



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO**

**ESCOM**

*Trabajo Terminal*

# **Prototipo de Herramienta de apoyo al daltonismo**

2019-A094

*Presenta:*

**Jorge Armando Solis Solis**

*Directores:*

**M. en C Rafael Norman Saucedo Delgado  
L.E. Rosa Itzel Solis Solis**

9 DE OCTUBRE DE 2019



## **1. Abstract.**

The next Trabajo Terminal propose the creation of a prototype that helps people that suffers different daltonism types except of achromatopsia. Research is currently needed and in Mexico, the systems are lacking that help to the daltonism people, being only international companies that work in this regard. The contribution will be the detection and correction only while using proposed prototype, having a positive impact on the medical and social problems detected (Discrimination). This will be done using the SCRUM methodology within one year of work, in conjunction with artificial intelligence, through classification algorithms, and Ishihara charts. With the above described, the alteration can be diagnosed in the patient, and in those who are diagnosed correctly distinguish the spectrum of colors in their daily lives.

## 2. Agradecimientos

Se agradece por su apoyo a las siguientes personas:

Mis padres Rosalba Solis Calderon, Armando Solis Hernández por el gran apoyo que me han dado durante todos los años de mi trayectoria escolar.

A mis directora y hermana Rosa Itzel Solis Solis por el apoyo durante todo el Trabajo Terminal, recordando un poco a que durante toda mi carrera he contado con su apoyo incondicional.

A mi Director, profesor y amigo. Rafael Norman Saucedo Delgado por no tan solo el haber aceptado ser mi director, si no por el apoyo que me ha brindado en la ayuda en las materias y la cercanía que hemos creado gracias al club de cultura e idioma japonés.

Y por su apoyo con las instalaciones para realización de pruebas a mi líder y amigo del partido Mario Becerril Martínez y a su madre y consejal de la G.A.M. María de Jesus Martínez Bravo.

# Índice

<b>1. Abstract.</b>	<b>2</b>
<b>2. Agradecimientos</b>	<b>3</b>
<b>3. Resumen.</b>	<b>6</b>
<b>4. Objetivo.</b>	<b>6</b>
4.1. Objetivos Específicos. . . . .	6
<b>5. Introducción</b>	<b>7</b>
<b>6. Antecedentes</b>	<b>8</b>
6.1. Daltonismo . . . . .	8
6.2. John Dalton . . . . .	8
6.3. Estudio del daltonismo . . . . .	9
<b>7. Marco teórico .</b>	<b>11</b>
7.1. Percepción del color . . . . .	11
7.2. La fototransducción . . . . .	13
7.3. Daltonismo . . . . .	14
7.4. Tipos de Daltonismo . . . . .	15
7.5. Diagnóstico . . . . .	17
7.5.1. Protanopia y Deuteranopia . . . . .	17
7.6. Tratamiento . . . . .	18
7.7. Árbol de decisión . . . . .	20
7.8. Modelo RGB . . . . .	21
<b>8. Estado del Arte</b>	<b>21</b>
8.1. ColorADD . . . . .	21
8.2. Microsoft®Color Binoculars . . . . .	23
8.3. Samsung®SeeColors . . . . .	24
8.4. Visolve . . . . .	25
<b>9. Proupuesta</b>	<b>26</b>
9.1. Planteamiento del problema . . . . .	26
9.2. Justificación. . . . .	26
9.3. Metodología . . . . .	26
9.3.1. BurnDown Chart . . . . .	27
9.3.2. Backlog . . . . .	28
9.3.3. Sprint . . . . .	28
9.3.4. Daily StandUp . . . . .	28
9.4. Tecnologías a ocupar . . . . .	29
9.4.1. JAVA . . . . .	29
9.4.2. Android . . . . .	29
9.5. Transformación de imágenes RGB . . . . .	29
9.5.1. Filtros de colores RGB . . . . .	29
9.5.2. Árbol de decisión . . . . .	29
<b>10. Análisis</b>	<b>30</b>
10.1. Factibilidad . . . . .	30
10.1.1. Factibilidad Técnica . . . . .	30
10.1.2. Factibilidad Económica . . . . .	31
10.2. Métricas y estimaciones . . . . .	31
10.2.1. Métrica orientada a la función . . . . .	31

10.2.2. COCOMO II . . . . .	33
10.2.3. Mecanismos de seguimiento y control . . . . .	33
10.2.4. Análisis de Riesgos . . . . .	34
<b>11.Diseño</b>	<b>34</b>
<b>12.Conclusiones.</b>	<b>34</b>
<b>13.Cronograma de trabajo terminal II.</b>	<b>34</b>
<b>14.Glosario</b>	<b>35</b>
<b>Referencias</b>	<b>36</b>
<b>Apéndices</b>	<b>39</b>
<b>A. Anexos 1.</b>	<b>39</b>
<b>B. Anexos 2.</b>	<b>39</b>

### **3. Resumen.**

El siguiente trabajo terminal propone la creación de un prototipo que cuenta con la finalidad de apoyar a la gente que padece diferentes tipos de daltonismo exceptuando la acromatopsia. Actualmente hace falta investigación al respecto y en México se carece de sistemas que apoyen a personas daltónicas, siendo solamente empresas internacionales las que trabajan al respecto. El aporte será el apoyo a su detección y corrección sólo durante el uso del prototipo propuesto, teniendo una repercusión positiva en la problemática médica y social detectada (Discriminación). Esto se realizará utilizando la metodología SCRUM en el lapso de uno año de trabajo, en conjunto con la inteligencia artificial, por medio de algoritmos de clasificación, y las cartas de Ishihara. Con lo anterior descrito, se podrá diagnosticar la alteración en el paciente, y en aquellos que se encuentren diagnosticados el distinguir correctamente el espectro de colores en sus vidas cotidianas.

### **4. Objetivo.**

Desarrollar un prototipo de herramienta médica capaz de diagnosticar y mostrar la correcta gama de colores durante su uso a pacientes con los diferentes tipos de daltonismo, exceptuando la acromatopsia.

#### **4.1. Objetivos Específicos.**

- Diagnosticar pacientes con daltonismo, de manera más práctica a través de la Inteligencia Artificial.
- Identificar con mayor facilidad diferentes tipos de daltonismo.
- Mostrar al paciente el correcto espectro de colores, utilizando la transformación de colores RGB.

## 5. Introducción

John Dalton (1766-1844) fue quien descubrió el daltonismo. Cuando fue a conocer al rey Guillermo IV acudió con un traje académico escarlata (rojo), un color demasiado llamativo para un acto tan solemne. La razón es simple: él veía su ropa de color gris oscuro.

John Dalton proporcionó una descripción científica sobre este fenómeno que posteriormente se conoció con el nombre de daltonismo. Su último experimento demostró que el daltonismo no es un problema del ojo mismo, sino que estaba causado por alguna deficiencia del poder sensorial [1].

La forma más frecuente del daltonismo es que el paciente presente dificultades para distinguir entre el verde (deutaconos) y el rojo (protaconos), aunque puede ocurrir con las tonalidades azules (tritaconos). En cambio, un daltónico puede apreciar más matices del violeta que un sujeto con visión normal[1][2]. Este defecto es genético, aunque también puede adquirirse por una enfermedad ocular o sistémica, e incluso por un traumatismo o uso de algún medicamento.

Esta ceguera hacia el rojo y el verde afecta a un ocho por ciento de la población masculina de todo el mundo. En América Latina uno de cada doce hombres es daltónico. La mayoría de los casos de daltonismo se deben a un problema genético ligado al sexo. Muy pocas mujeres son daltónicas y aproximadamente uno de cada diez hombres sufren alguna forma de daltonismo.

Los objetos absorben y reflejan la luz de forma distinta dependiendo de sus características físicas, como su forma, composición, etc. El color que se percibe de un objeto es el rayo de luz que rechaza. Las personas captan esos “rebotes” con diferentes longitudes de onda, gracias a la estructura de los ojos. Si los rayos de luz atraviesan al objeto, éste es invisible. Las células sensoriales (fotorreceptores) de la retina que reaccionan en respuesta a la luz son de dos tipos: conos y bastones. Los bastones se activan en la oscuridad y sólo permiten distinguir el negro, el blanco y los distintos grises. Nos permiten percibir el contraste. Los conos, en cambio, funcionan de día y en ambientes iluminados y hacen posible la visión de los colores. Tanto los conos como los bastones se conectan con los centros cerebrales de la visión por medio del nervio óptico.

La forma más grave de daltonismo es la acromatopsia. La persona que padece esta rara afección no puede ver ningún color, así que todo lo ve en sombras de gris. La acromatopsia suele estar asociada con ojo perezoso, nistagmos (pequeños movimientos espasmódicos del ojo), fotosensibilidad grave y extremadamente mala visión. Su diagnóstico es llevado a cabo por un oftalmólogo y dos principales herramientas como lo son las cartas de Ishihara y/o el test de Farnsworth[2].

En la actualidad no se cuenta con tratamiento para el daltonismo, sólo con distintos dispositivos de apoyo [1]. Sin embargo, se podría estar cerca de conseguir una cura para el daltonismo, el profesor Jay Neitz y su equipo consiguieron su objetivo introduciendo genes terapéuticos en las células de la parte trasera del ojo de un mono adulto macho. Esos genes contenían el código de A.D.N. (Ácido Desoxirribonucleico) necesario para distinguir los colores. La terapia resultó ser todo un éxito, ya que tras la intervención los monos tratados pudieron señalar correctamente las formas rojas que aparecían en fondos verdes, así lograron restaurar la visión de todos los colores en monos adultos que nacieron sin la habilidad de distinguir entre el rojo y el verde. Los expertos aseguran que el mismo tratamiento podría funcionar en humanos[3].

## 6. Antecedentes

### 6.1. Daltonismo

El daltonismo está enmarcado en la discromatopsia, un término que hace referencia a un inconveniente basado en la incapacidad para diferenciar los colores, debido a la falta de funcionamiento de las células encargadas de su percepción. Es más frecuente de lo pensado, más habitual en los varones y en la mayoría de los casos se trata de un problema genético [1][4].

Quien descubrió este defecto fue el naturalista, químico y matemático de origen inglés John Dalton (1766-1844). Cuentan que cuando fue a conocer al rey Guillermo IV acudió con un traje académico escarlata (rojo), un color demasiado llamativo para un acto tan solemne. La razón es simple: él veía su ropa de color gris oscuro [1].

### 6.2. John Dalton

A la edad de 26 años (1792), Dalton descubrió que ni él ni su hermano eran capaces de distinguir los colores. Le regaló a su madre unas medias (que él creía azules) y ella le preguntó sorprendida cuál era la razón por la que le daba unas medias de color escarlata, que no era apropiado para una mujer cuáquera. En su primer artículo científico importante, John Dalton proporcionó una descripción científica sobre este fenómeno que posteriormente se conoció con el nombre de daltonismo [1].

Así describía su discapacidad en «*Memoirs of the Manchester Literary and Philosophical Society*»:

«Siempre fui de la opinión, aunque no soliera mencionarla, de que los nombres de algunos colores eran muy poco razonables. El término rosa, en referencia a la flor de dicho nombre, parecía bastante adecuado; pero cuando se utilizaba el término rojo en lugar de rosa lo consideraba muy inadecuado; para mí debería haber sido azul, pues rosa y azul me parecían muy estrechamente relacionados [el rosa en cuestión debía haber sido más próximo al malva, ya que Dalton habría sido insensible al componente rojo]; mientras que rosa y rojo apenas tienen cualquier relación.

»En el curso de mi dedicación a las ciencias, la de la óptica reclamaba necesariamente atención y me familiaricé muy bien con la teoría de la luz y los colores antes de que apreciara ninguna peculiaridad en mi visión. Sin embargo, yo no había prestado mucho interés a la discriminación práctica de los colores debido, en cierto modo, a lo que yo imaginaba que era una extrañeza de su nomenclatura. A partir del año 1.790, el estudio ocasional de la botánica me obligó a prestar más atención que antes a los colores. Con respecto a los colores llamados blanco, amarillo o verde, admitía sin problemas que se usaba el término apropiado. Azul, púrpura, rosa y carmesí parecían bastante menos distinguibles siendo, según mi opinión, todos ellos remitibles a azul. Muchas veces he preguntado seriamente a alguien si una flor era azul o rosa, pero, en general, aquellos a quienes preguntaba consideraban que estaba de broma. Pese a todo, nunca me di cuenta de que había una peculiaridad en mi visión hasta que accidentalmente observé el color de la flor del *Geranium zonale* a la luz de una vela en el otoño de 1.792.

»La flor era rosa, pero de día se me aparecía casi azul celeste. A la luz de la vela, sin embargo, cambiaba de forma sorprendente: ya no tenía ningún tono azul sino que era lo que yo llamo rojo, un color que forma un chocante contraste con el azul. [En realidad, habría parecido esencialmente gris o negro]. Sin dudar de que el cambio de color sería igual para todos, pedí a algunos de mis amigos que observasen el fenómeno; entonces quedé sorprendido al encontrar que todos ellos coincidían en que el color no era sustancialmente diferente del que tenía a la luz del día, excepto mi hermano, que la veía de la misma forma que yo. Esta observación demostraba claramente que mi visión no era como la de otras personas»[2].

Pero la historia de la ceguera de Dalton para el color tuvo que esperar siglo y medio más para llegar a su final. [3] El 27 de julio de 1844 falleció de un ataque al corazón. Según su deseo, tras su muerte se le practicó la autopsia para determinar la causa de lo que luego se llamó daltonismo [1].

Dalton tenía la teoría de que él veía el mundo a través de un filtro azul y que su humor vítreo (una sustancia gelatinosa que se encuentra dentro del globo ocular) sería realmente azul. Así, dio instrucciones



precisas para que tras su muerte, su ayudante, Joseph Ransome extirpara sus ojos y comprobara la conjetura. Ransome, de manera obediente, hizo lo que su mentor le encargó y abriendo el globo ocular, derramó su contenido sobre una lupa. La frustración llegó al observar que el humor vítreo de Dalton era perfectamente pelucido. Acto seguido, hizo un agujero en el otro ojo y miró a través de él para ver si rojo y verde parecían idénticos y grises. El resultado fue negativo y Ransome concluyó que el defecto debía estar en el nervio óptico que conecta la retina con el cerebro [2].

Así su último experimento demostró que el daltonismo no es un problema del ojo mismo, sino que estaba causado por alguna deficiencia del poder sensorial [1].

Mientras tanto, los globos oculares mutilados fueron depositados en un recipiente con conservante y dejados al cuidado de la Sociedad Literaria y Filosófica de Manchester, y allí reposaron sin que nadie los tocara hasta que en 1.995, un grupo de fisiólogos de Cambridge pidió permiso a la Sociedad para tomar una pequeña muestra de la retina con el fin de extraer y amplificar el ADN mediante PCR, y examinar los genes (ya por entonces perfectamente caracterizados) de los tres tipos de conos retinianos implicados en la visión de los colores [2].

Fue enterrado con honores de monarca, en un funeral seguido por más de cuatrocientas mil personas, contraviniendo los principios de los cuáqueros conforme a los cuales vivió [1].

### 6.3. Estudio del daltonismo

Años mas tarde Thomas Young (1801) quién propuso la «Teoría Tricromática» estableció en su teoría que existen tres tipos de receptor en la retina, los cuales son cada uno sensibles a un color: rojo, verde y azul. Cada uno recibía la información independientemente camino al cerebro. Él, conociendo que se podía obtener cualquier color mezclando azul, verde o rojo; dedujo que los tres colores se mezclan en algún lugar sistema nervioso para obtener el color del objeto que se mira [3].

Los conos contienen unos pigmentos con diferentes sensibilidades a la longitud de onda. Partiendo de esta premisa, la denominada teoría tricromática avanzada por Thomas Young a finales del siglo XVIII, resultó que Dalton era en realidad un deuterope, con un defecto en el pigmento óptico sensible a longitudes de onda intermedias, y no, como pensaba Young, un protánope, es decir, con un defecto en el pigmento sensible a longitudes de onda cortas [2].

Hering (1874), por otro lado propuso su « Teoría de los Colores Oponentes» , en el cual enfatizaba que los seres humanos percibían los colores de acuerdo a pares de colores complementarios y opuestos. Por ejemplo el negro al blanco, el amarillo al azul y por último el rojo al verde. En fin que los receptores en la retina trabajarían por medio de un « sistema neural de pares de colores antagónicos u oponentes» (Hering,1874)[3].

Durante el paso del tiempo han existido muchas personas que han sido acompañadas por esta incapacidad Tenemos el ejemplo del pintor Charles Meryon de origen francés.

Al comenzar sus estudios artísticos en la década de 1840, utilizaba los sepias pero más tarde se dedicó a la acuarela que le ofrecía mayores posibilidades de expresión. En el año 1841 escribió a su padre explicándole sus dificultades en la percepción de los colores.

Tras realizar sus estudios, Meryon fue consciente que su defecto visual le impediría dominar la pintura y se dedicó al grabado, técnica en la que dominan el blanco y el negro con toda la gama de grises. El mismo escribió: «Este defecto mío de la visión de los colores es tal, que prefiero los hermosos negros con los que puedo observar todos los grados de gris que los vivos colores de las pinturas».

A pesar de estar perfectamente documentada su alteración de la visión cromática, todavía hemos encontrado historias del arte y páginas de la red dedicadas a Meryon donde se afirma que el cambio de la pintura por el grabado fue por su timidez y falta de ambición [5].

Una de las raras pinturas que se conservan de Meryon es la titulada El barco fantasma en el Museo del Louvre, realizada mediante la técnica de pastel y donde el artista evitó los verdes y rojos que le causaban mayores dificultades, utilizando los amarillos y azules, colores preferidos por los artistas con defectos en la visión cromática y que dan a las obras un aspecto monocromático [5].

Otro caso fue el del pintor post impresionista Vincent Willem Van Gogh (1853), el científico japonés Kazunori Asada afirmó que el problema en la vista del pintor radicaba en la ausencia de los receptores del color rojo. El científico llegó a esta conclusión gracias a un simulador de inmersión, que permite percibir el color de la misma manera que lo experimentan personas con diferentes tipos de daltonismo u otros desórdenes en la percepción del color.

Van Gogh se hizo famoso por su particular uso de la luz y el color, con trazos gruesos sobre el lienzo dando pinceladas espesas o con el filo de una paleta. Además, empleaba colores sin mezclar, muy vivos, puros y fuertes, como por ejemplo el azul y el amarillo. Su obra influyó en la mayoría de los principales movimientos artísticos del siglo XX. Se dice que sólo la gente con deficiente percepción de los colores como él pueden comprender mejor sus cuadros, tal y como él mismo los imaginó [6].

Durante la segunda guerra mundial se decía que los mejores tiradores eran daltónicos y en efecto, este tipo de ceguera al color ayuda a destapar el engaño del camuflaje. Los científicos han constatado que los daltónicos no pueden percibir el color verde como los demás, pero a cambio detectan mejor los matices entre los distintos tonos. Por eso, para ellos, los patrones del camuflaje no crean una mancha indistinguible del follaje, sino todo lo contrario. Su daltonismo expone una zona de contrastes anormales que destaca sobre el fondo vegetal [7].

A día de hoy, también existen artistas con deficiencias para percibir el color, como es el caso de Jean von Roesgen. El pintor nació en Luxemburgo en el año 1963, y a día de hoy es un artista internacionalmente valorado pese a su daltonismo. Von Roesgen comenzó pintando obras monocromáticas pero ha conseguido intensos tonos con su limitada paleta de colores, y con técnicas para no confundirlos. No obstante se ciñe a los colores azules, amarillos, naranjas... e intenta evitar los tonos rojos y verdes [6].

También podemos encontrar en otras áreas de actual importancia diversos personajes que viven con daltonismo. Muy pocas personas saben que Facebook nació como un proyecto que Mark Zuckerberg puso en marcha durante su estancia en Harvard. En aquel entonces, la red social se llamaba «*The Facebook*» y solamente estaba pensada para alumnos del campus. Durante su creación, los desarrolladores de Facebook estuvieron pensando en un color que distinga a la red social. Luego de muchas deliberaciones, Mark Zuckerberg decidió que el color sería azul. ¿Por qué?

Mike Buzzard, uno de los creativos de Facebook, dio a conocer uno de los secretos mejor guardados de la red social. Según contó a The Cuban Council, el azul fue elegido porque Mark Zuckerberg es daltónico [8].

En el ámbito de la pantalla grande contamos con varios ejemplos:

- Keanu Reeves: La estrella del cine ha revelado ya en alguna entrevista sufrir daltonismo.
- Bing Crosby: Cantante y actor fallecido en 1977 confundía siempre el azul con el verde y viceversa.'
- Paul Newman: El actor y director ya fallecido descubrió que era daltónico mediante los exámenes para ingresar en la marina americana.
- Eddie Redmayne: Gran actor reconocido por su interpretación en «Los Miserables» o «La chica danesa». también entra en la lista de los daltónicos famosos.
- Meat Loaf: El cantante es también daltónico, por eso no pudo formar parte del ejército americano.
- Christopher Nolan: Director de cine con daltonismo, lo cual no le ha impedido ser brillante en su profesión.
- Rutger Hauer: Este actor estuvo en la marina, pero no siguió con ello por ser daltónico.

[9]

En el ámbito futbolístico podemos encontrar Thomas Delaney que se ha convertido en uno de los futbolistas más importantes y referentes de la Selección de Dinamarca. Acompañado de Christian Eriksen [10].

Bill Clinton

El expresidente estadounidense tiene dificultades en diferenciar rojo y verde.

Príncipe William El según el portal de salud especializado Health Research Funding, también él padece este trastorno [11].

## 7. Marco teórico .

### 7.1. Percepción del color

La acromatopsia parcial o Daltonismo es un padecimiento visual en personas que no pueden discriminar entre colores, o sólo aprecian algunas gamas de colores. Dado que aproximadamente 75 % de las mutaciones relacionadas con esta anomalía se localizan en los genes que codifican para los canales iónicos dependientes de nucleótidos cíclicos (canales CNG), se describen como una canalopatía [12].

Para poder entender esta alteración debemos comenzar por entender como es que percibimos la visión de los colores. Para visualizar los objetos, se necesitan dos elementos fundamentales: el ojo y la luz. En el siglo V a. C. el filósofo griego Empédocles trataba de explicar el proceso de la visión y afirmó que la diosa Afrodita formó el ojo humano con los cuatro elementos (tierra, aire, fuego y agua) y luego encendió una llama dentro del ojo que al brillar hacía posible la visión.

En la actualidad, se ha explicado que ésta se debe a la incidencia en la retina de un haz luminoso [13].

Según los fundamentos de la óptica, la luz es una oscilación electromagnética que se propaga en el vacío o en un medio transparente y puede ser percibida a través de nuestro sentido de la vista. No obstante, la luz visible es sólo una pequeña parte del amplio conjunto de ondas que pueden ser emitidas o absorbidas por los objetos, y que integran el espectro electromagnético. La parte visible del espectro se compone de tres principales gamas de colores (azul, verde y rojo) y la mezcla de éstos forma los colores que vemos en el arcoíris [12].

De todo el espectro electromagnético, el ojo humano sólo es capaz de percibir una ínfima fracción. Es lo que denominamos el espectro visible. Lo que el ojo percibe como diferentes colores son ondas de luz de diferente longitud. Así que lo que llamamos colores, técnicamente es luz de diferentes longitudes de onda. El ojo humano es sensible a longitudes de onda comprendidas entre unos 750 nm., el color rojo, hasta unos 380 nm., el color violeta. Hay animales que pueden ver utilizando parte de la luz ultravioleta, como las abejas y otros insectos, y también la luz infrarroja como las mantis marinas (posiblemente tienen la visión más completa que conocemos del mundo animal) [13].

Podemos considerar el espectro de la luz que recibimos del sol como una referencia de lo que denominaríamos luz natural. Pero este espectro varía a lo largo del día. Después de amanecer y antes de anochecer es una luz cálida con predominancia de tonos naranjas y rojos. Entre estos dos momentos, al mediodía solar, se alcanza el nivel de mayor intensidad de luz con predominancia de tonos azules. Es deseable que cualquier fuente de luz artificial que utilicemos emita, al menos, la totalidad del espectro de luz visible para el ojo humano simulando aquella que recibimos del sol en diferentes momentos del día [13] [Figura1].

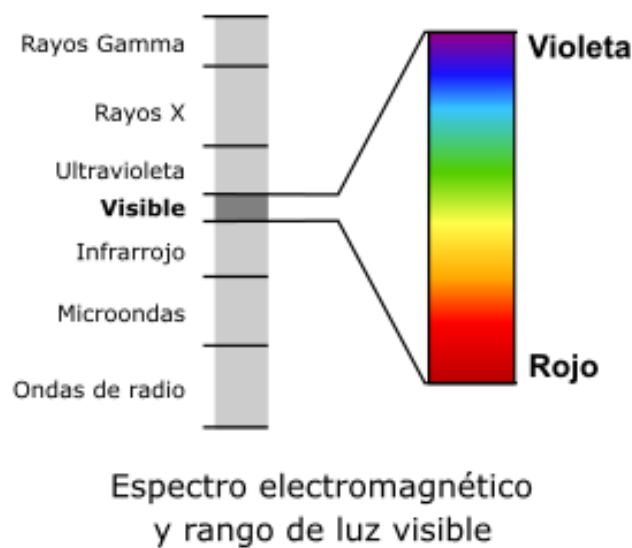


Figura 1: Gráfico de un espectro electromagnético de la luz.

Los ojos poseen dos elementos transparentes: la córnea y el cristalino, los cuales dejan pasar la luz hacia la capa interna del ojo llamada retina, que se encuentra en la parte posterior. La retina es una estructura muy compleja, formada por diversos tipos de células interconectadas, donde las únicas que procesan la luz son las células fotorreceptoras, llamadas conos y bastones. Éstas son responsables de detectar la intensidad de la luz y definir el color.

Entonces, la retina procesa la información recibida por las células fotorreceptoras y la envía en forma de señal eléctrica a través del nervio óptico a la parte trasera del cerebro (lóbulo occipital), donde en conjunto con otro tipo de células cerebrales convierte la información en un impulso nervioso, que percibimos como figuras. Básicamente, la retina procesa una señal luminosa, luego el cerebro decide qué es la imagen [12].

La percepción del color inicia al estimular las células en la retina llamadas conos, estos se concentran principalmente en la mácula de la retina, en donde más al centro se encuentra la fovea. La visión cromática depende, entre otros factores, de la complejidad del sistema visual que se haya desarrollado durante la evolución. El número de pigmentos visuales y la capacidad de los conos de percibir determinadas longitudes de ondas [12].

La visión se clasifica como monocromática (en mapaches y salamandras), dicromática (en la mayoría de los animales), tricromática (en los primates, incluido el humano) y tetracromática (en aves, reptiles y peces). La vista de algunos animales abarca longitudes de onda que sobrepasan ligeramente el espectro visible por los seres humanos, pero se encuentra dentro de los límites generales; por ejemplo, las abejas son sensibles a la luz ultravioleta, que no es percibida por el ojo humano. La visión en los humanos es tricromática debido a que poseemos tres tipos de conos, sensibles al espectro de luz visible correspondiente a los colores azul, verde y rojo. La incidencia en la retina de un haz luminoso de una cierta longitud de onda determina qué tipo de cono ha de estimularse [12].

Los conos se denominan según la longitud de onda que los activa: L, M y S (del inglés: long, medium y short) para la percepción de los colores azul, verde y rojo, respectivamente [12]. Cada tipo es sensible a diferentes longitudes de onda o colores. El cono corto tiene el pico de sensibilidad en unos 430 nm. en la zona entre el color violeta y el azul, el cono medio en unos 540 nm. en el color verde y el cono largo tiene el pico en unos 570 nm. casi en el color amarillo. La diferencia entre las señales recibidas de cada uno de los conos permite al cerebro percibir un rango continuo de colores, que es lo que hemos llamado el espectro visible [13].

Después, el cerebro combina la información de cada fotorreceptor y genera los colores intermedios al

estimular diferentes conos de manera simultánea [12].

Por otra parte, las células fotorreceptoras llamadas bastones pueden funcionar en condiciones de poca luz. Por lo general se localizan en la parte exterior de la retina y se utilizan para la visión periférica.

Hay un solo tipo de bastones, los cuales son más sensibles a la luz que los conos y son casi enteramente responsables de la visión nocturna. Los bastones no discriminan entre las diferentes longitudes de onda de la luz percibida [12]; tienen el pico de sensibilidad aproximadamente a 498 nm., en la zona entre el verde y el azul. Por lo tanto la visión con los bastones es monocromática [13].

Existen dos teorías que explican de mejor manera la percepción del color:

a) Teoría Tricromática (Thomas Young, 1802): Esta teoría hace referencia a que la percepción visual está dada por la capacidad de los tres tipos de conos existentes (tres mecanismos receptores) a ser estimulados por distintas longitudes de onda.

“Los tres tipos de pigmentos de los conos (Yodopsina, Cianopsina y Porfiropsina) se corresponderían con los tres mecanismos receptores” [14].

b) Teoría de los Procesos Oponentes (Ewald Hering, 1878):

“Propuso que la naturaleza de la visión del color se debía al emparejamiento de sensaciones de color, que operarían mediante procesos oponentes. Es decir, cada receptor produciría dos tipos de respuestas antagónicas entre sí. Cuando un miembro del par resulta estimulado más que su oponente, entonces se verá el matiz correspondiente al superior, pero si son estimulados por igual, se anulan por ser complementarios y aparece la sensación de gris, como ocurre en la mezcla sustractiva de colores” [14].

## 7.2. La fototransducción

El proceso de capturar una señal luminosa y convertirla en una respuesta fisiológica se conoce como fototransducción. La luz es detectada en el ojo por una proteína llamada rodopsina, que se encuentra en la membrana de las células llamadas bastones. La rodopsina está formada por dos partes: una proteína llamada opsina y un pigmento derivado de la vitamina A, conocido como 11-cis-retinal. Este pigmento permite la absorción de la luz al inducir un cambio en su estructura, que a su vez afecta la forma de la proteína rodopsina (cambiando a todo-trans-retinal) [12].

El cambio conformacional inducido es el primer paso para que se genere una amplia cascada de señales fisiológicas en las que intervienen diversas proteínas. De esta manera, la rodopsina modificada después interactúa con la proteína transducina, la cual pertenece a un grupo de proteínas llamadas proteínas G, que se activan al unirse con una molécula llamada guanósín trifosfato (GTP). En general, las proteínas G están formadas por tres partes, denominadas subunidades alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) y gamma ( $\gamma$ ) [12].

Cuando la transducina se une a GTP, se disocia en dos complejos, la subunidad  $\alpha$  unida a GTP ( $\alpha$ -GTP) y el complejo formado por las subunidades  $\beta$  y  $\gamma$ . Luego, la subunidad  $\alpha$ -GTP de la transducina interactúa con la fosfodiesterasa, una proteína que modifica a la molécula derivada del GTP, conocida como guanósín monofosfato cíclico (GMPc). Lo anterior induce la producción de la forma no cíclica de esta molécula (guanósín monofosfato, GMP), que estimula de manera indirecta la producción de GTP para favorecer la amplificación de las cascadas de señales fisiológicas [12].

De manera particular, en condiciones de oscuridad o poca luz, la proteína denominada guanilato ciclasa se activa y convierte el GMP en GMPc. Cuando el GMPc se une a ciertas proteínas localizadas en la membrana de las células fotorreceptoras, llamadas canales iónicos dependientes de nucleótidos cíclicos (canales CNG, por sus siglas en inglés), estos canales permiten el paso de iones con cargas positivas (como el calcio o el sodio) hacia el interior de las células, de manera que el flujo de iones también favorece la amplificación de señales al activar o estimular otras proteínas [12] (Figura 2).

En los fotorreceptores encontrados en la retina se transforma la luz en un impulso nervioso que luego pasa a las células ganglionares. Mismo que se irradia al Nervio Óptico el cual se decusa a nivel del Quiasma Óptico [14], posterior el Nervio Óptico hace sinapsis con las neuronas presentes en el núcleo geniculado lateral (NGL) estructurado histológicamente en capas, comunicadas entre sí. Las dos primeras,

constituidas por células magnocelulares, reciben aferencias procedentes de la retina: mientras la capa número uno recibe las de la retina contralateral, la capa número dos lo hace de la retina homolateral al hemisferio en que se ubica cada uno de los dos núcleos geniculados laterales encefálicos. Ambas capas son consideradas ventrales con respecto a las siguientes cuatro que les preceden[15].

Además de las capas uno y dos que reciben aferencias, cada núcleo geniculado lateral posee otras cuatro capas dorsales compuestas por células parvocelulares. Todas ellas están orientadas a la formación de eferencias destinadas al área cortical 17 de Brodmann, concretamente a la cisura calcarina, para el procesamiento de la información visual. Las capas pares (capas cuatro y seis) conectan con la capa uno antes mencionada, procesando información de carácter contralateral; por otro lado, las capas impares (tres y cinco) conectan con la dos, trabajando con información ipsilateral. Las eferencias de estos núcleos conforman lo que conocemos con el nombre de radiaciones ópticas o de Gratiolet[15] del cual emergen Radiaciones Ópticas que hacen sinapsis finalmente con las neuronas de la corteza visual, específicamente en el núcleo de Edinger-Westphal [14].

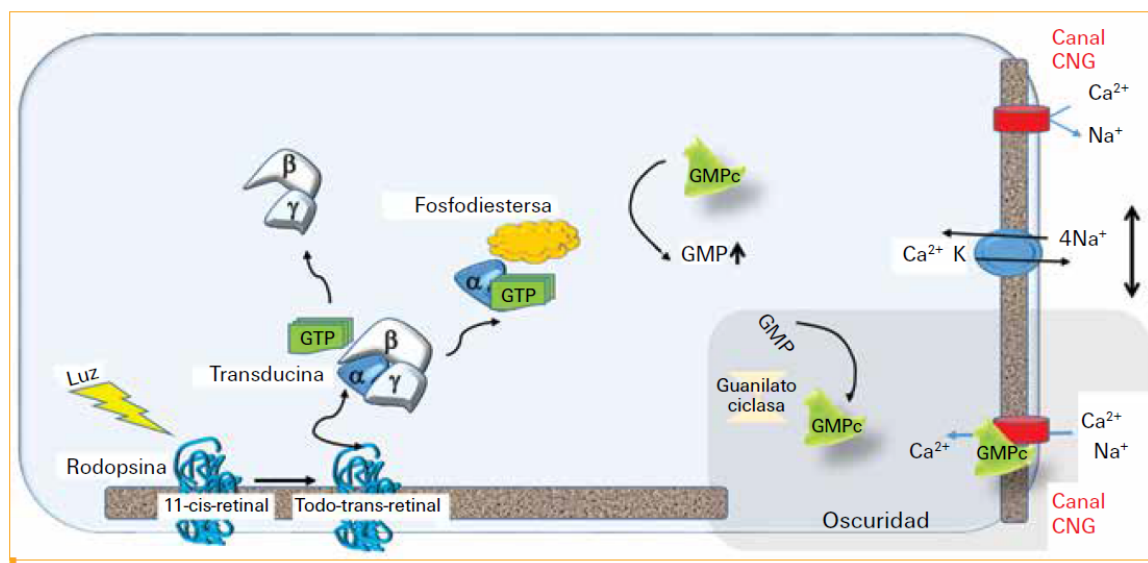


Figura 2: Cascada de la fototransducción.

### 7.3. Daltonismo

La experiencia de cruzar el semáforo, mirar el arcoíris o comprar una camisa, puede ser completamente distinta si eres daltónico. Pero es difícil para quienes no tenemos daltonismo hacernos a la idea de cómo se ve el mundo sin ciertos colores. El 8 % - 10 % de los hombres y 0.5 % - 1 % de las mujeres tienen daltonismo, normalmente de nacimiento [16][17]. Esto significa que prácticamente 1 niño de cada 10 sufrirá una alteración en la visión de los colores”, precisa el también director médico de la clínica Área Oftalmológica Avanzada de la ciudad conchal, quien sostiene que también se puede heredar de padres a hijos, en la proporción antes descrita[17].

La prevalencia de alteraciones adquiridas es similar en ambos géneros, pero en alteraciones congénitas el porcentaje es mayor en el género masculino, por la dominancia genética que está ligada al cromosoma X. La prevalencia varía en hombres de 2.5 a 8.7 % y en mujeres de 0.2 a 0.4 % (García y Camacho, 2012; Jiménez et al., 2013; Munaiz, 2012; Cruz-Pérez, 2015; García et al., 2010). Las discromatopsias congénitas parecen ser más frecuentes en América del Norte y en Europa occidental, predominando las discromatopsias en varones caucásicos con 5.6 %, siguiendo los asiáticos con 3.1 %, 2.6 % en varones hispanos y el grupo de menor prevalencia con 1.4 % pertenece a los afroamericanos (García et al., 2010; Montenegro y Barón, 2011); en cuanto a las mujeres, se obtuvo una prevalencia de 0.5 %. Otros autores refieren que la prevalencia más alta corresponde a los checos con 10.5 %, estando el resto de Europa



alrededor de 8 % y España con 9 % de la población masculina. Los chinos, japoneses y filipinos presentan una prevalencia de entre 4 y 5 %, los esquimales tienen la cifra más baja con tan sólo 1 % de su población (Lobera, Romero y Carmona, 1992; Valenzuela, 2008). Algunos estudios realizados en México refieren que la prevalencia es entre 2.7 y 6.01 % en varones y 0.5 % en mujeres, predominando en las congénitas el tipo deután y en las adquiridas las tritanomalías (Lagunas, 1984; OMS, 2017; Goldstein, 2011). Difiendo de estudios que indican también que la prevalencia en México es de 1.9 % en varones y 0.1 % en mujeres (Jiménez et al., 2013). Estas grandes diferencias pueden ser a causa del tamaño de la muestra utilizada. Las frecuencias normalmente altas de 5.43 y 7 % observadas se deben a un alto factor de mestizaje, por eso es necesario tener una muestra significativa, para reducir el margen de error. Es por eso que investigaciones realizadas en México refieren que mientras el grupo sea menos mestizado, más baja es la incidencia de este defecto (Aréchiga, 1976; Jiménez et al., 2013). Otro estudio sobre incidencia de discromatopsias congénitas en varones en poblaciones indígenas mexicanas muestra un recopilado de estudios de diversas poblaciones, el más antiguo es de 1933 y el último es de 1984. Los datos indican que el porcentaje de incidencia va de 0 a 7.0 %, sin embargo, no se especifican las pruebas utilizadas, el tipo de discromatopsia ni el control que se llevó a cabo para cada estudio (Lagunas, 1984). El estudio epidemiológico de discromatopsias congénitas más reciente en México fue realizado por el personal de enfermería en el noreste de México, encontrando una prevalencia de 1.9 %, clasificando los protanes y deutanos en débiles y fuertes (Jiménez et al., 2013) etiquetados. [18].

El daltonismo es un defecto genético que ocasiona dificultad para distinguir los colores. El grado de afectación es muy variado ya que va desde la dificultad para distinguir cualquier color hasta la dificultad para diferenciar algunos matices del rojo y del verde. En cambio, un daltónico puede apreciar más matices del violeta que un sujeto con visión normal[19]. Se trata de un proceso con base hereditaria, genética, y que va desde una discreta alteración en la capacidad de distinguir los colores, hasta una dificultad total en discriminar el rojo y el verde [17] siendo la incapacidad de distinguir entre azul y amarillo mucho menos común. Ser completamente daltónico (ver cosas en negro, blanco o tonos grises) es una forma grave del trastorno, llamada acromatopsia. Es extremadamente inusual y va acompañada de una visión generalmente mala[20]. Eso sí, el doctor Carlos Vergés, director médico del Instituto Oftalmológico Quirónsalud Dexeus, explica a Infosalus que no hay que confundir el daltonismo de origen genético con todas las alteraciones en la visión de los colores. "Hay ciertas enfermedades oculares, generalmente las que afectan a la retina y al nervio óptico, que pueden alterar la percepción de los colores. Es lo que se conoce como 'Discromatopsia adquirida' y lo vemos en la retinopatía diabética, las maculopatía, los casos de glaucoma, además de en ciertas enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer o la esclerosis múltiple" [17].

Nathans et al. determinaron que los genes humanos para las opsinas de los conos sensibles a la longitud de onda larga (L) y media (M) están localizados en el cromosoma X (Xq28) y que los genes para la opsina sensible a la longitud de onda corta (S) está ubicado en el cromosoma 7 (7q32). La denominación oficial para designar a los genes de las opsinas de los conos que absorben la longitud de onda L, M y S son OPN1LW, OPN1MW y OPN1SW, respectivamente (Neitz, 2000)[21].

Así, se reconoce que se trata de un fenómeno más frecuente en hombres que en mujeres porque esta alteración se presenta en el cromosoma 'X', concretamente en un alelo recesivo de este cromosoma, de forma que si lo hereda un hombre ('XY') padecerá daltonismo, mientras que en las mujeres, al ser 'XX', sólo padecerán esta alteración cuando el alelo alterado esté presente en los dos cromosomas[17].

## 7.4. Tipos de Daltonismo

Aunque existen muchos tipos de daltonismo, el 99 % de los casos corresponden a protanopia y deuteranopia o sus equivalentes (protanomalía y deuteranomalía).

- **Acromático:** El daltonismo acromático es aquel en el que el individuo ve en blanco y negro (escala de gris). El individuo no percibe ningún color ya sea porque no tiene ninguno de los tres tipos de conos o por razones neurológicas. Se presenta únicamente un caso por cada 100.000 personas.
- **Monocromático:** Se presenta cuando **únicamente existe uno de los tres pigmentos** de los conos y la visión de la luz y el color queda reducida a una dimensión.

- **Dicromático:** El dicromatismo es un defecto moderadamente grave en el cual falta o padece una **disfunción de uno de los tres mecanismos básicos del color**. Es hereditaria y puede ser de tres tipos diferentes: Protanopia, deuteranopia y tritanopia.
  - **Protanopia.** La protanopia consiste en la ausencia total de los fotorreceptores retinianos del rojo.
  - **Deuteranopia.** La ceguera al color verde o deuteranopia se debe a la ausencia de los fotorreceptores retinianos del color verde.
  - **Tritanopia.** La tritanopia es una condición muy poco frecuente en la que están ausentes los fotorreceptores de la retina para el color azul. FIGURA 3
- **Tricromático anómalo:** El afectado posee los tres tipos de conos, pero con defectos funcionales, por lo que confunde un color con otro. Es el grupo más abundante y común de daltónicos, tienen tres tipos de conos, pero perciben los tonos de los colores alterados. Suelen tener defectos similares a los daltónicos dicromáticos, pero menos notables. Las afecciones que se incluyen dentro de este grupo son la protanomalia (1 % de los varones, 0.01 % de las mujeres), deuteranomalia, la más usual (6 % de los varones, 0.4 % de las mujeres) y tritanomalia muy poco frecuente (0.01 % de los varones y 0.01 % de las mujeres)[22].

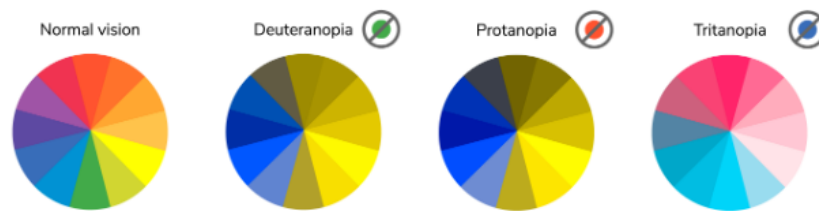


Figura 3: Diferencias entre tipos de daltonismo



Figura 4: Diferencias entre tipos de daltonismo



## 7.5. Diagnóstico

### DIAGNOSTICO

El diagnóstico precoz es especialmente importante ahora que hay mecanismos de mejora, como ejercicios de terapia visual, junto a la adaptación de gafas o de lentillas con filtros que nos ayudan a mejorar la visión a estos niños, e incluso adultos[17].

El daltonismo puede detectarse mediante diferentes test visuales específicos como por ejemplo las Cartas de Ishihara o la test Test de Farnsworth-Munsell[22].

**Cartas de Ishihara:** Es el procedimiento más empleado para el diagnóstico del daltonismo y consiste en una serie de 38 láminas en las que es preciso identificar un número que se encuentra insertado en la misma[22].

Las cartas de Ishihara reciben el nombre en honor a su diseñador, el doctor Shinobu Ishihara, profesor de la Universidad de Tokio, que publicó los primeros ensayos en 1917 y que sirvió como una forma para descifrar si se es daltónico y qué tipo de daltonismo se tiene[21]. El test se basa en una serie de discos que contienen círculos de puntos de colores de distintos tamaños. En el patrón de puntos se forma un número que resulta visible tan sólo para aquellos con visión normal, mientras que son invisibles o difíciles de descifrar para las personas con defectos de visión. Se trata de una prueba muy simple que hoy día se sigue utilizando[21].

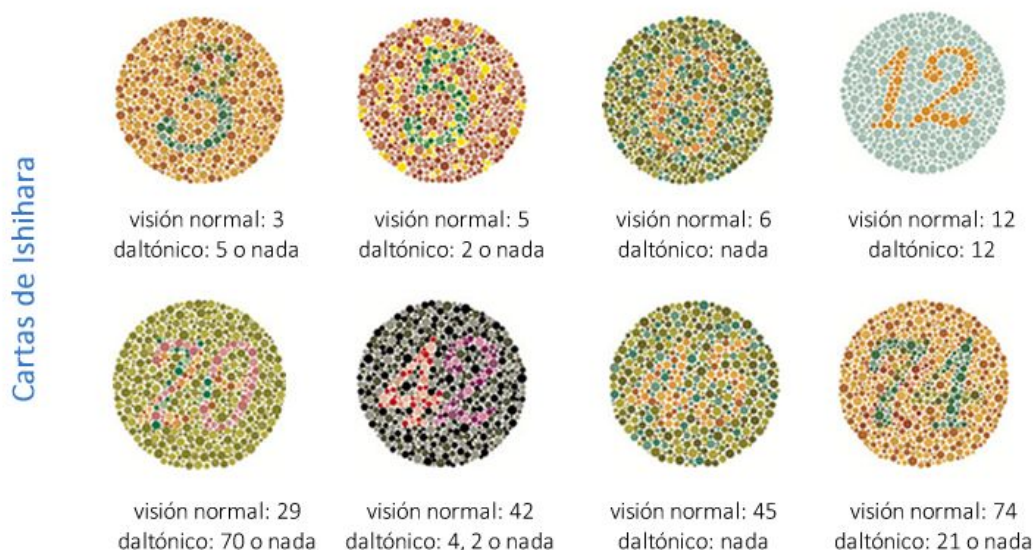


Figura 5: Diferencias entre tipos de daltonismo

### 7.5.1. Protanopia y Deuteranopia

Normalmente, los tonos incluidos en el círculo de las cartas son en tonos azules y verdes, mientras que el número se diferencia en tonos marrones. Esta tipología es utilizada para detectar Protanopia (falta de sensibilidad al color rojo), mientras que la Deuteranopia (ceguera al color verde) se detecta a partir de los círculos en tonos amarillo, naranja y rojo con las figuras de color verde[21].

**Test de Farnsworth D15 y D100:** Esta constituido por un conjunto de fichas coloreadas que se diferencian por su tonalidad y están numeradas en el reverso. El paciente debe ordenarlas según la graduación del color. Dentro de las pruebas para el estudio de la visión cromática, el Farnsworth pertenece al grupo de los “Test de colores pigmentarios” (frente a los test de colores espectrales), ya que están constituidos por fichas coloreadas con pigmentos especiales a fin de que presenten una saturación y lumi-

nosidad constantes y que difieran solamente por su tonalidad. Recordemos que saturación, luminosidad y tonalidad son las tres características que definen un color[22].

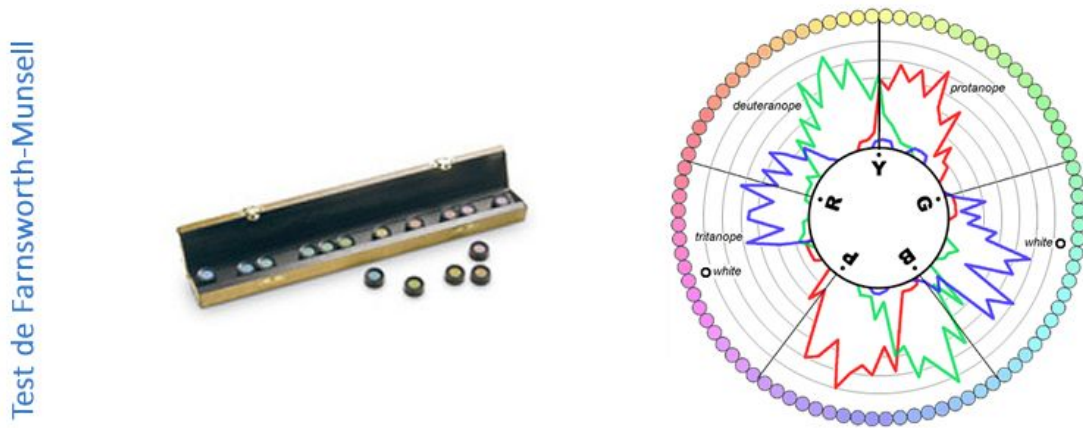


Figura 6: Diferencias entre tipos de daltonismo

## 7.6. Tratamiento

El daltonismo, ¿es sólo cuestión de hombres?

El daltonismo no tiene una curación. Se mantendrá toda la vida pero, generalmente, las personas que lo sufren se acostumbran a este defecto y desarrollan mecanismos de compensación para reconocer los colores. Actualmente, hay gafas y lentillas con filtros adaptados que permiten mejorar la identificación de los colores y ayudan a estas personas en su vida diaria”, apostilla el especialista en Oftalmología[17].

Aun y que no haya una “cura” o tratamiento al daltonismo en humanos, existe un avance importante realizado por Mancuso et al. donde lograron corregir este trastorno visual, en un inicio con dos individuos de una especie de mono “*Saimiri sciureus*”, por medio de la terapia génica mediada por virus insertando el gen de L-opsina humana (Bennet, 2009). Unos años después, Neitz (2014) señaló que es posible por medio de la misma técnica pasar la visión dicromática a tricromática de algunos primates, adquiriendo la visión del color rojo-verde; de la misma forma, en ratones transgénicos, se logró la visión tricromática añadiendo un tercer tipo de cono [17].

IMPACTO SOCIAL Comunicación visual Asinsten (2010) dice que en todo tipo de comunicación siempre hay tres elementos principales: emisor que es quien produce el mensaje, el receptor quien recibe y comprende o no el mensaje, y el mensaje que contiene la información que se intercambia. De acuerdo a De la Torre y Rizo (2000), el ser humano, como receptor de mensajes, obtiene información a través de sus cinco sentidos, pero cada uno de ellos realiza una función de distinto tipo [23]

Cada sentido actuando por separado, tiene un solo porcentaje de efectividad, el gusto, el olfato, el tacto y el oído consiguen en conjunto un 20 % de información, mientras que por medio de la vista se capta el 80 % restante. Es por esto que cualquier sistema de comunicación visual tiene tanta importancia. En el caso de la comunicación visual, el emisor será el gráfico o la imagen utilizada, el mensaje el significado portado por la imagen, y el receptor será el que obtenga indirectamente un mensaje por medio de la imagen [23]

Según De la Torre y Rizo, la información visual es todo lo que puede captar nuestra vista. Todo lo que nuestros ojos ven son emisiones potenciales de mensajes. Munari (1996) acierta que la comunicación

visual es todo lo que nuestros ojos ven. Son imágenes que tienen un valor distinto según el contexto en el que se presenten, brindando información diferente. En algunos casos, la comunicación visual es un medio necesario para pasar informaciones de un emisor a un receptor, pero se necesita de muy buena condición para que su funcionamiento y que así no haya falsas interpretaciones. Para lograr esto, es esencial que las dos partes que participen en la comunicación tengan un conocimiento similar del fenómeno [23]

De acuerdo a ColorAdd (2010), los primeros síntomas del daltonismo se comienzan a detectar en el colegio, cuando surgen dificultades o confusión reconociendo los colores, y es aquí donde se empieza a sentir incompetencia, debido a la exclusión de los demás compañeros [23] La deficiencia en la percepción visual y la importancia del color como forma de comunicación puede dificultar el desarrollo del aprendizaje; en México, los estudios sobre discromatopsias son escasos, y es un padecimiento que se cree poco común entre la población, lo que genera des-orientación tanto en las personas con alguna discromatopsia, como en los familiares y profesores sobre el qué hacer (Lobera, Romero y Carmona, 1992; García y Camacho, 2012; Orellana y Sánchez, 2015; Chaves y Carvalho, 2008; Bailey, 2010; Kaleydoscopio, 2014; El Universal, 2008; Aréchiga, 1976; Lagunas, 1984) [18]

Durante su adultez las personas se enfrentan a un reto mayor, se les prohíbe cursar varias profesiones, como por ejemplo la aviación, la industria gráfica, la industria química, la geología, arqueología, policías, ingenieros, mecánicos ni pilotos de aviación, ya que es necesario tener una buena percepción del color al encargarse del transporte terrestre, aéreo y marítimo. Tampoco pueden acceder a puestos determinados de la industria textil, la fotografía y la pintura, entre otras [23][1].

Así con el tiempo, van aumentando las limitaciones mientras la vida se vuelve más completa, se disminuye el ámbito profesional, la realización personal y se pierde el sentido en la integración en la sociedad [23].

Si bien los expertos reducen el daltonismo a un mal menor, quienes lo padecen difieren: Los problemas derivados del daltonismo son bastantes, aunque puedan parecer superficiales. Hablamos de no poder optar a puestos de trabajo y de tener dificultad para ver a diario [1] De acuerdo a Matlin y Foley (1996), el color tiene un impacto considerable en la vida diaria. Se considera cómo afecta el color en diferentes productos, como por ejemplo las cajas de detergente deben mostrar colores primarios cálidos, para lograr inspirar imágenes de limpieza y fuera. Con esto, se probó la reacción de consumidores a los detergentes, quienes detectaron que las cajas de color amarillo o naranja eran demasiado fuertes y las de caja azul eran muy débiles, por lo que el producto ideal era utilizar colores claros, blancos y celestes [23]

#### Discriminación: Una sociedad inadaptada

Actualmente los daltónicos sufren gran cantidad de limitaciones. Pero, tal como insiste el Dr. Scott Anderson de Oftalmedic, Clínica Salvà, no se derivan de condiciones físicas, sino que están establecidas por la sociedad: “Las sociedades se crean a la medida de las mayorías, por eso tenemos códigos de colores para señales de tráfico, semáforos, químicos. . . Sin embargo una característica de las sociedades modernas es la inclusión creciente de quienes tienen capacidades y necesidades especiales”. Es una discriminación indirecta, explica. De hecho, la Asociación de Daltónicos no Anónimos (ASDNA) configura una lista de aquellas profesiones a las que los daltónicos no tienen acceso, entre las que se encuentran la de piloto de aviación, controlador aéreo, conductor de transporte público colectivo, ciertos grados de policía, bombero. . . Hay otros ámbitos en los cuales los daltónicos pueden verse desfavorecidos, como en la conducción o la educación. Un fracaso escolar temprano puede deberse al desconocimiento del daltonismo de nuestros hijos, que tienen que estudiar con libros que no están adaptados y sin saber si le ponen una pegatina verde o roja en sus deberes [24].

El diagnóstico precoz es especialmente importante ahora que hay mecanismos de mejora, como ejercicios de terapia visual, junto a la adaptación de gafas o de lentillas con filtros que nos ayudan a mejorar la visión a estos niños, e incluso adultos y con ello lograr una inclusión social [17].

En definitiva, tal y como asegura el Dr. Scott Anderson, “las sociedades deberían enfocarse a ofrecer igualdad de posibilidades, pero a cada cual según su capacidad o condición”. Al fin y al cabo el mundo es el mismo para todos, aunque algunos lo vean de otro color [24]

## 7.7. Árbol de decisión

Veamos a continuación a introducir las ideas fundamentales del denominado algoritmo *Top Down Induction of Decision Trees* (TDIDT) el cual puede ser contemplado como uniformizador de la mayoría de los algoritmos de inducción de arboles de clasificación a partir de un conjunto de datos conteniendo patrones etiquetados. [15]

---

```
Input:   D conjunto de  $N$  patrones etiquetados, cada uno de los cuales está caracterizado por  $n$ 
           variables predictoras  $X_1, \dots, X_n$  y la variable clase  $C$ 
Output:  Árbol de clasificación
Begin    TDIDT
    if todos los patrones de  $D$  pertenecen a la misma clase  $c$ 
    then
        resultado de la inducción es un nodo simple (nodo hoja) etiquetado como  $c$ 
    else
        begin
            1. Seleccionar la variable más informativa  $X_r$  con valores  $x_r^1, \dots, x_r^{n_r}$ 
            2. Particionar  $D$  de acorde con los  $n_r$  valores de  $X_r$  en  $D_1, \dots, D_{n_r}$ 
            3. Construir  $n_r$  subárboles  $T_1, \dots, T_{n_r}$  para  $D_1, \dots, D_{n_r}$ 
            4. Unir  $X_r$  y los  $n_r$  subárboles  $T_1, \dots, T_{n_r}$  con los valores  $x_r^1, \dots, x_r^{n_r}$ 
        end
    endif
End      TDIDT
```

---

Figura 7: pseudocódigo de el algoritmo más básico del árbol de decisión.

Explicación:

Árbol inicial:

Árbol con un único nodo, sin etiquetar, al que asignamos como conjunto de ejemplos todo el conjunto de entrenamiento.

- Bucle principal:
  - Consideramos el primer nodo,  $N$ , sin etiquetar
  - \* Si los ejemplos asignados  $N$  tienen todos la misma clasificación, etiquetamos  $N$  con esa clasificación.
  - \* En otro caso ...
    - Etiquetamos  $N$  con el mejor atributo  $A$  según el conjunto de ejemplos asignado.
    - Para cada valor de  $A$  creamos una nueva arista descendente en el nodo  $N$ , y al final de cada una de esas nuevas aristas creamos un nuevo nodo sin etiquetar,  $N_1, \dots, N_k$ .
    - Separamos los ejemplos asignados al nodo  $N$  según el valor que tomen para el atributo  $A$  y creamos nuevos conjuntos de ejemplos para  $N_1, \dots, N_k$ .
- Hasta que todos los nodos estén etiquetados [15].

subyacente al algoritmo TDIDT es que mientras que todos los patrones que se correspondan con una determinada rama del árbol de clasificación no pertenezcan a una misma clase, se seleccione la variable que de entre las no seleccionadas en esa rama sea la más informativa o la más idónea con respecto de un criterio previamente establecido. La elección de esta variable sirve para expandir el árbol en tantas ramas como posibles valores toma dicha variable.

[15].

## 7.8. Modelo RGB

Módulo euclidiano creado originalmente para los televisores NTSC (National Television System(s) Committee), el cual buscaba ser compatible con las televisiones de Blanco y Negro de la época [25].

Los colores aparecen con sus componentes primarias de rojo, verde y azul. Los valores de R, G, y B se encuentran a lo largo de tres ejes. En otras palabras, en el eje del rojo, en el eje del verde y en el eje del azul se encuentran las intensidades de cada color. El cian está situado en el vértice del cubo en donde el color verde y el azul tienen su máximo valor, y el valor del rojo es cero [25].

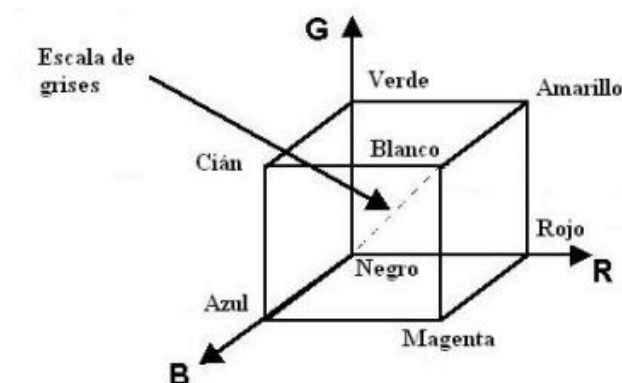


Figura 8: Cubo unitario de colores en RGB.

[4]

## 8. Estado del Arte

Existen aplicaciones desarrolladas por grandes emporios que buscan brindarle a una persona que padece daltonismo, algún tipo de apoyo, por lo que encontrar herramientas que se apoyen de los sistemas computacionales es muy complicado. Por lo que es considerable apoyarse de las tecnologías para ayudar a brindar una mejor calidad de vida a las personas daltónicas, a continuación se mostrará el estado de arte de aquellas aplicaciones y/o contribuciones que se hacen fundamentales para el diseño de la herramienta.

### 8.1. ColorADD

El denominado «código braile para los daltónicos», es un código único, inclusivo, universal basado en tres símbolos monocromáticos que representan a los colores primarios, que permite la interpretación del color. A través del conocimiento de la «Teoría de la Adición del Color» que se enseña en los años escolares tempranos, los símbolos pueden estar relacionados y toda la paleta de colores se identifica gráficamente[26].



Figura 9: Código de colores ColorADD.

Como dice Miguel Neiva creador de ColorADD tras ocho años de investigación, “Los símbolos que incluyen los colores, se convierten en un juego mental, fácil de memorizar y aplicar en situaciones cotidianas. ColorADD es un herramienta democrática e inclusiva que acerca el color y el diseño a todos” [26].

Un dato curioso es el país de Portugal, el cual a día de hoy señala todas sus líneas de metro de Oporto con este código de colores, además de que siete hospitales portugueses lo usan tanto en la señalización interna, como en las pulseras de los pacientes, o en las etiquetas de las jeringuillas de análisis y contar con mapas turísticos con esta señalización del código [26].



Figura 10: Juego con código colorADD.

De igual manera las empresas Viarco y Mattel generaron apoyándose del código ColorADD, su primer paquetes de colores aptos para ciegos de color y un juego UNO (juego muy conocido de Mattel en el que a través de números y colores van bajando cartas hasta que a algún jugador sólo le quede una) con este código de colores.





Figura 11: Colores Viarco con código ColorADD.

## 8.2. Microsoft® Color Binacoulars

En el año 2016 la marca americana Microsoft®, a través de su programa Microsoft® Garage que alienta a los empleados a trabajar en proyectos que les apasionan, incluso si no tienen ninguna relación con su función principal dentro de la empresa, desarrolló un proyecto llamado Microsoft Color binacoulars, el cual en palabras de sus mismos creadores:

Color Binoculars ayuda a las personas daltónicas a distinguir entre los colores en su vida cotidiana. Usando su cámara, los binoculares de color reemplazan combinaciones de colores difíciles, como el rojo y el verde, con combinaciones más fáciles de distinguir, como el rosa y el verde [27].

La aplicación también es compatible con los tres tipos principales de daltonismo. Ya sea que elija flores para un ser querido, experimente la belleza de la naturaleza o elija ropa a juego para su atuendo, deje que Color Binoculars lo ayude a ver mejor su mundo [27].

El funcionamiento de la aplicación es algo sencillo, se trata de una aplicación móvil, la cual proporciona un cambio de colores a través de un filtrado de la cámara del teléfono inteligente, dándole un acercamiento de entre los tres tipos de ceguera de colores disponibles, Verde/Rojo, Rojo/Verde, Azul/Amarillo [27].



Figura 12: Captura de pantalla de la aplicación en funcionamiento.

### 8.3. Samsung® SeeColors

A finales del año 2017 la marca de electrónicos coreana Samsung®, dio a conocer una aplicación en su propio portal web de noticias, el cual ellos mismos lo describieron como "Se trata de una herramienta que ayuda las personas con con deficiencia de visión de color (CVD, por sus siglas en inglés) a identificar sus deficiencias visuales personales. QLED TV, con un volumen de color del 100 %, ajusta la configuración de color en la pantalla, con base en los resultados individuales, y permite que los espectadores con CVD disfruten de una experiencia de visualización con colores optimizados" [28].

Esta herramienta funciona desde una aplicación móvil, la cual detecta de manera personalizada a la deficiencia de colores que la persona padece, para después brindarle una recalibración de los colores en la proyección de las pantallas QLED TV de la marca Samsung® [28].

Para ofrecer un método fácil que determine de qué manera mira cada persona los colores, Samsung Electronics colaboró con la Profesora Klára Wenzel, directora del Departamento de Mecatrónica, Óptica e Ingeniería Mecánica e Informática de la Universidad de Tecnología y Economía de Budapest, para incorporar Colorlite Test (Prueba de Visión Cromática) o C-Test (Prueba C), a los televisores y los dispositivos móviles. [28].

A continuación se mostrará un diagrama que la misma marca proporciona en su portal de noticias.





Figura 13: Diagrama a alto nivel de el proceso de funcionamiento de la aplicación Samsung® SeeColors

#### 8.4. Visolve

Bajo la misma información encontrada en la página web de la herramienta, ella se define como la herramienta de software que transforma los colores de la pantalla de la computadora en colores discriminables para varias personas, incluidas las personas con deficiencia de la visión del color, comúnmente llamada daltonismo. Además de la conversión de color, también tiene capacidades de filtrado y eclosión de color [29].

Visolve es una herramienta instalable en varios dispositivos, tanto móviles, como computadoras, ya que se encuentra un instalador en Windows y Mac, como en Android y IOS [29].

Además de distinguir colores y encontrar un color específico, su objetivo es ayudar a las personas con daltonismo: adivinar un color normal, y sentir las gradaciones de color en paisajes naturales, etc. por su información visual. [29].

Visolve puede ejecutar los siguientes tres tipos de transformación de color, filtrado y sombreado:

- Transformación rojo-verde: transforma los colores más rojos en más brillantes y los colores más verdes en más oscuros,
- Transformación azul-amarilla: transforma los colores más azules en más brillantes y los colores más amarillos en más oscuros,
- Aumento de saturación: aumenta la saturación de todos los colores.
- Filtrado: oscurece todos los colores que no sean el color especificado, y
- Trama: dibuja diferentes patrones de trama según el color [29].

Cuando las personas con daltonismo aplican, por ejemplo, la transformación Rojo-Verde, si tienen en cuenta la regla de transformación anterior y ven cambios de color, podrían adivinar un color normal. Además, la transformación Rojo-Verde refleja el grado de saturación de color en su brillo regularmente. Entonces podrían saber no solo la diferencia entre rojo y verde, sino también la diferencia entre dos rojos, es decir, los grados de rojo[29].

Esperamos que el diseño universal de visión en color se incorpore en cada dispositivo digital con pantalla. Además, podemos ayudar a que su sitio web sea más accesible. [29].

## **9. Proupuesta**

### **9.1. Planteamiento del problema**

El daltonismo es un problema, social, personal, familiar y médico poco atendido debido a que se trata de una alteración y no de una enfermedad, el cual como se definió en el marco teórico, se trata de una alteración la cual afecta la visión de colores, provocando problemas a todo aquel que la padece.

Una manera viable de apoyar a la gente que lo padece, es diagnosticarlo a través de las cartas de Ishihara, método sencillo y claro de conocer si una persona es daltónica y de serlo que tipo de padece.

El segundo paso y el más ocupado por los sistemas de hoy en día es alterar a través de dispositivos electrónicos la visión de correcta de los colores, realizando una alteración a los colores RGB, ya que a pesar de existir algunos artículos como los son los lentes que alteran el color a través de medios físicos, estos suelen tener precios elevados, por lo que suelen dejar de ser accesibles a la mayoría de la población.

### **9.2. Justificación.**

Desde que John Dalton lo descubriese en sí mismo el 1792 [4] a la fecha, se han realizado pocos estudios sobre el tema, al igual que lo poco que se ha diseñado en sistemas sobre el mismo. La mayor parte de la gente ignora padecer daltonismo. Si bien no es una enfermedad tiende a ser un problema de carácter médico, social y profesional. Una alternativa viable y poco ocupada es los sistemas, estos no pueden curar la alteración, pero sí pueden auxiliar de manera viable al uso de más herramientas para los oftalmólogos, los cuales pueden diagnosticar a través de del algoritmo de clasificación supervisada, de inteligencia artificial. Así que nuestro enfoque principal será el uso médico. Apoyando a mostrar el espectro real de colores a aquellos que acudan a consulta, logrando aminorar la marginación social provocada por la alteración, la cual ocurre cuando es expuesta la persona por sus grupos cercanos y/o familiares causando burlas, rezago y/o discriminación, acompañada de la limitante para desempeñar ciertos empleos.

### **9.3. Metodología**

La metodología elegida bajo el que se creará este diseño es SCRUM, metodología con base en el paradigma ágil, que reduce la complejidad en el desarrollo de productos para satisfacer las necesidades de los clientes. La gerencia y los equipos de Scrum trabajan juntos alrededor de requisitos y tecnologías para entregar productos funcionando de manera incremental usando el empirismo.

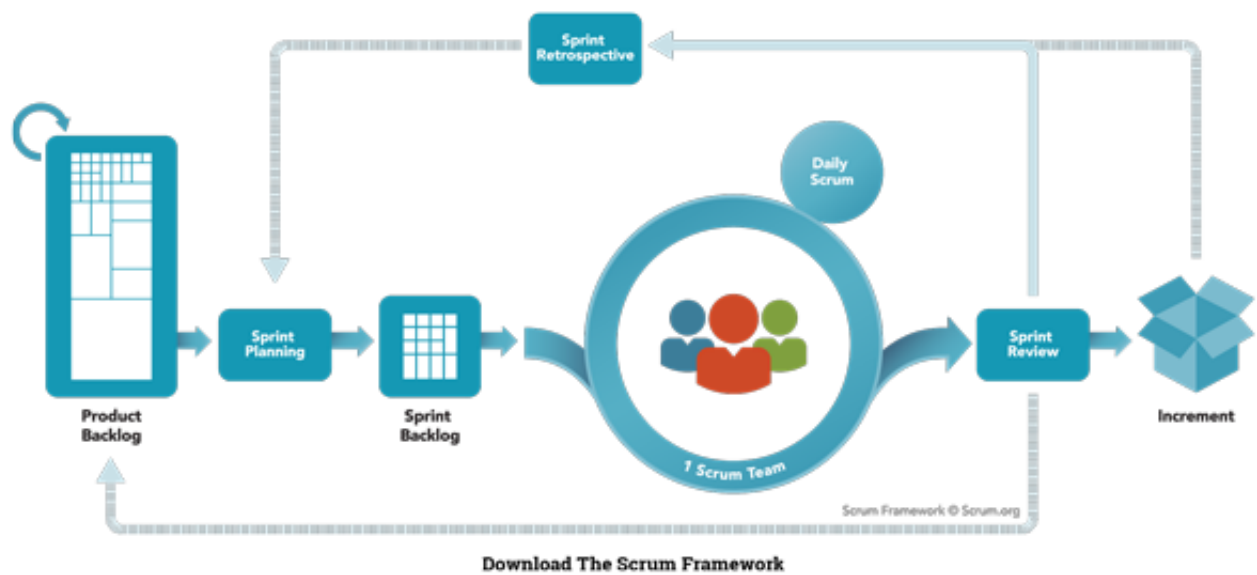


Figura 14: Ciclo de vida de un proyecto en SCRUM

Scrum es un marco de trabajo simple que promueve la colaboración en los equipos para lograr desarrollar productos complejos. Ken Schwaber y Jeff Sutherland han escrito La Guía Scrum para explicar Scrum de manera clara y simple [30].

Scrum no cuenta con requerimientos funcionales y no funcionales, a su vez este cuenta con un mecanismo llamado épicas e historias de usuario, las historias de usuario se crean de redacciones hechas por uno o más integrantes del *scrum core*, mientras que las épicas con los resultados obtenidas de esta [30].

Scrum tiene como principal actividad los *Sprints*, a estos se les define un tiempo llamado "*TimeBox*" el cual, se puede ir monitoreando a través de dos artefactos, la *burndown chart* y realizando actualizaciones al *backlog*, además de llevar un seguimiento en reuniones llamadas *daily standup*, las cuales son reuniones de una duración menor a 15 minutos, en la que se designan las tareas y se les pregunta del avance de las tareas al *scrum core*, en caso de haber un retraso, el *scrum master*, el cual se designa del ser el más preparado de los integrantes del *scrum core*, con el fin de acabar en el tiempo propuesto al inicio del *sprint* [30].

Al finalizar cada uno de los *sprints*, debe de encontrarse un entregable, el cual se conforma del mínimo entregable definido por el alcance del *sprint*, después de realizar el entregable, se realiza un *Sprint Review*, el cual sirve para dar una retrospectiva obtenida por el *sprint*, analizando cuales fueron errores y aciertos en la planeación del *sprint* [30].

### 9.3.1. BurnDown Chart

BurnDown Chart, o Gráfico de trabajo pendiente, es una gráfica en la cual se muestra la velocidad en la que se está terminando los objetivos y/o tareas planeadas en el *sprint*. Sirve como una buena métrica para medir si está ocurriendo un atraso en el proyecto [31].

### 9.3.2. Backlog

El cliente es el responsable de crear y gestionar la lista (con la ayuda del Facilitador y del equipo, quien proporciona el coste estimado de completar cada requisito). Dado que reflejar las expectativas del cliente, esta lista permite involucrarle en la dirección de los resultados del producto o proyecto [32].

- Contiene los objetivos/requisitos de alto nivel del producto o proyecto, que se suelen expresar en forma de historias de usuario. Para cada objetivo/requisito se indica el valor que aporta al cliente y el coste estimado de completarlo. La lista está priorizada balanceando el valor que cada requisito aporta al negocio frente al coste estimado que tiene su desarrollo, es decir, basándose en el Retorno de la Inversión (ROI).
- En la lista se indican las posibles iteraciones y las entregas (releases) esperadas por el cliente (los puntos en los cuales desea que se le entreguen los objetivos/requisitos completados hasta ese momento), en función de la velocidad de desarrollo del (los) equipo(s) que trabajará(n) en el proyecto. Es conveniente que el contenido de cada iteración tenga una coherencia, de manera que se reduzca el esfuerzo de completar todos sus objetivos.
- La lista también tiene que considerar los riesgos del proyecto e incluir los requisitos o tareas necesarios para mitigarlos[32].

### 9.3.3. Sprint

Son ciclos de ejecución muy cortos, los cuales son creados, gestionados y ejecutados por el mismo scrum core, cada uno de ellos se compone de varias fases, y al finalizarlos resulta un entregable. [30].

### 9.3.4. Daily StandUp

Es una reunión por parte del *Scrum Team*, de duración máxima de 15 minutos, en la que se detallan los avances designados a el *scrum team* así como los problemas que podrían estar presentes [30].

Es importante que estas reuniones no rebasen los 15 minutos, ya que podrían afectar el seguimiento del *Sprint* [33].

Cabe recalcar que dentro de SCRUM existen diferentes roles, tales como:

- **Product Owner:** Es el enlace entre el *scrum team* y los *stake holders*.
- **Stake Holder:** Son los interesados en el proyecto, no pertenecientes al *Scrum Team*, ya sean clientes, patrocinadores, directores, etc.
- **Scrum Master:** Es la persona con más experiencia dentro del *SCRUM Team*, por ende es el encargado de resolver los problemas más difíciles que ocurran dentro del *Sprint*, así como apoyar y dar seguimiento al proyecto.
- **Scrum Team:** Son todos los integrantes directamente involucrados con el proyecto [33].

Una manera fácil, viable y sencilla de obtener requerimientos es proporcionada por Scrum, ya que se encuentran disponibles un par de ellas que van de la mano y ayudan al análisis del *As is*. Este par de recursos son:

- **Historias de usuario:** Son historias redactadas por el *scrum team*, respondiendo a las preguntas, ¿Quién?, ¿Cómo? y ¿Para qué?
- **Épicas:** Es el concentrado final de las historias de usuario, el cual solamente pronuncia los objetivos (Requerimientos funcionales y no funcionales) a seguir del proyecto [33].

## 9.4. Tecnologías a ocupar

### 9.4.1. JAVA

Java es un lenguaje de programación y una plataforma informática comercializada por primera vez en 1995 por Sun Microsystems. Hay muchas aplicaciones y sitios web que no funcionarán a menos que tenga Java instalado y cada día se crean más. Java es rápido, seguro y fiable. Desde portátiles hasta centros de datos, desde consolas para juegos hasta súper computadoras, desde teléfonos móviles hasta Internet, Java está en todas partes[34].

Pasando de la definición, considero que ocupar JAVA, es una tecnología muy amigable para lo que se sustenta hacer, a parte de brindarnos un ambiente amigable para el desarrollo de entornos gráficos, nos contribuye siendo un lenguaje orientado a objetos, el cual nos facilita la metodología a ocupar, además de que como su definición lo menciona, es un lenguaje altamente ocupado el día de hoy.

### 9.4.2. Android

Android es el nombre de un sistema operativo que se emplea en dispositivos móviles, por lo general con pantalla táctil. De este modo, es posible encontrar tabletas (tablets), teléfonos móviles (celulares) y relojes equipados con Android, aunque el software también se usa en automóviles, televisores y otras máquinas[35].

Siendo ocupado por el 86.8 % de la población mundial [36], es el sistema operativo para móviles más ocupado en el mercado, contando con Android Studio, una IDE oficial y amigable para la programación de aplicaciones para su sistema.

## 9.5. Transformación de imágenes RGB

### 9.5.1. Filtros de colores RGB

Para hablar sobre el procesamiento de imágenes RGB debemos mencionar primeramente que es RGB.

Es un modelo de color en el cual es posible representar un color mediante la mezcla por adición de tres colores primarios: rojo, verde y azul[37].

Funciona bien sobre «fondo negro», por ejemplo una pantalla de computador[37].

El número de colores posibles para un píxel, depende del número de bits presentes por píxel, dando por resultado la fórmula siguiente.

$$N = (2^n)^3 \quad (1)$$

Ecuación 1: Ecuación para obtener el número de combinaciones posibles.

En el caso de la mayoría de las imágenes, son compuestas por 8 bits, por lo que el resultado nos daría:

$$N = 256^3 = 16,777,216 = 16 \quad (2)$$

Por lo que el algoritmo para cambiar los colores al color deseado, solo dependerá, de lo que la teoría nos marca junto a el cambio en el píxel del valor que este tendrá.

### 9.5.2. Árbol de decisión

En el marco teórico, ya se habló del árbol de decisiones, este es un algoritmo de *machine learning* más básico.

La función que este algoritmo toma, es la de un algoritmo que ayuda a través de preguntas la decisión correcta a tomar. Un ejemplo muy práctico donde este se emplea, es la plataforma Akinator©.

Aterrizando en esta plataforma, la plataforma nos solicita primeramente que pensemos en un personaje, ya sea ficticio o real, para después ir cuestionando, aseverando que adivinará el personaje, después de varias preguntas, este llegará a un resultado, el cual en un gran porcentaje, es nuestro personaje.

Al igual que la plataforma, se preguntarán cosas, en este caso cada una de las cartas de Ishihara, que evaluarán si la persona es daltónica o no, mientras que a través del mismo algoritmo de las cartas de Ishihara, este irá sumando puntos a las respuestas.

En caso de acertar con las respuestas que el algoritmo de las cartas de Ishihara predetermina o encontrarse en un puntaje cercano al mismo, este nos dará como positivo que se trata de algún tipo de daltonismo, que dependerá de las respuestas de la persona en cuestión.

## 10. Análisis

### 10.1. Factibilidad

#### 10.1.1. Factibilidad Técnica

Debido a que se trata de un sistema de muy pocos requerimientos, funcionará de manera correcta en cualquier equipo.

Se busca principalmente que el sistema funcione en cualquier computadora, debido a que este deberá ser instalado en los equipos personales y/o laborales de cualquier oftalmólogo.

El único requerimiento necesario que sea de tal calidad, es el uso de una pantalla AMOLED o superior en el uso de las gafas, debido a que este tipo de luces logran manejar los colores de manera mas ideal, sin alterar el haz de luz, que podría crear un estudio erróneo.

A continuación mostraré los requerimientos mínimos para poder instalar el sistema.

Tipo de requerimiento	Nombre del requerimiento	Descripción
Hardware	PC	Computadora
		AMD A4 o Intel Celeron
		2 GB de RAM
		60 GB de Disco Duro
Software	Dispositivo Móvil	Lentes VR
		SnapDragon 212
		2 GB de RAM
		2 GB de Disco Duro
	PC	Cámara de 8 mpx o superior
		Windows 7 o superior
		Java
		Sql Server
	Dispositivo Móvil	LaTeX
		Android Studio
		Android 5 o superior
		Android Cámara

Figura 15: Tabla de factabilidad

Dando como conclusión que se buscará sea implementado en cualquier dispositivo, ya que en el sector público no se cuenta con equipo avanzado para su ejecución.

#### 10.1.2. Factibilidad Económica

En la factibilidad económica solo se contará todo aquel costo que se empleará para la creación del software, así como el hardware necesario con el que no se cuente.

##### Activos

Activo	Costo/mes
Electricidad	30
Agua	17.50
transporte	360
Internet	700
Licencias	0
SUBTOTAL	117.5

Cuadro 1: Calculo de activos.

Esto nos da como resultado un total de \$ 1410 00/00 M.N. en el caso de los activos durante todo el proyecto.

##### Gastos

Gastos	Costo
Lentes VR	200
SUBTOTAL	200

Cuadro 2: Calculo de Gastos.

Esto nos da un resultado total de \$ 200 00/00 M.N. en el caso de los gastos adicionales del proyecto.

Debido a que los médicos en el sector público cuentan con una computadora, no se incluyen gastos en cuanto a infraestructura.

### 10.2. Métricas y estimaciones

Las métricas y estimaciones se realizarán a través de la métrica orientada a la función debido a que las tecnologías empleadas son orientadas a objetos.

#### 10.2.1. Métrica orientada a la función

Parámetros de medición	Factor medio	Cuenta	Resultado
Número de entradas del usuario	4	3	12
Número de salidas del usuario	5	2	10
Número de peticiones del usuario	4	2	8
Número de archivos	10	2	20
Número de interfaces externas	7	1	7

Cuadro 3: Métrica orientada a la función.

#### Preguntas:

- 4 ¿Qué necesidades de comunicación requiere el sistema para transferencia o intercambio de información?
- ¿Existen funciones de procesamiento distribuido? **2**
- ¿Es crítico el rendimiento? **2**
- ¿En qué medida se está utilizando la plataforma hardware en donde se ejecutará la aplicación? **3**
- 2 ¿Con qué frecuencia se ejecutan las transacciones? (diariamente, semanalmente, mensualmente, etc...)
- ¿Requiere el sistema entrada de datos interactiva? **4**
- ¿Se diseñó la aplicación pensando en que fuera eficiente y fácilmente utilizable por el usuario? **4**
- ¿Cuántos ficheros Ficheros Lógicos Internos se actualizan interactivamente (por medio de transacciones on-line)? **5**
- ¿Existe mucha carga en cuanto a procesami. lógico y/o matemático? **4**
- ¿Se desarrolló la aplicación para cumplir las necesidades de más de un usuario? **4**
- ¿Se ha incluido en el diseño la conversión y la instalación? **3**
- ¿Requiere el sistema copias de seguridad y de recuperación fiables? **4**
- 2 ¿Se diseñó y desarrolló el sistema para soportar múltiples instalaciones en diferentes organizaciones?
- ¿Se diseñó y desarrolló el sistema pensando en facilitar el posterior proceso de mantenimiento? **2**



## CUENTAS

$$PF = \text{cuenta total} \times [0.65 + 0.01 \times E(f_i)]$$

$$PF = 57 \times [0.65 + 0.55]$$

$$PF = 57 \times [1.2]$$

$$PF = 68.4 = 68$$

$$\text{Costo} = \$/PF = 57/68.4 = \$0.833 \text{ por función}$$

$$\text{Calidad} = \text{errores}/PF = 2/68.4 = 0.02923 \text{ errores por función}$$

$$\text{Productividad} = PF/\text{personas} = 68.4/1 = 68.4 \text{ funciones por persona}$$

$$\text{Documentación} = \text{páginas}/PF = 100/68.5 = 1.46 \text{ funciones por página}$$

### 10.2.2. COCOMO II

<i>Modo</i>	Básico		Intermedio	
	$a_i$	$b_i$	$a_i$	$b_i$
Orgánico	2.4	1.05	3.2	1.05
Semiencajado	3.0	1.12	3.0	1.12
Empotrado	3.6	1.2	2.8	1.2

Figura 16: Cuadro de COCOMO II

Se utilizan dos ecuaciones para determinar el esfuerzo de personal y el tiempo de desarrollo. El coste es:

$$E = 2.4 (S_k)^{(1.05)}$$

donde E se expresa en personas-mes y  $S_k$  es el tamaño expresado en miles de líneas de código fuente. El tiempo de desarrollo se da por

$$D = 2.5 E^{(0.38)}$$

Donde E se obtiene de la ecuación anterior y D es el tiempo de desarrollo en meses suponiendo que no arrebese las 1500 líneas de código. Dándonos como resultado:

$$E = 5.18/\text{mes. } D = 4.6 \text{ meses de trabajo.}$$

Deduciendo con facilidad, que el número óptimo de personas para trabajar en el proyecto son 1.12 personas, que da un total de 1 persona.

### 10.2.3. Mecanismos de seguimiento y control

Scrum cuenta con una característica denominada sprint, ejecución de la iteración, que consiste en un intervalo prefijado durante el que se crea un incremento de producto utilizable. De esta manera los integrantes del proyecto reportarán sus avances periódicamente y serán tomadas medidas de consideración si hay algún problema o retraso. Seguido de ejecutar las herramientas tales como la Scrum TaskBoard y la Burndown Chart.

#### 10.2.4. Análisis de Riesgos

##### Identificación y Clasificación

Riesgo	Categoría	Probabilidad	Impacto	Mitigación
Estimación baja del tamaño	PS	30 %	2	Hacer una nueva estimación en cada Sprint
Fecha de entrega equivocada	BU	20 %	2	Seguir y controlar apropiadamente el proyecto en cada sprint.
Perdida de fondos	CU	5 %	1	Seguir y controlar apropiadamente el gasto en cada sprint.
Tecnología no satisface las expectativas	TE	40 %	3	Mantener las herramientas de desarrollo actualizadas.

Cuadro 4: Identificación y Clasificación.

## 11. Diseño

## 12. Conclusiones.

## 13. Cronograma de trabajo terminal II.

## 14. Glosario

1. **Ojo:** Es el órgano que permite recrear una imagen del exterior, transformando la luz en pequeños impulsos eléctricos, los cuales viajan a través de billones de neuronas, además del nervio óptico, conectados a la corteza visual, en donde se analiza la información y se intenta identificar lo que se está viendo [38].
2. **Nervio óptico:** Un conjunto de fibras nerviosas que conectan la retina con el cerebro. El nervio óptico lleva las señales de luz, oscuridad y los colores al área del cerebro (la corteza visual) que convierte dichas señales en imágenes (por ejemplo, nuestra visión) [39]. Pupila. La abertura en el centro del iris a través del cual la luz pasa a la parte posterior del ojo [39].
3. **Retina:** La capa nerviosa sensible a la luz que recubre la parte posterior del ojo, capta la luz y crea impulsos que son enviados a través del nervio óptico al cerebro. Y cuenta con dos fotorreceptores conos y bastones [39]. iris.**La parte coloreada del ojo:** El iris es parcialmente responsable de regular la cantidad de luz que ingresa al ojo [39].
4. **Lente (cristalino):** La estructura transparente dentro del ojo que enfoca los rayos de luz en la retina [39].
5. **El núcleo geniculado lateral (NGL):** es un núcleo talámico estructurado histológicamente en capas, comunicadas entre sí, reciben aferencias procedentes de la retina [40].
6. **Córtex visual:** parte de la corteza principalmente dedicada al procesamiento de la estimulación visual proveniente de los fotorreceptores de la retina. Se trata de uno de los sentidos más representados a nivel de corteza, ocupando su procesamiento la mayor parte del lóbulo occipital y una pequeña parte de los parietales [41].
7. **Daltonismo:** está enmarcado en la discromatopsia, un término que hace referencia a un inconveniente basado en la incapacidad para diferenciar los colores [1].
8. **Cornea:** es una estructura del ojo que permite el paso de la luz desde el exterior al interior del ojo y protege el iris y el cristalino. Posee propiedades ópticas de refracción y para garantizar su función debe ser transparente y es necesario que mantenga una curvatura adecuada. La córnea está integrada por seis capas celulares: el epitelio corneal, la membrana de Bowman, el estroma corneal, la capa de DUA, la membrana de Desemet y el epitelio posterior o endotelio corneal [6].
9. **Rodopsina:** Compuesto pigmentado de color violáceo que hay en los bastoncillos de la retina. Está formado por una proteína y un derivado de la vitamina A (la opsina y el retinal, respectivamente). Su función es permitir la visión en entornos con poca intensidad de luz [42].
10. **Opsina:** Proteína que forma parte del pigmento visual rodopsina junto con cisretineno. Bajo la acción de la luz la rodopsina se descompone en estos dos componentes [43].
11. **Maculopatía:** Degeneración macular que afecta principalmente a la mácula lútea de la retina [42].
12. **Retinopatía:** Enfermedad ocular de tipo no inflamatorio causada por una alteración de los vasos sanguíneos retinianos [42].
13. **Glaucoma:** Degradación del nervio óptico. Esta enfermedad ocular suele estar causada por un exceso de presión intraocular. Si no se trata puede llegar a dañar el nervio óptico irreversiblemente, provocando ceguera. La presión normal del ojo es de 12 a 21 mmHg [42].
14. **Gunilato ciclasa:** Enzima que cataliza la ciclación intramolecular del GTP a GMP cíclico liberando PPi [43].
15. **Guanosin trifosfato:** un nucleótido compuesto por ribosa, guanina y un grupo trifosfato. Tiene, al igual que otros nucleósidos trifosfato, una función energética en el metabolismo celular [43].

## Referencias

- [1] A. M. Flores. (2018) Oftalmología, daltonismo. [En línea]. Disponible: [blog.ciencias-medicas.com](http://blog.ciencias-medicas.com)
- [2] E. B. Coronilla. (2017, Oct) Dalton y el daltonismo. [En línea]. Disponible: <https://www.hidden-nature.com/dalton-y-el-daltonismo>
- [3] B. V. Castillo. (2015) Herramientas visuales e información general del daltonismo. [En línea]. Disponible: <http://costaricawebstudio.com/daltonismo/antecedentes>
- [4] (2015) ¿por qué se produce el daltonismo? [En línea]. Disponible: <https://www.lne.es/vida-y-estilo/salud/2015/04/22/produce-daltonismo/1745277.html>
- [5] F. M. Fullana, *El verdadero daltonismo de Charles Meryon*. SciELO, sep 2008, vol. 83, no. 9, pp. 567–568.
- [6] (2015) Grandes creadores con problemas de visión: Daltonismo. [En línea]. Disponible: <https://www.clinicabaviera.com/blog/mundo-baviera/grandes-creadores-con-problemas-de-vision-daltonismo/>
- [7] (2019) ¿son mejores los tiradores daltónicos? [En línea]. Disponible: <https://www.quo.es/ser-humano/a25640378/tiradores-daltonicos/>
- [8] (2017) ¿por qué marck Zuckerberg es «culpable» de que facebook se azul? [En línea]. Disponible: <https://peru.com/epic/epic-mobile/facebook-que-mark-zuckerberg-culpable-que-sea-azul-noticia-536611>
- [9] (2019) Celebridades que tiene datonismo. [En línea]. Disponible: <https://www.panamaamerica.com.pa/variedades/celebridades-que-tienen-daltonismo-1130862>
- [10] (2019) El mediocampista thomas delaney sufre este padecimiento, que le complica distinguir jugadores en algunos partidos. [En línea]. Disponible: <https://www.record.com.mx/futbol-mundial-grupo-c/jugador-de-la-seleccion-de-dinamarca-revela-su-daltonismo>
- [11] (2019) Famosos daltónicos que ven el mundo al revés. [En línea]. Disponible: <https://www.msn.com/es-pe/entretenimiento/famosos/famosos-dalt%C3%B3nicos-que-ven-el-mundo-al-rev%C3%A9s/ss-BBTtKwr??ocid=MxOctHDD#image=20>
- [12] M. P. García, I. Lozano, and A. L. Rodríguez, *Los Colores de la vida*, 2019, vol. 69, no. 2. [En línea]. Disponible: [https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/69\\_2/PDF/ColoresVida.pdf](https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/69_2/PDF/ColoresVida.pdf)
- [13] (2019) La luz. [En línea]. Disponible: <http://entrecieloytierra.com/articulos/feng-shui/la-luz-introduccion/>
- [14] G. E. Monroy, M. Soto, and C. Torres, “Visión en colores: evaluación y patologías asociadas,” Ph.D. dissertation, Fac. Med De tecnología médica, universidad Andrés Bello, Chile, note =.
- [15] J. Jiménez and M. Gutiérrez. (2009) Árboles de decisión. [En línea]. Disponible: <https://www.cs.us.es/~jalonso/cursos/ra-00/temas/tema-12.pdf>
- [16] (2019, jul) ¿cómo ven las personas daltonicas?, el universal. [En línea]. Disponible: <https://www.eluniversal.com.mx/ciencia-y-salud/como-ven-las-personas-daltonicas>
- [17] (2019, Abr) El daltonismo, ¿es solo cuestión de hombres? [En línea]. Disponible: <https://www.infosalus.com/salud-investigacion/noticia-daltonismo-solo-cuestion-hombres-20190305082535.html>
- [18] M. M. V. Mota, M. I. B. Roldan, J. A. Trujillo, and J. R. D. Uribe, *Prevalencia de discromatopsias en la zona metropolitana de la Ciudad de México*, 2019, vol. 22, no. 95. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.29105/cienciauanl22.93-2>
- [19] I. A. . cols. (2013) Estudio de una anomalia genética: El daltonismo. [En línea]. Disponible: <https://www.cac.es/cursomotivar/resources/document/2012/005.pdf>

- [20] B. Stepko. (2019, Abr) Qué es daltonismo?, aarp,. [En línea]. Disponible: <https://www.aarp.org/espanol/salud/enfermedades-y-tratamientos/info-2019/que-es-el-daltonismo.html>
- [21] M. A. Alcalde-Alvites, *Daltonismo y su uso del computador a distancia*, Jul 2015, vol. 2, no. 1. [En línea]. Disponible: <http://dx.doi.org/10.21503/hamu.v2i1.828>
- [22] R. E. (2017, Sep) ¿eres daltónico? compruébalo con el test de ishihara. [En línea]. Disponible: <https://clinicavilloria.es/blog/test-ishihara-daltonismo>
- [23] M. M. M. España. (2015, Nov) El daltonismo en la comunicación visual y la aplicación coloradd. [En línea]. Disponible: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/03/05/Molina-Michelle-Investigacion.pdf>
- [24] Daltonismo y discriminación: una sociedad inadaptada. [En línea]. Disponible: <http://www.saludediciones.com/2015/07/02/daltonismo-y-discriminacion-una-sociedad-inadaptada/>
- [25] (2015) Espacios de color. [En línea]. Disponible: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11875/fichero/Proyecto+Fin+de+Carrera%252F3.Espacios+de+color.pdf>
- [26] M. L. Escorial. (2015, Jul) El código ‘braille’ para daltónicos se inventa en el siglo xxi. [En línea]. Disponible: [https://elpais.com/elpais/2015/07/24/planeta\\_futuro/1437744306\\_549219.html](https://elpais.com/elpais/2015/07/24/planeta_futuro/1437744306_549219.html)
- [27] (2016) Color binoculars. [En línea]. Disponible: <https://www.microsoft.com/en-us/garage/profiles/color-binoculars/>
- [28] (2016, Dic) Samsung lanza la aplicación seecolors para personas con daltonismo. [En línea]. Disponible: <https://news.samsung.com/mx/samsung-lanza-la-aplicacion-seecolors-para-personas-con-daltonismo>
- [29] (2013) What is visolve. [En línea]. Disponible: <https://www.ryobi-sol.co.jp/visolve/en/visolve.html>
- [30] (2019, Mar) Metodología ‘scrum’: ¿qué es un ‘sprint’? [En línea]. Disponible: <https://www.bbva.com/es/metodologia-scrum-que-es-un-sprint/>
- [31] (2014) Gráficos de trabajo pendiente (burndown charts)? [En línea]. Disponible: <https://proyectosagiles.org/graficos-trabajo-pendiente-burndown-charts/>
- [32] (2014) Lista de objetivos / requisitos priorizada (product backlog). [En línea]. Disponible: <https://proyectosagiles.org/lista-requisitos-priorizada-product-backlog/>
- [33] “Scrum fundamentals,” Jul 2018, itera process.
- [34] ¿qué es java y para qué se necesita? [En línea]. Disponible: <https://www.java.com/es/download/faq/whatis.java.xml>
- [35] Definición de android. [En línea]. Disponible: <https://definicion.de/android/>
- [36] J. Nieto. (2018, Nov) Android domina el tercer trimestre de 2018 con un 86,8 % de cuota de mercado, según idc. [En línea]. Disponible: <https://www.xatakandroid.com/moviles-android/android-domina-tercer-trimestre-2018-86-8-cuota-mercado-idc>
- [37] P. Roncagliolo. (2018) Procesamiento digital de imágenes. [En línea]. Disponible: [http://www2.elo.utfsm.cl/~elo328/pdf1dpp/PDI13-Color\\_1dpp.pdf](http://www2.elo.utfsm.cl/~elo328/pdf1dpp/PDI13-Color_1dpp.pdf)
- [38] (2015) Definición del ojo. [En línea]. Disponible: [conceptodefinicion.de](http://conceptodefinicion.de)
- [39] L. Packard. (2015) Anatomía del ojo del ojo. [En línea]. Disponible: [www.stanfordchildrens.org](http://www.stanfordchildrens.org)
- [40] H. Espinoza. (2015) El núcleo geniculado lateral en el contexto de la vía óptica, un estudio tectográfico. [En línea]. Disponible: <http://www.revista-portalesmedicos.com>
- [41] O. C. Mimenza. (2018) Corteza visual del cerebro: estructuras, partes y vías. [En línea]. Disponible: <http://psicologiyamente.com>

[42] enciclpediasalud.com. [En línea]. Disponible: <https://www.enciclopediasalud.com/>

[43] clínica universidad de navarra. [En línea]. Disponible: <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/gtp>

# Apéndices

A. Anexos 1.

B. Anexos 2.