

Capítulo 3: Color

3.1.- Introducción

El uso de color en una imagen a procesar está influenciado por dos motivos principales:

- El color es un poderoso descriptor que generalmente simplifica la identificación del objeto.
- El ojo humano puede distinguir entre miles de tonalidades e intensidades de colores, comparado con las dos docenas de tonalidades de gris que puede distinguir.

A continuación se verá la fisiología del color y distintos métodos para representarlo.

3.2.- Fisiología

El sistema de visión humano es uno de los más complejos que existen. Nos permite percibir, organizar y comprender la mayoría de los objetos de nuestro entorno.

El sistema de visión humano está basado en el ojo. Dentro del ojo, en la retina existen dos tipos de células capaces de captar la luz y los colores. Estas células son los conos y los bastones. Los conos son muy sensibles al color, existen alrededor de siete millones y sirven para apreciar detalles finos de la escena. Existen tres tipos de conos en la retina, denominados *R*, *G* y *B* (o *S*, *M* y *L*). Los bastones son sensibles a niveles de iluminación bajos, existen entre setenta y cinco y ciento cincuenta millones en el ojo humano y sirven para una visión general de la escena. La imagen 3.1 (Fig.3.1) muestra una imagen ampliada del ojo humano donde aparecen conos y bastones.

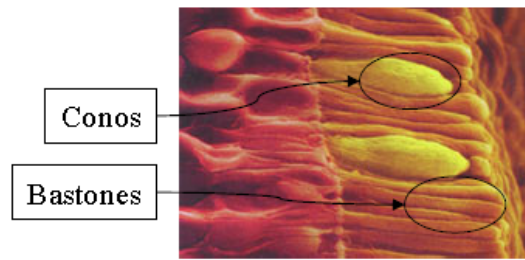


Fig.3.1: Conos y bastones

3.3.- Física

En 1666, Sir Isaac Newton descubrió que cuando un rayo de luz solar atravesaba un prisma de cristal, de él surgía un rayo de luz que no era blanca, sino que consistía en un espectro continuo de color que iba del rojo al violeta. La siguiente imagen (Fig.3.2) muestra este descubrimiento y los seis colores en los que se puede dividir el espectro de color.

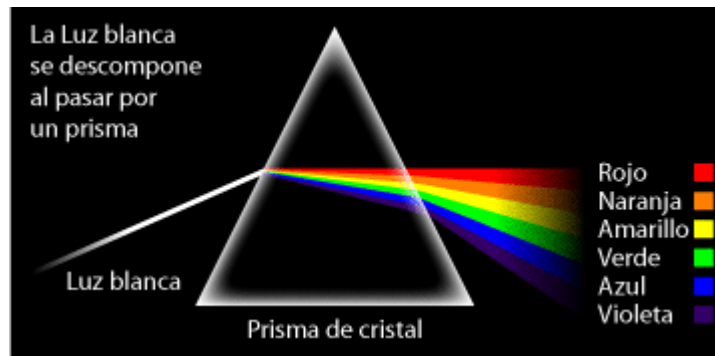


Fig.3.2: Espectro de color

El color es el efecto principal que se percibe cuando una onda electromagnética incide sobre los conos y bastones del sistema de visión humano.

El ojo es sensible únicamente a la radiación contenida en una pequeña banda de frecuencias del espectro electromagnético (desde trescientos ochenta hasta setecientos ochenta nanómetros). En la siguiente imagen (Fig.3.2) se puede ver el espectro electromagnético y la parte en la que el ojo es sensible, o espectro visible.

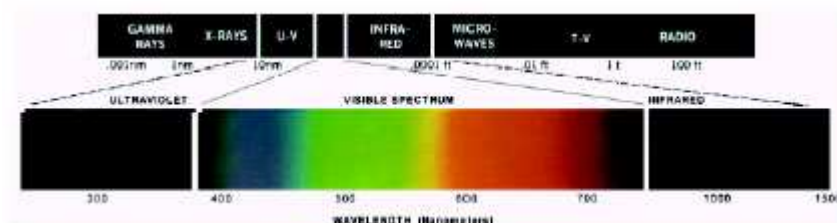


Fig. 3.2: Espectro electromagnético y espectro visible

Los picos de sensibilidad de los conos *R*, *G* y *B* se localizan para el ser humano entorno a los cuatrocientos treinta nanómetros para el azul, quinientos treinta nanómetros para el verde y quinientos sesenta nanómetros para el rojo, mientras que

para los bastones es de quinientos diez nanómetros. La figura 3.3 muestra una representación de los picos de sensibilidad según su longitud de onda.

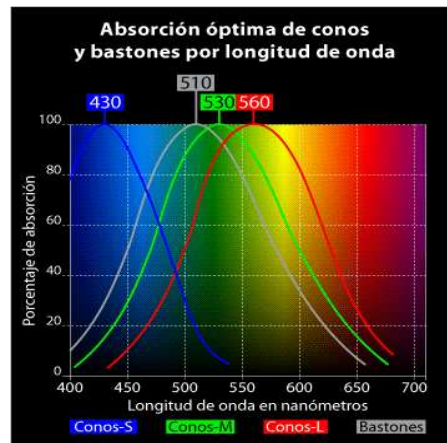


Fig.3.3 Picos de absorción de conos y bastones

3.4.- Definición

En 1970, la C.I.E. (Comisión Internacional de iluminación) adoptó la siguiente definición de color percibido: “Color es el aspecto de la percepción visual mediante el cual un observador puede distinguir entre dos campos del mismo tamaño, forma y textura por las diferencias en la composición espectral de las radiaciones relacionadas con la observación.”

Aparte de la definición, existen tres conceptos para describir la cualidad de una fuente cromática de luz:

- Radiación: Es la cantidad de energía que sale de la fuente.
- Luminancia: Es la cantidad de energía que un observador percibe de una fuente de luz.
- Brillo: Característica de la sensación de luz según la cual una superficie permite emitir más o menos luz.

3.5.- Modelos de color

Los espacios de color, o modelos, se crearon para la especificación estándar de colores, además de denotar al color de una representación numérica.

Un espacio de color define un modelo de composición del color. Por lo general un espacio de color lo define una base de n vectores, cuya combinación lineal genera todo el espacio de color. Los espacios de color más generales intentan englobar la mayor cantidad posible de los colores visibles por el ojo humano, aunque existen espacios de color que intentan aislar tan solo un subconjunto de ellos.

Existen espacios de:

- 3 dimensiones: Espacio RGB, CMY, HSV, ...
- 4 dimensiones: Espacio CMYK, etc.

De los cuales, los espacios de color de tres dimensiones son los más extendidos y los más utilizados, por lo que se puede concluir que un color se especifica usando tres coordenadas, las cuales representan su posición dentro de un espacio de color específico.

3.5.1 Modelo RGB

Este modelo está basado en un modelo de coordenadas cartesianas donde las bases son los colores primarios, es decir, el rojo, el verde y el azul. Es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, con el que es posible representar un color mediante la mezcla de los tres colores primarios. La siguiente imagen (Fig.3.4) muestra la mezcla aditiva de los colores.

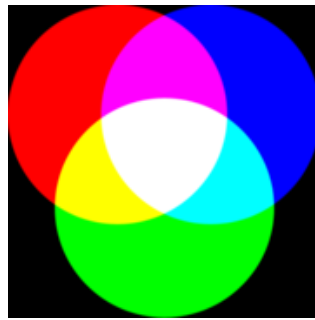


Fig. 3.4: Mezcla aditiva de colores

Para indicar con qué proporción mezclamos cada color, se asigna un valor para cada uno de los colores primarios. El rojo corresponderá a la tripleta $(1,0,0)$ (si se usan valores normalizados), el verde será $(0,1,0)$ y el azul será $(0,0,1)$. La ausencia de color, o negro, será $(0,0,0)$, mientras que el blanco será $(1,1,1)$. La combinación de dos colores a nivel 1 y el tercero a nivel 0 dan lugar a tres nuevos colores, colores secundarios, que son el amarillo $(1,1,0)$, el cian $(0,1,1)$ y el magenta $(1,0,1)$. Representando todos estos colores de forma cartesiana se obtiene que la representación del modelo RGB es un cubo, donde sus ejes primarios son el rojo, verde y azul y los secundarios son el amarillo, cian y magenta. La siguiente imagen (Fig.3.5) muestra el cubo RGB.

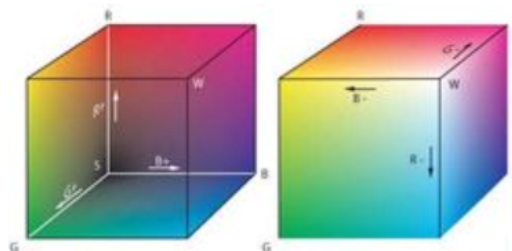


Fig.3.5: Cubo RGB

Cada color es un punto de la superficie del cubo o de su interior. La escala de grises es la diagonal que une al blanco y al negro.

Este modelo es muy usado en las pantallas de ordenador debido a su fácil codificación en hexadecimal. La siguiente tabla (Tab.3.1) muestra algunos ejemplos de codificación. También es usado en televisores a color.

Color	Hexadecimal	Color	Hexadecimal	Color	Hexadecimal	Color	Hexadecimal
Cyan	#00ffff	black	#000000	blue	#0000ff	fuchsia	#ff00ff
gray	#808080	green	#008000	lime	#00ff00	maroon	#800000
navy	#000080	olive	#808000	purple	#800080	red	#ff0000
silver	#c0c0c0	teal	#008080	white	#ffffff	yellow	#ffff00

Tab.3.1: Colores definidos por la especificación HTML 4.01

3.5.2.- Modelos CMY y CMYK

El modelo CMY (Cyan, Magenta y Amarillo) es un modelo de colores sustractivo que se utiliza en la impresión de colores. Está basado en colores secundarios de la luz, que a su vez, son los primarios de los pigmentos. El modelo CMYK es el mismo pero añadiendo un cuarto color, el negro. Este color es añadido debido a que la combinación de los tres pigmentos en igual proporción forma el color marrón, no el negro.

Este modelo se basa en la mezcla de pigmentos cyan, magenta y amarillo para crear más colores. La siguiente imagen (Fig.3.6) muestra la mezcla de los tres pigmentos.

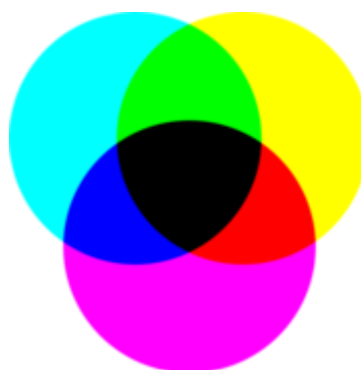


Fig.3.6: Modelo sustractivo

El modelo CMY o CMYK trabaja en base a la absorción de la luz, es decir, los colores que se ven son de la parte de la luz que no es absorbida.

Este modelo es muy importante en dispositivos de impresión debido a que estos dispositivos no pueden reproducir combinaciones de luz, como lo hace el modelo RGB.

Cada vez que se requiera imprimir algo se tendrá que pasar del modelo RGB al

CMY o CMYK. El paso de un modelo a otro es muy simple y viene indicado en la ecuación 3.1

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

3.5.3.- Modelo HSI

El modelo RGB encaja perfectamente en el hecho de que el ojo humano es fuertemente perceptivo de los colores rojo, verde y azul. Desgraciadamente, no encaja bien en la interpretación del color según el ser humano. Para resolver este problema se creó el modelo HSI.

Este modelo está basado en los siguientes componentes, o bases:

- Hue (Tono): Es el color dominante que se percibe. Está asociado con la longitud de onda dominante.
- Saturation (Saturación): Es una medida inversamente proporcional a la cantidad de blanco que posee ese color.
- Intensity (Intensidad): Es un descriptor difícil de medir, irá variando de negro (valor 0) a blanco (valor 1).

Este modelo desacopla el componente de intensidad de los componentes que llevan información sobre el color (H y S), también llamado cromaticidad.

Es un modelo obtenido de forma no lineal a partir del cubo RGB. Su representación puede variar de un cono, un cono hexagonal, un doble cono o un doble cono hexagonal. El eje principal del cono corresponderá a la diagonal de grises del cubo RGB, y los demás colores serán correspondidos según las ecuaciones 3.2- 3.4.

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (\text{Ec.3.2})$$

$$S = 1 - \frac{3}{R + G + B} [\min(R, G, B)] \quad (\text{Ec.3.3})$$

$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{1/2[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\} \quad (\text{Ec.3.4})$$

La siguiente figura (Fig.3.7) muestra la representación del doble cono, mostrando donde correspondería cada vértice del cubo RGB además de la desacoplamiento de I con H y S.

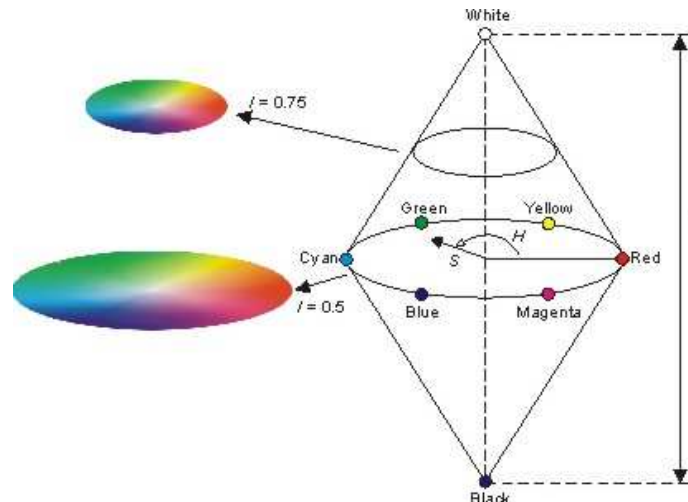


Fig. 3.7: Representación del modelo HSI

Es un modelo muy usado en el procesamiento de imágenes a color ya que es el más intuitivo para el ser humano, debido a que no expresa un color en tantos por ciento de otros colores.

3.5.4.- Modelo HSV

Este modelo (también llamado HSB) es aproximadamente igual al modelo anterior, de hecho se suelen confundir. La única variación que existe es el último valor V, que representa el valor del color, mientras que en el anterior se representaba la intensidad. Aunque brillo, valor, claridad e intensidad representen lo mismo, matemáticamente se describen de forma distinta:

- Valor o Brillo: Corresponde al valor máximo de (R,G,B).
- Claridad: Corresponde con el punto medio entre el máximo (R,G,B) y el mínimo (R,G,B).
- Intensidad: Corresponde con la media entre R,G y B.

Las diferencias entre usar HSV o HSI, aunque mínimas, son que el primero corresponde mejor a los colores que tendría un artista en su paleta y describe mejor la saturación en su representación, mientras que el otro describe mejor el brillo.

Al igual que el anterior es un modelo no lineal obtenido del modelo RGB al mirar su diagonal de grises. Las ecuaciones para pasar de RGB a HSV son las siguientes:

$$V = \max(R, G, B) \quad (\text{Ec.3.5})$$

$$S = 1 - \frac{3}{R + G + B} [\min(R, G, B)] \quad (\text{Ec.3.6})$$

$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{1/2[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\} \quad (\text{Ec.3.7})$$

A la hora de representar el modelo, existen varias opciones. Se puede representar como una rueda de color con un triángulo dentro, como un cono y como un cilindro. Aunque visualmente la representación del cono es la mejor, ya que en el cilindro apenas se diferencian entre sí los colores que poseen un V muy pequeño, matemáticamente la representación del cilindro es la mejor. La figura 3.8 muestra las siguientes representaciones.

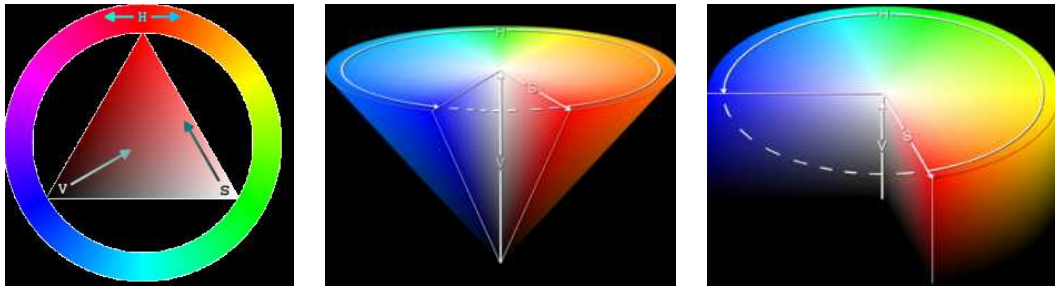


Fig.3.8: Representaciones del modelo HSV

Al igual que el modelo del apartado anterior, es muy usado en el procesamiento de imágenes debido a su facilidad de entendimiento por el usuario al definir un color.

3.5.5.- Modelo CIEXYZ

En 1931, la CIE desarrolló el sistema de color XYZ o estándar. En la actualidad, este sistema se sigue usando como referencia para definir los colores que percibe el ojo humano y otros espacios de color.

Este modelo se basa en tres primarios imaginarios con caracterización espectral (X, Y y Z), que son los que representan el color. Éstos se combinan para formar todos los colores visibles por un observador estándar. Un color (x,y,z) se obtiene según las siguientes ecuaciones (3.8-3.10):

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (\text{Ec.3.8})$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (\text{Ec.3.9})$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (\text{Ec.3.10})$$

Además el color (x,y,z) deberá cumplir la ecuación 3.11

$$x + y + z = 1 \quad (\text{Ec. 3.11})$$

Para representar este modelo de color, la CIE transformó el espacio tridimensional del color en dos dimensiones artificiales de color o “cromaticidad”, y una de intensidad. Seguidamente, tomaron una porción bidimensional de este espacio y le dieron el máximo nivel de intensidad. Esta porción se convirtió en el diagrama de cromaticidad, que se puede apreciar en la siguiente imagen (Fig. 3.9)

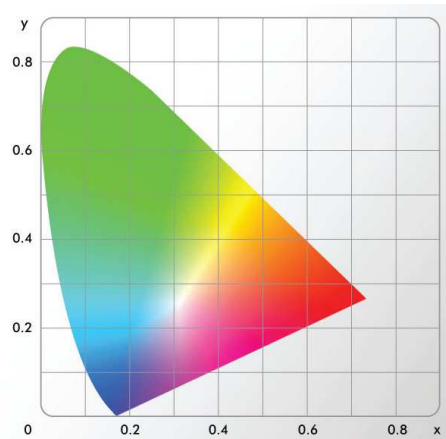


Fig.3.9: Diagrama de cromaticidad

Las gamas de colores se representan mediante áreas del diagrama de cromaticidad CIE 1931, un ejemplo se puede ver en la siguiente imagen (Fig.3.10), donde se puede ver la gama de colores RGB dentro del diagrama de cromaticidad.

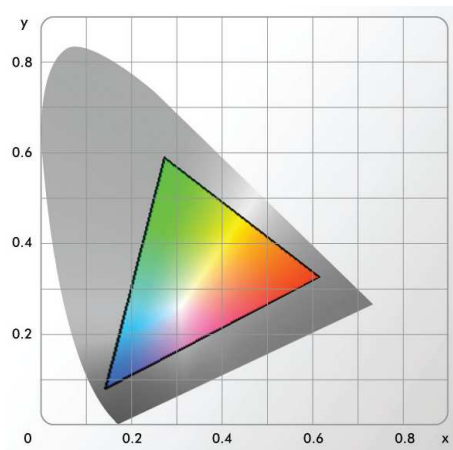


Fig.3.10: Gama de colores RGB

3.5.6.- Modelo $L^*a^*b^*$

$L^*a^*b^*$ es el nombre abreviado de dos espacios de color diferentes. El más conocido es CIELAB (estrictamente CIE 1976 $L^*a^*b^*$) y el otro es Hunter Lab (estrictamente Hunter $L^*a^*b^*$). Ambos son derivados del espacio 1931 XYZ, sin embargo, CIELAB se calcula usando raíces cúbicas mientras que Hunter Lab se calcula usando raíces cuadradas.

El propósito de ambos es producir un espacio de color que sea más perceptivamente lineal que otros modelos, es decir, que un cambio de la misma cantidad en un valor de color debe producir un cambio casi de la misma importancia visual, además de describir los colores de forma visible al ojo humano.

En CIELAB, los tres parámetros que define en espacio son:

- L^* : Representa la claridad
- a^* : Representa la posición entre el magenta y el verde.
- b^* : Representa la posición entre el amarillo y el azul.

La siguiente imagen (Fig.3.9) muestra una representación de este modelo para tres valores distintos de claridad

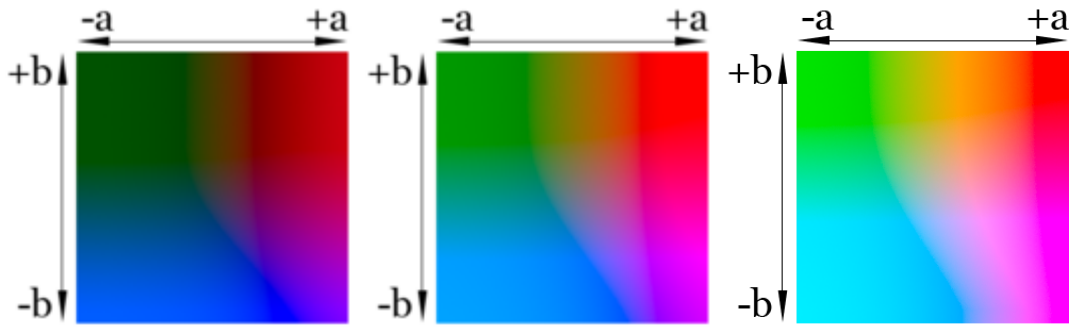


Fig. 3.9: Representación de a y b para claridad de 25,50 y 75% respectivamente

Las ecuaciones para pasar de XYZ a CIELAB son las siguientes:

$$L^* = 116f(Y/Y_n) - 16 \quad (\text{Ec.3.12})$$

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \quad (\text{Ec.3.13})$$

$$b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \quad (\text{Ec.3.14})$$

Donde:

$$f(t) = t^{1/3} \text{ para } t > 0.008856. \quad (\text{Ec.3.15})$$

$$f(t) = 7.787t + 16/116 \text{ en otro caso.} \quad (\text{Ec.3.16})$$

Mientras que en Hunter Lab se usan las siguientes:

$$L^* = 100\sqrt{Y/Y_n} \quad (\text{Ec.3.17})$$

$$a^* = K \cdot 100 \frac{X/X_n - Y/Y_n}{\sqrt{Y/Y_n}} \quad (\text{Ec.3.18})$$

$$b^* = K \cdot K_c \cdot 100 \frac{Y/Y_n - Z/Z_n}{\sqrt{Y/Y_n}} \quad (\text{Ec.3.19})$$

3.6.- Tabla resumen

En la siguiente tabla (Tab. 3.2) se representa un resumen de los modelos anteriormente comentados, indicando sus ventajas y desventajas.

MODELO	RESUMEN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
RGB	Cualquier color se representa según proporciones de rojo, verde y azul	Fácil conversión en hexadecimal Orientado a Hardware Simplicidad	Dificultad para describir un color para un observador No lineal
CMY/K	Cualquier color se representa según proporciones de cyan, magenta, amarillo y algunas veces negro	Orientado a Hardware Basado en los pigmentos Simplicidad	Dificultad para describir un color para un observador No puede reproducir combinaciones de luz No lineal
HSI	Cualquier color se representa según su tono, saturación e intensidad	Orientado al usuario Facilidad para describir un color para un observador Describe mejor el brillo	No lineal
HSV	Cualquier color se representa según su tono, saturación y valor	Orientado al usuario Facilidad para describir un color para un observador Describe mejor la saturación	No lineal
CIEXYZ	Cualquier color se representa según la tripleta (X,Y,Z)	Orientado a Hardware De su diagrama de cromaticidad se extraen los demás	Los colores primarios son imaginarios No lineal
L*a*b*	Cualquier color se representa con su intensidad y con su posición entre el amarillo-azul y magenta-verde	Casi lineal Orientado al usuario	No tan simple computacionalmente

Tab.3.2: Resumen de los modelos de color más importantes

3.7.- Elección del modelo

Una vez visto los modelos y la tabla resumen Tab.3.2, se ha de elegir un modelo que permita alcanzar los objetivos del proyecto. Dado que el principal objetivo es realizar una segmentación, se deberá elegir aquel modelo que sea orientado al usuario, es decir, hay que elegir entre HSI, HSV y $L^*a^*b^*$. Dado que se le pasa una imagen al programa, esta imagen viene representada como RGB, luego es más fácil pasar de RGB a HSI/V que a $L^*a^*b^*$, ya que este último se basa en CIEXYZ. Para discriminar entre HSI o HSV, como la cromaticidad de un color, que es lo que nos interesa, viene dado por su tono y su saturación y el modelo HSV representa mejor la saturación que el HSI, éste será el modelo elegido. Es decir, la segmentación de este proyecto usará el modelo HSV para representar el color.