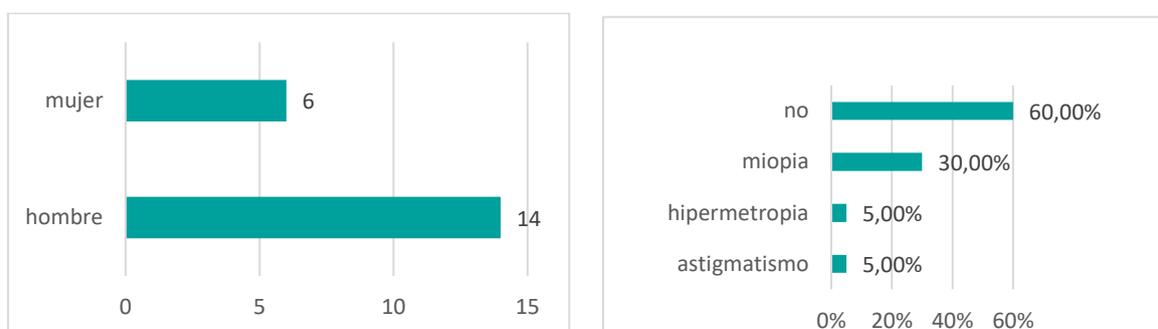


Figura 5.3. Análisis por sexo y defectos visuales de la muestra de personas daltónicas

5.3.2 Resultados test de diagnóstico

Una vez conocida la muestra de personas daltónicas que forman este conjunto de datos, se realiza un análisis diferenciado entre las dos partes que conforman el test de diagnóstico. Por un lado, se procede a analizar la viabilidad del diagnóstico sobre el tipo de daltonismo de los sujetos de la muestra y, por otro lado, las severidades correspondientes a cada uno de los tipos de resultados anteriores.

- **Tipo de daltonismo**

Los resultados obtenidos en la primera parte del test de diagnóstico, es decir, el diagnóstico del tipo de daltonismo se compara con los datos ofrecidos por los usuarios, sin diferenciar en si estos sujetos han sido diagnosticados o no, ya que, a pesar de ser más fiable si dicho usuario posee un diagnóstico, se entiende que los sujetos conocen cuáles son las tonalidades con las que tienen dificultades a la hora de distinguirlos.

La evaluación sobre la viabilidad o no de estos resultados se ha diferenciado en tres casos ya explicados anteriormente: “ERROR”, “NO EVALUABLE” y “OK”.

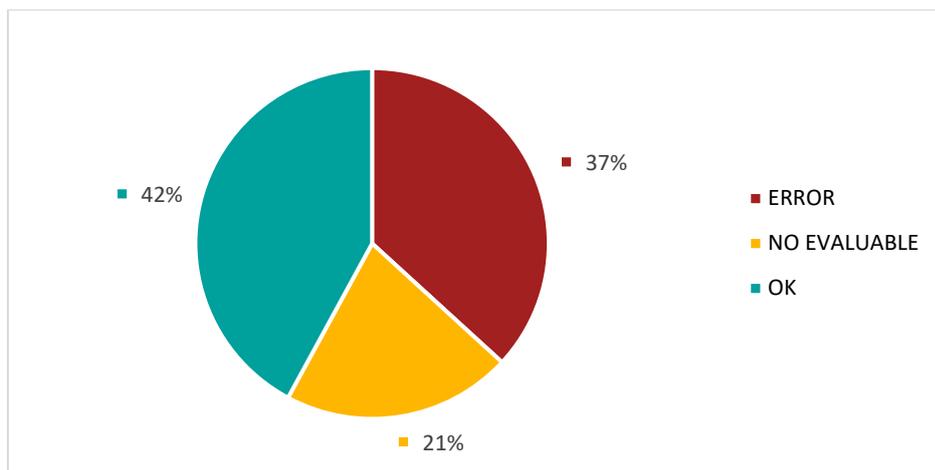


Figura 5.4. Análisis viabilidad diagnóstico del tipo de daltonismo

Como podemos ver en la figura superior, para un 42% de los usuarios daltónicos se ha diagnosticado correctamente el tipo de daltonismo y un 21% de ellos dice tener otro tipo de daltonismo, es decir, no padecen discromatopsia. Este dato no encaja demasiado con lo esperado, ya que es un porcentaje alto de la muestra que indica no tener cualquiera de los tres tipos de daltonismo más comunes.

Sin embargo, un 37% de los usuarios daltónicos ha confirmado tener un tipo de daltonismo el cual no corresponde al diagnosticado por el test, es por ello por lo que se debe comprobar cómo afecta dicho dato a las severidades calculadas.

Además, se muestran también los resultados según la viabilidad del test y los diferentes tipos de discromatopsia. Como conclusiones, podemos observar que el test es más efectivo para el diagnóstico de protanopía que para el resto de las discromatopsias, ya que no existe ningún error a la hora de diagnosticar este tipo de daltonismo y, por el contrario, el diagnóstico de deuteranopía es aquel detecta con más facilidad cuando no es el correcto. Además, los usuarios que dicen padecer otro tipo de daltonismo que no coincide con ninguno de los que se evalúan en este test, detectan protanopía y tritanopía a partes iguales.

Por último, aunque la muestra de personas daltónicas no es de un carácter significativo, los resultados obtenidos sobre aquellos usuarios de los cuales podemos considerar como válido el test, coinciden con la teoría sobre la afectación de los diferentes tipos de daltonismo, siendo tritanopía el defecto menos común en la población.

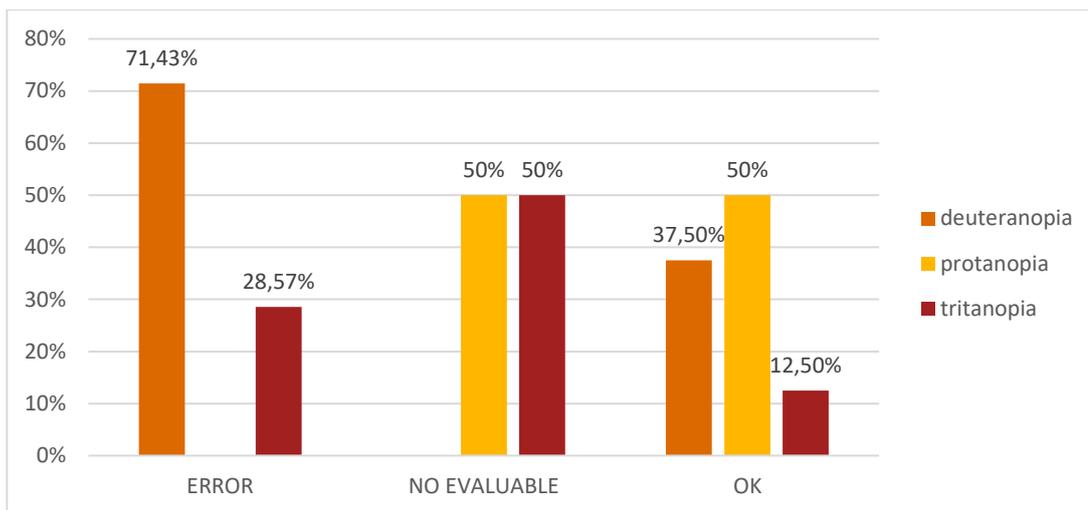


Figura 5.5. Análisis de la viabilidad del test y el tipo de discromatopsia según el total de la muestra

- **Severidades**

Una vez el test diagnostica el tipo de daltonismo que padece el encuestado, se hace un estudio sobre las diferentes severidades y se concluye una severidad final para cada usuario. Es importante recordar, que cuando el test de diagnóstico detecta que la severidad final del usuario es 0 se considera que el usuario no padece daltonismo. En un primer lugar, para aquellos resultados que se consideran validos con respecto al diagnóstico del tipo de daltonismo, como podemos ver en la figura 6.1, un 50% obtiene como resultado en el cálculo de la severidad final 0, lo que concluye que, a pesar de ser usuarios daltónicos, el test los detecta como usuarios no daltónicos. Además, es interesante ver cómo ningún usuario obtiene un resultado mayor a 0,5 de severidad.

Por otro lado, como se muestra a la derecha del gráfico 6.1, se analizan los resultados en las severidades de aquellos usuarios de los cuales no se ha podido considerar como válido el test de tipo de daltonismo, ya que obtiene un resultado diferente a lo que el usuario final afirma. Es bueno comprobar que la mayoría de estos resultados, un 70%, obtienen una severidad igual a 0, es decir, el usuario no es daltónico según el tipo de daltonismo que se le haya diagnosticado.

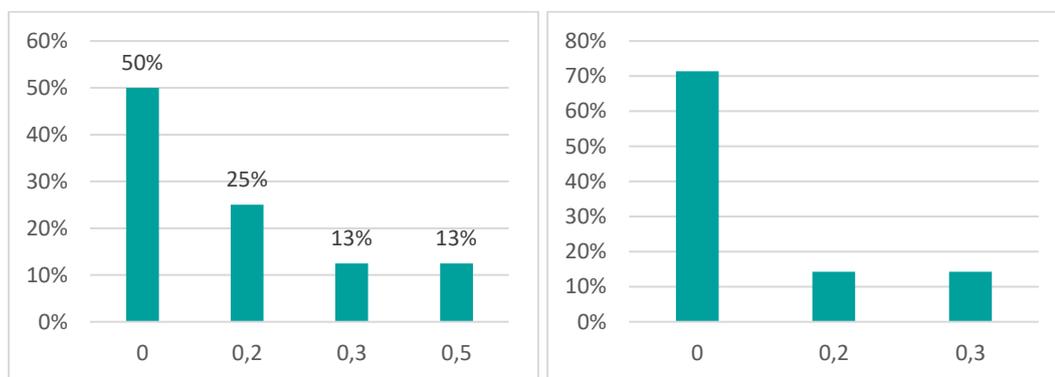


Figura 5.6. Análisis de las severidades del total de la muestra con viabilidad en el test “OK” (izquierda) y “ERROR” (derecha)

5.3.3 Resultados test de validación

Como ya ha sido comentado en puntos anteriores, el test para personas daltónicas tiene dos fases, una de diagnóstico y otra de validación. Esta segunda fase del test, solo la realizan aquellos usuarios que tienen como resultado en el test de diagnóstico una severidad final mayor a 0. Por lo tanto, solo un total de 10 personas han realizado este test.

El objetivo de este test es comprobar si los algoritmos de recolorado son válidos, ya que son aquellos que “modifican el color de las tonalidades que el daltónico no percibe, sustituyéndolas por otras que es capaz de percibir, de modo que vea contraste y diferencia entre ellas, siendo capaz de apreciar detalles que de otro modo pasarían inadvertidos” (Guijosa, 2020).

Es por ello por lo que al usuario final se le pregunta si es capaz de ver más, igual o menos tonalidades en la imagen. Los resultados muestran que para más de un 52% de las imágenes representadas mejora la visión, solo un 11% la empeora y para el 37% no existe diferencias. Es importante recalcar que los resultados en los que se han indicado que se ven menos tonalidades solo se han producido por dos usuarios que lo han indicado en las imágenes 2 (imagen “cherry”) y 4 (imagen “castillo”).

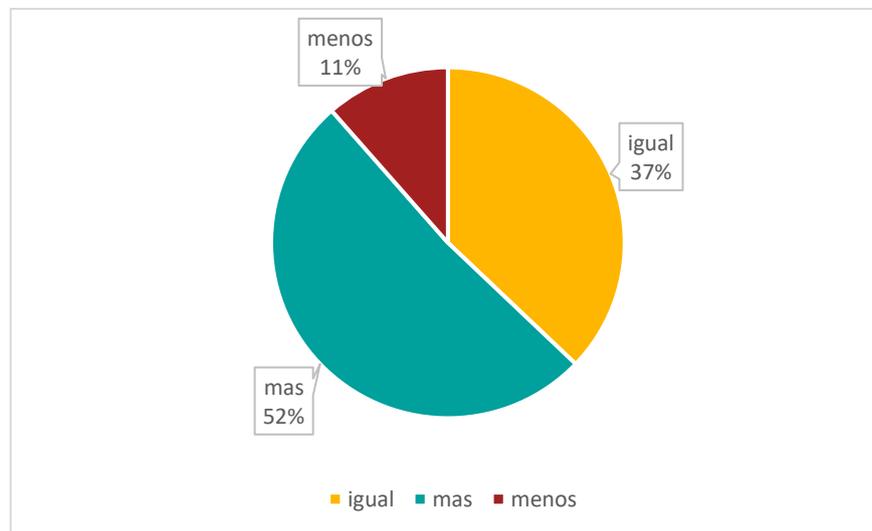


Figura 5.7. Análisis resultados test de validación

5.1 Resultados test de no daltónicos

El análisis de la muestra de personas no daltónicas no difiere de la muestra general, ya que la muestra de daltónicos es más pequeña (20 encuestados) frente a la de no daltónicos (102). En este proceso se han realizado dos análisis diferenciados, ya que como se explica en el apartado 4.2, se realizó un cambio en el test para personas no daltónicas.

5.1.1 Test con funciones de recolorado

Los primeros resultados captados para este tipo de test se realizaron con las funciones de recolorado; el objetivo era demostrar hasta qué punto a una persona no daltónica le era molesto que las imágenes tuvieran este tipo de recolorado. Si se obtenían buenos resultados se podría concluir que estos algoritmos podrían utilizarse para cualquier dispositivo y así mejorar la visión de las personas daltónicas mientras que a las no daltónicas no les molestaría.

El 100% de los usuarios que han realizado este test concluye que, para la primera y última pregunta, correspondientes con protanopía y tritanopía, el máximo valor con el cual no existen diferencias significativas en las tonalidades es 0. Es decir, no existe tolerancia a estos algoritmos por parte de las personas no daltónicas. En cambio, con el defecto deuteranopía los resultados no han sido tan unánimes, como se ve en el gráfico 6.8, existe mayor tolerancia debido a que los cambios con los primeros grados de severidad no llegan a ser molestos para el usuario final, es decir, para esta imagen en concreto el efecto de recolorado para deuteranopía es más leve que para el resto de las deficiencias visuales, ya que los únicos cambios que se visualizan en los primeros grados de severidad son en el rostro, adquiriendo un tono más grisáceo.

De este test solo existen 13 respuestas, ya que los algoritmos de recolorado son muy agresivos para las personas no daltónicas y obtener un mayor número de respuestas no iba a cambiar estos resultados.

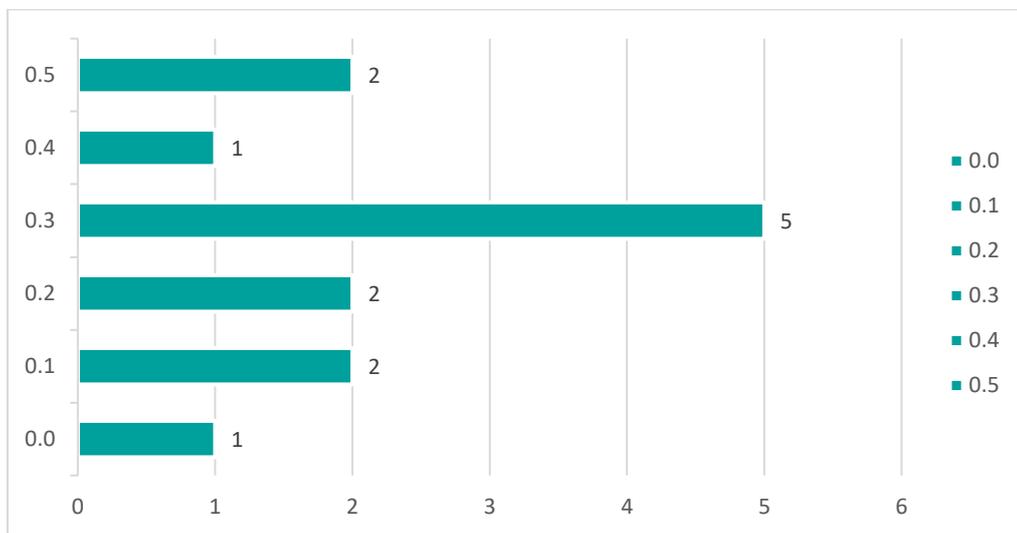


Figura 5.8. Resultados de los grados de severidad tolerados por las personas no daltónicas en el recolorado del defecto deuteranopía

Para que se pueda comprobar la agresividad de este recolorado, se muestra a continuación una figura en la cual se ve la imagen original y la imagen recolorada para el tipo de discromatopsia protanopía y una severidad 0.1.



Figura 5.9. De izquierda a derecha, imagen original e imágenes recoloradas con severidad 0.1 para tipos de daltonismo protanopía, deuteranopía y protanopía

5.1.2 Test con funciones de simulación

Una vez demostrados que los algoritmos de recolorado son muy agresivos para las personas no daltónicas, se tiene como objetivo demostrar las diferencias entre la visión de personas daltónicas y no daltónicas según los diferentes grados de severidad, además de la precisión de estos algoritmos para diferenciar entre unos grados de severidad u otros.

Como ya ha sido explicado anteriormente, este test consta de tres preguntas, una para cada uno de los defectos de discromatopsia, por lo que se estudiarán por separado cada uno de ellos.

Para estudiar el comportamiento de las personas no daltónicas a cada uno de los diferentes tipos de discromatopsia, se ha definido un parámetro denominado en el presente trabajo como tolerancia. Esta tolerancia representa los grados de severidad acumulados que el usuario dice en el test que es capaz de tolerar. Es decir, cuando un usuario acepta una severidad de 0.3 quiere decir que no distingue diferencias significativas con severidades de 0, 0.1, 0.2 y 0.3. De esta manera, se ve el total de usuarios que son capaces de “tolerar” imágenes simuladas con cada uno de los diferentes grados de severidad y los anteriores.

Este estudio se va a basar a partir de ahora en este parámetro y no en el de severidad, cuyas gráficas se pueden contemplar en el Anexo A.A. Así, la tolerancia queda definida con la siguiente fórmula:

$$T_n = \sum_{i=0}^n Severidad$$

Siendo T_n la tolerancia acumulada para el grado de severidad n , y severidad el porcentaje de la muestra que dice no visualizar diferencias entre la imagen original y la imagen procesada con ese grado de severidad.

Además, una vez realizados los gráficos con las distribuciones puntuales de la tolerancia, se calcula la curva de regresión polinómica de grado 3 que nos da una expresión matemática para cada una de las tolerancias distinguidas por cada tipo de discromatopsia. Esta curva es automáticamente calculada por el programa Excel para cada serie de datos. De igual manera, se representa en el gráfico el coeficiente de regresión R , que proporciona información sobre el ajuste de estas curvas a las series de datos correspondientes. En este caso, los parámetros R son muy cercanos a 1, por lo que se entiende que estas curvas son suficientemente significativas para representar el problema y, por ello las conclusiones siguientes se sacarán a raíz de estas.

A continuación, se muestran las tres gráficas correspondientes a los defectos protanopía, deuteranopía y tritanopía, donde en el eje de abscisas indica el parámetro de tolerancia y en el eje de ordenadas el porcentaje de población que tolera cada uno de los grados de severidad.

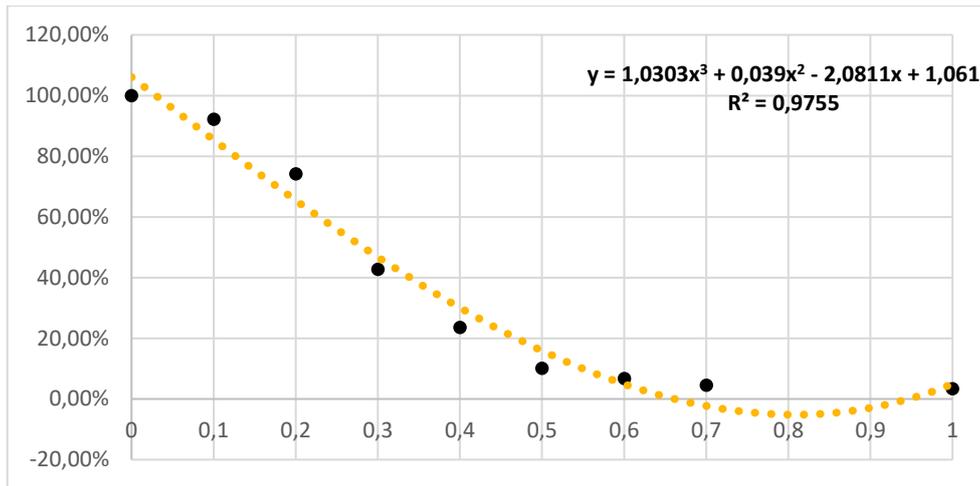


Figura 5.10. Curva de regressão tolerância acumulada por grau de severidade para a simulação do defeito protanopia

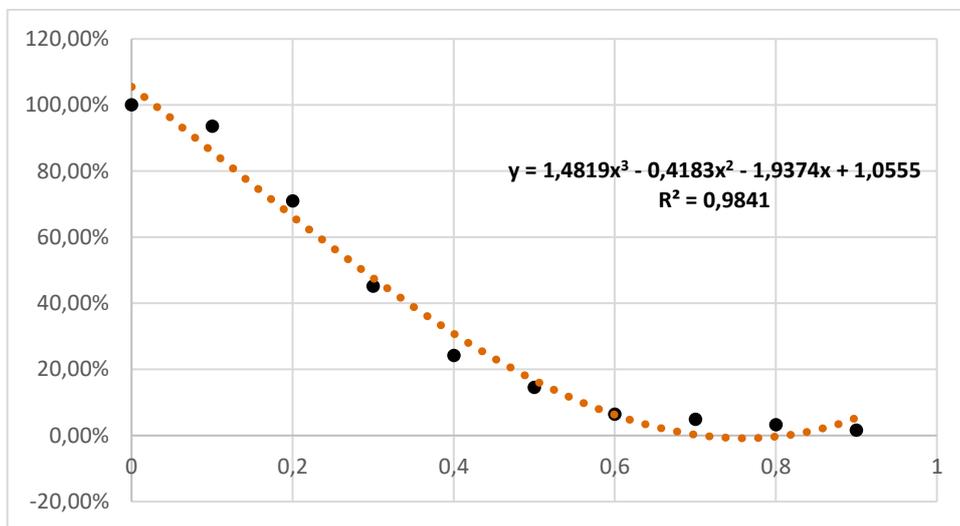


Figura 5.11. Curva de regressão tolerância acumulada por grau de severidade para a simulação do defeito deuteranopia

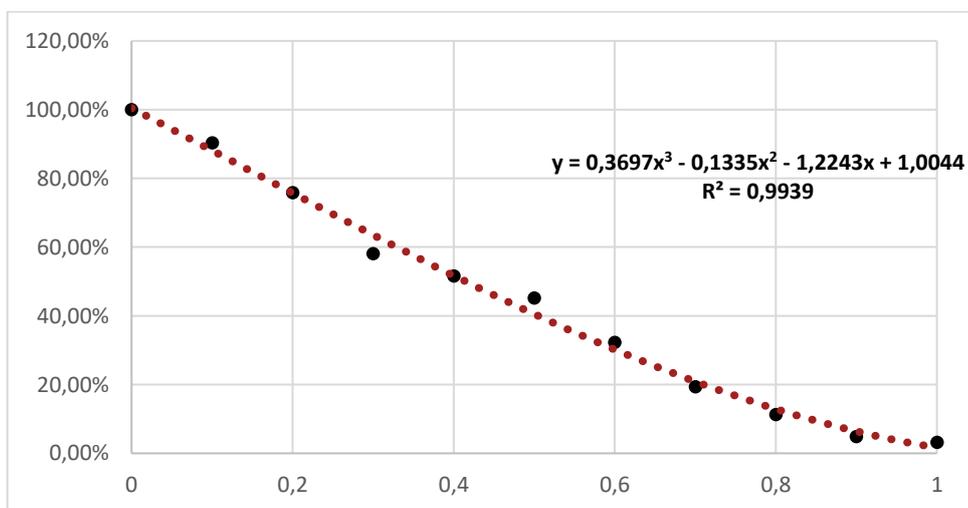


Figura 5.12. Curva de regressão tolerância acumulada por grau de severidade para a simulação do defeito tritanopia

Finalmente, se superponen las tres curvas de regresión de cada uno de los tres tipos de discromatopsia, para poder concluir de forma global.

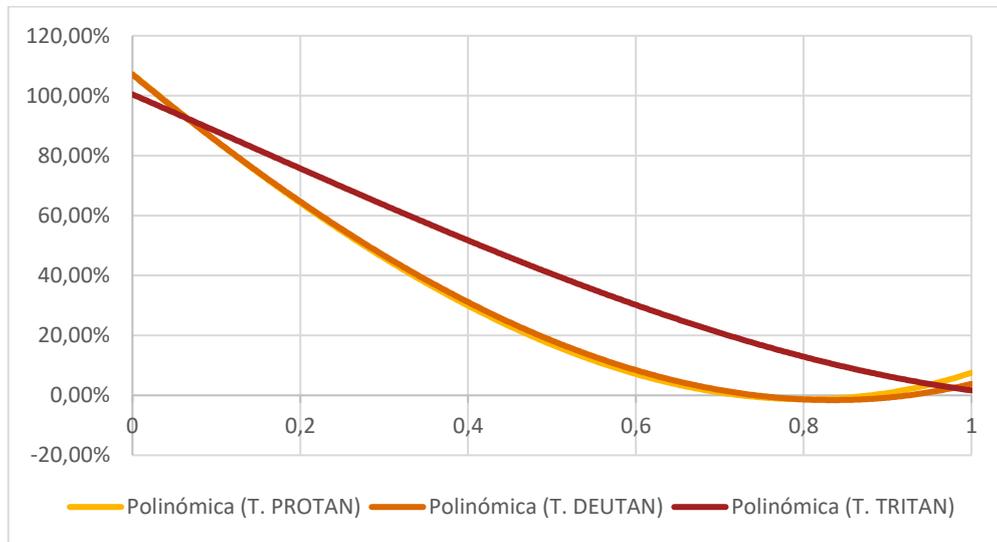


Figura 5.13. Curva de regresión tolerancia acumulada por grado de severidad para la simulación de los tres tipos de discromatopsia

Como se muestra en la gráfica 6.12, se puede visualizar que, para cualquier tipo de daltonismo estudiado, no existe diferencia significativa entre la visión normal y la visión de un daltónico con severidad 0.1. Además, se puede concluir que el comportamiento de las curvas correspondientes a los tipos de daltonismo protanopía y deuteranopía son prácticamente iguales, a diferencia de tritanopía, la cual diverge de las anteriores, siendo esta mayor; es decir, la población no daltónica en general tiene un comportamiento visual más similar a la tritanopía. De cualquier manera, un 80% de la muestra indica tener tolerancia a una imagen simulada con un grado 0.2 de tritanopía, mientras que un 60% de la muestra indica que es tolerante al mismo.

6 Conclusiones y trabajo futuro

6.1 Conclusiones

En el presente trabajo se ha desarrollado un PMV para demostrar que se pueden crear aplicaciones que usen los algoritmos de simulación y recolorado para realizar pruebas de diagnóstico y mejora de experiencia visual relacionados con el daltonismo. Además, esta herramienta ha permitido validar los algoritmos disponibles y permitirá probar los futuros. Es decir, de una forma sencilla permite cambiar dichos algoritmos utilizados por otros mejorados y poder volver a validarlos, ofreciendo así una herramienta con la que poder demostrar y validar una mejora continua.

Los resultados obtenidos respecto de la calidad de los algoritmos analizados no se pueden considerar concluyentes debido a que el número de pruebas realizadas no ha sido tan grande como se esperaba; se contactó con diversas asociaciones de daltónicos, pero lamentablemente no se logró respuesta por su parte, lo que hubiese servido para tener un mayor número de datos analizados. Por lo tanto, deberían realizarse unas pruebas más extensivas para poder realizar una mejora en estos y conseguir obtener unos algoritmos que sean capaces de diagnosticar los diferentes tipos de discromatopsia mucho más exhaustivamente y así, con los algoritmos de recolorado, poder crear *plugins* de visualización que se incluyan en los dispositivos de personas daltónicas y mejoren su experiencia visual.

6.1.1 Respecto a los resultados del test de personas daltónicas

Respecto a los resultados obtenidos de las personas que padecen daltonismo se puede indicar que, a pesar de que la muestra de personas daltónicas conseguida es pequeña, queda constancia de la necesidad de mejorar el diagnóstico del tipo de daltonismo, puesto que se obtiene un 37% de error. Aun así, para todos los test que se consideran válidos, se confirma que las discromatopsias más comunes son protanopía y deuteranopía, frente a la tritanopía. Por otro lado, el cálculo de las severidades es confuso, ya que, para la mitad de los usuarios daltónicos con test válido, es decir, para aquellos usuarios que se ha diagnosticado de manera correcta el tipo de daltonismo, se les asigna una severidad de 0; en otras palabras, el test concluye que el 50% de los usuarios que son daltónicos tienen una visión normal. Es por tanto factible decir que el test de diagnóstico en estos casos no ha funcionado correctamente. Con respecto al test de validación los resultados son positivos. El 52% de los encuestados afirman que se le ha mejorado la imagen y un 37% que no ven diferencias, es decir, a más de la mitad de la muestra se les ha mejorado la visión y solo el 11% considera que las imágenes han perdido tonalidades.

6.1.2 Respecto a los resultados del test de personas no daltónicas

Respecto a los resultados obtenidos del test para personas no daltónicas se puede concluir que los algoritmos de recolorado actualmente son muy agresivos, excepto para el caso de deuteranopía que la mayoría de los encuestados dice tolerar hasta una severidad 0.3. Esto muestra que de momento estos algoritmos solo podrían utilizarse para dispositivos personales de las personas daltónicas.

Por otro lado, se ha demostrado que la población normal tiene un comportamiento más parecido a la tritanopía. Aun así, este mismo test debería realizarse con más tipos de imágenes y más de una vez por cada encuestado, para así poder eliminar variables externas y de la propia foto y que no sea esta una de las razones que sesgue los resultados.

6.2 Trabajo futuro

Al haberse cumplido los objetivos que se proponen en el trabajo, la realización de pruebas con pacientes reales ha abierto un gran campo de mejora. Además, la posibilidad de la realización de mejoras en el trabajo o modificaciones en los algoritmos utilizados es viable gracias al modo en el que ha sido diseñado.

De este modo, se proponen dos líneas de trabajo futuras:

- En primer lugar, sería necesario poder comprobar si un mismo usuario puede obtener resultados diferentes según el tipo de dispositivo, luz, momento en el que realice el test o incluso los diferentes tipos de defecto visual que padezca. Para ello, sería necesario obtener una muestra mayor, tanto de encuestados que repitan el test, como de nuevos usuarios que permitan aumentar la muestra y conseguir unos resultados más significativos.
 - Aunque uno de los motivos de realizar un test con pocas preguntas era poder captar una muestra mayor, queda patente la necesidad de realizar un test de diagnóstico más exhaustivo. Para ello, se propone contar con médicos expertos en dicha materia y así poder crear un método de diagnóstico que nos garantice resultados y, además, sea rápido. Con su ayuda, se podrá conocer cuáles son las imágenes adecuadas, el orden y el número de preguntas que se necesitan para diagnosticar, por un lado, el tipo de discromatopsia y, por el otro, la severidad de cada paciente.
 - Se ha demostrado mediante el test de validación que los algoritmos de recolorado obtienen unos resultados bastante buenos para personas con daltonismo, lo que significa que dichos algoritmos se podrían utilizar en los dispositivos personales de aquellas personas que padecen daltonismo. Pero dichos algoritmos son muy agresivos para aquellas personas que no son daltónicas, por lo que se propone realizar un estudio de cómo suavizar dichos algoritmos para aquellas personas con una visión normal y así, conseguir que se puedan implantar en dispositivos comunes para personas daltónicas y no daltónicas.
-

Referencias

- [1] Deeb, S. S. (2005). *The molecular basis of variation in human color vision*. Clinical genetics.
 - [2] Hunt, D. M., Dulai, K. S., Bowmaker, J. K., & Mollon, J. D. (1995). *The chemistry of John Dalton's color blindness*. Science, 267(5200).
 - [3] Bonmatí Carrión, M. Á., & Argüelles, R. (2015). *La luz en el sistema circadiano*. Eubacteria, nº 33.
 - [4] Nigam, P. K., & Bhattacharya, M. (2013, December). *Colour vision deficiency correction in image processing*. In 2013 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine IEEE.
 - [5] Emerling, C. (2014). *Whale color vision gene remnants point to ancestral terrestrial life*. Pseudogenes.
 - [6] Guijosa, A. R. (2020). *Algoritmos para mejorar la experiencia visual de personas con daltonismo*. Madrid.
 - [7] de Oliveira, H. M., Ranhel, J., & Alves, R. B. A. (2015). *Simulation of color blindness and a proposal for using google glass as color-correcting tool*.
 - [8] Machado, G. M., Oliveira, M. M., & Fernandes, L. A. (2009). *A physiologically based model for simulation of color vision deficiency*. IEEE transactions on visualization and computer graphics.
 - [9] Melillo, P., Riccio, D., Di Perna, L., Di Baja, G. S., De Nino, M., Rossi, S., ... & Frucci, M. (2017). *Wearable improved vision system for color vision deficiency correction*. IEEE journal of translational engineering in health and medicine.
 - [10] Viénot, F., Brettel, H., & Mollon, J. D. (1999). *Digital Video Colourmaps for checking the Legibility of displays by dichromats*. COLOR research and application. Volume 24, Number 4, August 1999.
 - [11] Lindstrom, G. (2005). *Programming with python*. IT Professional Magazine.
 - [12] Copperwaite, M., & Leifer, C. (2015). *Learning Flask Framework*. Packt Publishing Ltd.
 - [13] <https://flask.palletsprojects.com/en/1.1.x/>
 - [14] Gauchat, J. D. (2012). *El gran libro de HTML5, CSS3 y Javascript*. Marcombo.
 - [15] Lubbers P., Albers B., Salim F.. *Pro HTML Programing, Powerful APIs for Richer Internet Application Development*.
 - [16] Nixon, R. (2014), *Learning PHP, MySQL & JavaScript: With jQuery, CSS & HTML5*. " O'Reilly Media, Inc."
 - [17] Drake, J. D., & Worsley, J. C. (2002). *Practical PostgreSQL*. " O'Reilly Media, Inc."
 - [18] Malan, R., & Bredemeyer, D. (2001). *Functional requirements and use cases*. Bredemeyer Consulting.
 - [19] K.G. Foote, M. Neitz, J. Neitz. (2014). *Comparison of the Richmond HRR 4th edition and Farnsworth–Munsell 100 Hue Test for quantitative assessment of tritan color deficiencies*. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.
 - [20] Schwaber, K., & Sutherland, J. (2011). *The scrum guide*. Scrum Alliance.
 - [21] Beck K., Beedle M., van Bennekum A., Cockburn A., Cunnimgham W., Fowler M., Grenning J., Highsmith J., Hunt A., Jeffries R., Kern J., Marick B., Robert C. Martin, Steve Mellor, Ken Schwaber, Jeff Sutherland y Dave Thomas. *Agile Manifesto*. <http://agilemanifesto.org/>.
-

Anexos

A Severidad máxima aceptada por las personas no daltónicas según el tipo de discromatopsia

Según se muestra en el apartado 5.1.2 de este trabajo, se incorporan las gráficas de severidad en función del porcentaje de la población de la muestra.

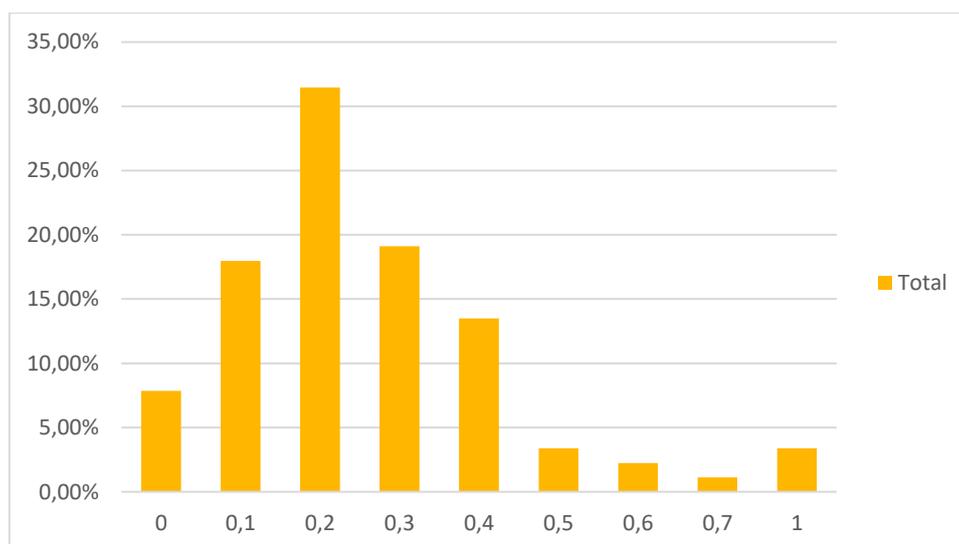


Figura 0.1. Análisis de la severidad máxima que indican los encuestados no daltónicos que son capaces de tolerar en el caso de protanopía

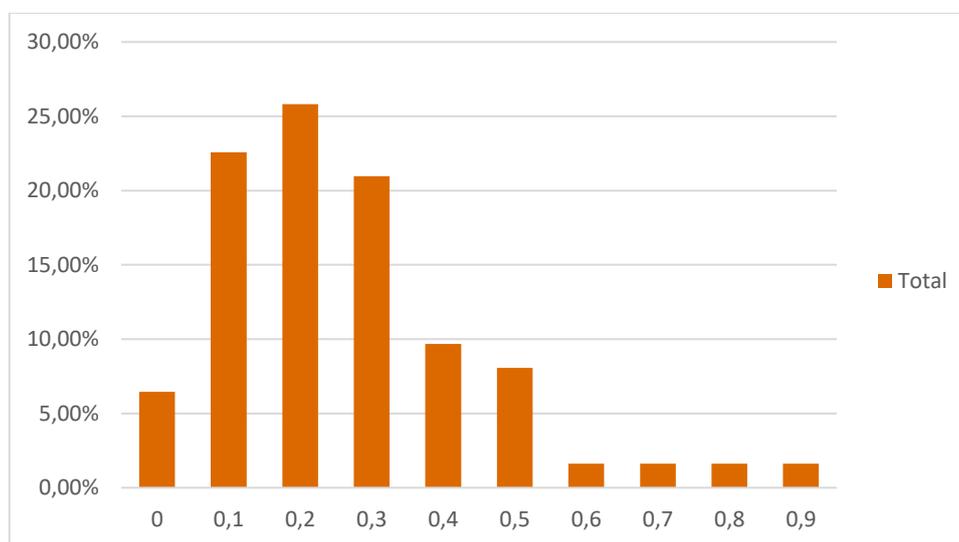


Figura 0.2. Análisis de la severidad máxima que indican los encuestados no daltónicos que son capaces de tolerar en el caso de deuteranopía

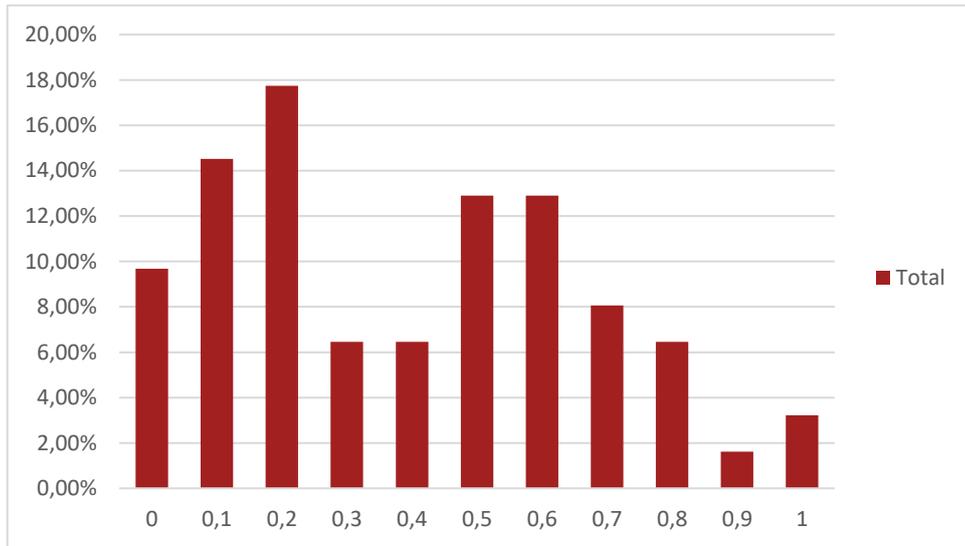


Figura 0.3. Análisis de la severidad máxima que indican los encuestados no daltónicos que son capaces de tolerar en el caso de tritanopía