

Proyecto Fin de Carrera

Ingeniería de Telecomunicación

Detección de colores en imágenes dermatoscópicas de lesiones pigmentadas

Autor: Francisco José Pérez Fernández

Tutora: Aurora Sáez Manzano

Dep. Teoría de la Señal y Comunicaciones
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2015



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de Telecomunicación

Detección de colores en imágenes dermatoscópicas de lesiones pigmentadas

Autor:

Francisco José Pérez Fernández

Tutora:

Aurora Sáez Manzano

Profesor titular

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2013

Proyecto Fin de Carrera: Detección de colores en imágenes dermatoscópicas de lesiones pigmentadas

Autor: Francisco José Pérez
Fernández

Tutora: Aurora Sáez Manzano

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2015

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

Me gustaría tener unas palabras de agradecimiento hacia las personas que han formado parte de esta etapa de mi vida y me han brindado su apoyo, ya que sin ellos esto no habría sido posible.

En primer lugar, no quiero dejar de agradecer toda su ayuda y paciencia a mi tutora Aurora Sáez Manzano, que ha invertido bastantes ratos y esfuerzo en poner todo de su parte para hacerme más fácil la recta final de este camino.

Por supuesto, también en gran medida a las profesoras que impartieron la asignatura “Tratamiento Digital de Imágenes”, Carmen Serrano y en especial Begoña Acha, que fue la persona con la que en primera instancia hablé para realizar este proyecto. Fue en esta asignatura donde pude apreciar y valorar otra forma de aplicar las telecomunicaciones y donde pude conocer un nuevo campo, con muchísimas posibilidades, que sinceramente, nunca pensé que me fuera a gustar de verdad. ¡Gracias a las tres!

En segundo lugar, a mis compañeros de clase en la escuela. Han sido cinco años fabulosos... Ahora en serio, han sido tantos años, que se me va a hacer muy raro dejar de verlos día a día. Durante todo este tiempo, habéis estado ahí, para echar unas risas, un desayuno y hasta para estudiar de vez en cuando. Por todo eso, y muchas cosas más que quedarán entre nosotros un abrazo para Alejandro Serrano, Jose Luís Alcoba, David Bermúdez, y en general al gran grupo de “PIOYECTOS” que formamos en mi último año. Tampoco me puedo olvidar de los que dejásteis nuestra amada escuela antes que yo, Eloy De los Ángeles, Manuel Rodríguez, Francis Rodríguez y seguro que me olvido de algunos más. Sois y seréis buenos ingenieros, pero lo más importante es que sois grandes personas.

A los amigos con los que he vivido todos estos años, compartiendo el día a día, los roces de la convivencia, las risas, las salidas, etc. Solo me puedo quedar con todas las cosas buenas y recordar siempre con mucho cariño a Óscar López, Pablo Baldoy, Daniel Postigo, Carlos García Tejero, Alberto López, Álvaro Maraver y Edu Kostanyan.

A las personas con las que compartí el que probablemente es el mejor año de mi vida, el año de Erasmus en Bochum. Ellos tienen buena parte de la culpa de que este año fuera increíble en todos los aspectos. Mucha fiesta, algunos viajes, mucho sacrificio, muchas horas de *bibliothek*, muchas experiencias inolvidables, y muchas personas que contribuyeron a ese plus de motivación que para mí supuso ese año como Diego Arias, Juan Carlos Arjonilla, Isidoro Vicente, Álvaro Cárdenas. Pero entre ellos, los más especiales, mis compañeros ingenieros: Víctor Bueno, Juan Luís López, Jose Benítez y David López. Un fuerte abrazo.

A mis amigos de Jerez de la Frontera, Raúl, Ali y algunos más, que a pesar del desapego por la distancia, sé que siguen ahí y que cuando nos vemos, es como si no hubiera pasado el tiempo.

Por supuesto, a Marta Serrano. Esa personita tan especial que obviamente no podía faltar en esta página. Lo que empezó como compañeros de Erasmus espero que siga durante muchos años más. Tú me has enseñado a ser constante, tener fuerza de voluntad, y cosas por el estilo. Aunque también me has enseñado que lo verdaderamente importante es hacer siempre lo que te gusta, rodeado de la gente que uno ama. Por esto, me siento dichoso de haberte conocido, y quiero que sepas que siempre puedes contar conmigo para lo que quieras. Muchas gracias por estar ahí Marta.

Ya termino. Sólo me queda por dar las gracias a las tres personas que más quiero en este mundo. Mi madre Charo, mi padre Paco y mi hermana Mónica. De la última, tengo que decir que a pesar de todas nuestras peleas, estoy muy orgulloso de ti. Espero que tengas un gran futuro por delante, y si de algo sirve el haberme tenido a mí como hermano mayor, me doy por satisfecho. Y de mis padres, que decir... pues simplemente daros las gracias por trabajar tanto para dárme todo, por la educación que desde pequeño me habéis dado, por aguantar los momentos malos en los que no salía nada bien, por decirme que se podía cuando casi todos decían que no... ¡GRACIAS! Sois los mejores.

A día de hoy, una de las palabras que más miedo provoca en la sociedad, es la palabra cáncer. Centrando nuestro estudio concretamente en el melanoma, la temprana detección de éste, es primordial para su correcto tratamiento.

La valoración de colores es esencial para el diagnóstico de melanomas malignos, tanto para análisis de patrones en imágenes dermatoscópicas, como mediante el empleo de métodos semicuantitativos.

El objetivo de este proyecto es desarrollar un programa para la valoración de colores en imágenes de lesiones pigmentadas, imitando la percepción del ojo humano, y comparar la evaluación automática de color con una llevada a cabo por observadores humanos.

Como método, usaremos una paleta de colores que comprenderán los seis colores que se evalúan en este tipo de lesiones. Esta paleta será creada a base de seleccionar muestras de colores por separado en las imágenes de lesiones melanocíticas. Posteriormente, los colores serán evaluados sobre una base de datos compuesta por 200 imágenes de test y comparados con la valoración clínica.

Los resultados, que serán expuestos más adelante, demuestran que ciertos colores se encuentran con más frecuencia en melanomas que en lesiones benignas. Tanto la valoración clínica como los resultados obtenidos con el método propuesto concuerdan en ello.

Para concluir, se puede decir que este método detecta automáticamente colores en lesiones pigmentadas, aportando parámetros numéricos que podrían ser empleados para el diagnóstico del melanoma.

Abstract

Nowadays, one of the more feared words in our society, is the word cancer. Focusing our study concretely on melanoma, the early detection of this, is of great importance for its correct treatment.

The assessment of colours is essential for the diagnosis of malignant melanoma (MM), both for pattern analysis on dermoscopic images, and when employing semiquantitative methods.

The objectives of this project were to develop a computer program for colour assessment in MM images mimicking the human perception of lesion colours, and to compare the automatic colour evaluation with one performed by human observers.

As method, we created a colour palette comprising six colour groups (black, dark brown, light brown, blue-grey, red and white) by selecting single colour components inside melanocytic lesion images acquired by means of a digital videomicroscope, and was implemented in the image analysis program. Subsequently, colours were assessed by the computer program on 200 melanocytic lesion images composing our image database, and the results were compared with the evaluation of lesion colours performed by a clinician.

Some colours (black, white and blue-grey) were more frequently found in MMs than in benign lesions, both by the clinicians and by the computer. Furthermore, in MM images we observed a higher number of colours per lesion, as in benign lesions.

As conclusion, we can say that this innovative method for automatic colour evaluation, reproducing clinical assessment of melanocytic lesion colours, may provide numerical parameters to be employed for computer-aided diagnosis of MM.

Keywords: melanocytic lesion, CIE94, RGB, CIELAB, euclidean distance, color difference, clinical assessment, image analysis.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
Notación	xxi
1 Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivo	1
1.3 Organización	2
2 Estado del arte	3
2.1 Lesiones pigmentadas: clasificación	3
2.2 Dermatoscopia	4
2.3 Métodos de diagnóstico mediante imágenes dermatoscópicas	5
2.3.1 Análisis de patrones	6
2.3.2 Seven point checklist (o método de los 7 puntos de Argenziano)	8
2.3.3 Método ABCD	9
2.3.4 Método de Menzies	13
2.4 Detección del color en lesiones pigmentadas. Estado del arte.	14
3 Teoría de espacios de color	19
3.1 HVS: Sistema de visión humano	19
3.1.1 Mecanismo del ojo humano	20
3.1.2 Mecanismo de la visión en color	21
3.1.3 Respuesta Visual Humana	22
3.2 Color y espacios de color	24
3.2.1 Atributos fundamentales de la percepción del color	24
3.2.2 RGB CIE y XYZ CIE	25
3.2.3 Espacio de color CIE L*a*b*	27
3.3 Fórmulas de diferencias de color basadas en CIE L*a*b*	28
4 Metodología	31
5 Resultados	35
5.1 Resultados	35
5.2 Evaluación	39
5.2.1 Porcentaje de cada color presentado en las lesiones comparado con la evaluación del especialista	39
5.2.2 Número de colores por lesión. Media y desviación estándar	41
5.2.3 Concordancia entre evaluación por ordenador y evaluación clínica para la presencia de uno a tres colores y de cuatro a seis colores	43
5.2.4 Sensibilidad, especificidad y precisión	45

5.2.5	Comparación de resultados	47
5.3	<i>Coste computacional</i>	49
6	Conclusiones y líneas futuras	51
6.1	<i>Conclusiones</i>	51
6.2	<i>Líneas futuras de trabajo</i>	52
	Referencias	53
	Glosario	55

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Lista de los 7 puntos para el diagnóstico dermatoscópico entre lesiones melanocíticas benignas y malignas
- Tabla 2. Regla del ABCD para la diferenciación dermatoscópica entre lesiones melanocíticas benignas y malignas
- Tabla 3. Método de Menzies para el diagnóstico de melanoma
- Tabla 4. Atributos del color perceptivo
- Tabla 5. Porcentaje de presencia de un solo color en lesiones benignas y melanomas, evaluados tanto clínicamente como por ordenador para el análisis RGB+EUCLÍDEA
- Tabla 6. Porcentaje de presencia de un solo color en lesiones benignas y melanomas, evaluados tanto clínicamente como por ordenador para el análisis LAB+EUCLÍDEA
- Tabla 7. Porcentaje de presencia de un solo color en lesiones benignas y melanomas, evaluados tanto clínicamente como por ordenador para el análisis LAB+CIE94
- Tabla 8. Porcentaje de lesiones que muestran de uno a seis colores (entre paréntesis el número de imágenes que corresponde a cada grupo) de acuerdo con la valoración clínica y por ordenador, para el análisis RGB+EUCLÍDEA
- Tabla 9. Porcentaje de lesiones que muestran de uno a seis colores (entre paréntesis el número de imágenes que corresponde a cada grupo) de acuerdo con la valoración clínica y por ordenador, para el análisis LAB+EUCLÍDEA
- Tabla 10. Porcentaje de lesiones que muestran de uno a seis colores (entre paréntesis el número de imágenes que corresponde a cada grupo) de acuerdo con la valoración clínica y por ordenador, para el análisis LAB+CIE94
- Tabla 11. Concordancia entre la evaluación por ordenador y la evaluación clínica para la presencia de uno a tres colores en contraposición con cuatro a seis colores, para el análisis RGB+EUCLÍDEA
- Tabla 12. Concordancia entre la evaluación por ordenador y la evaluación clínica para la presencia de uno a tres colores en contraposición con cuatro a seis colores, para el análisis LAB+EUCLÍDEA
- Tabla 13. Concordancia entre la evaluación por ordenador y la evaluación clínica para la presencia de uno a tres colores en contraposición con cuatro a seis colores, para el análisis LAB+CIE94
- Tabla 14. Valores de la sensibilidad, especificidad, y precisión, obtenidos sobre el total de las imágenes para cada color y en conjunto, mediante el método RGB+Euclídea
- Tabla 15. Valores de la sensibilidad, especificidad, y precisión, obtenidos sobre el total de las imágenes para cada color y en conjunto, mediante el método LAB+Euclídea
- Tabla 16. Valores de la sensibilidad, especificidad, y precisión, obtenidos sobre el total de las imágenes para cada color y en conjunto, mediante el método LAB+CIE94
- Tabla 17. Valores de sensibilidad, especificidad, y precisión para cada una de las tres implementaciones
- Tabla 18. Porcentaje de lesiones cuyos colores son fielmente descritos, para los tres métodos.
- Tabla 19. Tamaño del área de las lesiones y tiempo computacional medio para cada tipo de análisis. Entre paréntesis, el tiempo medio por imagen

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 2.1 Imagen ilustrativa de la formación del melanoma (corte transversal)
- Figura 2.2 Clasificación de las lesiones pigmentadas de la piel
- Figura 2.3 Procedimiento diagnóstico en 2 etapas en dermatoscopia
- Figura 2.4 Melanoma de extensión superficial con patrón multicomponente
- Figura 2.5 Ejemplo de simetría en una lesión melanocítica
- Figura 2.6 Ejemplo de asimetría en una lesión melanocítica
- Figura 2.7 Ejemplo de cálculo de bordes en una lesión melanocítica. Los asteriscos marcan los bordes abruptos que suman puntos al método
- Figura 2.8. Ejemplo de evaluación para el diagnóstico de una lesión melanocítica
- Figura 2.9 Esquema del sistema propuesto en el trabajo Color identification in dermoscopy images using gaussian mixture models [5]
- Figura 2.10 Ejemplo de la segmentación de regiones de color en el trabajo Color identification in dermoscopy images using gaussian mixture models [5]
- Figura 2.11 Imagen original (arriba), y salida del sistema (abajo) donde se aprecian las regiones de color en el trabajo Color identification in dermoscopy images using gaussian mixture models
- Figura 3.1 Espectro electromagnético
- Figura 3.2 Triángulo de interacción en el mecanismo de visión
- Figura 3.3 Modelo del ojo humano
- Figura 3.4 Células fotorreceptoras. A la izquierda a) cono, y a la derecha b) bastón
- Figura 3.5 Absorción de longitud de onda de cada tipo de cono
- Figura 3.6 Diagrama de cromaticidad CIE XYZ y diferentes espacios de color
- Figura 3.7 Representación tridimensional del espacio RGB
- Figura 3.8 Representación cilíndrica del espacio de color CIE $L^*a^*b^*$
- Figura 4.1 Diagrama de flujo de nuestro proceso
- Figura 4.2 Paleta de color al completo ordenada por grupos de color. En este orden: azul-gris, blanco, marrón claro, marrón oscuro, negro y rojo
- Figura 5.1 Imagen dermatoscópica perteneciente a la carpeta “Blue nevus” junto a su máscara o imagen segmentada
- Figura 5.2 Imagen dermatoscópica perteneciente a la carpeta “Clark” junto a su máscara o imagen segmentada (se aprecia un tamaño mayor que la imagen anterior)
- Figura 5.3 Ejemplo 1. Comparación de imágenes resultado: a) Imagen original, b) RGB+EUCLÍDEA, c) LAB+EUCLÍDEA, d) LAB+CIE94
- Figura 5.4 Ejemplo 2. Comparación de imágenes resultado: a) Imagen original, b) RGB+EUCLÍDEA, c) LAB+EUCLÍDEA, d) LAB+CIE94
- Figura 5.5 Ejemplo 3. Comparación de imágenes resultado: a) Imagen original, b) RGB+EUCLÍDEA, c) LAB+EUCLÍDEA, d) LAB+CIE94
- Figura 5.6 Ejemplo 4. Comparación de imágenes resultado: a) Imagen original, b) RGB+EUCLÍDEA, c) LAB+EUCLÍDEA, d) LAB+CIE94

Figura 5.7 Ejemplo 5. Comparación de imágenes resultado: a) Imagen original, b) RGB+EUCLÍDEA, c) LAB+EUCLÍDEA, d) LAB+CIE94

Notación

\tan	Tangente
Δ	Incremento o diferencia
$<$	Menor
$>$	Mayor
\int_{λ}	Integral sobre lambda
$d\lambda$	Diferencial de lambda
\forall	Para todo

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente y cada vez más, las telecomunicaciones forman parte del día a día de buena parte de la humanidad. Esto es, millones de personas, para las cuales se ha convertido en algo tan necesario, que un futuro sin ellas, parece inimaginable.

Podríamos hablar de miles de aplicaciones y muchos campos distintos en los que se emplean nuevas tecnologías para hacer al ser humano la existencia más sencilla. Pero esto no es algo nuevo.

Desde La Antigüedad, se vienen desarrollando materias como el álgebra, la física, la geometría, y otras más nuevas como la teoría de la información, la electrónica, la informática, o la física cuántica entre otras. Todas ellas, involucradas en mayor o menos medida en el conjunto que conforman las telecomunicaciones.

Cada vez es más frecuente el uso de herramientas tecnológicas para servirnos de ellas en muchos ámbitos de nuestra vida cotidiana. Podemos comunicarnos con personas que están en la otra punta del mundo, o con aparatos incluso fuera de este planeta, como por ejemplo, las sondas espaciales que viajan en busca de vida en Marte.

El éxito de este tipo de tecnologías, se debe en gran parte a la evolución de la red de redes que es Internet, que permite que nos mantengamos conectados en todo momento y que nos ha metido de lleno en esta nueva era, que no es más que la Era de la Información.

Centrémonos un poco más en el campo de interés de nuestro proyecto, las telecomunicaciones aplicadas a otra ciencia que ha acompañado al ser humano desde muy temprano en la historia, la medicina. El desarrollo tecnológico ha propiciado un cambio asombroso en la medicina; su avance ha permitido conocer infinidad de procesos que explican el porqué de muchas enfermedades, de eventos que ocurren en el organismo humano y de las consecuencias de relacionarse con su entorno.

1.1 Motivación

La motivación que ha impulsado la realización de este proyecto es conseguir desarrollar una ayuda eficaz para los especialistas clínicos durante la etapa de diagnóstico en lesiones pigmentadas de la piel. En concreto, se propone el desarrollo de un algoritmo para la detección de colores dentro de lesiones pigmentadas, esencial para el correcto diagnóstico del melanoma. Estos colores se agruparán en 6 conjuntos distintos: rojo, blanco, azul-gris, marrón claro, marrón oscuro, y negro, que englobarán las distintas tonalidades. Con el objetivo de eliminar la subjetividad y variabilidad en la interpretación de imágenes dermatoscópicas, se han desarrollado varios programas para el análisis de imágenes como posible apoyo al diagnóstico clínico.

Este proyecto puede servir en el futuro para ampliar los conocimientos sobre la materia en cuestión, haciendo posible contribuir a mejorar la calidad de vida de muchas personas. No obstante, la lucha contra el melanoma maligno es de importancia máxima, ya que en la actualidad es la forma de cáncer de piel más letal.

1.2 Objetivo

El principal objetivo de este proyecto, es el estudio y desarrollo de una herramienta informática que nos permita realizar una detección automática de los colores en imágenes de lesiones pigmentadas.

Esta evaluación debe imitar en la mayor medida posible la percepción que tiene el ojo humano sobre los distintos colores, puesto que, actualmente no es otro sino un doctor especialista el que lleva a cabo el diagnóstico.

Para ello, nos hemos basado en el método propuesto en el trabajo Computer description of colours in dermoscopic melanocytic lesion images reproducing clinical assessment. El método se basa en el cálculo de la distancia Euclídea en el espacio RGB, sin embargo, en este trabajo proponemos una comparativa con otro espacio de color (CIE $L^*a^*b^*$) y otras medidas de distancias de color (CIELAB, CIE94).

Los tres métodos propuestos serán aplicados a 200 imágenes evaluadas por un experto en diagnóstico de lesiones pigmentadas. Las 200 imágenes se extrajeron del Atlas Interactivo de Dermatoscopia [10]. Finalmente tras la evaluación podremos apreciar cual de las combinaciones es la que se acerca más o reproduce mejor la percepción humana.

1.3 Organización

El proyecto se ha estructurado de la siguiente manera:

1. Un primer capítulo llamado “Introducción” en el que nos hallamos inmersos, y que, como hemos visto, se da un primer punto de vista sobre el proyecto. Se incluyen, además, tres secciones: “Motivación”, “Objetivos”, y “Organización”.
2. El segundo capítulo tiene por título “Estado del Arte”. En éste se exponen los antecedentes y se presentan las diferentes técnicas de ayuda para el diagnóstico de lesiones pigmentadas. Se hace especial énfasis en aquellas que presentan el color como una de las características fundamentales para el diagnóstico.
3. En el tercero, se hablará de los Espacios de color.
4. La “Metodología” será expuesta en el capítulo cuarto, donde se explica el procedimiento que se ha seguido para llevar a cabo el proyecto.
5. El capítulo quinto, muestra los Resultados.
6. Finalmente, en el capítulo sexto se presentan las Conclusiones y Líneas Futuras.

2 ESTADO DEL ARTE

En este capítulo, expondremos los antecedentes sobre técnicas de ayuda para el diagnóstico de lesiones pigmentadas. En especial, nos centraremos en las técnicas de valoración de colores, aunque existen otras muchas.

2.1 Lesiones pigmentadas: clasificación

Para contextualizar nuestro estudio, será necesario primero explicar en qué consiste una lesión pigmentada de la piel. Empecemos por explicar primero que significa “pigmentada”.

Existen unas células llamadas melanocitos. El melanocito es una célula derivada de la cresta neural que se localiza en la piel, folículos pilosos, cóclea del oído interno, cuerpo ciliar, coroides e iris. La función del melanocito es producir la melanina por medio de la enzima tirosinasa. La melanina es un pigmento que se halla en la mayor parte de los seres vivos. En los animales el pigmento se deriva del aminoácido tirosina. La forma más común de melanina es la eumelanina, un polímero negro-marrón de ácidos carboxílicos de dihidroxindol y sus formas reducidas. Una vez formada la melanina se transfiere por prolongaciones digitiformes del melanocito a los queratinocitos y se agrupa en los melanosomas. Estos orgánulos pueden encontrarse en 4 estadios. El estadio I-II es la forma en que los melanosomas son más pequeños y están más agrupados en el queratinocito (raza blanca) y el IV la forma en la que los melanosomas son más grandes y están más dispersos en el queratinocito (raza negra). Otros factores que influyen tanto en la melanogénesis como en la proliferación y supervivencia de los melanocitos son la radiación ultravioleta (UVA y UVB). Estas radiaciones pueden dañar el ADN provocando alteraciones genéticas. Los melanocitos pueden proliferar de forma ordenada y controlada y generar lesiones de comportamiento benigno (nevos melanocíticos), o de forma descontrolada, debido a factores genéticos y ambientales, originando lesiones malignas inicialmente in situ (melanoma in situ), con posterior carácter invasivo (melanoma invasivo). [1]

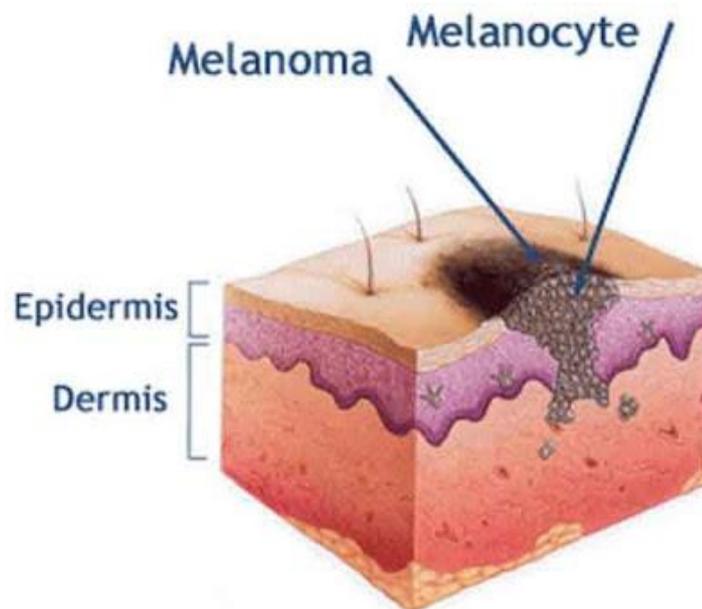


Figura 2.1 Imagen ilustrativa de la formación del melanoma (corte transversal)

Dicho esto, concluimos entonces que este tipo de lesiones se puede dividir en dos grandes grupos: melanocíticas (MSL) y no melanocíticas (NoMSL). A su vez, estos dos tipos se pueden subclasificar. No obstante, nuestro estudio está enfocado solo a las MSL, las cuales se separan entre MSL benignas y malignas. Sin entrar mucho más en detalle sobre en qué aspectos se diferencia cada tipo, si que resulta de mucho interés poder distinguir melanomas del resto, puesto que el melanoma es la primera causa de muerte por cáncer de piel. Su frecuencia e incidencia ha aumentado en los últimos años, pero no así su mortalidad. Este último hecho se cree que es debido a que estas lesiones se detectan cada vez en fases más precoces gracias a los continuos avances que se producen en la materia. [1], [2]

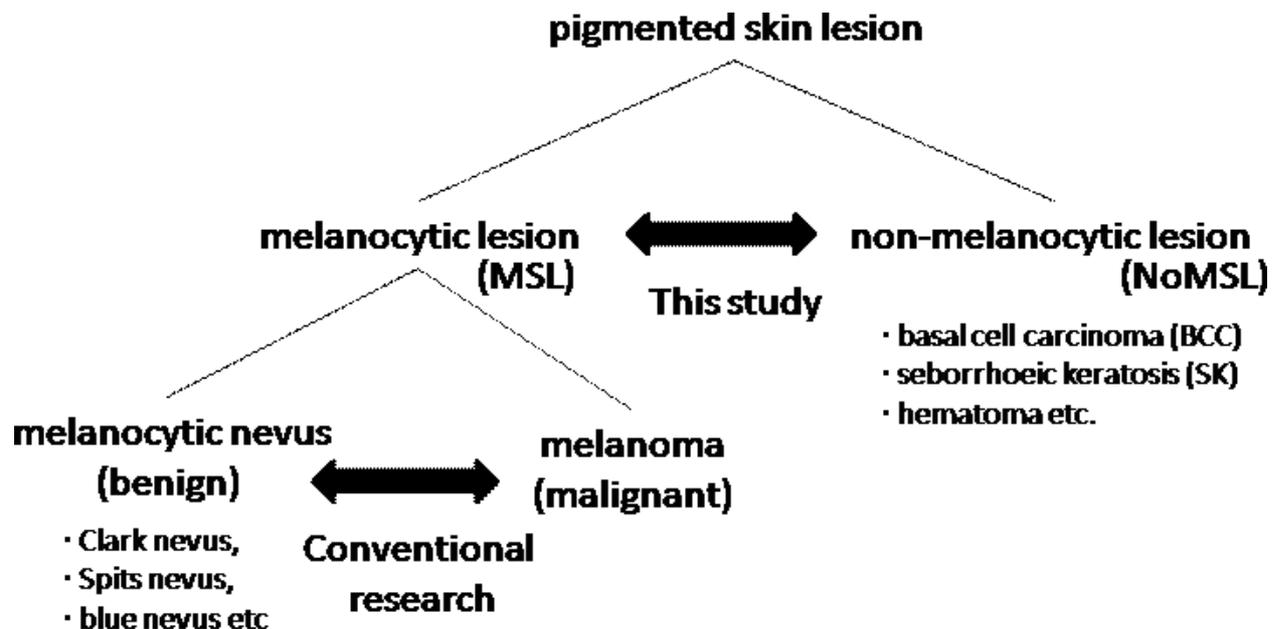


Figura 2.2 Clasificación de las lesiones pigmentadas de la piel

2.2 Dermatoscopia

Para el diagnóstico de estas lesiones, además de la sintomatología y la histología, se cuenta en la actualidad con la dermatoscopia. La dermatoscopia es una técnica diagnóstica o de exploración *in vivo*, no invasiva, que permite la observación de ciertas estructuras de la piel inapreciables con la simple exploración clínica, como son la estructura y el color de la epidermis, la unión dermoepidérmica y la dermis, mediante un sistema de amplificación de la imagen y un sistema de iluminación (el cual convierte en translúcida la piel) que permite superar la distorsión producida por la reflexión y refracción de la superficie cutánea, mostrando así patrones de pigmento y vascularización invisibles al ojo desnudo.

La utilidad de la dermatoscopia en el diagnóstico del melanoma es incuestionable. La sensibilidad en el diagnóstico del melanoma maligno invasor “a ojo desnudo”, por parte de los centros con mayor experiencia en melanoma, ronda el 70-85%, mientras que, en manos expertas, la dermatoscopia logra una sensibilidad del 92%. Se logra, de esta manera, una mejoría del 20-25% en la precisión diagnóstica del melanoma invasor, con respecto al desnudo.

2.3 Métodos de diagnóstico mediante imágenes dermatoscópicas

Existen diversos algoritmos diagnósticos en la literatura que intentan facilitar y objetivar en la medida de lo posible el diagnóstico de melanoma. Primero fue el método de ABCD de Stolz y posteriormente fueron surgiendo otros como el método de Menzies, la lista de los 7 puntos de Argenziano, etc.

El procedimiento diagnóstico en dermatoscopia que ha sido aceptado por la mayoría de los grupos de trabajo es el “método de las dos etapas” (Figura 2.3):

1. discernir si nos encontramos ante una lesión melanocítica o no melanocítica
2. distinguir la naturaleza benigna o maligna de la lesión melanocítica que nos ocupa.

Para abordar la primera etapa, se debe reconocer alguno de los criterios de lesión melanocítica. Una vez que la lesión se haya clasificado como melanocítica (el caso que nos ocupa) el especialista puede emplear diferentes métodos de diagnóstico que le permitirán distinguir entre lesiones malignas o benignas. En este trabajo, revisaremos los cuatro métodos que a continuación mencionamos. Todos ellos incluyen el análisis de estructuras dermatoscópicas y la información del color para evaluar las lesiones [3].

- Análisis de patrones
- 7-point checklist
- Regla del ABCD
- Método de Menzies

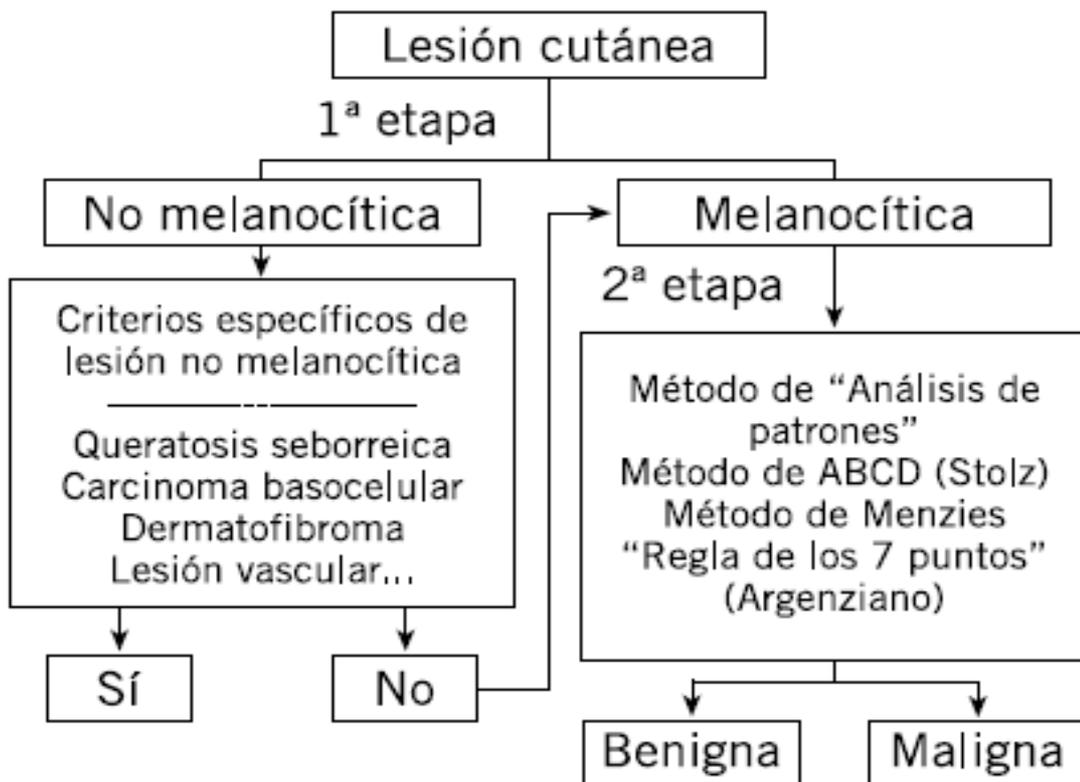


Figura 2.3 Procedimiento diagnóstico en 2 etapas en dermatoscopia

2.3.1 Análisis de patrones

El análisis de patrones es el método con el que se obtienen mejores resultados pues permite un abordaje más completo de las lesiones pigmentadas; aunque por otra parte, es el que requiere mayor experiencia. Este método se basa en detectar dos tipos de patrones (locales y globales) que permiten la distinción dermatoscópica entre lesión benigna y maligna. Existen unas “reglas” importantes que deben considerarse al utilizar este método:

- a) La presencia de un criterio es más importante que su ausencia, puesto que ninguno de estos criterios tiene una especificidad del 100% para el melanoma
- b) Un solo criterio no es suficiente para hacer el diagnóstico de melanoma
- c) Algunos criterios son más importantes que otros, como veremos más adelante
- d) La ausencia de criterios definidos que permitan un diagnóstico por dermatoscopia deben sugerir la posibilidad de que la lesión pueda corresponder a un melanoma

En el análisis de patrones, además de los parámetros dermatoscópicos individuales, se valora también el patrón global que presenta cada lesión melanocítica. Existen diferentes patrones globales: reticulado, globular, en empedrado, en estallido de estrellas, homogéneo, paralelo, multicomponente, lagunar e inespecífico. La lesión melanocítica se encasilla en el patrón que presente el parámetro dermatoscópico predominante, puesto que suelen presentar diferentes estructuras. Los patrones que sugieren melanoma son:

- a) Patrón reticulado atípico: La lesión está formada predominantemente por un retículo pigmentado atípico
- b) Patrón globular atípico: Formado por puntos y glóbulos de forma, tamaño y distribución irregulares
- c) Patrón en empedrado: Esencialmente, bastante similar al globular pero compuesto de glóbulos más grandes y juntos entre sí, que recuerdan a un empedrado
- d) Patrón en estallido de estrellas: El patrón en estallido de estrellas se caracteriza por la presencia de proyecciones que adoptan una distribución radial y regular en toda la periferia de la lesión pigmentada a estudiar
- e) Patrón homogéneo: Aparece como una pigmentación difusa que puede presentarse en algunas metástasis de melanoma
- f) Patrón paralelo de la cresta: Es típico de lesiones palmo- plantares debido a la estructura inherente de estas localizaciones
- g) Patrón multicomponente: Aquel que resulta de la combinación de tres o más patrones dermatoscópicos en la misma lesión (en la Figura 3.4 se puede ver un ejemplo). Es el patrón más frecuentemente asociado a la existencia de melanoma
- h) Patrón lagunar: Caracterizado por varias estructuras de diferente tamaño redondas u ovals y con bordes suaves llamadas lagunas
- i) Patrón inespecífico: Lo presentan aquellas lesiones que no pueden clasificarse en ninguno de los patrones globales anteriores. Siempre debe descartarse la existencia de un posible melanoma ante este patrón.



Figura 2.4 Melanoma de extensión superficial con patrón multicomponente

Por otra parte, los parámetros localizados que sugieren malignidad en el método de análisis de patrones solamente los mencionaremos a continuación:

- a) Retículo pigmentado prominente o atípico
- b) Puntos y glóbulos irregulares
- c) Proyecciones irregulares
- d) Velo azul-gris o azul-blancuecino
- e) Pigmentación
- f) Hipopigmentación
- g) Estructuras de regresión
- h) Estructuras vasculares asociadas a malignidad

2.3.2 Seven point checklist (o método de los 7 puntos de Argenziano)

Este método supone una simplificación del método de análisis de patrones descrito en la sección anterior. Se trata de un algoritmo de diagnóstico semicuantitativo creado por Argenziano et al. en 1998 que tiene en cuenta 7 criterios dermatoscópicos:

Retículo pigmentado atípico

Retículo marrón, gris o negro con orificios de malla irregulares y mallas gruesas.

Velo azul-blanquecino

Área desestructurada de pigmentación azulada confluyente cubierta por una película blanca “en vidrio esmerilado” que no debe ocupar toda la lesión.

Patrón vascular atípico

Existencia de vasos lineales irregulares o vasos puntiformes en el seno del tumor que no estén asociadas con áreas de regresión.

Proyecciones irregulares

Existencia de proyecciones radiales o pseudópodos de manera irregular en la periferia de la lesión que no estén claramente combinadas con las líneas del retículo.

Puntos y/o glóbulos irregulares

Se consideran como un criterio único en el método de los siete puntos y deben tener distintos tamaños y estar distribuidos de manera irregular en la lesión.

Manchas de pigmentos irregulares

Áreas desestructuradas de color marrón, gris o negro distribuidas de forma asimétrica en la lesión.

Estructuras asociadas a regresión

Engloba a las áreas de despigmentación pseudo-cicatricial y a las áreas azul-grises.

Se realizó un análisis multivariable para determinar el peso de cada criterio en el diagnóstico final de melanoma. Existen tres criterios mayores (retículo pigmentado atípico, velo azul-blanquecino y el patrón vascular atípico) que recibirán una puntuación de 2 y 4 criterios menores (proyecciones irregulares, puntos/glóbulos irregulares, manchas de pigmento irregulares y estructuras asociadas a regresión) que tendrán una puntuación de 1. En la Tabla 1 se aprecian de forma clara cada uno de estos criterios con sus respectivas puntuaciones asignadas. Finalmente se realiza la suma de las puntuaciones obtenidas y si el cómputo general es igual o superior a 3, se diagnosticará la lesión de melanoma con una sensibilidad del 95% y una especificidad del 75%.

Tabla 1. Lista de los 7 puntos para el diagnóstico dermatoscópico entre lesiones melanocíticas benignas y malignas

Criterio dermatoscópico	Puntuación máxima
CRITERIOS MAYORES	
Retículo pigmentado atípico	2
Velo azul – blanquecino	2
Patrón vascular atípico	2
CRITERIOS MENORES	
Proyecciones irregulares	1
Puntos/glóbulos irregulares	1
Manchas de pigmento irregulares	1
Estructuras asociadas a regresión	1
PUNTUACIÓN TOTAL	
< 3 BENIGNA	≥ 3 MALIGNA

2.3.3 Método ABCD

Este método fue descrito por Stolz et al. en 1994 y pretendía facilitar el diagnóstico de melanoma a aquellos observadores menos experimentados en la técnica. No es útil para valorar lesiones localizadas en mucosas, cara o piel lampiña. Se basa en la valoración de 4 criterios:

Asimetría

Se divide la lesión pigmentada en dos ejes de 90°, de manera que consigamos la mayor simetría posible, y se valora la asimetría con respecto al color, la forma y estructuras en ambos lados del eje. Se otorga una puntuación de 0 si no existe asimetría en ningún eje; de 1, si existe asimetría en un eje y de 2, si la presenta en ambos ejes. De manera que una lesión puede tener una puntuación de 0 a 2.

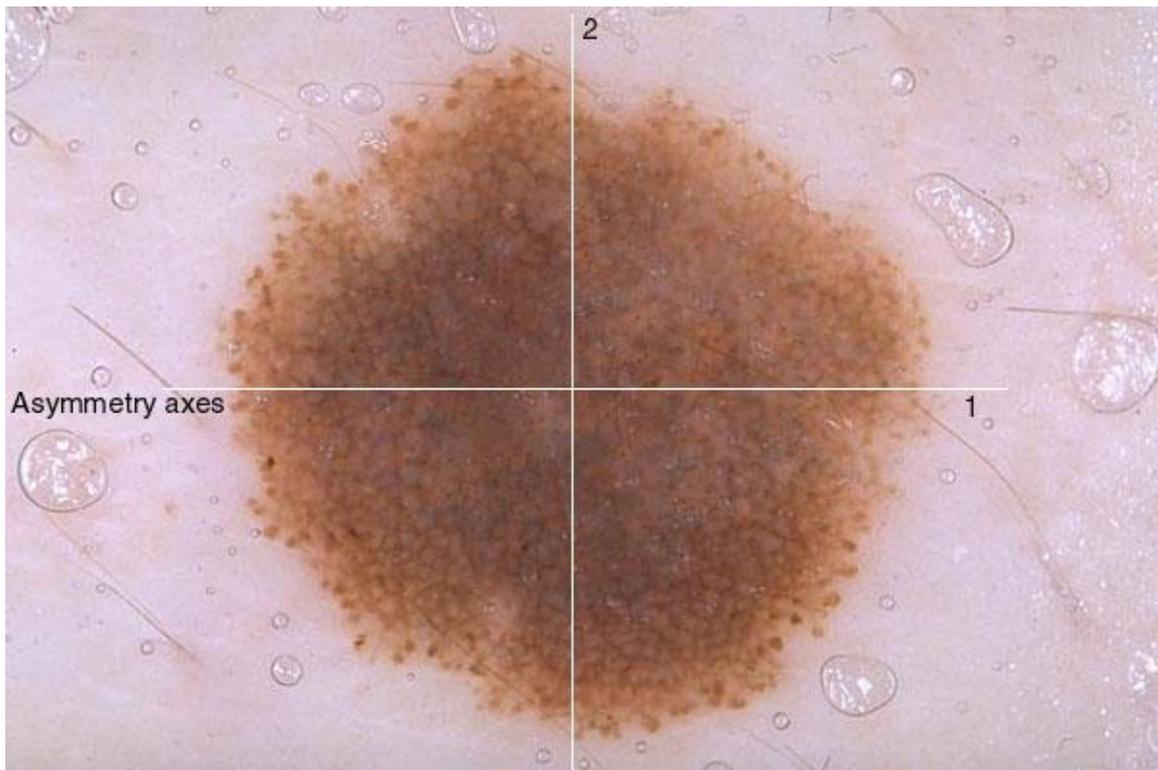


Figura 2.5 Ejemplo de simetría en una lesión melanocítica

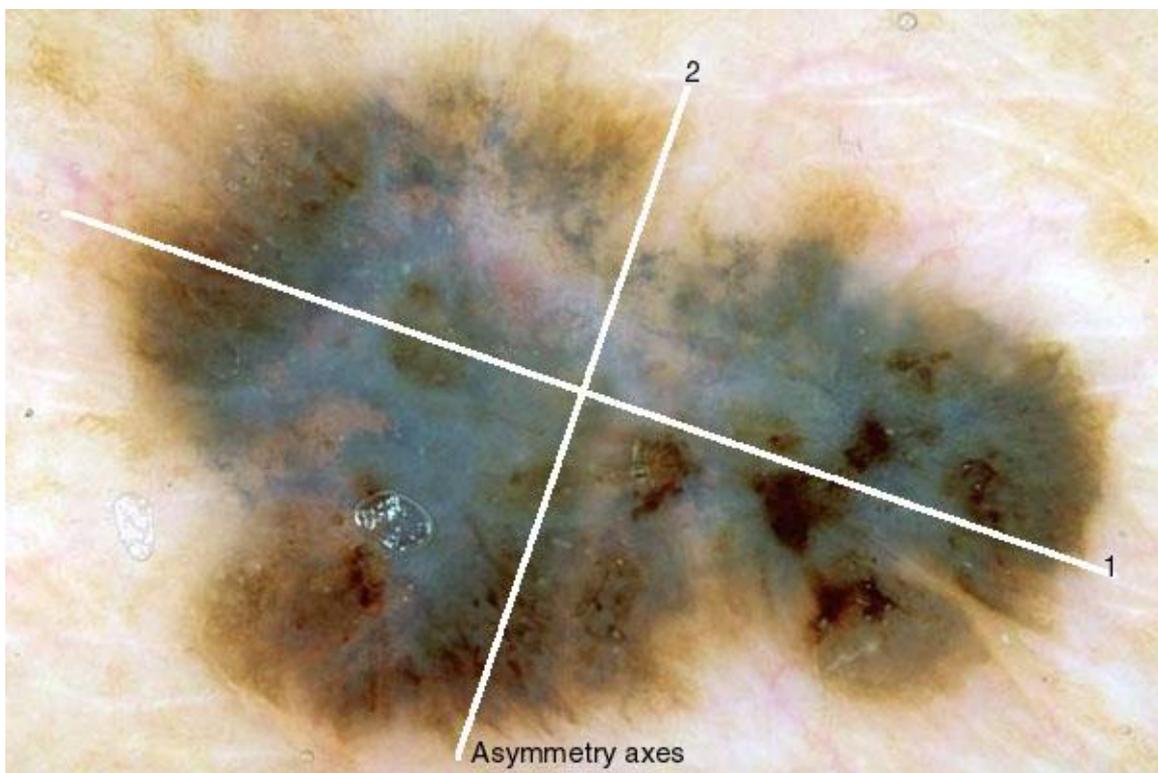


Figura 2.6 Ejemplo de asimetría en una lesión melanocítica

Bordes

La lesión es dividida en 8 segmentos y puntuaremos con 1 cada porción que presente una finalización abrupta del borde. De tal manera que la puntuación mínima que se puede obtener es 0 y la máxima, 8.

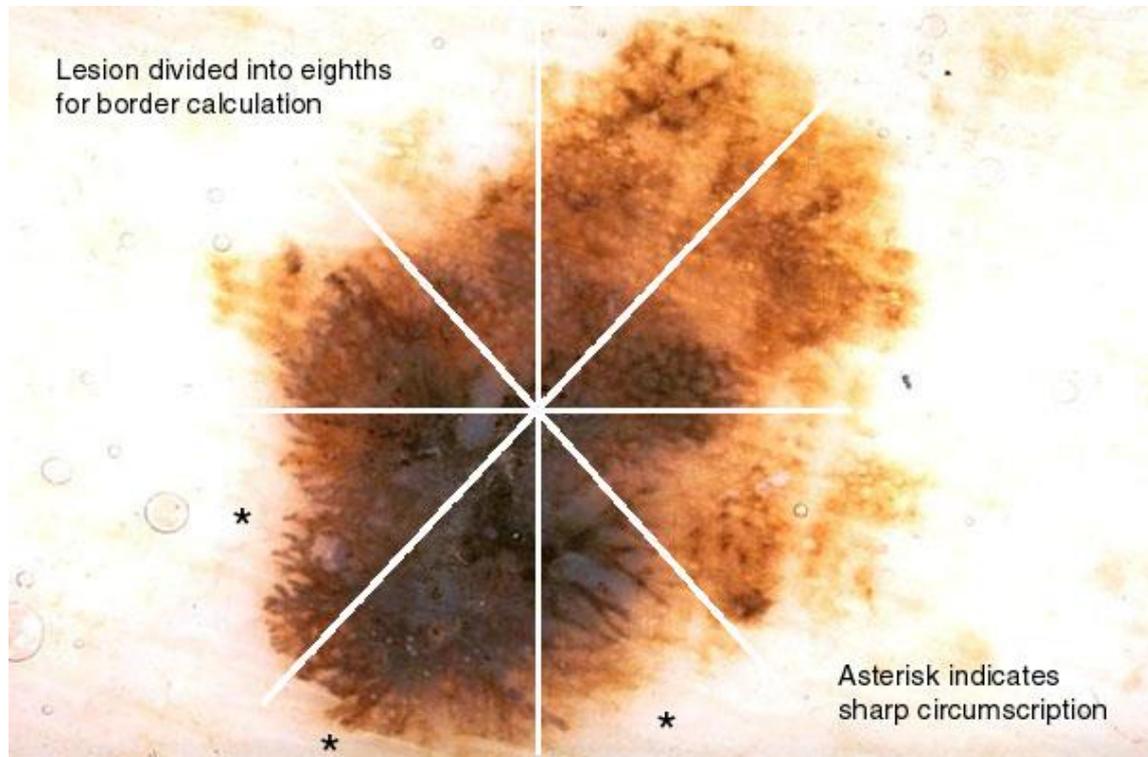


Figura 2.7 Ejemplo de cálculo de bordes en una lesión melanocítica. Los asteriscos marcan los bordes abruptos que suman puntos al método

Color

Se valora la presencia de 6 colores: blanco, marrón claro, marrón oscuro, azul-gris, rojo y negro; por lo que la puntuación máxima será de 6 y la mínima de 1. El blanco tan sólo puntuará si es más claro que la piel adyacente; es decir cuando pertenece a áreas blancas de regresión.

Estructuras dermatoscópicas

Se consideran 5 estructuras cada una de las cuales puntúa con un punto, por lo que la puntuación máxima será de 5 y la mínima de 1. Las estructuras dermatoscópicas son:

- Retículo pigmentado, tanto si es típico como atípico;
- Áreas desestructuradas, que deben comprender más del 10% de la superficie de la lesión;
- Puntos, que deben ser más de dos;
- Glóbulos, que deben ser al menos dos;
- Ramificaciones lineales, que al igual que los puntos deben ser más de dos. En el método de ABCD se consideran ramificaciones lineales tanto a los pseudópodos y a las proyecciones radiales como a la existencia de un retículo pigmentado fraccionado compuesto por escasas celdas.

Posteriormente, hemos de multiplicar cada puntuación individual por un factor de corrección que depende del valor diagnóstico individual en cada caso calculado por análisis multivariable. De manera que la

puntuación de la asimetría debe multiplicarse por 1,3; la de los bordes, por 0,1; y tanto la del color como la de las estructuras dermatoscópicas, por 0,5. Finalmente, sumaremos todas las puntuaciones parciales y obtendremos un valor llamado índice dermatoscópico total (TDS).

El TDS se debe interpretar de la siguiente forma:

- si es menor que 4,75 la lesión melanocítica es benigna
- si obtenemos un valor entre 4,8 y 5,45, la lesión es sospechosa y se recomienda su extirpación o su seguimiento estrecho
- si es superior a 5,45, la lesión es altamente sospechosa de melanoma

Tabla 2. Regla del ABCD para la diferenciación dermatoscópica entre lesiones melanocíticas benignas y malignas

Criterio dermatoscópico	Puntuación	Factor de corrección
Asimetría	0 a 2	x 1,3
Bordes	0 a 8	x 0,1
Color	1 a 6	x 0,5
Estructuras dermatoscópicas	1 a 5	x 0,5
TDS - Índice dermatoscópico Total		
< 4,75	4,8 – 5,45	> 5,45
Benigna	Sospechosa	Maligna
CRITERIOS ADICIONALES Vascularización / Regresión / Pseudópodos		

A modo de ejemplo, veremos una imagen dermatoscópica y su valoración mediante el método ABCD, junto con su consiguiente resultado. Como comprobamos, presenta asimetría en los dos ejes, A=2 (x 1.3); hay tres bordes con terminaciones afiladas o abruptas, B=3 (x 0.1); se aprecian cuatro colores distintos (marrón claro, marrón oscuro, azul-gris y negro), C=4 (x 0.5); y se distinguen cuatro estructuras dermatoscópicas distintas (retículo pigmentado, áreas homogéneas, ramificaciones lineales, y glóbulos), D=4 (x 0.5). Todo esto da como resultado un TDS=6.9, y como consecuencia diagnóstico de melanoma, que coincide con el diagnóstico hispatológico.

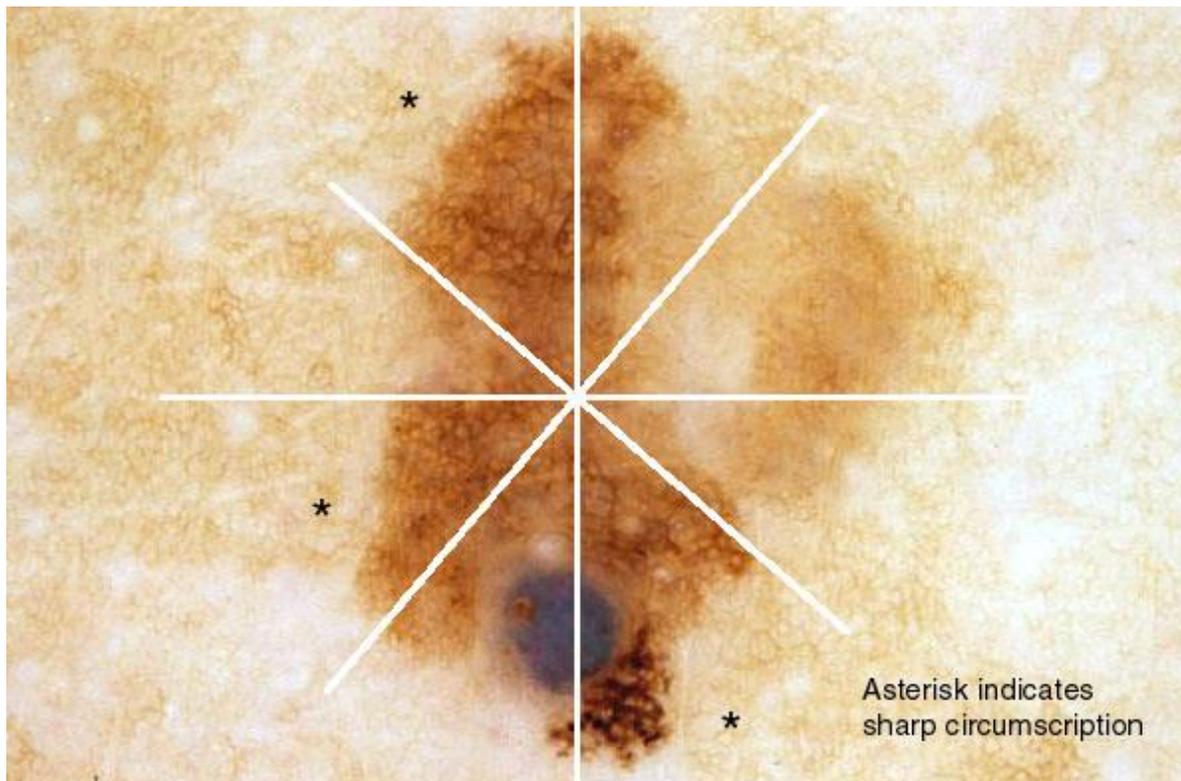


Figura 2.8. Ejemplo de evaluación para el diagnóstico de una lesión melanocítica

2.3.4 Método de Menzies

Es un método simple creado en 1996 por Menzies et al. que valora 11 criterios dermatoscópicos; éstos se dividen en criterios negativos, que no deben estar presentes para el diagnóstico de melanoma, y criterios positivos, es decir, que alguno de ellos debe cumplirse para el diagnóstico de malignidad.

Criterios negativos son:

- Simetría: Se valora la simetría de los patrones dermatoscópicos. No se valora, en este caso, la simetría de la forma.
- Monocromía: Se valoran los colores marrón claro, marrón oscuro, rojo, azul, negro y gris.

Criterios positivos incluye:

- Velo azul-blanquecino: Pigmentación azul confluyente recubierta de una película blanquecina en “vidrio esmerilado” o “velo” que no debe ocupar toda la superficie de la lesión.
- Despigmentación pseudocicatricial: área blanquecina bien definida en el interior de la lesión que debe ser más clara que la piel perilesional.
- Múltiples colores: Presencia de 5 ó 6 colores (marrón claro, marrón oscuro, rojo, azul, gris y negro).
- Retículo pigmentado prominente: Retículo que presenta un aumento del grosor en las líneas que lo forman.
- Pseudópodos: En el método de Menzies los pseudópodos tienen una definición más restrictiva: proyecciones bulbosas y frecuentemente curvadas que se encuentran en el borde de la lesión directamente conectadas en ángulo agudo con el cuerpo del tumor o bien con el retículo pigmentado, de manera que la anchura de los bulbos finales debe ser mayor al grosor de la línea del retículo adyacente y al menos el doble del grosor de la proyección del retículo con el que se conecta directamente.

- Proyecciones radiales: Extensiones paralelas distribuidas de forma radial y asimétrica en la periferia del tumor.
- Múltiples puntos marrones: Agregados múltiples y focales de puntos marrón oscuro.
- Puntos y glóbulos negros periféricos: Deben ser negros y localizados en el borde de la lesión.
- Puntos múltiples azul-grises: Agregados de puntos azul-grises que forman una morfología similar a la pimienta (pepper-like).

Con el presente método, para llegar al diagnóstico de melanoma, la lesión no debe presentar ninguno de los dos criterios negativos, es decir, la lesión no debe ser monocroma ni simétrica y además, debe presentar, al menos, uno de los nueve criterios positivos.

Tabla 3. Método de Menzies para el diagnóstico de melanoma

Criterios Negativos: (ninguno debe presentarse)
Simetría
Monocromía
Criterios Positivos: (al menos uno debe estar presente)
Velo Azul-blanquecino
Despigmentación pseudocicatricial
Múltiples colores (5-6)
Retículo pigmentado prominente
Pseudópodos
Proyecciones radiales
Múltiples puntos marrones
Puntos/glóbulos negros periféricos
Múltiples puntos azul-gris

2.4 Detección del color en lesiones pigmentadas. Estado del arte.

Como hemos comprobado en apartados anteriores, la descripción de colores es esencial en el diagnóstico del MM:

- el método de análisis de patrones y 7-point checklist, se basa en detectar estructuras coloreadas, como velo azulado, retículo marrón, puntos negros, zonas de regresión blancas, etc.

- el método ABCD, detecta seis colores: blanco, marrón claro, marrón oscuro, azul-gris, rojo y negro. La presencia o ausencia de estos colores aportará una puntuación de un máximo de 6 sobre un máximo teórico en el TDS de 21, lo que supone más de un 25% de la valoración total.

- en el método de Menzies, la monocromía (un único color) indica un criterio negativo. En este caso se valoran los colores marrón claro, marrón oscuro, rojo, azul, negro y gris. Además, el color es importante también en algunos criterios positivos como: velo azul-blanquecino, despigmentación pseudocicatricial, múltiples colores, múltiples puntos marrones, puntos y glóbulos negros periféricos, y puntos múltiples azul-grises. Esto significa que en 7 de los 11 criterios el color es un atributo fundamental.

El color que confiere la melanina depende esencialmente de su localización en la piel a causa del efecto Tyndall. La melanina localizada en la capa córnea y en capas superiores de la epidermis se observa de color negro; si se localiza en la epidermis se observará de color marrón oscuro, si se localiza en la unión dermoepidérmica y la dermis más superficial se manifiesta de color marrón; en las capas profundas de la dermis papilar se observaría de color gris y en la dermis reticular se observaría de color azul. El color rojo es debido a la hemoglobina en los vasos sanguíneos, el blanco a la despigmentación o cicatrización. El negro puede estar producido también por la sangre coagulada.

Además, los dermatólogos afirman que hay colores que son más comunes en melanomas que en lesiones benignas: negro, azul-gris, blanco y rojo, y que las lesiones malignas suelen presentar más de 3 colores distintos, mientras que en lesiones benignas se observan normalmente 3 o menos colores; demostrando que la detección y cuantificación del color en imágenes dermatoscópicas es de gran relevancia. Sin embargo, hay pocos estudios que se centren en este problema. El tipo más corriente de sistemas CAD basados en el color, son aquellos que tratan de detectar el velo azul-blanquecino y usar esa única característica para clasificar la lesión como maligna o benigna. Otra idea diferente es, en vez de detectar estructuras de colores unitarios, tratar de cuantificar el número de colores. No obstante, la detección de colores en imágenes dermatoscópicas es aún un problema abierto.

A pesar de la relevancia del color en el diagnóstico de melanomas, pocos de los sistemas propuestos explotan esta característica directamente.

Además del trabajo en el cual nos basamos para la realización de este proyecto, únicamente hemos encontrado en la literatura el artículo de Barata et al. [5] que consiste en computar un modelo estadístico de 5 colores significativos (negro, azul-gris, blanco, marrón claro y marrón oscuro) usando mezcla de gaussianas.

Esto se hace usando un conjunto de imágenes segmentadas de entrenamiento proporcionadas por un experto. Entonces, las mezclas de gaussianas aprendidas se usan para valorar el color de un número de imágenes mayor.

El sistema de descripción y detección propuesto comprende dos etapas diferentes (Figura 2.9). En la primera, se aprende un modelo de mezcla de gaussianas para cada uno de los colores. De esta manera, el modelo de color aprendido está compuesto por 5 mezclas diferentes, cada una describiendo uno de los colores considerados en la regla ABCD. A pesar de que los dermatólogos consideran el rojo como un color que puede verse en imágenes dermatocópicas, no ha sido modelado por la falta de datos de entrenamiento.

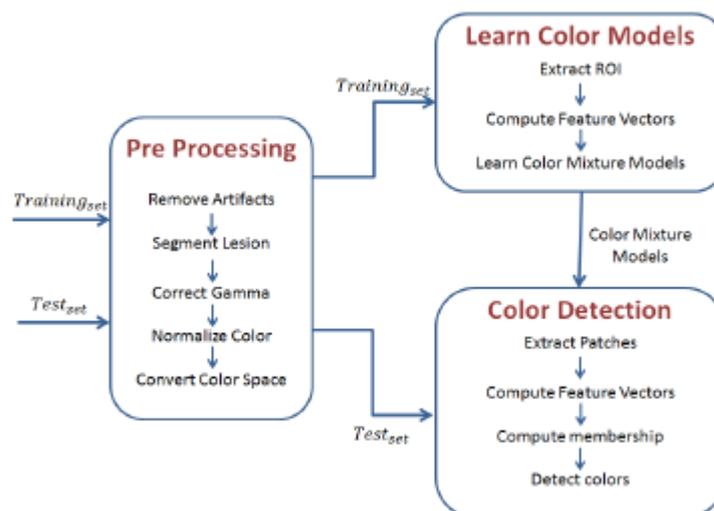


Figura 2.9 Esquema del sistema propuesto en el trabajo Color identification in dermoscopy images using gaussian mixture models [5]

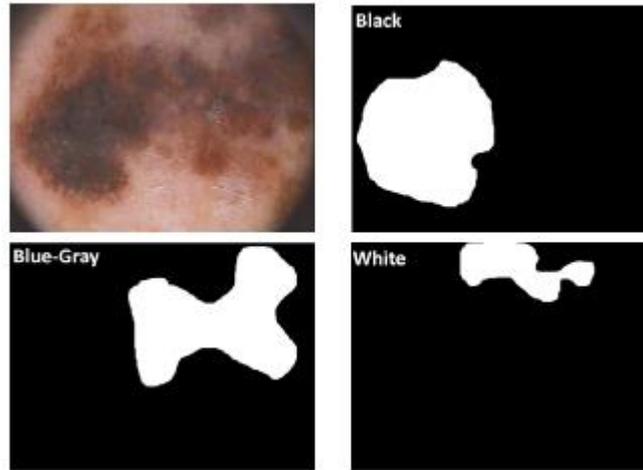


Figura 2.10 Ejemplo de la segmentación de regiones de color en el trabajo Color identification in dermoscopy images using gaussian mixture models [5]

Antes de los ya mencionados dos pasos, las imágenes son preprocesadas. Para empezar, se elimina el pelo y las burbujas, y se computa una máscara binaria para la segmentación. Para evitar errores debidos a una segmentación incorrecta, esta tarea se realiza a mano. Finalmente, las imágenes corregidas, son transformadas a los espacios de color HSV y La^*b^* . Se eligieron estos dos espacios de color por su buena correlación con la percepción del color del ojo humano, lo cual no es cierto para el espacio RGB.

Nos centraremos y ahondaremos un poco más en la segunda fase del proceso. Vamos a describir los pasos seguidos para identificar el color en la lesión, donde se va a adoptar un esquema jerárquico de decisión, involucrando dos pasos, principalmente: etiquetado de la parcela y etiquetado de la lesión.

Se empieza muestreando la lesión en pequeñas parcelas de tamaño 12×12 usando una malla regular. Luego, se computa un vector característico, que determina cada parcela, usando el color medio. Para asignar una etiqueta de color a cada uno de las parcelas, se calcula su probabilidad posterior de pertenecer a cada uno de los modelos de color. Sin prestar mucha atención a la parte estadística, cada parcela se puede clasificar como sigue:

- la parcela es etiquetada con un color
- la parcela es etiquetada como dudosa
- la parcela es rechazada

El paso final consiste en decidir si el color está presente o ausente en la lesión. Esta tarea es realizada por medio de 5 umbrales empíricamente determinados. De esta forma, cada región de color es considerada solo si su porcentaje de área está por encima de estos umbrales específicos, los cuales son:

- 15% para el color marrón claro
- 5% para el color marrón oscuro
- 4% para el color azul-gris
- 2% para el color negro y también para el color blanco

Es importante señalar aquí, que para calcular esos porcentajes, no se tienen en cuenta las parcelas que se presentan como dudosas.

Para hacernos una idea más clara de este estudio, vamos a describir con mayor precisión la forma en la que se ha realizado:

Se seleccionaron un total de 130 imágenes provenientes de una base de datos llamada PH2. De ese conjunto, se eligieron 27 imágenes para el entrenamiento de los modelos de color, y las restantes se dedicaron a las pruebas. El subconjunto sobre el que se realizaron las pruebas, contaba con 3 tipos de lesiones de la piel

diferentes: 38 nevos comunes, 38 nevos atípicos, y 27 melanomas. Estas tres clases se seleccionaron por sus propiedades de color distintas. Las imágenes eran en formato RGB y tenían un tamaño medio de 575 x 765 píxeles. Se le pidió a un dermatólogo experimentado que identificara los colores que aparecían en cada imagen. En el caso de las imágenes de entrenamiento, también se le pidió que segmentara las regiones correspondientes a cada color y que evitara solapar dichas regiones. Además, el procedimiento para entrenar y evaluar el sistema fue el siguiente: los 5 modelos de color se aprendían usando 3 espacios de color distintos (HSV, La*b*, y una combinación de los dos anteriores). Para evaluar el resultado del algoritmo, sus salidas para un conjunto de imágenes no vistas previamente se comparó con las etiquetas que proporcionó el dermatólogo. Así, cada color correctamente identificado en la imagen se considera como *detección correcta* (CD), cuando falta un color, se llama *fallo de detección* (DF), y un color detectado que no tiene etiqueta correspondiente, se llama *falsa alarma* (FA). Los mejores resultados se consiguieron combinando la información del espacio HSV y el La*b*, con 192 CDs, 45 Fas, y 28 DFs. [5]

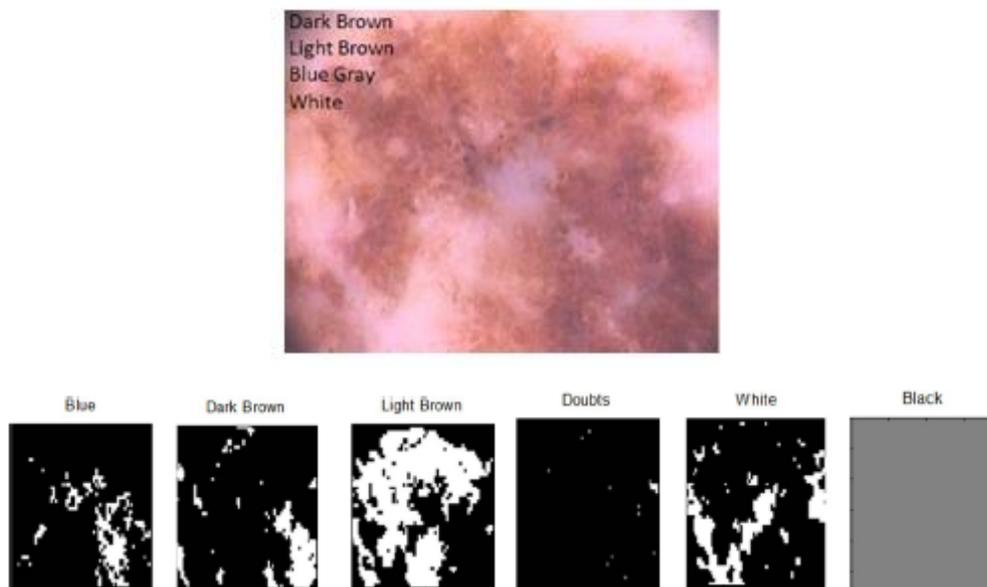


Figura 2.11 Imagen original (arriba), y salida del sistema (abajo) donde se aprecian las regiones de color en el trabajo Color identification in dermoscopy images using gaussian mixture models

3 TEORÍA DE ESPACIOS DE COLOR

Uno de los conceptos más importantes a tener en cuenta en nuestro estudio es el de espacio de color. En este capítulo, vamos a hacer un extenso recorrido por la teoría referente al color, tanto en la forma en la que lo capta el ojo humano, como la forma en la que lo medimos y tratamos.

Empecemos con el trasfondo. La evaluación del color es importante en distintos segmentos de la industria, así como en el procesamiento de imágenes. En nuestro caso de estudio, será de gran importancia para poder asemejar, en la medida de lo posible, el análisis de las imágenes que hace nuestra herramienta software al realizado mediante inspección ocular por personal experto. Por eso, se han desarrollado varias fórmulas de diferencias de color para aportar evaluaciones de diferencias de color, cosa muy preciada para aplicaciones de diferentes propósitos. Sin embargo, el cómputo de estas fórmulas es complicado y sofisticado. De esta forma, existe una motivación para desarrollar una forma precisa y acertada de estimar diferencias de color, que acarreen poco cálculo computacional.

3.1 HVS: Sistema de visión humano

La luz visible, cuya longitud de onda se encuentra comprendida entre 380 y 750 nm, está definida como una composición de varios colores. Esto se puede ver más claramente en la Figura 3.1. El color se percibe como consecuencia de la interacción de iluminaciones, objetos, y el sistema de visión humano, como se muestra en la Figura 3.2. Aunque la percepción del color es altamente subjetiva, el mecanismo general y el modelo matemático del sistema de visión del observador son de gran relevancia a la hora de estudiar la medida del color.

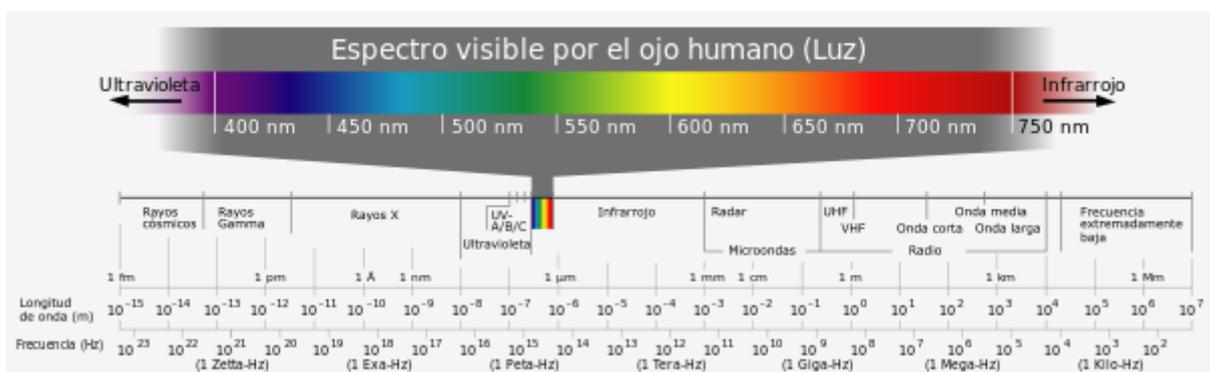


Figura 3.1 Espectro electromagnético

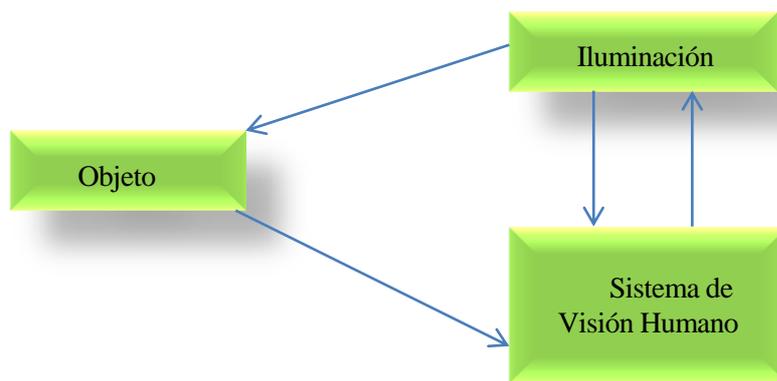


Figura 3.2 Triángulo de interacción en el mecanismo de visión

3.1.1 Mecanismo del ojo humano

Las imágenes y colores los percibimos a través de los ojos. En la Figura 3.3 se muestra una sección transversal de la estructura del ojo humano. Ahí se ilustra esa estructura con algunas etiquetas de las partes clave. El ojo funciona como una cámara fotográfica: la córnea y el cristalino cooperan como la lente de una cámara para enfocar un objeto en la realidad, y la imagen del objeto emerge en la retina, en la parte de atrás del ojo, la cual, ejerce la misma función que el sensor de una cámara. El iris, en la parte frontal, define el nivel de iluminación en la retina, lo cual influye de manera importante en el color que se percibe; la capacidad de absorber energía perteneciente a longitudes de onda corta por el cristalino y la mácula, que es conocida por su efecto “filtro amarillo”, modula la “responsividad espectral” del sistema de visión humano e introduce la “variabilidad interobservador” en la percepción del color.

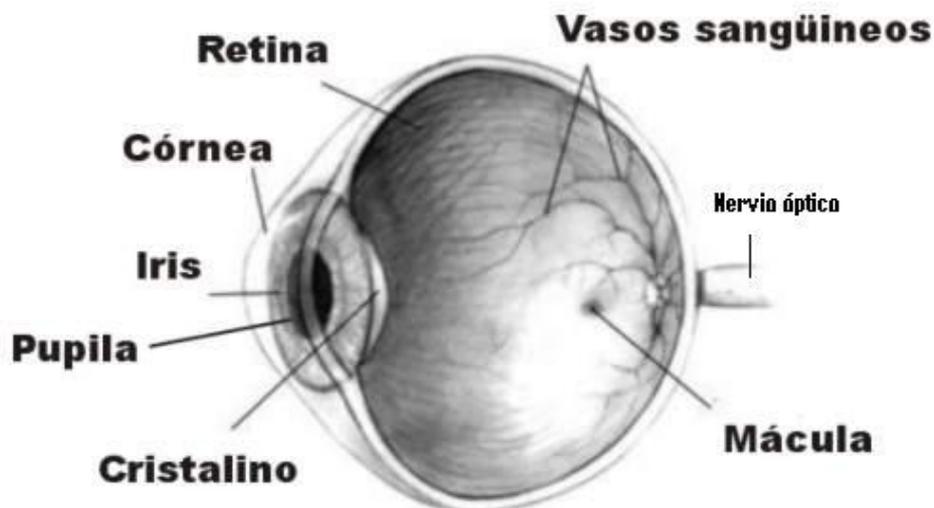


Figura 3.3 Modelo del ojo humano

Hay principalmente dos clases de células fotorreceptoras en la retina, bastones y conos, como se muestra en la Figura 3.4. Los bastones funcionan sobre todo en niveles de baja luminancia (es decir, menos de 1 cd/m^2)

y son los responsables de la visión escotópica (en blanco y negro). Por el contrario, los conos principalmente funcionan en niveles altos de luminancia (lo que significa, más de 100 cd/m^2) y proporcionan toda la información para formar la sensación humana del color. Solo existe un tipo de bastón receptor que responde a los picos del espectro a aproximadamente 510 nm . Sin embargo, los tres tipos de conos receptores, que pueden ser representados por conos L, M, y S; son capaces de responder a través del espectro visual completo, como se muestra en la Figura 3.5. Los L, M, y S se refieren a la sensibilidad de longitud de onda larga (long $500\text{nm}-700\text{nm}$), longitud de onda media (medium $450\text{nm}-630\text{nm}$), y longitud de onda corta (short $400\text{nm}-500\text{nm}$). Los conos también pueden representarse como conos R, G, y B, que se refieren a la sensibilidad roja, verde, y azul, respectivamente.

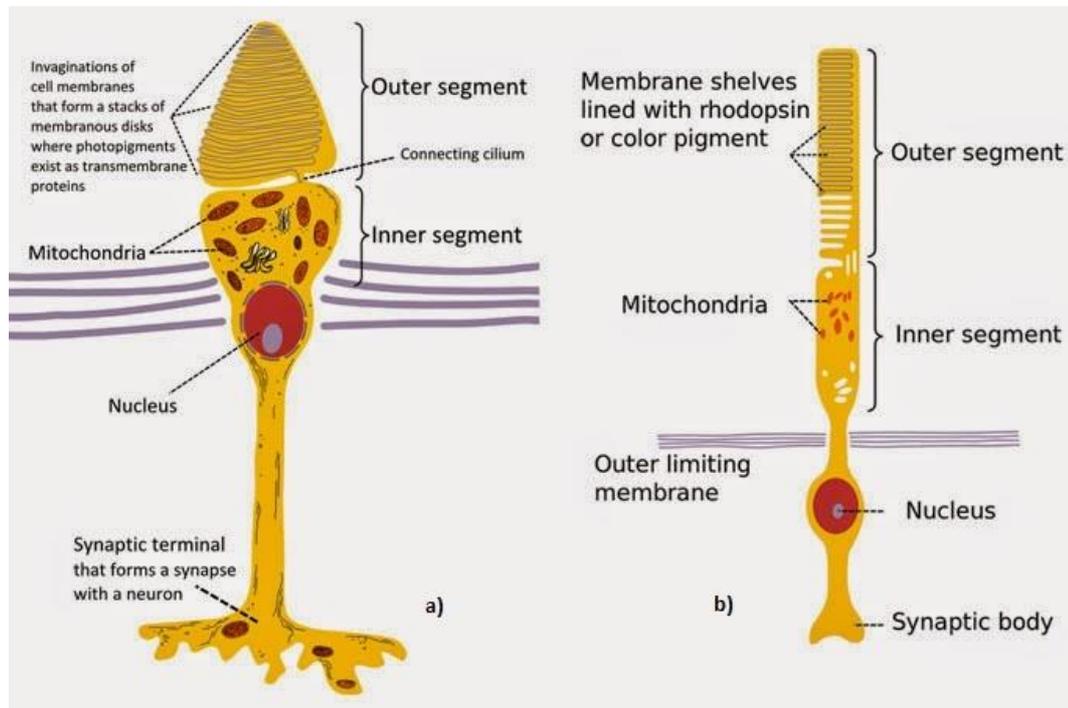


Figura 3.4 Células fotorreceptoras. A la izquierda a) cono, y a la derecha b) bastón

3.1.2 Mecanismo de la visión en color

La teoría tricromática y la teoría de colores opuestos son reconocidas como modelos psico-físicos de la visión en color. Estas teorías aportaron explicaciones de cómo se generan las salidas psico-físicas provenientes de las entradas físicas del sistema de visión humano.

La teoría tricromática propone que la visión en color es un resultado de tres tipos de células de las llamadas cono, como ya se ha mencionado, las cuales son sensibles al color rojo, verde y azul, respectivamente. Tres tipos de señales del cono de cada imagen en el mundo real se transmiten hacia el cerebro, donde las señales son correlacionadas de una manera simple y directa para generar la visión en color.

En cambio, la teoría de las componentes opuestas de color establece que el proceso visual es una interacción entre pares de señales opuestas, y que éstas son: oscuro-claro, rojo-verde, y azul-amarillo. Las células de la retina codifican el color en señales opuestas. En comparación con la teoría tricromática, la teoría de componentes opuestas explica de una manera más acertada y eficiente la percepción del color.

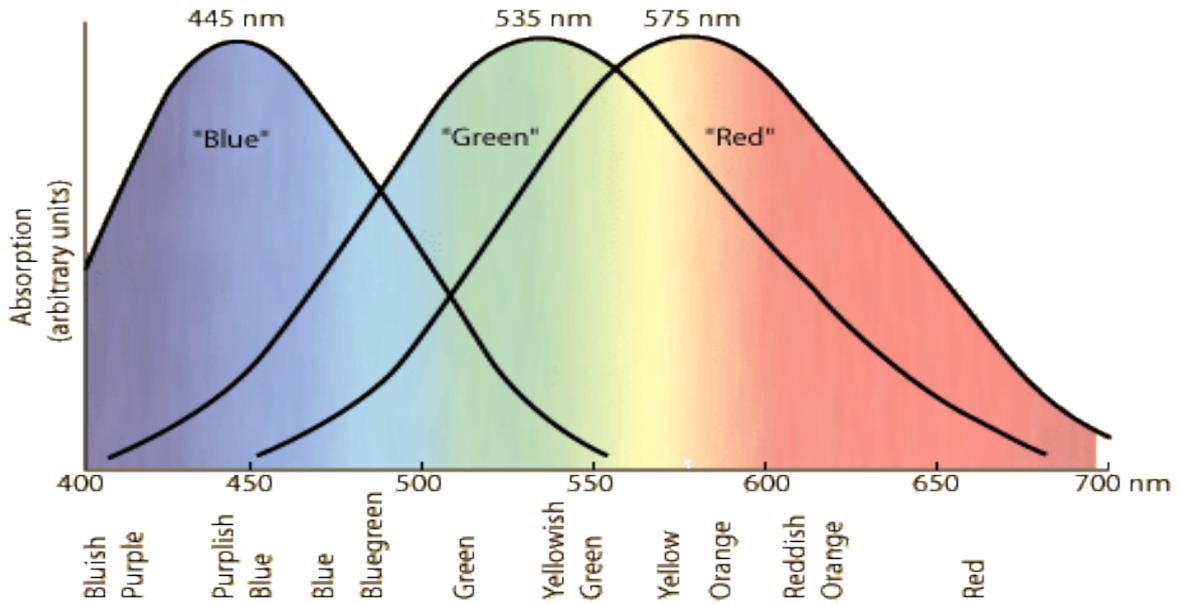


Figura 3.5 Absorción de longitud de onda de cada tipo de cono

3.1.3 Respuesta Visual Humana

La responsividad del sistema de visión humano puede representarse cuantitativamente mediante las *color matching functions* (funciones de correspondencia de colores) entre dos estímulos de color, como

$$\int_{\lambda} P_1(\lambda) \cdot L(\lambda) \cdot d\lambda = \int_{\lambda} P_2(\lambda) \cdot L(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$\int_{\lambda} P_1(\lambda) \cdot M(\lambda) \cdot d\lambda = \int_{\lambda} P_2(\lambda) \cdot M(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$\int_{\lambda} P_1(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda = \int_{\lambda} P_2(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda$$

donde $P_1(\lambda)$ y $P_2(\lambda)$ son las distribuciones espectrales de potencia de dos estímulos, y $L(\lambda)$, $M(\lambda)$ y $S(\lambda)$ representa la responsividad de los tres tipos de conos. Se necesitan solo tres integrales para que el color coincida, por tanto, $P_1(\lambda)$ y $P_2(\lambda)$ no tienen que ser iguales para toda longitud de onda.

La relación entre un estímulo de color y un conjunto de colores primarios viene dada por la siguiente expresión

$$C = R(r) + G(g) + B(b)$$

Donde C es el estímulo de color específico, los términos r , g , b , son primarios que son definidos por diferentes conjuntos primarios, y R , G , B se conocen como los valores triestímulos, los cuales indican la cantidad de los primarios necesarios para especificar el estímulo de color dado. Por lo tanto, esta ecuación implica que el color C está representado por R unidades del primario r , G unidades del primario g , y B unidades del primario b .

Pero hay dos conjuntos de valores triestímulo, los valores triestímulo RGB y los valores triestímulo XYZ. La forma de calcular los valores triestímulo XYZ se ilustra como

$$X = k \int_{\lambda} P(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Y = k \int_{\lambda} P(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Z = k \int_{\lambda} P(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$k = \frac{100}{\int_{\lambda} S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot d\lambda}$$

donde $P(\lambda)$ indica la distribución espectral de potencia, $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, y $\bar{z}(\lambda)$ son las *color matching function* percibidas por el observador estándar CIE 1931 de 2° (la sensibilidad al color por parte del ojo cambia dependiendo del ángulo de vista), $S(\lambda)$ es la “concentración espectral de la potencia radiante de la fuente iluminante del objeto”.

El diagrama de cromaticidad se desarrolló para proporcionar una representación bidimensional de los colores. La transformación de los valores triestímulos al diagrama de cromaticidad viene dada por:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

Dado que el diagrama de cromaticidad trata de especificar un estímulo de color como información bidimensional x e y , la tercera información dimensional z se puede obtener siempre de esta forma:

$$z = 1 - x - y$$

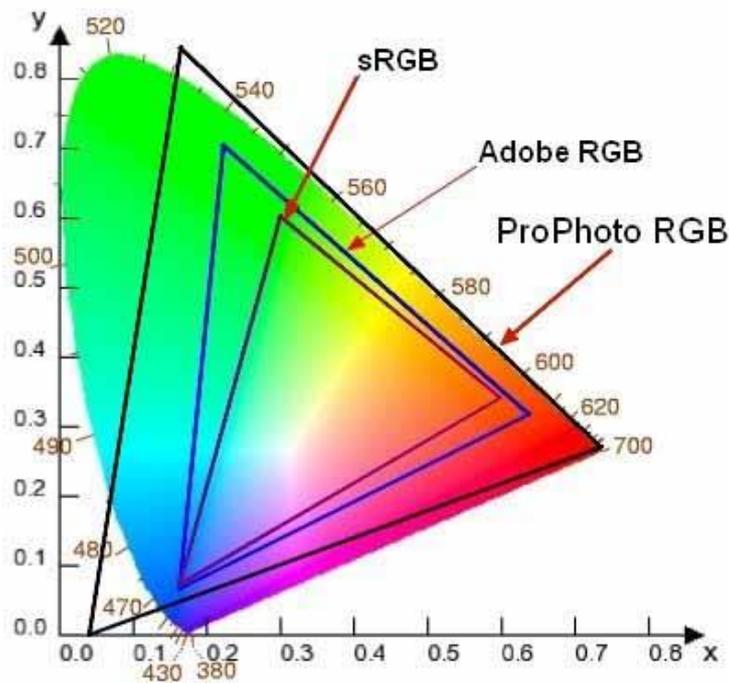


Figura 3.6 Diagrama de cromaticidad CIE XYZ y diferentes espacios de color

3.2 Color y espacios de color

Lo primero que haremos será una breve definición de espacio de color, y enumeraremos algunos de los existentes.

Un espacio de color es una representación matemática de un conjunto de colores. Existen varios espacios de color porque cada uno presenta la información del color de manera que hacen ciertos cálculos más convenientes o porque proporcionan una manera de identificar los colores más intuitiva.

Para discutir la medida de la diferencia de colores o la magnitud relativa entre dos estímulos de color, se deberían entender primero varios atributos fundamentales del color: los espacios de color representan modelos geométricos de la percepción del color humana. El color también puede ser representado por valores triestímulos u otros atributos cuantitativos en diferentes espacios de color.

3.2.1 Atributos fundamentales de la percepción del color

El color perceptivo se puede definir de manera no cuantitativa. En la tabla siguiente podemos ver algunos atributos del color perceptivo.

Tabla 4. Atributos del color perceptivo

Tonalidad	La tonalidad es un atributo de la sensación visual, que puede ser descrito como rojo, amarillo, azul, verde, morado, etc. Un color cromático es percibido con tonalidad. Un color acromático es percibido desprovisto de tonalidad.
Claridad	La claridad refleja el estímulo de color que emite más o menos luz bajo cierta iluminación y condiciones de visión.
Croma	La croma define el grado para el cual un estímulo de color cromático difiere de un estímulo de color acromático

3.2.2 RGB CIE y XYZ CIE

Los conocidos como espacios de color CIE 1931 son los primeros enlaces definidos de forma cuantitativa entre los colores físicos puros (longitudes de onda en el espectro visible electromagnético), y los colores percibidos fisiológicamente por el sistema de visión humano.

RGB

El espacio RGB es uno de los más conocidos y el primero en utilizarse. Se emplea frecuentemente en pantallas e impresoras. Los tres colores primarios que utilizan son el rojo (Red), el verde (Green) y el azul (Blue) cuyas longitudes de onda están asociadas a los máximos de sensibilidad de los conos y son:

$$\lambda_R = 770nm$$

$$\lambda_G = 546.1nm$$

$$\lambda_B = 435.8nm$$

Dependiendo del rango otorgado a las componentes, éstas pueden variar entre 0 y 255, o entre 0 y 1. Siendo el valor (0, 0, 0) el negro y el (1, 1, 1) el blanco. Así pues, si representamos cada una de las componentes en un eje de un sistema cartesiano obtenemos un cubo (Figura 3.7). La diagonal central de dicho cubo que parte desde el origen hasta la esquina opuesta es justamente la escala de grises.

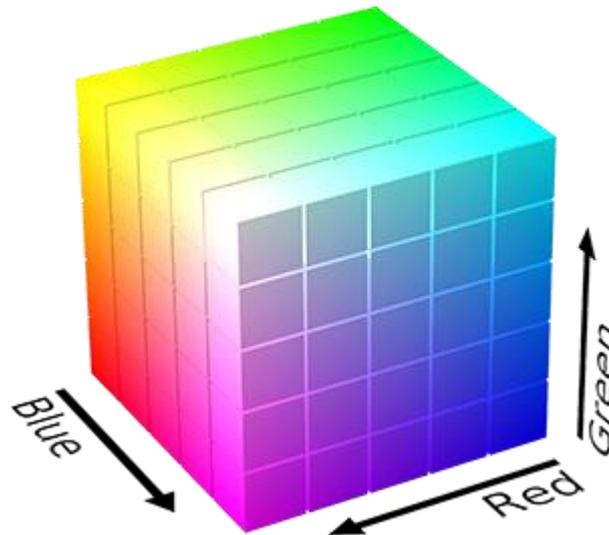


Figura 3.7 Representación tridimensional del espacio RGB

Las coordenadas del diagrama de cromaticidad son:

$$r = \frac{R}{R+G+B}$$

$$g = \frac{G}{R+G+B}$$

$$b = \frac{B}{R+G+B}$$

Como inconvenientes podemos citar que se trata de un modelo no uniforme. Esto quiere decir que la “diferencia” entre colores no la podemos estimar midiendo la distancia que existe entre la representación 3D de un par de colores. Hay colores próximos espacialmente que son más diferentes perceptivamente hablando y viceversa. Otro inconveniente es que salvo una variante creada por la CIE, el sRGB, los demás varían dependiendo del dispositivo y que algunos colores no son sintetizables al representar valores negativos en el espectro.

XYZ

El espacio XYZ supuso el establecimiento del primer espacio de color estandarizado, para solventar el problema del triestímulo y de la necesidad de adjudicar valores negativos a algún primario para la síntesis de algunos colores del espectro visible. Efectuando una transformación lineal del espacio RGB, y utilizando las luces imaginarias X, Y, Z, se puede crear cualquier color (que antes no se lograba), con cantidades positivas en todos los casos. Hemos pasado a un triestímulo que nos permite más posibilidades de obtención de colores, a pesar de utilizar unas luces no existentes físicamente.

Se han propuesto varias matrices de transformación del espacio RGB para convertir en XYZ, dependiendo del blanco que se tome como referencia. Además, otra ventaja de este sistema es que es independiente del dispositivo que se utilice y del hardware.

3.2.3 Espacio de color CIE L*a*b*

CIE L*u*v* y CIE L*a*b* (CIELAB) son dos espacios de color recomendados por CIE y basados en CIE XYZ. Los dos sistemas se fundamentan en la teoría de los colores opuestos, como se especificará más adelante. Estos espacios tienen coordenadas tridimensionales que relacionan aproximadamente los valores triestímulo con la claridad, croma y tonalidad percibidos para un estímulo de color. Sin embargo, el principal propósito para desarrollar estos espacios de color es promover la uniformidad de las fórmulas de diferencias de color. Uniformidad que, en el ámbito de los espacios de color podríamos definir como “linealidad perceptiva”. Esto significa que un cambio de la misma cantidad en un valor de color debe producir un cambio casi de la misma importancia visual. Dicho esto, nos centraremos ahora en el espacio CIE L*a*b* ya que es uno de los que usaremos en nuestro proyecto.

El espacio de color CIE L*a*b* se define así

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16$$

o

$$L_m^* = 903.3 \frac{Y}{Y_n} \quad \forall \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856$$

y

$$a^* = 500 \left[f \left(\frac{X}{X_n} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \right]$$

$$b^* = 200 \left[f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_n} \right) \right]$$

donde

$$f(\omega) = (\omega)^{1/3} \quad \forall \omega > 0.008856$$

o

$$f(\omega) = 7.787(\omega) + \frac{16}{116} \quad \forall \omega \leq 0.008856$$

En las ecuaciones anteriores X , Y , Z son los valores triestímulos de los estímulos y X_n , Y_n , Z_n son los valores triestímulos del blanco de referencia.

La figura 3.8 ilustra una representación cilíndrica del espacio de color CIE L*a*b* donde L^* mide la claridad percibida que se mueve en un rango desde negro (0.0) a blanco (100.0), a^* indica la percepción de croma rojo-verde, mientras que b^* indica la percepción de croma azul-amarillo. Además, la representación cilíndrica del espacio de color CIE L*a*b* aporta los elementos necesarios para calcular la croma C_{ab}^* y el ángulo de tonalidad en grados h_{ab} :

$$C_{ab}^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})}$$

$$h_{ab} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

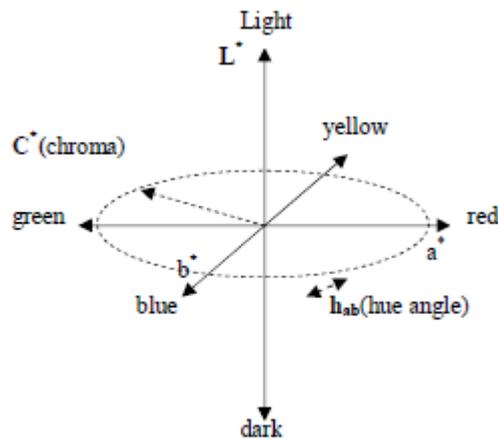


Figura 3.8 Representación cilíndrica del espacio de color CIE L*a*b*

3.3 Fórmulas de diferencias de color basadas en CIE L*a*b*

Basándonos en las propiedades geométricas y trigonométricas, la distancia entre dos puntos cualesquiera del espacio referidos a un sistema de tres dimensiones viene dada por la siguiente fórmula:

$$d_E(A, B) = \sqrt{(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2}$$

Siendo A y B dos puntos distintos del espacio tridimensional. En cuanto a los espacios de color las componentes (a_1, a_2, a_3) serían, por ejemplo las componentes de rojo, verde y azul en el espacio RGB. Esta distancia recibe el nombre de distancia euclídea o euclidiana.

Por tanto, la fórmula original de diferencia de color asociada con el espacio de color CIE L*a*b* es la distancia euclídea, ya que este espacio se definió como uniforme. La distancia entre un punto a y un punto b es la siguiente:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

donde ΔL^* , Δa^* , Δb^* son diferencias en términos de L^* , a^* , b^* .

Desgraciadamente, varias evaluaciones del espacio han revelado que no es una medida especialmente buena de la magnitud de la percepción de la diferencia cromática entre dos estímulos, debido a que varias evaluaciones del espacio CIE L*a*b* revelaron que no era totalmente uniforme, como se creía en un principio. Además, la distancia euclídea no es una distancia que esté estrechamente ligada a las distancias perceptivas de los colores por parte de los humanos.

Consecuentemente, para mejorar la uniformidad de las medidas de diferencias de color, CIE recomendó en 1994 una nueva ecuación de diferencia de color para uso industrial, este sistema fue llamado CIE 1994. Con

ello, se pretendía que una mayor distancia implicara una mayor diferencia colorimétrica según nuestra capacidad perceptiva, intentando que su proporcionalidad fuera lo más lineal posible.

Aquí se muestra la fórmula de la distancia CIE94:

$$\Delta E_{94}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}^*}{k_H S_H}\right)^2}$$

Con

$$\Delta L^* = L_2 - L_1$$

$$\Delta a^* = a_2 - a_1$$

$$\Delta b^* = b_2 - b_1$$

$$\Delta C_{ab}^* = C_{ab,2}^* - C_{ab,1}^* = \sqrt{a_2^2 + b_2^2} - \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$$

$$\Delta H_{ab}^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} - (\Delta C_{ab}^*)^2$$

$$S_L = 1$$

$$S_C = 1 + K_1 C_1^*$$

$$S_H = 1 + K_2 C_1^*$$

donde ΔL^* , ΔC_{ab}^* y ΔH_{ab}^* son diferencias de claridad, croma, y tonalidad que pueden ser siempre computadas en el espacio de color CIELAB, k_L , k_C y k_H son los factores paramétricos (normalmente iguales a la unidad para el blanco de referencia) que se ajustan para distintas condiciones experimentales de las componentes de claridad, croma y tonalidad, S_L , S_C y S_H son las funciones de ponderación para mantener la uniformidad perceptual del espacio de color CIELAB. Finalmente K_1 , K_2 (y k_L) dependen del tipo de aplicación:

- Para artes gráficas: $k_L = 1$, $K_1 = 0.045$, $K_2 = 0.015$
- Para textil: $k_L = 2$, $K_1 = 0.048$, $K_2 = 0.014$

En 2001 CIE volvió a desarrollar una nueva ecuación de diferencias de color llamada CIEDE2000. No obstante, a causa de su elevado coste computacional, no se justifica su uso en determinadas aplicaciones.

4 METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la metodología seguida para llevar a cabo nuestro trabajo, explicando de una forma algo más profunda los pormenores de la realización práctica del mismo. Basándonos en el *paper* de S.Seidenari et al. llamado Computer description of colours in dermoscopic melanocytic lesion images reproducing clinical assessment, se ha implementado el método propuesto, adaptándolo a nuestras necesidades. Además, se ha ampliado este trabajo al proponer otras dos implementaciones distintas. Finalmente, se estableció una comparativa de los resultados arrojados por todos los métodos.

A modo de esquema, podemos ver en la Figura 4.1 el diagrama de flujo seguido en la realización nuestro estudio.

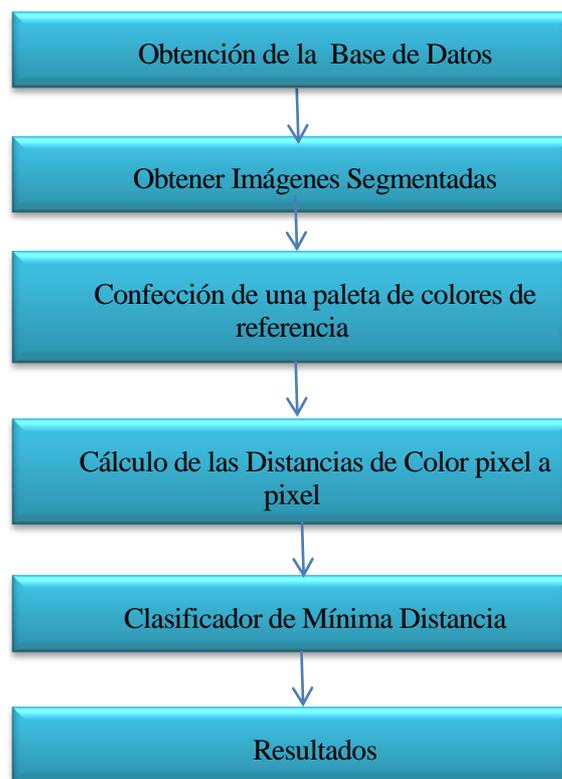


Figura 4.1 Diagrama de flujo de nuestro proceso

Evaluación de los dermatólogos

En el atlas utilizado, una evaluación de los colores presentes en cada lesión es suministrada, además esta evaluación fue revisada por un especialista clínico indicando para cada imagen, la presencia de negro, marrón oscuro, marrón claro, azul-gris, rojo y blanco, así como el número de colores presentes.

Confección manual de la paleta de colores

Se eligió un conjunto de 30 imágenes de lesiones pigmentadas de la piel para cada color, que inequívocamente mostraban componentes de color negro, marrón oscuro, marrón claro, rojo, blanco y azul-gris, como población de muestra para el desarrollo de la paleta de color. Estas imágenes no fueron incluidas en la fase de test. De dichas imágenes, posteriormente, se extrajeron recortes de 30 x 30 píxeles de tamaño de manera manual sobre diferentes regiones de interés. Con eso, obtuvimos un conjunto grande de muestras de color. Sin embargo, para evitar la selección de demasiados recortes de colores, se hizo la media RGB de todos los recortes y se calculó la distancia entre ellos. Los que presentaban una distancia entre sí menor que un umbral establecido en 0.03 (es decir, se parecían más) se descartaban. Por tanto, la paleta final obtenida a partir de dicha base de datos, consistió en 80 recortes de color. Por último, se formaron los 6 grupos de color correspondientes a los colores que habían sido determinados por el especialista previamente sobre dichas imágenes de entrenamiento. De esta manera, 18 fueron atribuidos al azul, 6 se atribuyeron al blanco, 23 al marrón claro, 11 al marrón oscuro, 15 al negro, y 7 al rojo. En la siguiente imagen se muestra la paleta al completo:

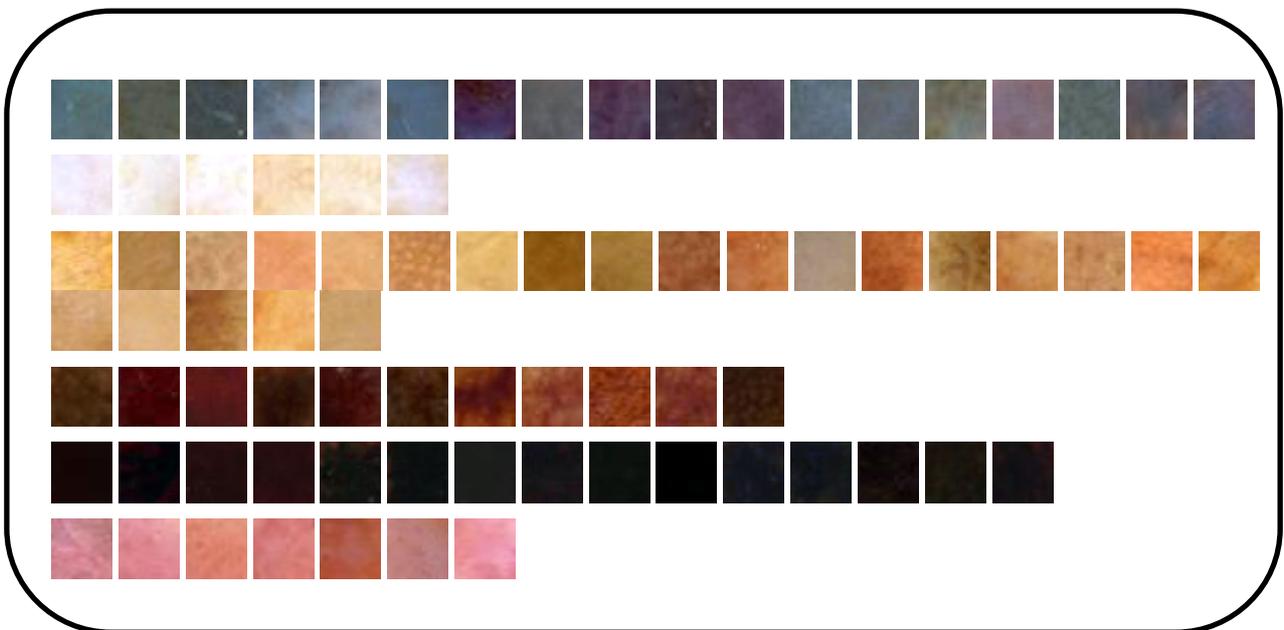


Figura 4.2 Paleta de color al completo ordenada por grupos de color. En este orden: azul-gris, blanco, marrón claro, marrón oscuro, negro y rojo

Es muy importante destacar que esta es una tarea muy sensible y que debe ser llevada a cabo de forma cuidadosa, ya que de la selección de los recortes realizada dependen los posteriores resultados que se hallarán. Y es que hay que pensar que si por ejemplo, hay un recorte encasillado dentro del grupo de “marrón oscuro” que se parezca demasiado a otro de los grupos “marrón claro” o “rojo”, esto podría producir que grandes áreas de las lesiones se clasifiquen con un color que realmente no tienen. Este es uno de los principales problemas con los que se ha tenido que lidiar.

Detección de la región de color

La forma en la que se detecta el color es la siguiente: a cada pixel de la imagen se le asignó el color del recorte perteneciente a la paleta, cuya distancia de color era mínima. Las distancias aquí empleadas serán tres:

- Euclídea en espacio RGB
- Euclídea en espacio Lab
- CIE94 en espacio Lab

Una vez asignados los colores genéricos (negro, marrón oscuro, marrón claro, rojo, blanco y azul) de cada grupo de colores, se introdujeron unos valores umbrales para el área de las regiones de color; 2% del área de la lesión para el negro, marrón oscuro y marrón claro; 1.5% del área de la lesión para el blanco; 1% del área de la lesión para el azul-gris; y 0.5% del área de la lesión para el rojo. Esto fue realizado para evitar la inclusión de colores de áreas de color demasiado pequeñas y sin relevancia clínica.

Mencionar que tanto la confección de la paleta como la detección del color, se han llevado a cabo mediante el uso del software matemático Matlab. Este software tiene un lenguaje de programación propio.

Comparación entre la evaluación clínica y la valoración por ordenador

Finalmente, se compararon el número de colores y el tipo de las imágenes valoradas clínicamente con las que fueron determinadas por ordenador con ayuda de nuestra herramienta, aunque lo más importante fue la comparación realizada entre las valoraciones de color que se hicieron con las tres combinaciones de espacio de color y distancia.

5 RESULTADOS

5.1 Resultados

En este apartado presentaremos los resultados. Estos resultados dependen de la base de datos tomada, por lo que seguidamente se expone una breve explicación:

Base de datos de imágenes

La base de datos está compuesta por 200 imágenes de lesiones melanocíticas extraídas del Atlas Interactivo de Dermatoscopia. De esas 200 imágenes, 80 se corresponden con melanomas (MM) mientras que las restantes son lesiones benignas (22 Nevo azul, 55 Clark y 43 Spitz). Las lesiones incluidas en esta base de datos fueron extirpadas para examinación histopatológica. Las imágenes digitales tienen un tamaño de 768 x 512 píxeles. Cabe indicar que la segmentación de lesiones queda fuera del alcance de este proyecto. Podemos ver un ejemplo en las siguientes figuras:



Figura 5.1 Imagen dermatoscópica perteneciente a la carpeta “Blue nevus” junto a su máscara o imagen segmentada

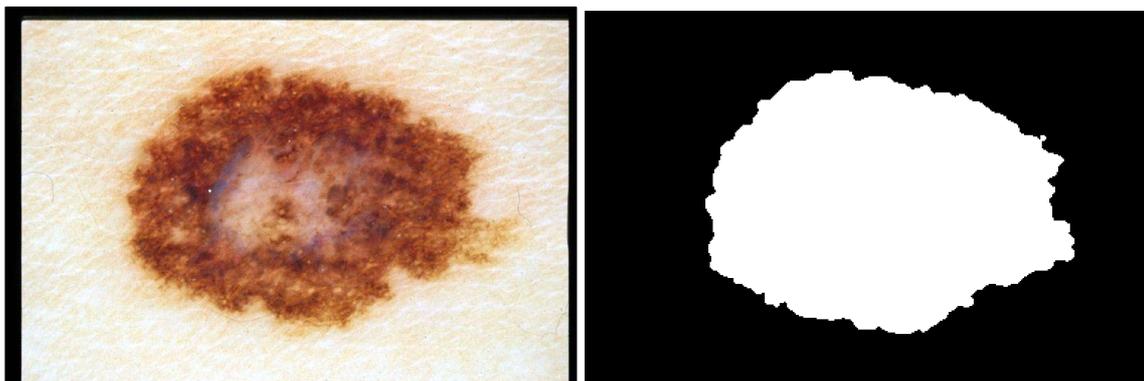


Figura 5.2 Imagen dermatoscópica perteneciente a la carpeta “Clark” junto a su máscara o imagen segmentada (se aprecia un tamaño mayor que la imagen anterior)

A continuación mostramos varios ejemplos de imágenes resultados. En las figuras que se presentan seguidamente, se muestra la imagen original, junto con las imágenes resultantes de cada una de las implementaciones llevadas a cabo en este estudio:

- RGB+EUCLÍDEA: Espacio RGB y distancia Euclídea
- LAB+EUCLÍDEA: Espacio LAB y distancia Euclídea
- LAB+CIE94: Espacio LAB y distancia CIE94

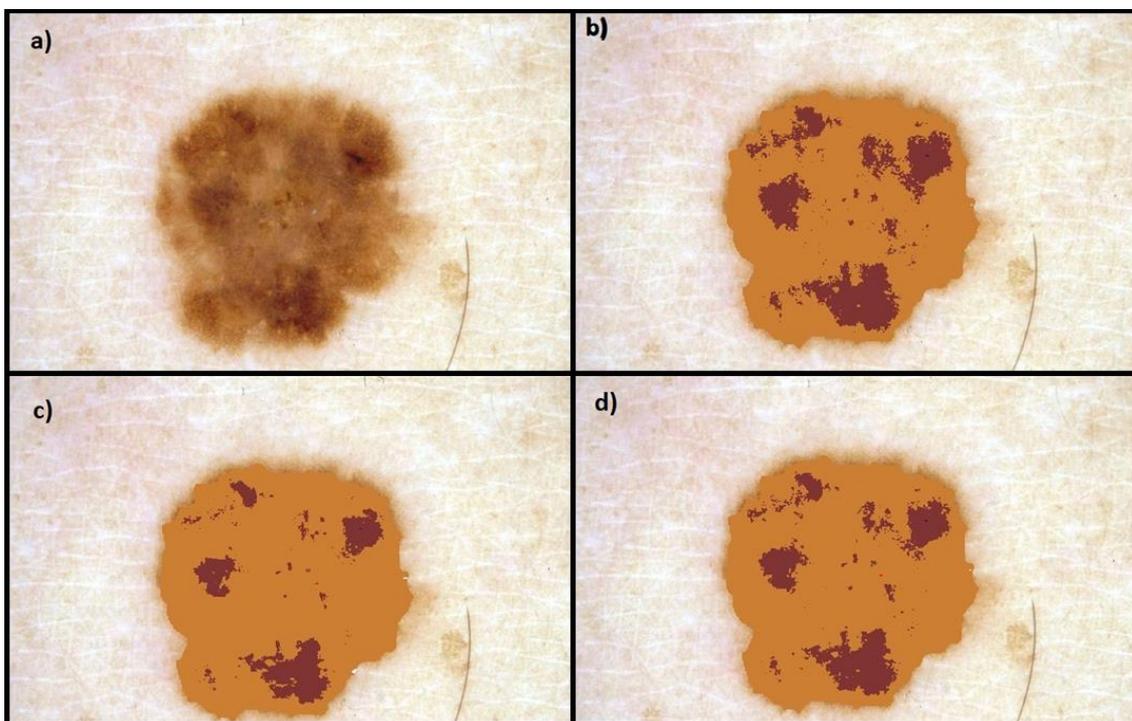


Figura 5.3 Ejemplo 1. Comparación de imágenes resultado: a) Imagen original, b) RGB+EUCLÍDEA, c) LAB+EUCLÍDEA, d) LAB+CIE94

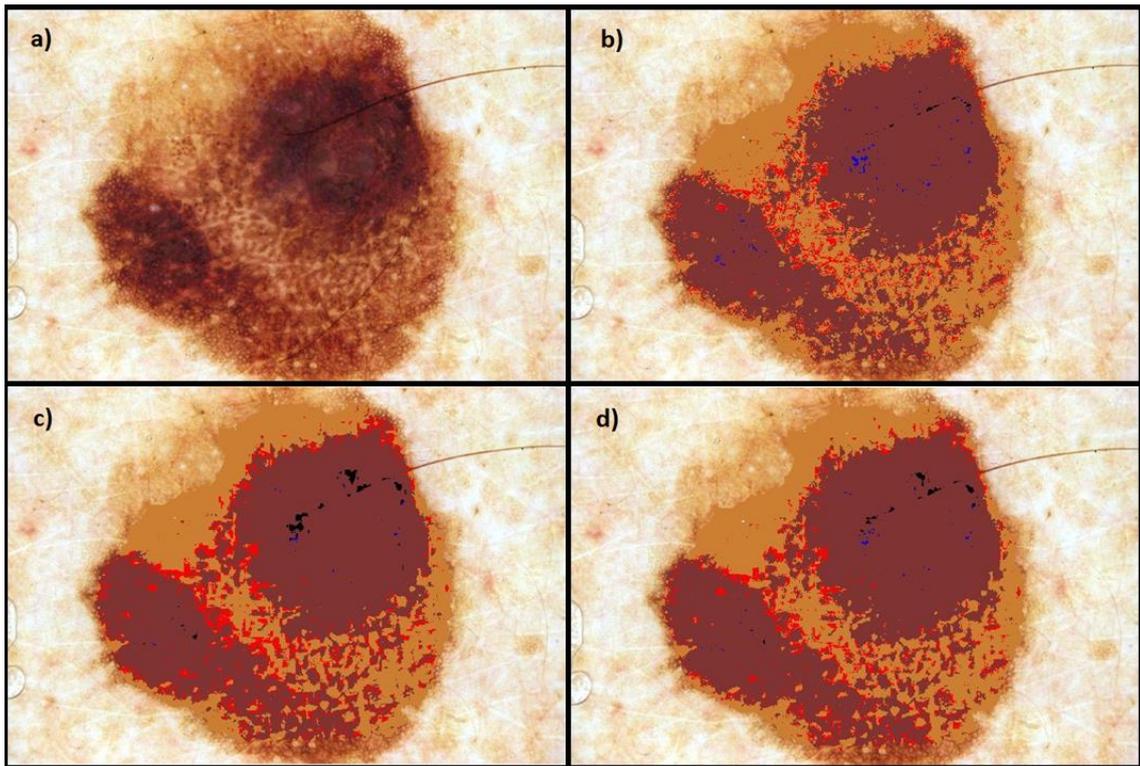


Figura 5.4 Ejemplo 2.Comparación de imágenes resultado: a) Imagen original, b) RGB+EUCLÍDEA, c) LAB+EUCLÍDEA, d) LAB+CIE94

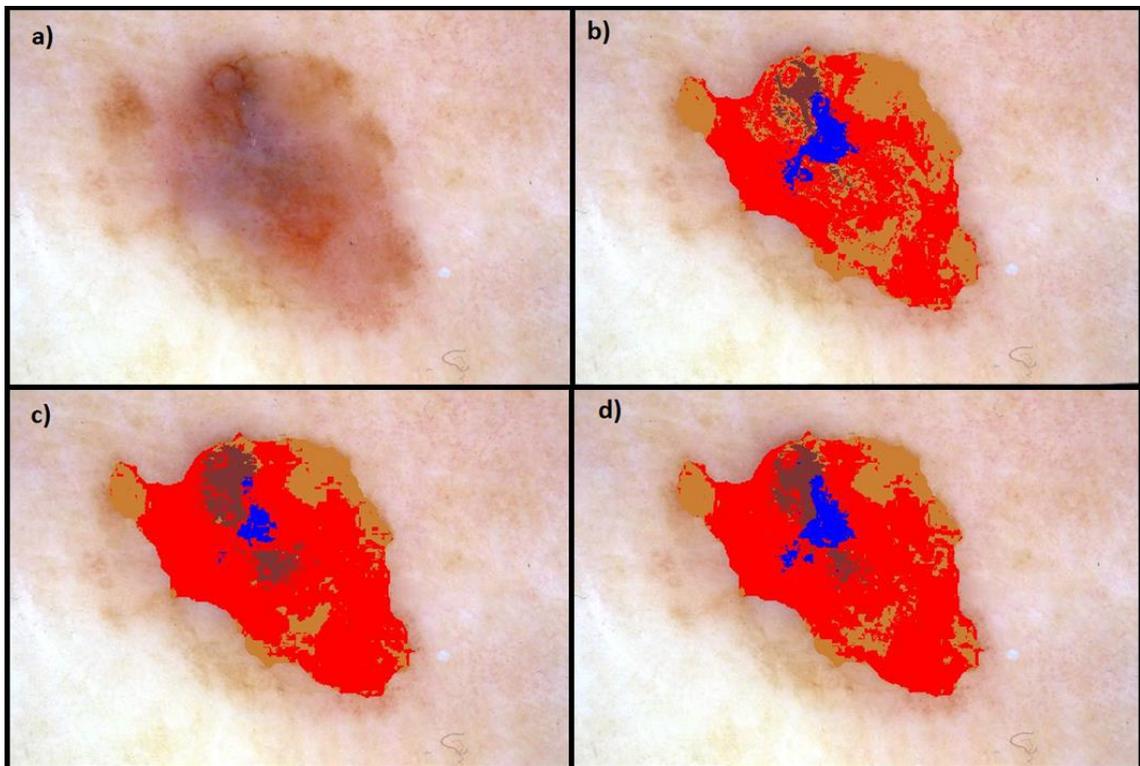


Figura 5.5 Ejemplo 3.Comparación de imágenes resultado: a) Imagen original, b) RGB+EUCLÍDEA, c) LAB+EUCLÍDEA, d) LAB+CIE94

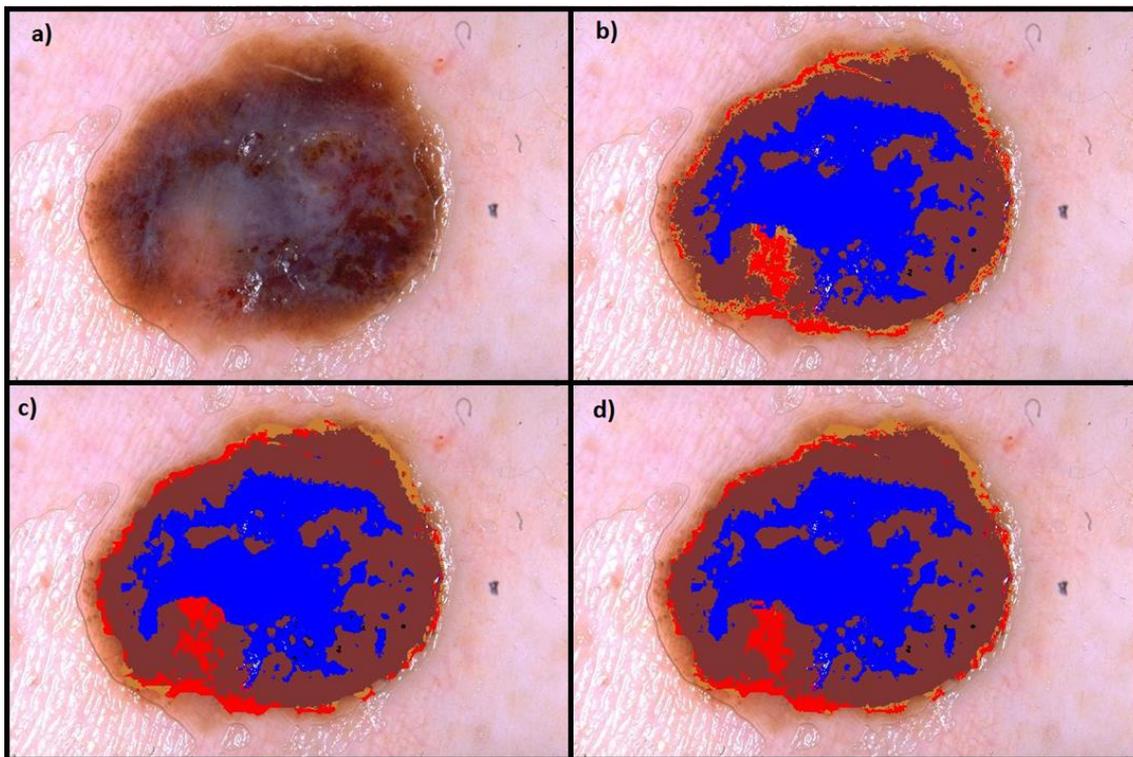


Figura 5.6 Ejemplo 4. Comparación de imágenes resultado: a) Imagen original, b) RGB+EUCLÍDEA, c) LAB+EUCLÍDEA, d) LAB+CIE94

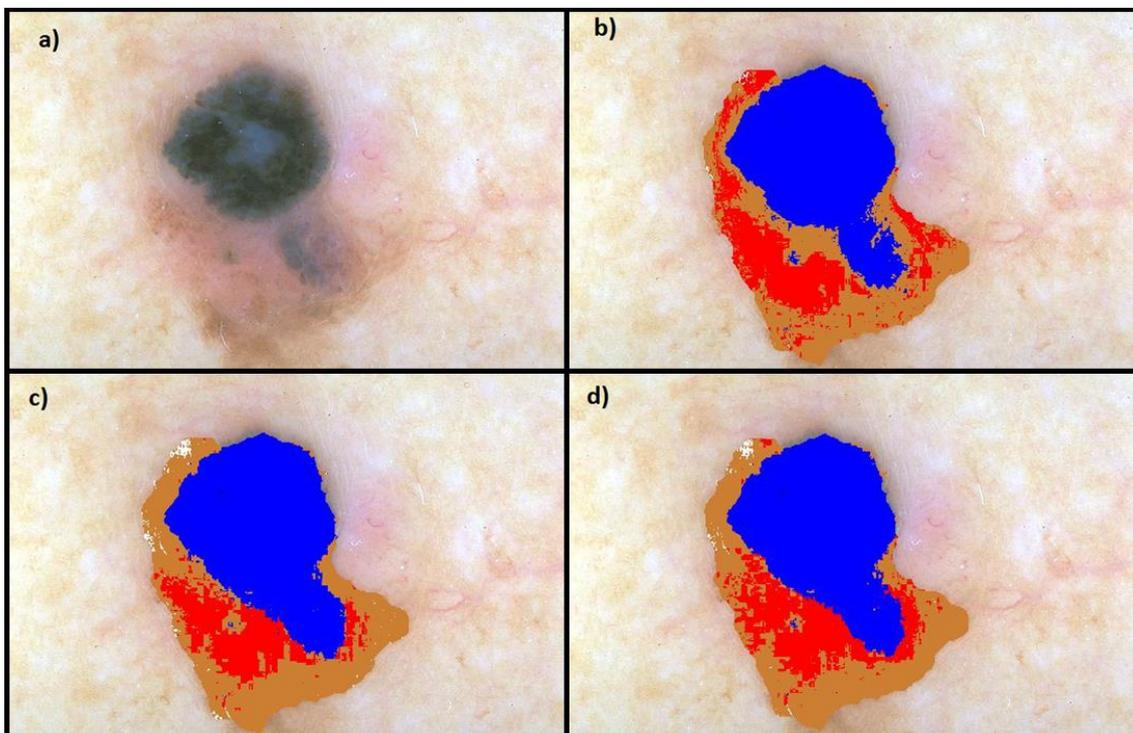


Figura 5.7 Ejemplo 5. Comparación de imágenes resultado: a) Imagen original, b) RGB+EUCLÍDEA, c) LAB+EUCLÍDEA, d) LAB+CIE94

5.2 Evaluación

Para la evaluación emplearemos diferentes medidas. Todas las medidas presentan una comparativa entre lo obtenido con el método propuesto y la evaluación clínica. Las medidas empleadas son:

- Porcentaje de cada color presentado en las lesiones comparado con la evaluación del especialista
- Número de colores por lesión. Media y desviación estándar
- Concordancia entre evaluación por ordenador y evaluación clínica para la presencia de uno a tres colores, en contraposición con cuatro a seis colores
- Sensibilidad, especificidad y precisión

Los resultados se presentan para los 3 casos estudiados: Euclídea en RGB, Euclídea en espacio Lab, y CIE94 en espacio Lab. Posteriormente se presenta una comparación entre ellos.

5.2.1 Porcentaje de cada color presentado en las lesiones comparado con la evaluación del especialista

En primer lugar, expondremos los resultados obtenidos por el análisis con el espacio de color RGB y la distancia Euclídea. Seguidamente, los resultados de la distancia Euclídea en el espacio de color Lab; y para concluir, los resultados obtenidos por la distancia CIE94 en el espacio de color Lab.

Tabla 5. Porcentaje de presencia de un solo color en lesiones benignas y melanomas, evaluados tanto clínicamente como por ordenador para el análisis RGB+EUCLÍDEA

	Presencia en lesiones benignas en %		Presencia en MMs en %	
	Valoración clínica	Valoración por ordenador	Valoración clínica	Valoración por ordenador
Negro	45.83	22.5	73.75	28.75
Marrón oscuro	75.83	70.83	91.25	80
Marrón claro	60	83.33	76.25	95
Rojo	5.83	42.5	13.75	55
Blanco	2.5	18.33	12.5	11.25
Azul-gris	54.16	65	82.5	82.5

La presencia del color negro fue detectada en un 73.75 % de los MMs y en un 45.83 % de las lesiones benignas por el especialista, y en un 28.75 % de los MMs y en un 22.5 % de las lesiones benignas por el ordenador. Para el color rojo, su presencia fue detectada en el 13.75 % de los MMs y en un 5.83 % de las lesiones benignas por el especialista, y en un 55 % de los MMs y en un 42.5 % de las lesiones benignas valoradas por ordenador. Para estos colores se produce una importante discrepancia entre ordenador y especialista. Las diferencias eran significativas en ambos casos, mientras que no se observaron diferencias notables en cuanto a los colores marrón oscuro, blanco, y azul-gris entre lo valorado por el especialista y lo calculado por el ordenador. En el color marrón claro se produce una discrepancia no demasiado grande entre lo valorado por especialista y ordenador.

Tabla 6. Porcentaje de presencia de un solo color en lesiones benignas y melanomas, evaluados tanto clínicamente como por ordenador para el análisis LAB+EUCLÍDEA

	Presencia en lesiones benignas en %		Presencia en MMs en %	
	Valoración clínica	Valoración por ordenador	Valoración clínica	Valoración por ordenador
Negro	45.83	22.5	73.75	31.25
Marrón oscuro	75.83	70.83	91.25	82.5
Marrón claro	60	80	76.25	93.75
Rojo	5.83	36.66	13.75	55
Blanco	2.5	20	12.5	11.25
Azul-gris	54.16	60	82.5	82.5

En este caso el color negro fue detectado en un 31.25 % de los MMs y en un 22.5 % de las lesiones benignas por el ordenador. Ahora para el color rojo, se mantiene la presencia en un 55 % de los MMs, pero es detectado en un 36.66 % de las lesiones benignas valoradas por ordenador, lo que supone un acercamiento a los valores que se valoraron clínicamente. No se observaron diferencias notables en cuanto a los colores marrón oscuro, rojo, blanco y azul-gris entre lo valorado por el especialista y lo calculado por el ordenador. En el color marrón claro se produce una disconcordancia no demasiado grande entre lo valorado por especialista y ordenador. Alguno valores varían muy ligeramente, casi siempre acercándose a los valores estimados por el especialista, excepto para el blanco en lesiones benignas, que pasa de un 18.33 % a un 20 %. Podemos apreciar una menor diferencia generalizada entre los resultados del especialista y los de nuestra herramienta, respecto al método anterior.

Tabla 7. Porcentaje de presencia de un solo color en lesiones benignas y melanomas, evaluados tanto clínicamente como por ordenador para el análisis LAB+CIE94

	Presencia en lesiones benignas en %		Presencia en MMs en %	
	Valoración clínica	Valoración por ordenador	Valoración clínica	Valoración por ordenador
Negro	45.83	23.33	73.75	35
Marrón oscuro	75.83	71.66	91.25	81.25
Marrón claro	60	79.16	76.25	93.75
Rojo	5.83	35	13.75	47.5
Blanco	2.5	17.5	12.5	11.25
Azul-gris	54.16	64.16	82.5	81.25

El color negro sigue presentando las mayores diferencias, aunque esta vez, algo más suavizadas. Fue detectado en un 35 % de los MMs (anteriormente un 31.25 %) y en un 23.33% (anteriormente un 22.5 %) de las lesiones benignas por el ordenador. Para el color rojo, los valores son parecidos al anterior caso, aunque algo más cercanos a la valoración clínica (47.5 % y 35% en la valoración por ordenador para MMs y lesiones benignas, respectivamente). En cuanto al resto de colores se mantienen unos números aproximadamente iguales (oscilaciones en torno al 5%) entre lo valorado por este método y el previamente comentado.

Según la valoración clínica, se puede apreciar que ciertos colores se dan con más frecuencia en MMs que en lesiones benignas. Éstos son: el negro, el rojo, el blanco y el azul-gris. Los colores marrón claro, y marrón oscuro se muestran como los colores que más se repiten en lesiones benignas, y son dos de los tres más frecuentes en MMs. Además, no se encontraron diferencias significativas entre el número de MMs y el número de lesiones benignas que mostraban estos colores.

5.2.2 Número de colores por lesión. Media y desviación estándar

En este apartado se presenta otro resultado a tener en cuenta: el número de colores por lesión.

A razón de esto, se comentan los valores obtenidos en la Tabla 8. Los MMs mostraron 3.5 ± 0.6560 y 3.525 ± 0.8564 colores por lesión (media \pm desviación estándar), para la valoración clínica y por el método de la distancia Euclídea sobre el espacio RGB, respectivamente; mientras que, del mismo modo, para las lesiones benignas se detectaron 2.44 ± 0.6834 y 3.025 ± 1.0245 colores por lesión.

También se encontraron diferencias significativas para la presencia de uno o dos colores, la cual era más frecuente en las lesiones benignas, y para la presencia de tres, cuatro o cinco colores, la cual era más frecuente en MMs. De acuerdo con la evaluación clínica, el 94.16% de las lesiones benignas mostraban de uno a tres colores, mientras que el 51.25% de los MMs tenían de cuatro a seis colores (para la evaluación por ordenador 65.82% y 53.75%, respectivamente).

Tabla 8. Porcentaje de lesiones que muestran de uno a seis colores (entre paréntesis el número de imágenes que corresponde a cada grupo) de acuerdo con la valoración clínica y por ordenador, para el análisis RGB+EUCLÍDEA

Número de colores	Lesiones benignas		MMs	
	Valoración clínica	Valoración por ordenador	Valoración clínica	Valoración por ordenador
1	5 (6)	5.83(7)	0	2.5 (2)
2	51.66 (62)	26.66 (32)	5 (4)	6.25 (5)
3	37.5 (45)	33.33 (40)	43.75 (35)	37.5 (30)
4	5.83 (7)	27.5 (33)	47.5 (38)	43.75 (35)
5	0	6.66 (8)	3.75 (3)	10 (8)
6	0	0	0	0
Media \pm SD	2.44 \pm 0.6834	3.025 \pm 1.0245	3.5 \pm 0.6560	3.525 \pm 0.8564

Para el siguiente método, distancia Euclídea sobre el espacio Lab, los MMs mostraron 3.5625 ± 0.9657 colores por lesión para la valoración por ordenador; mientras que, para las lesiones benignas se detectaron 2.9 ± 1.0158 colores por lesión como se puede observar en la Tabla 10. Estos datos implican que la valoración por

ordenador se acerca más a lo medido por el especialista en cuanto a lesiones benignas. No obstante, en el caso de los MMs se aleja una cantidad casi despreciable. En esta ocasión se obtiene la mayor diferencia entre el número de colores que presentan melanomas y lesiones benignas, entre los tres métodos.

Igual que antes, las diferencias eran palpables para la presencia de uno o dos colores, lo cual era más frecuente en las lesiones benignas, y para la presencia de tres, cuatro o cinco colores, la cual era más frecuente en MMs. Como ya se ha mencionado respecto a la evaluación clínica, el 94.16% de las lesiones benignas mostraban de uno a tres colores, mientras que el 51.25% de los MMs tenían de cuatro a seis colores. En el caso que nos ocupa, la evaluación por ordenador nos muestra que el 70 % de las lesiones benignas presentan de uno a tres colores, y que el 58.75 % de los MMs presentan de cuatro a seis colores.

Con este método, a diferencia del resto, se dió el caso de tener los 6 colores en la misma lesión.

Tabla 9. Porcentaje de lesiones que muestran de uno a seis colores (entre paréntesis el número de imágenes que corresponde a cada grupo) de acuerdo con la valoración clínica y por ordenador, para el análisis LAB+EUCLÍDEA

Número de colores	Lesiones benignas		MMs	
	Valoración clínica	Valoración por ordenador	Valoración clínica	Valoración por ordenador
1	5 (6)	6.66 (8)	0	2.5 (2)
2	51.66 (62)	31.66 (38)	5 (4)	11.25 (9)
3	37.5 (45)	31.66 (38)	43.75 (35)	27.5 (22)
4	5.83 (7)	25 (30)	47.5 (38)	46.25 (37)
5	0	5 (6)	3.75 (3)	11.25 (9)
6	0	0	0	1.25 (1)
Media \pm SD	2.44 \pm 0.6834	2.9 \pm 1.0158	3.5 \pm 0.6560	3.5625 \pm 0.9657

En último lugar, mediante la distancia CIE94 sobre el espacio Lab, los MMs mostraron 3.45 ± 0.8986 colores por lesión; mientras que, para las lesiones benignas se detectaron 2.908 ± 0.9872 colores por lesión como se puede observar en la Tabla 11.

De nuevo, se observan claras diferencias para la presencia de uno o dos colores, la cual era más frecuente en las lesiones benignas (35 % frente al 13.75 % en MMs); y también en la presencia de tres, cuatro o cinco colores, la cual era más frecuente en MMs (86.25 % frente a 65 % en lesiones benignas). La detección del número de colores en MMs se ajusta bastante al número de colores determinado por el especialista. Los valores para la evaluación por ordenador de las lesiones benignas que mostraban de uno a tres colores, y de los MMs que tenían de cuatro a seis colores son 72.5 % y 52.5 %, respectivamente (recordemos que en la evaluación clínica, el 94.16%, y el 51.25%, respectivamente). Lo cual, suponen las cifras más cercanas de las conseguidas por los tres métodos.

Tabla 10. Porcentaje de lesiones que muestran de uno a seis colores (entre paréntesis el número de imágenes que corresponde a cada grupo) de acuerdo con la valoración clínica y por ordenador, para el análisis LAB+CIE94

Número de colores	Lesiones benignas		MMs	
	Valoración clínica	Valoración por ordenador	Valoración clínica	Valoración por ordenador
1	5 (6)	6.66 (8)	0	2.5 (2)
2	51.66 (62)	28.33 (34)	5 (4)	11.25 (9)
3	37.5 (45)	37.5 (45)	43.75 (35)	33.75 (27)
4	5.83 (7)	22.5 (27)	47.5 (38)	43.75 (35)
5	0	5 (6)	3.75 (3)	8.75 (7)
6	0	0	0	0
Media ± SD	2.44 ± 0.6834	2.908 ± 0.9872	3.5 ± 0.6560	3.45 ± 0.8986

5.2.3 Concordancia entre evaluación por ordenador y evaluación clínica para la presencia de uno a tres colores y de cuatro a seis colores

En este apartado se muestran unas medidas que nos indica sobre la concordancia entre la evaluación realizada por el dermatólogo, y la llevada a cabo por nuestra herramienta en sus tres versiones distintas.

La Tabla 11 muestra lo obtenido para el caso de la evaluación por ordenador usando la distancia Euclídea en el espacio RGB para la presencia de uno a tres colores en contraposición con cuatro a seis colores: al 66.44% de las lesiones se les atribuyeron de uno a tres colores por el especialista y también se consideraron así mediante la valoración por ordenador. En cambio, el 68.75% de las lesiones clasificadas clínicamente en el grupo de cuatro a seis colores, fueron igualmente clasificadas por la herramienta informática. En total, el número de imágenes para las que coincide la valoración clínica y la realizada por ordenador es de 134 (67 %).

Tabla 11. Concordancia entre la evaluación por ordenador y la evaluación clínica para la presencia de uno a tres colores en contraposición con cuatro a seis colores, para el análisis RGB+EUCLÍDEA

Valoración clínica	Valoración por ordenador		
	1-3 colores	4-6 colores	Total
1-3 colores	101 66.44%	51 33.55%	152 100%
4-6 colores	15 31.25%	33 68.75%	48 100%
Total	116 58%	84 42%	200 100%

En el siguiente caso, tenemos que: el 66.44 % de las lesiones coincide en tener de uno a tres colores cuando comparamos la valoración por el especialista con la valoración por ordenador. La cifra para las lesiones que coinciden en ser clasificadas en el grupo de cuatro a seis colores por las dos valoraciones, es de un 66.66 %. El número de imágenes para las que coincide la valoración clínica y la realizada por ordenador es de un total de 133 (datos prácticamente iguales al método anterior, aunque un poco peores).

Tabla 12. Concordancia entre la evaluación por ordenador y la evaluación clínica para la presencia de uno a tres colores en contraposición con cuatro a seis colores, para el análisis LAB+EUCLÍDEA

Valoración clínica	Valoración por ordenador		
	1-3 colores	4-6 colores	Total
1-3 colores	101	51	152
	66.44 %	33.55 %	100%
4-6 colores	16	32	48
	33.33 %	66.66 %	100%
Total	117	83	200
	58.5 %	41.5%	100%

Los resultados para la distancia CIE94 en el espacio Lab, parecen ser los que mejor se aproximan a lo determinado por el especialista. Observamos lo siguiente: el 71.05 % de las lesiones coincide en tener de uno a tres colores tanto en la valoración por el especialista como en la valoración por ordenador, mientras que las lesiones que presentan de cuatro a seis colores para ambas valoraciones es de un 64.58 %. Además, el número de imágenes total para las que coinciden ambas valoraciones es de 139, es decir, un 69.5 % del total. Este es el mejor dato de los tres métodos implementados.

Tabla 13. Concordancia entre la evaluación por ordenador y la evaluación clínica para la presencia de uno a tres colores en contraposición con cuatro a seis colores, para el análisis LAB+CIE94

Valoración clínica	Valoración por ordenador		
	1-3 colores	4-6 colores	Total
1-3 colores	108	44	152
	71.05%	28.95%	100%
4-6 colores	17	31	48
	35.42%	64.58%	100%
Total	125	75	200
	62.5%	37.5%	100%

5.2.4 Sensibilidad, especificidad y precisión

Para el cálculo de estos parámetros, primero necesitaremos definir una serie de variables:

- Verdaderos positivos (VP): un color correctamente identificado en la lesión
- Falsos negativos (FN): un color no detectado, pero presente en la lesión
- Verdaderos negativos (VN): un color no presente en la lesión y no detectado
- Falsos positivos (FP): un color ha sido detectado, pero no está presente en la lesión

Definiremos la sensibilidad, especificidad y precisión para el caso que nos ocupa, de la siguiente manera:

- La sensibilidad nos indica la capacidad de nuestro estimador para dar como casos positivos los casos realmente positivos; proporción de positivos correctamente identificados. Es decir, la sensibilidad caracteriza la capacidad de la prueba para detectar los que tienen la condición buscada en una población, lo que es lo mismo, expresa cuan sensible es la prueba a la presencia de dicha condición.
- La especificidad determina la capacidad de nuestro estimador para dar como casos negativos los casos realmente negativos; proporción de negativos correctamente identificados. Es decir, la especificidad caracteriza la capacidad de la prueba para detectar la ausencia de la condición buscada en una población.
- Por otra parte, precisión se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud. Cuanto menor es la dispersión mayor la precisión. La precisión es una medida de la reproducibilidad de una prueba cuando se repite en la misma muestra.

Se calculan de la siguiente manera:

$$Sensibilidad = \frac{VP}{VP + FN}$$

$$Especificidad = \frac{VN}{VN + FP}$$

$$Precisión = \frac{VP + VN}{FP + FN + VP + VN}$$

A continuación, se muestra una serie de resultados referente a los parámetros comentados, en forma de tabla, para su mejor claridad; donde SEN, ESP, y PRE denotan dichos parámetros en orden de aparición.

Tabla 14. Valores de la sensibilidad, especificidad, y precisión, obtenidos sobre el total de las imágenes para cada color y en conjunto, mediante el método RGB+Euclídea

	Negro	Azul-gris	Marrón oscuro	Marrón claro	Rojo	Blanco	Total
VP	50	126	142	127	16	10	471
VN	77	48	24	18	105	164	436
FN	73	8	28	6	0	5	120
FP	0	18	6	49	79	21	173
SEN	0.4065	0.9402	0.8352	0.9548	1	0.6666	0.7969
ESP	1	0.72727	0.8	0.2686	0.5706	0.8864	0.7159
PRE	0.635	0.87	0.83	0.725	0.605	0.87	0.7558

Los colores que mejores cifras aportan en cuanto a la sensibilidad son el rojo, el azul-gris y el marrón claro, mientras que para la especificidad se obtienen valores más altos con el negro, seguido del marrón oscuro y el blanco. Tenemos números altos en general para la precisión, aunque los mejores esta vez son el azul-gris y el blanco. En el total de colores cabe destacar que se han obtenido unos buenos resultados, siendo la sensibilidad de 0.7969, la especificidad de 0.7159 y la precisión de 0.7558.

Tabla 15. Valores de la sensibilidad, especificidad, y precisión, obtenidos sobre el total de las imágenes para cada color y en conjunto, mediante el método LAB+Euclídea

	Negro	Azul-gris	Marrón oscuro	Marrón claro	Rojo	Blanco	Total
VP	52	124	139	124	18	8	465
VN	86	54	24	20	112	162	459
FN	62	8	25	9	0	5	109
FP	0	15	12	47	70	25	169
SEN	0.4561	0.9393	0.8475	0.9323	1	0.6153	0.8101
ESP	1	0.7826	0.6667	0.2985	0.6153	0.8663	0.7308
PRE	0.69	0.89	0.815	0.72	0.65	0.85	0.7687

Mediante el método de la distancia Euclídea sobre el espacio de color Lab, los colores que mejores cifras aportan en cuanto a la sensibilidad son el rojo, el azul-gris y el marrón claro, mientras que para la especificidad se obtienen valores más altos con el negro y el blanco. Para la precisión, de nuevo, se obtienen los mejores valores para el azul-gris y el blanco. Los valores totales mejoran todos a la versión anterior obteniéndose aquí una sensibilidad de 0.8101, una especificidad de 0.7308, y una precisión de 0.7687.

Tabla 16. Valores de la sensibilidad, especificidad, y precisión, obtenidos sobre el total de las imágenes para cada color y en conjunto, mediante el método LAB+CIE94

	Negro	Azul-gris	Marrón oscuro	Marrón claro	Rojo	Blanco	Total
VP	52	124	139	124	18	10	467
VN	86	51	24	21	120	167	469
FN	62	7	25	9	0	3	106
FP	0	18	12	46	62	20	158
SEN	0.4561	0.9465	0.8475	0.9323	1	0.7692	0.8150
ESP	1	0.7391	0.6667	0.3134	0.6593	0.8930	0.7480
PRE	0.69	0.875	0.815	0.725	0.69	0.885	0.7800

Para el último caso, usando la combinación de la distancia CIE94 sobre el espacio de color Lab, los mejores valores son para el azul-gris, rojo y el marrón claro en cuanto a la sensibilidad. Por otra parte, para la especificidad se obtienen valores más altos con el negro y el blanco. Los colores azul-gris, marrón oscuro, y blanco presentan los datos más altos de precisión. Con este método, los valores totales vuelven a subir consiguiendo una sensibilidad de 0.8150, una especificidad de 0.7480, y una precisión de 0.7800; convirtiéndolo en el mejor en este apartado.

5.2.5 Comparación de resultados

En este subapartado veremos finalmente cuál de los tres casos resulta más apropiado en cuanto al propósito de nuestro proyecto. Para ello, se llevará a cabo una revisión de los resultados comentados previamente.

En primer lugar, se tratará la medida del porcentaje de cada color presente en cada una de las lesiones. Se ha comprobado que la peor implementación era la de la distancia Euclídea sobre RGB. La combinación LAB+Euclídea presentaba mejores porcentajes, aunque algún color, como el blanco, se alejara ligeramente de la valoración clínica en las lesiones benignas. En la implementación LAB+CIE94 es donde los valores obtenidos a través de la herramienta se asemejan más en general a los obtenidos mediante evaluación clínica.

En segundo lugar tenemos la medida del número de colores por lesión. En el espacio RGB para los MMs se obtienen unos resultados bastante parecidos a la valoración clínica, no así para las lesiones benignas. Esto es algo que ocurre, también para los dos métodos que usan el espacio Lab (aunque en menor medida). La combinación que produce una media más parecida a la calculada por el especialista, es la implementación LAB+Euclídea. Además, las medias de colores por lesión, son las que más diferencia ofrecen entre melanomas y lesiones benignas, con una diferencia de 0.66. La combinación LAB+CIE94 obtiene unos resultados generales similares al uso de la distancia euclídea en el espacio Lab. Sería entonces la combinación LAB+Euclídea la que mejores resultados consigue en este apartado.

En tercer lugar, valoramos la concordancia entre la evaluación por ordenador y la evaluación clínica para la presencia de uno a tres colores en contraposición con cuatro a seis colores. La implementación de la distancia Euclídea sobre RGB, esta vez no se ve mejorada por la implementación de la distancia Euclídea

sobre LAB. Aunque ambas se ven superadas por la combinación LAB+CIE94. En total, el número de coincidencias es mayor en el método LAB+CIE94 que en los otros dos.

Por último, atendiendo a efectos de sensibilidad, especificidad y precisión, vemos que RGB+EUCLÍDEA es la combinación con la que se obtienen los valores más bajos en estas mediciones. La combinación LAB+EUCLÍDEA mejora los tres parámetros citados. Como viene siendo la tónica general en casi todos los apartados, el primer lugar es para el método LAB+CIE94, puesto que se consiguen los mejores resultados para la sensibilidad, especificidad y precisión de toda la comparativa.

Tabla 17. Valores de sensibilidad, especificidad, y precisión para cada una de las tres implementaciones

	RGB+EUCLÍDEA	LAB+EUCLÍDEA	LAB+CIE94
SEN	0.7969	0.8101	0.8150
ESP	0.7159	0.7308	0.7480
PRE	0.7558	0.7687	0.7800

Otro dato que se ha tomado y que refrenda las medidas previamente realizadas, ha sido el porcentaje de lesiones en las que se detectan exactamente los mismos colores que determina el especialista clínico. Por ejemplo, si una lesión presentara, marrón oscuro, azul, y negro; nuestra herramienta informática tendría que detectar exactamente esos colores y no otros para considerarlo fielmente detectado. Podemos apreciar como el método que más imágenes refleja fielmente es el LAB+CIE94, seguido de cerca por el LAB+EUCLÍDEA, y por debajo el RGB+EUCLÍDEA. Como se puede observar, en ningún caso se supera el 20 %. Nos ha parecido interesante desde un punto de vista más cercano a la realidad, ya que estos resultados nos dan una idea de lo complicado que resulta ajustar una herramienta informática a la percepción que puede tener el ojo humano de los colores.

Tabla 18. Porcentaje de lesiones cuyos colores son fielmente descritos, para los tres métodos.

Porcentaje de fielmente detectados (coincidencia total)			
	Lesiones benignas	MMs	Total
RGB+EUCLÍDEA	16.66 (20/120)	12.5 (10/80)	15 (30/200)
LAB+EUCLÍDEA	20 (24/120)	13.75 (11/80)	17.5 (35/200)
LAB+CIE94	20 (24/120)	15 (12/80)	18 (36/200)

De esta manera, podemos concluir que, la combinación que mejor se adapta al mecanismo de visión humano y para el ámbito de la detección de colores en lesiones melanocíticas es la combinación LAB+CIE94.

Además, los resultados sitúan las implementaciones en el espacio de color LAB por encima de la que usa el espacio RGB, como cabía esperar, según la teoría.

5.3 Coste computacional

Un aspecto que no se debe olvidar es el referente al coste computacional. Al tratarse las imágenes como matrices de grandes dimensiones en el software usado, fue común que en las primeras aproximaciones de nuestras implementaciones el tiempo de ejecución fuera demasiado alto, como para considerarlo satisfactorio.

Con las versiones finales de nuestros programas, el procesado de imágenes es realmente rápido, aunque depende del tipo de análisis que hagamos. Con el objetivo de poder medir el tiempo de procesamiento o coste computacional, se llevaron a cabo algunas pruebas que consistieron en hacer grupos de 10 imágenes dependiendo del número de píxeles que se analizaban en ellas. Luego se midió el tiempo de ejecución de cada uno de estos grupos. A continuación se comentan brevemente algunos resultados que nos dan una idea de la rapidez de nuestra herramienta:

- Para el análisis en RGB+EUCLÍDEA de 10 imágenes elegidas al azar, el tiempo de ejecución es de 11.67 segundos, una media de 1.167 segundos por imagen, el cual es el tiempo de ejecución más corto.
- El tiempo de ejecución para la combinación LAB+EUCLÍDEA fue mayor, sumando un tiempo total de 24.15 segundos, es decir, ligeramente por encima de 2.4 segundos por imagen.
- El análisis con un tiempo de ejecución más lento es la combinación LAB+CIE94: 25.29 segundos es el tiempo empleado en procesar el mismo conjunto de imágenes, a una media de algo más de 2.5 segundos por imagen (lo que supone algo más del doble que el más rápido).

A modo de resumen, podemos ver la siguiente tabla, en la que se presentan las diferentes medidas de velocidad:

Tabla 19. Tamaño del área de las lesiones y tiempo computacional medio para cada tipo de análisis. Entre paréntesis, el tiempo medio por imagen

	RGB+EUCLÍDEA	LAB+EUCLÍDEA	LAB+CIE94
Imágenes de lesiones grandes: (desde 75995 a 170938 píxeles evaluados. Tamaño medio: 126421.8 píxeles)	20.82 s (2.082 s)	33.89 s (3.389 s)	40.82 s (4.082 s)
Imágenes de lesiones pequeñas: (desde 7404 a 27416 píxeles evaluados. Tamaño medio: 17103.5 píxeles)	8.17 s (0.817 s)	20.69 s (2.069 s)	21.83 s (2.183 s)
Muestra de lesiones de tamaño aleatorio	11.67 s (1.167 s)	24.15 s (2.415 s)	25.29 s (2.529 s)

Hemos querido hacer hincapié en esto, debido a que un problema importante sobre el que se ha invertido bastante tiempo de trabajo ha sido el de conseguir un tiempo de ejecución aceptable. A causa del gran número de imágenes para analizar, no nos podíamos permitir los tiempos mucho mayores que resultaban al principio, por lo que se ha puesto empeño en disminuir dichos tiempos, hasta lo conseguido en última instancia. También cabe señalar que los mejores resultados de la combinación LAB+CIE94, no son gratuitos, ya que para esta implementación se requiere un mayor coste computacional.

6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En el último capítulo presentamos las conclusiones extraídas de este proyecto, así como las futuras líneas de trabajo que darían continuidad a este estudio.

6.1 Conclusiones

Este Proyecto Fin de Carrera presenta un estudio asociado a la descripción de colores en imágenes de lesiones dermatoscópicas para el asesoramiento clínico. La valoración del color representa una parte esencial en el diagnóstico de imágenes dermatoscópicas. Como hemos visto anteriormente, en la regla ABCD la presencia o ausencia de rojo, azul-gris, blanco, marrón oscuro, marrón claro, y negro en lesiones melanocíticas da lugar a una puntuación que varía de 0.5 a 3 (sobre una puntuación total posible en el rango de 1 a 8,9). De acuerdo con el método de Menzies et al. la presencia de un único color (rojo, azul, gris, marrón oscuro, marrón claro, y negro), es considerada como una característica negativa, activando la exclusión de diagnóstico de MM, mientras que por otro lado, la presencia de 5 a 6 colores de los mencionados (el blanco aquí no se computa como color) supone una característica positiva.

En este estudio se han presentado tres versiones distintas de un método automático para la valoración de colores en imágenes de lesiones melanocíticas basado en la identificación de una paleta de colores que comprende los colores más representativos percibidos por el ojo humano en una lesión melanocítica.

El método empleado consiste en la evaluación del color de imágenes dermatoscópicas pixel a pixel. Con este propósito se hace uso de la mencionada paleta de colores extraídos de imágenes de nuestra base de datos. Las imágenes previamente habían sido clasificadas por un experto. Esta base de datos estaba compuesta por 200 imágenes que fueron obtenidas del Atlas Interactivo de Dermatoscopia. Para detectar los colores, se calculó la distancia entre cada pixel y cada uno de los recortes de nuestra paleta, asignándose el color del recorte cuya distancia era mínima. Esta distancia mínima, se calcula en base a tres combinaciones de espacio de color y distancia que se corresponden con las tres versiones de nuestra herramienta informática: Euclídea en el espacio RGB, Euclídea en el espacio de color CIE $L^*a^*b^*$ y CIE94 en el espacio de color CIE $L^*a^*b^*$. En nuestro caso, hemos tratado de buscar alternativas a lo ya estudiado anteriormente, usando primero espacios de color distintos, y luego utilizando fórmulas para medir la diferencia de colores distintas; todo esto con el objetivo de asemejar o imitar en la medida de lo posible la percepción del ojo humano.

Para dilucidar qué implementación es la mejor para el propósito de nuestro estudio, se llevaron a cabo diferentes medidas de evaluación, como: el porcentaje de presencia de un solo color en las lesiones, el porcentaje de lesiones que presentaban de 1 a 6 colores, además de la media y desviación estándar, la concordancia entre evaluación clínica y por medio de nuestro método para grupos de 1 a 3 colores y grupos de 4 a 6 colores, la sensibilidad, la especificidad, y la precisión.

Finalmente, tras el análisis de los resultados podremos concluir que la implementación que calcula la distancia CIE94 sobre el espacio de color CIE $L^*a^*b^*$ es la combinación que mejor reproduce la valoración clínica de los colores.

Confirmando las observaciones de otros autores, nuestros datos revelan que el número de colores en MMs es mayor que en el de las lesiones benignas: el 72.5% de nuestras lesiones benignas mostraban 3 colores o menos, mientras que el 86.25% de nuestros melanomas mostraron 3 o más colores. En lo referente a la presencia de un solo color y su potencial ayuda para el diagnóstico, de acuerdo con nuestros datos, se comprueba claramente que determinados colores se encontraban con mayor frecuencia en MMs, como es el caso del negro y del azul-gris (el rojo y el blanco también, aunque en menor medida).

Este estudio denota la importancia y el potencial desarrollo que tiene la valoración de colores para la ayuda al diagnóstico clínico en una era en la que la evolución de la telemedicina aumenta cada vez más.

6.2 Líneas futuras de trabajo

Como líneas futuras de trabajo se plantea hacer alguna variante de nuestro proyecto. Uno de los colores que, según algunos estudios, pueden ser indicadores de MM sobre una lesión pigmentada de la piel, es el blanco. El criterio que se sigue para que el blanco sea detectado, es que debe ser un tono más claro que el color de la piel sana. Por ello, se propone realizar un estudio que involucre la detección del color blanco teniendo en cuenta la piel sana adyacente a la lesión.

En la línea de este mismo estudio, aún hay varias combinaciones más que podrían ser estudiadas y probadas, como por ejemplo:

- Utilizando futuros espacios de color, que permitan una mejor adaptación a lo percibido por el ojo humano o simplemente arrojen mejores resultados en la clasificación automática.

- Haciendo uso de otras formas de medir diferencias de color entre píxeles, o incluso añadiendo otros parámetros que completen la descripción de colores que se realice tales como: forma, extensión de área, o uniformidad.

- Cambiando el tipo de imágenes sobre el que se trabaja, es decir, usar como base del análisis imágenes que no sean imágenes dermatoscópicas, y buscar formas de aprovechar las características de éstas.

También, se podrían tratar los datos de una forma distinta, usando otros medios estadísticos, o incluso comparando los resultados obtenidos con otros medios de diagnóstico, tarea que ha sido hartamente complicada, puesto que hay pocos trabajos similares que se puedan usar para realizar tal comparación.

Para que se dé un uso práctico potencial en condiciones clínicas, donde el diagnóstico de MM asistido por ordenador se pueda realizar por medio de clasificadores automáticos, es vital la identificación de nuevos descriptores de imagen que ayuden a aumentar la fiabilidad de las pruebas.

REFERENCIAS

- [1] Begoña Echeverría García y Rafael Botella-Estrada. “Lesiones melanocíticas (nevos y melanomas) en atención primaria” Servicio de Dermatología. Instituto Valenciano de Oncología. Valencia. España.
- [2] Hitoshi Iyatomi, Kerri-Ann Norton, M.Emre Celebi, Gerald Schaefer, Masaru Tanaka, and Koichi Ogawa. “Classification of melanocytic skin lesions from non-melanocytic lesions” 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS Buenos Aires, Argentina, August 31 - September 4, 2010
- [3] Pedro Zaballos et al. Pedro Zaballos, Cristina Carrera, Susana Puig, Josep Malvehy, “Criterios dermatoscópicos para el diagnóstico del melanoma” Departamentos de Dermatología. Hospital de Sant Pau y Santa Tecla, Tarragona, y Hospital Clínic. Barcelona. España
- [4] S. Seidenari, G. Pellacani and C.Grana.”Computer description of colours in dermoscopic melanocytic lesion images reproducing clinical assessment” Departments of Dermatology and Computer Engineering, University of Modena and Reggio Emilia, 41100 Modena, Italy
- [5] Catarina Barata, Mário A. T. Figueiredo, M. Emre Celebi, Jorge S. Marques ”Color identification in dermoscopy images using gaussian mixture models” ISR, Instituto Superior Técnico, Portugal; IT, Instituto Superior Técnico, Portugal; Louisiana State University in Shreveport, USA
- [6] Giovanni Pellacani, Costantino Grana and Stefania Seidenari “Automated description of colours in polarized-light surface microscopy images of melanocytic lesions“ Departments of Dermatology and Computer Engineering, University of Modena and Reggio Emilia, Italy.
- [7] Wei Liu.”Development of Color Difference Equations Matching to Human Vision System” Faculty of Technology Management. Lappeenranta University of Technology, Finland.
- [8] Md. Mahmudur Rahman, Graduate Member, IEEE, Prabir Bhattacharya, Fellow, IEEE, and Bipin C. Desai “A Multiple Expert-Based Melanoma Recognition System for Dermoscopic Images of Pigmented Skin Lesions”

- [9] Mariam Ahmed Shehal, Amr Sharwy "Pigmented Skin Lesion Diagnosis Using Geometric and Chromatic Features"
- [10] <http://www.dermoscopy.org/atlas/base.htm>
- [11] Hensin T. Management of cutaneous melanoma. *New England. Journal of Medicina*; 2004; 351, 998-1012.
- [12] http://amf-semfyc.com/web/article_ver.php?id=1151
- [13] <https://en.wikipedia.org>

GLOSARIO

CIE: Comission Internationale de l'Eclairage	2
RGB: Red-Green-Blue	2
UVA: Ultravioleta A (onda larga)	3
UVB: Ultravioleta B (onda media)	3
ADN: Ácido desoxirribonucleico	3
MSL: Melanocytic Skin Lesion	4
BCC: Basal Cell Carcinoma	4
SK: Seborrhoeic Keratosis	4
TDS: Total Dermoscopy Score	12
MM: Malignant Melanoma	14
HSV: Hue-Saturation-Value	16
CD: Correct Detection	17
DF: Detection Failure	17
FA: False Alarm	17
HVS: Human Visual Sistem	19
MATLAB: MATrix LABoratory	33