

# Análisis de Modelos de Color y Algoritmos de Conversión para Procesamiento de Imágenes

## Sección 1: Fundamentos de la Representación del Color Digital

### 1.1 De la Percepción a la Cuantificación: Modelos vs. Espacios de Color

En el dominio del procesamiento digital de imágenes, es fundamental establecer una distinción taxonómica precisa entre un "modelo de color" y un "espacio de color". Un **modelo de color** es un sistema de coordenadas matemático abstracto que describe cómo se pueden representar los colores, especificando típicamente tres o cuatro componentes. Ejemplos de modelos son RGB (Rojo, Verde, Azul) y HSV (Tono, Saturación, Valor).<sup>1</sup>

Por el contrario, un **espacio de color** es una implementación específica de un modelo de color, que define una gama (o *gamut*) de colores particular y un punto blanco de referencia.<sup>2</sup> Por ejemplo, sRGB y Adobe RGB 1998 son dos espacios de color diferentes que implementan el mismo modelo RGB. La elección del "espacio de color de trabajo" es crítica, ya que determina qué significan los valores numéricos de los píxeles y, por lo tanto, cómo las ediciones y los algoritmos afectarán a la imagen.<sup>4</sup>

Esta distinción impacta directamente en el diseño de algoritmos. La elección de un *modelo* (p.ej., RGB vs. HSV) es una decisión *algorítmica* que afecta a cómo se procesan los datos, a menudo para simplificar una tarea de análisis.<sup>6</sup> La elección de un *espacio* (p.ej., sRGB vs. ProPhoto RGB) es una decisión de *fidelidad de datos* que afecta la *gama* de colores que se pueden representar y preservar.<sup>7</sup>

### 1.2 Paradigmas de Mezcla: Aditivo (RGB) vs. Sustractivivo (CMYK)

Los modelos de color se dividen en dos paradigmas principales basados en cómo se produce el color:

- Modelo Aditivo (RGB):** Este modelo se basa en la síntesis aditiva del color, donde los colores se crean sumando luz. Es el modelo nativo de los dispositivos emisores de luz, como monitores, cámaras y escáneres.<sup>8</sup> Los colores primarios son el Rojo (R), el Verde (G) y el Azul (B). En este sistema, la ausencia de luz ( $R=0, G=0, B=0$ ) produce negro, mientras que la suma de los tres primarios a máxima intensidad ( $R=255, G=255, B=255$ ) produce blanco.<sup>10</sup>
- Modelo Sustractivivo (CMYK):** Utilizado principalmente en la impresión, este modelo se basa en la síntesis sustractiva. Los pigmentos (Cian, Magenta, Amarillo) se aplican a un sustrato (generalmente papel blanco) y restan longitudes de onda de la luz reflejada. La clave (K), o negro, se añade por razones de eficiencia y para lograr negros puros. En este modelo, ( $C=0, M=0, Y=0, K=0$ ) es blanco (el papel), y ( $C=0, M=0, Y=0, K=100$ ) es negro.<sup>8</sup>

Aunque los sistemas de procesamiento de imágenes pueden gestionar perfiles CMYK<sup>13</sup>, el enfoque de este informe se centra en los modelos aditivos y perceptuales utilizados en la captura y el análisis digital.

### 1.3 El Rol de la Profundidad de Bits en la Representación Tonal

La profundidad de bits (*bit depth*) define la granularidad tonal de un modelo de color, determinando cuántos valores únicos puede tener cada componente de píxel.<sup>14</sup>

- **Imágenes de 24 bits (Color Verdadero):** Este es el estándar para imágenes RGB. Utiliza 8 bits para cada uno de los tres canales (R, G, B). Cada canal tiene  $2^{8}$ , o 256, niveles posibles, numerados del 0 al 255.<sup>15</sup> La combinación produce  $256^3$  (o  $2^{24}$ ), aproximadamente 16.7 millones de colores distintos.<sup>14</sup>
- **Imágenes de 8 bits (Escala de Grises):** Utiliza 8 bits por píxel. Cada píxel es un solo valor que representa un tono de gris, permitiendo  $2^{8}$ , o 256, tonos (de 0, negro, a 255, blanco).<sup>14</sup>
- **Imágenes de 1 bit (Binario):** Utiliza 1 bit por píxel. Cada píxel solo puede tener uno de dos valores: 0 (negro) o 1 (blanco), representando  $2^1$ , o 2, tonos en total.<sup>14</sup>

### 1.4 Gestión del Color y Pipelines de Procesamiento (ICC)

Un *pipeline* de procesamiento de imágenes es la secuencia de operaciones que transforma una imagen desde su captura hasta su salida final.<sup>18</sup> Para mantener la consistencia del color a través de diferentes dispositivos (cámaras, monitores, impresoras), se utiliza un sistema de gestión de color.<sup>5</sup>

Este sistema se basa en perfiles del Consorcio Internacional del Color (ICC), que describen los espacios de color específicos de los dispositivos.<sup>13</sup> Un pipeline de procesamiento típico define:

- Espacio de color de entrada:** El perfil incrustado en la imagen fuente (p.ej., el de la cámara).<sup>13</sup>
- Espacio de color de trabajo:** El espacio en el que se realizan todas las ediciones y cálculos (p.ej., ProPhoto RGB para preservar la gama).<sup>5</sup>
- Espacio de color de salida:** El espacio de destino para la visualización o impresión (p.ej., sRGB para la web).<sup>13</sup>

La correcta gestión de estos perfiles asegura que los valores numéricos de los píxeles se interpreten correctamente en cada etapa.

**Tabla 1: Matriz Comparativa de Modelos de Color Fundamentales**

Característica	RGB (Rojo, Verde, Azul)	HSV (Tono, Saturación, Valor)	Escala de Grises (Luminancia)	Blanco y Negro (Binario)
Componentes	(R, G, B)	(H, S, V)	(Y)	(B)
Profundidad Típica	24 bits (3x8)	24 bits (3x8)	8 bits (1x8)	1 bit (1x1)
Modelo Conceptual	Cubo Cartesiano Aditivo <sup>11</sup>	Cilindro Perceptual <sup>20</sup>	Vector de Luminancia <sup>21</sup>	Valor Booleano <sup>14</sup>
Aplicación Principal	Adquisición, Visualización <sup>8</sup>	Ánalisis de Color, Visión Artificial <sup>6</sup>	Ánalisis de Textura/Luminancia <sup>22</sup>	Ánalisis Morfológico/Forma <sup>23</sup>

## Sección 2: Análisis del Modelo RGB (Rojo, Verde, Azul)

### 2.1 El Cubo de Color Aditivo y la Representación de 8 bits

El modelo RGB es el estándar de facto para la adquisición y visualización de imágenes digitales. Se conceptualiza como un sistema de coordenadas cartesianas tridimensional, comúnmente llamado el "cubo de color".<sup>11</sup>

En la implementación estándar de 8 bits por canal (24 bits en total), cada eje (Rojo, Verde, Azul) tiene un rango de valores enteros del 0 al 255.<sup>15</sup>

- El origen \$(0, 0, 0)\$ representa el **negro** (ausencia total de luz).<sup>10</sup>
- El vértice opuesto \$(255, 255, 255)\$ representa el **blanco** (máxima intensidad de los tres primarios).<sup>10</sup>
- Los vértices a lo largo de los ejes primarios representan los colores puros: \$(255, 0, 0)\$

es rojo,  $(0, 255, 0)$  es verde y  $(0, 0, 255)$  es azul.<sup>9</sup>

- Los colores secundarios se forman por la mezcla de dos primarios:  $(255, 255, 0)$  es amarillo,  $(0, 255, 255)$  es cian y  $(255, 0, 255)$  es magenta.<sup>11</sup>

Esta estructura permite definir  $256 \times 256 \times 256$ , o 16,777,216, combinaciones de color únicas.<sup>16</sup>

## 2.2 Espacios de Trabajo Estandarizados (Gamut)

Como se estableció, el modelo "RGB" es ambiguo hasta que se define un espacio de color. Los espacios de trabajo RGB estandarizados definen la gama (gamut) o el volumen de colores que se pueden representar.

- **sRGB:** Es el espacio de color estándar para la web, los monitores de consumo, los sistemas operativos y la fotografía digital no profesional.<sup>8</sup> Tiene una gama de colores relativamente limitada, pero su ubicuidad garantiza una reproducción de color razonablemente uniforme en la mayoría de los dispositivos.<sup>8</sup>
- **Adobe RGB (1998):** Desarrollado por Adobe, este espacio ofrece una gama significativamente más amplia que sRGB, especialmente en los tonos verdes y cian.<sup>3</sup> Es un estándar en los flujos de trabajo de impresión profesional y fotografía, ya que puede representar colores que sRGB no puede, pero que las impresoras modernas sí pueden reproducir.<sup>8</sup>
- **ProPhoto RGB:** Este es un espacio de color de gama extremadamente amplia, desarrollado por Kodak.<sup>3</sup> Es tan grande que incluye "colores imaginarios" que están fuera del rango de la visión humana. Se utiliza en la edición de imágenes RAW de 16 bits (o más) para evitar el "recorte" (*clipping*) de color. Durante manipulaciones de color intensas, los colores pueden salirse temporalmente de gamas más pequeñas (como Adobe RGB); trabajar en ProPhoto RGB asegura que esa información de color no se pierda permanentemente.<sup>7</sup>

## 2.3 Casos de Uso Dominantes y Limitaciones

El modelo RGB es dominante porque es el lenguaje nativo de los sensores de las cámaras (que suelen tener filtros de Bayer R, G y B) y de las tecnologías de visualización (LCD, OLED), que tienen subpíxeles R, G y B.<sup>8</sup>

Sin embargo, el modelo RGB presenta una limitación fundamental para el *análisis de imágenes*: la alta correlación entre los canales R, G y B. La información de color (crominancia) y la información de brillo (luminancia) están intrínsecamente mezcladas en los tres valores.<sup>6</sup> Este acoplamiento es el talón de Aquiles algorítmico de RGB. Considérese un algoritmo diseñado para segmentar un objeto rojo. Un objeto rojo bajo luz solar directa puede tener un valor RGB de  $(220, 20, 15)$ . El *mismo* objeto en una sombra puede tener un valor de  $(50, 5,$

3)\$. Un algoritmo que intente segmentar el objeto "rojo" mediante un umbral simple (p.ej., \$R > 200\$) fallará catastróficamente, perdiendo por completo el objeto en la sombra.<sup>6</sup>

Cualquier tarea de visión artificial que requiera robustez a los cambios de iluminación (seguimiento de objetos, vehículos autónomos, robótica) no puede depender de umbrales simples en el espacio RGB.<sup>27</sup> Esta limitación es la principal motivación para convertir datos a modelos como HSV o escala de grises.

---

## Sección 3: Modelos Acromáticos: Escala de Grises y Blanco y Negro

Los modelos acromáticos descartan la información de color (crominancia) y operan únicamente sobre la intensidad de la luz. Este proceso es una forma de *reducción de dimensionalidad*, que colapsa una imagen de 3 canales (RGB) en una imagen de 1 solo canal, simplificando enormemente el análisis y reduciendo el costo computacional.

### 3.1 Escala de Grises (Grayscale)

- **Definición:** Un modelo de color que representa imágenes utilizando únicamente tonos de gris. Retiene la información de **luminancia** (intensidad de luz percibida) y descarta la crominancia.<sup>21</sup>
- **Representación:** Típicamente, es un solo canal de 8 bits por píxel. Esto permite  $2^{8}$ , o 256, niveles distintos de gris, donde 0 representa el negro absoluto y 255 el blanco absoluto.<sup>14</sup>
- **Propósito:** Es un paso intermedio crucial en innumerables algoritmos de procesamiento de imágenes. Al aislar la luminancia, es ideal para tareas como el análisis de textura, la detección de bordes (que se definen por cambios abruptos de intensidad) y la alineación de imágenes.<sup>22</sup>

### 3.2 Imagen Binaria (Blanco y Negro)

- **Definición:** Una imagen binaria es un modelo de 1 bit, donde cada píxel solo puede tener uno de dos valores: 0 (negro) o 1 (blanco).<sup>14</sup> No existen tonos de gris intermedios.
- **Distinción Crítica:** Es un error conceptual común confundir "imagen en blanco y negro" (que implica binario, 1 bit) con "imagen en escala de grises" (acromático, 8 bits).<sup>14</sup> La conversión de escala de grises a binario es un proceso de cuantización destructivo llamado *umbralización* (*thresholding*).
- **Representación:** Cada píxel se almacena como un único bit (0 o 1).<sup>17</sup>
- **Propósito:** Se utiliza en el análisis morfológico (estudio de formas), detección de

contornos, segmentación y, fundamentalmente, en la preparación de imágenes para el Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR).<sup>23</sup>

### 3.3 Aplicaciones Acromáticas (Reducción de Dimensionalidad)

El caso de uso más claro para los modelos acromáticos es el pipeline de **Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR)**.<sup>32</sup>

Un sistema de OCR rara vez opera directamente sobre una imagen en color. El pipeline estándar es el siguiente:

1. **Entrada (RGB):** Se recibe una imagen en color de un documento.
2. **Conversión a Escala de Grises:** La imagen se convierte a escala de grises.<sup>28</sup> Esto normaliza la imagen, eliminando información irrelevante como el color del papel o el color de la tinta, y maneja mejor los problemas de iluminación.<sup>34</sup>
3. **Conversión a Binario (Umbralización):** La imagen en escala de grises se convierte en una imagen binaria (blanco y negro).<sup>35</sup> Este es el paso más crítico. Utilizando un algoritmo de umbralización, el sistema decide qué píxeles son "fondo" (papel, que se convierte en blanco) y cuáles son "primer plano" (texto, que se convierte en negro).<sup>23</sup>
4. **Análisis de Forma:** El algoritmo de OCR analiza las *formas* de los componentes conectados (los caracteres negros) en la imagen binaria para identificarlos.

El snippet<sup>35</sup> destaca que, si bien el OCR tradicional prefiere imágenes binarias, el ICR (Reconocimiento Inteligente de Caracteres, para escritura a mano) puede beneficiarse de la escala de grises, ya que los matices en la intensidad del trazo pueden contener información útil.

---

## Sección 4: Análisis del Modelo HSV (Tono, Saturación, Valor)

### 4.1 El Modelo Cilíndrico: Mapeo Intuitivo de la Percepción Humana

El modelo HSV (también conocido como HSB, por *Hue, Saturation, Brightness*<sup>36</sup>) se desarrolló como una alternativa a RGB, diseñada para alinearse de manera más intuitiva con cómo los humanos perciben y describen el color.<sup>9</sup> En lugar de las coordenadas cartesianas de RGB, HSV utiliza un sistema de coordenadas cilíndricas.<sup>20</sup>

La ventaja conceptual de HSV es la separación de los componentes del color. Si un diseñador desea hacer un color rojo "más brillante" o "menos saturado", puede manipular un solo componente (V o S).<sup>37</sup> En RGB, tendría que ajustar los tres valores (R, G y B) de forma no

lineal.

## 4.2 Desglose de Componentes Perceptuales

Los tres componentes de HSV representan las tres preguntas que hacemos sobre un color:

1. **Tono (Hue - H):** Representa el "tipo" de color puro. Es la propiedad que da nombre a un color (p.ej., rojo, verde, azul).<sup>37</sup> Se representa como un ángulo en el círculo cromático, que va de 0 a 360 grados.<sup>6</sup> Por convención, el rojo se sitúa en 0°, el verde en 120° y el azul en 240°.<sup>6</sup> En implementaciones de 8 bits (como en OpenCV), este rango a menudo se normaliza a 0-179 (para caber en un byte, ya que  $180 \times 2 = 360$ ) o 0-255.
2. **Saturación (Saturation - S):** Representa la "pureza" o "intensidad" del color.<sup>37</sup> Es la distancia radial desde el eje central del cilindro. Un valor de S=0 (en el centro) es completamente acromático (un tono de gris), independientemente del Tono o el Valor. Un valor de S=1 (o 255) en el borde exterior del cilindro representa el color más puro y saturado.
3. **Valor (Value - V):** Representa el "brillo" o la intensidad de la luz.<sup>37</sup> Es el eje vertical del cilindro. Un valor de V=0 es siempre **negro**, independientemente de H o S. A medida que V aumenta, el color se vuelve más brillante, alcanzando su máxima intensidad en V=1 (o 255).

## 4.3 Comparativa Conceptual y Geométrica con HSL (Luminosidad)

El modelo HSV se confunde a menudo con el modelo HSL (Tono, Saturación, Luminosidad).<sup>38</sup> Aunque ambos son cilíndricos y comparten el mismo componente H (Tono), difieren fundamentalmente en su eje vertical.<sup>39</sup>

- **En HSV (Valor):** El modelo es un cono único. El brillo máximo (V=1) corresponde al color puro más brillante. Es una representación que modela "añadir negro" a un color puro (disminuir V).<sup>39</sup>
- **En HSL (Luminosidad):** El modelo es un doble cono. L=0 es negro, pero L=1 es **blanco**. El color puro y completamente saturado se encuentra en el punto medio, L=0.5.<sup>39</sup> Este modelo representa simétricamente "añadir negro" (disminuir L de 0.5 a 0) o "añadir blanco" (aumentar L de 0.5 a 1).

Esta diferencia es sutil pero algorítmicamente significativa. El modelo HSV (o HSB) es generalmente preferido en la visión por computadora.<sup>39</sup> La razón es que el canal 'V' (Valor) se correlaciona de manera mucho más directa y limpia con la intensidad de la luz o el brillo de una escena, lo que lo convierte en un sustituto robusto de la luminancia.

---

## Sección 5: Operaciones de Conversión y

# Transformación Algorítmica

El poder del procesamiento de imágenes radica en la capacidad de transformar datos entre modelos para explotar las fortalezas de cada uno. Esta sección detalla los algoritmos matemáticos para estas conversiones.

## 5.1 Conversión de RGB a Escala de Grises (Reducción a Luminancia)

La conversión de una imagen RGB de 3 canales a una imagen de escala de grises de 1 canal es un proceso de reducción de dimensionalidad.<sup>40</sup> Existen tres algoritmos principales para lograr esto<sup>41</sup>:

### 1. Método 1: Promedio (Average)

- **Fórmula:**  $\text{Gris} = (R + G + B) / 3$ .<sup>41</sup>
- **Análisis:** Este es el método más simple e ingenuo. Es rápido computacionalmente, pero es perceptualmente incorrecto.<sup>43</sup> No tiene en cuenta cómo el sistema visual humano percibe el brillo. El ojo humano es mucho más sensible al verde que al rojo o al azul<sup>41</sup>, por lo que una media simple subestima el brillo percibido de las áreas verdes.

### 2. Método 2: "Lightness" (Promedio Max/Min)

- **Fórmula:**  $\text{Gris} = (\max(R, G, B) + \min(R, G, B)) / 2$ .<sup>41</sup>
- **Análisis:** Este método se alinea con el componente 'L' (Luminosidad) del modelo HSL. Tiende a reducir el contraste general de la imagen y no es un estándar de la industria para la conversión de luminancia.<sup>41</sup>

### 3. Método 3: Promedio Ponderado (Luminosidad)

- **Análisis:** Este es el método estándar y perceptualmente correcto. Asigna ponderaciones a cada canal (R, G, B) para coincidir con la sensibilidad del ojo humano. La fórmula de conversión a escala de grises no es solo un algoritmo, es un *modelo psicofísico* de la visión humana. Al ponderar más el canal verde, la imagen en escala de grises resultante coincide mucho mejor con el brillo percibido de la imagen en color original.
- **Fórmula (Estándar BT.601 / CCIR 601 / NTSC):** Esta es la fórmula más común, utilizada en vídeo de definición estándar y en muchas bibliotecas, incluida OpenCV (para cvtColor).<sup>43</sup>  
\$\$\text{Gris} = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B\$\$<sup>45</sup>
- **Fórmula (Estándar BT.709 / HDTV):** Esta es una fórmula más moderna utilizada para la televisión de alta definición (HDTV).<sup>46</sup>  
\$\$\text{Gris} = 0.2126 \times R + 0.7152 \times G + 0.0722 \times B\$\$

**Tabla 2: Fórmulas de Conversión RGB a Escala de Grises**

Método	Fórmula Matemática	Base Perceptual / Notas
Promedio (Average)	$Y = (R + G + B) / 3$	Rápido, pero perceptualmente inexacto. Ignora la sensibilidad visual humana. <sup>41</sup>
Lightness	$Y = (\max(R, G, B) + \min(R, G, B)) / 2$	Se alinea con el modelo HSL. Tiende a reducir el contraste. <sup>41</sup>
Luminosidad (BT.601)	$Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$	Estándar industrial (incluido OpenCV). <sup>44</sup> Modela la percepción humana (verde más sensible). <sup>45</sup>
Luminosidad (BT.709)	$Y = 0.2126 R + 0.7152 G + 0.0722 B$	Estándar moderno para HDTV. Aún más ponderación para el verde. <sup>46</sup>

## 5.2 Conversión de Escala de Grises a Binario (Umbralización)

La umbralización (*thresholding*) es el proceso de cuantizar una imagen de 8 bits (256 niveles) en una imagen de 1 bit (2 niveles).<sup>23</sup> Esto se logra comparando cada píxel con un valor de umbral ( $T$ ).

### 1. Algoritmo 1: Umbralización Global (Simple)

- **Algoritmo:** Se selecciona un único valor de umbral  $T$  (p.ej.,  $T=128$ ) para toda la imagen.<sup>30</sup> Para cada píxel  $P_{in}$  en la imagen de escala de grises 47:

```
$$P_{out} = \begin{cases} \text{(Blanco)} & \text{si } P_{in} > T \\ \text{(Negro)} & \text{si } P_{in} \leq T \end{cases}$$
```

- **Análisis:** Es extremadamente rápido, pero solo funciona de manera fiable en imágenes con condiciones de iluminación perfectamente uniformes y un alto contraste entre el fondo y el primer plano.<sup>23</sup>

### 2. Algoritmo 2: Umbralización Adaptativa (Local)

- **Algoritmo:** Este método supera la limitación de la iluminación no uniforme. En lugar de un umbral  $T$  global, el umbral se calcula dinámicamente para cada píxel basándose en una pequeña región vecina.<sup>23</sup>
- **Métodos Comunes:** El umbral  $T(x, y)$  para el píxel en  $(x, y)$  puede ser la media de los píxeles en su vecindario (Umbralización Adaptativa de Media) o una media ponderada gaussiana (Umbralización Adaptativa Gaussiana), que da más

peso a los píxeles más cercanos.<sup>23</sup>

- **Análisis:** Es computacionalmente más costoso, pero drásticamente más robusto a sombras, gradientes de iluminación y variaciones en el fondo, siendo esencial para tareas como la digitalización de documentos.<sup>23</sup>

### 3. Algoritmo 3: Método de Otsu

- **Algoritmo:** El método de Otsu es una técnica *automática* para encontrar el umbral *global* óptimo.<sup>23</sup> Trata la umbralización como un problema de clasificación.
- **Análisis:** El algoritmo analiza el histograma de intensidad de la imagen.<sup>49</sup> Itera a través de todos los posibles valores de umbral  $T$  (0-255) y, para cada uno, calcula la varianza de los píxeles *dentro* de las dos clases que crea (fondo y primer plano). El umbral óptimo es aquel que **minimiza la varianza intraclasista** (o, de forma equivalente, maximiza la varianza interclasista). Es el método de referencia cuando se necesita un único umbral no arbitrario para una imagen bimodal.

## 5.3 Conversión de RGB a HSV (Pseudocódigo y Derivación)

La conversión de RGB a HSV es un algoritmo condicional que transforma el cubo RGB en el cilindro HSV.<sup>50</sup> Asumiendo que R, G, B están en el rango :

1. Normalización: Normalizar R, G, B al rango .

$$R' = R / 255$$

$$G' = G / 255$$

$$B' = B / 255$$

50

2. Encontrar Máximo, Mínimo y Delta:

$$C_{\max} = \max(R', G', B')$$

$$C_{\min} = \min(R', G', B')$$

$$\Delta = C_{\max} - C_{\min}$$

50

3. Cálculo de V (Valor): El Valor es simplemente el componente máximo.

$$V = C_{\max}$$

50

4. Cálculo de S (Saturación): La Saturación es la relación del delta con respecto al máximo.

$$S = \begin{cases} 0 & \text{si } C_{\max} = 0 \\ \Delta / C_{\max} & \text{si } C_{\max} \neq 0 \end{cases}$$

50

5. **Cálculo de H (Tono):** Este es el núcleo condicional. H se mide en grados ( $0^\circ$  a  $360^\circ$ ).

- Si  $\Delta = 0$  (es decir,  $C_{max} = C_{min}$ ), el color es acromático (un tono de gris).

$$H = 0$$

50

- Si  $\Delta \neq 0$ :

$$\text{Si } C_{max} = R: H = 60 \times \left( \left( \frac{G - B}{\Delta} \right) \mod 6 \right)$$

$$\text{Si } C_{max} = G: H = 60 \times \left( \frac{B - R}{\Delta} \right) + 2$$

$$\text{Si } C_{max} = B: H = 60 \times \left( \frac{R - G}{\Delta} \right) + 4$$

50

- Asegurarse de que H sea positivo: Si  $H < 0$ ,  $H = H + 360$ .

## 5.4 Conversión de HSV a RGB (Pseudocódigo y Derivación)

La conversión inversa, de HSV (con H en \$\$, S en \$\$, V en \$\$) a RGB, revierte el proceso.<sup>52</sup>

1. Manejo de Saturación Cero: Si  $S = 0$ , el color es acromático.

$$R = V, G = V, B = V. \text{ Retornar } (R, G, B) \text{ escalados a 255.}$$

52

2. **Cálculo de Valores Intermedios:**

- Calcular el "sector" del Tono (hay 6 sectores en el círculo cromático).

$$H' = H / 60.0$$

$$i = \lfloor H' \rfloor \text{ (la parte entera, } i \text{ estará en $$)}$$

52

- Calcular la parte fraccionaria dentro del sector.

$$f = H' - i$$

- Calcular los valores  $p, q, t$  que representan las tres fases de color.

$$p = V \times (1 - S)$$

$$q = V \times (1 - f) \times S$$

$$t = V \times (1 - (1 - f) \times S)$$

52

3. **Asignación por Sector (Switch):** Asignar  $(p, q, t, V)$  a  $(R, G, B)$  basándose en el sector  $i$ .<sup>52</sup>

- case 0 (Rojo a Amarillo):  $R = V, G = t, B = p$
- case 1 (Amarillo a Verde):  $R = q, G = V, B = p$

- case 2 (Verde a Cian):  $R = p$ ,  $G = V$ ,  $B = t\$$
- case 3 (Cian a Azul):  $R = p$ ,  $G = q$ ,  $B = V\$$
- case 4 (Azul a Magenta):  $R = t$ ,  $G = p$ ,  $B = V\$$
- case 5 (Magenta a Rojo):  $R = V$ ,  $G = p$ ,  $B = q\$$

52

#### 4. Desnormalización: Multiplicar R, G, B por 255 para obtener el rango .

Estas conversiones no son operaciones aisladas; son los bloques de construcción de pipelines de análisis. Por ejemplo, una tarea como "encontrar texto rojo en un documento escaneado con sombras" requeriría un pipeline complejo:

1. Original (RGB)  $\rightarrow$  HSV (para aislar el color).<sup>6</sup>
2. Umbralizar H y S para crear una máscara binaria de "rojo".<sup>56</sup>
3. Original (RGB)  $\rightarrow$  Escala de Grises (para aislar la estructura).<sup>44</sup>
4. Umbralización Adaptativa de la escala de grises para crear una máscara binaria de "todo el texto".<sup>23</sup>
5. Resultado = Operación AND entre (Máscara de Rojo) y (Máscara de Texto).

Este enfoque combina las fortalezas de cada modelo, demostrando que la maestría no reside en conocer un modelo, sino en saber cómo y cuándo transformar los datos entre ellos.

## Sección 6: Análisis Estratégico y Selección de Espacios de Color para Pipelines de Procesamiento

### 6.1 Análisis Comparativo: Costo Computacional vs. Robustez

La selección de un modelo de color es un compromiso (*trade-off*). Las operaciones en RGB y escala de grises suelen ser computacionalmente más eficientes, ya que a menudo implican operaciones lineales (como sumas ponderadas o convoluciones).

La conversión a HSV, por el contrario, introduce una sobrecarga computacional significativa.<sup>6</sup> Los algoritmos (detallados en 5.3 y 5.4) involucran múltiples divisiones de punto flotante, comparaciones y lógica condicional (sentencias switch), que son más lentas que las operaciones aritméticas simples.

En sistemas embebidos, robótica o aplicaciones de vídeo en tiempo real, esta latencia de conversión puede ser un cuello de botella crítico.<sup>6</sup> El pipeline debe ser perfilado. Si una tarea (como la detección de bordes) se puede realizar adecuadamente solo en el canal V de HSV o en una conversión a escala de grises, la conversión a escala de grises (un cálculo ponderado) es casi siempre preferible por su velocidad.

### 6.2 Por qué HSV Domina en la Visión por Computadora: Detección de

## Color y Segmentación

A pesar de su costo computacional, el modelo HSV es la herramienta dominante para cualquier tarea de visión artificial que implique la detección o segmentación de color.<sup>6</sup> La ventaja estratégica fundamental es el **desacoplamiento de la luminancia (brillo) y la crominancia (color)**.<sup>6</sup> Como se analizó en la Sección 2, el problema de RGB es que la iluminación afecta a los tres canales. HSV fue diseñado explícitamente para separar estos componentes.<sup>6</sup>

Considérese el caso de estudio de la detección de un objeto de un color específico, como una fruta o una señal de tráfico<sup>56</sup>:

- **Enfoque RGB (Frágil):** Para detectar "amarillo", se necesitaría definir un volumen 3D complejo en el cubo RGB. Este volumen tendría que incluir tanto \$(255, 255, 0)\$ (amarillo brillante) como \$(50, 50, 0)\$ (amarillo oscuro en sombra). Esto es algorítmicamente complejo e inestable.
- **Enfoque HSV (Robusto):** "Amarillo" tiene un rango de Tono (Hue) muy específico y estrecho.<sup>56</sup> El algoritmo simplemente necesita aislar este rango del canal H, y quizás establecer un umbral mínimo de Saturación (S) para excluir los grises. El canal V (Valor/Brillo) puede ser ignorado en gran medida.

El resultado es que el objeto amarillo se detecta de manera fiable tanto bajo luz brillante (V alto) como en sombra (V bajo), porque su Tono (H) permanece estable.<sup>6</sup>

### 6.3 Análisis Detallado: La Robustez de HSV frente a Cambios de Iluminación

Este principio puede formalizarse. Un modelo de formación de imágenes simplificado en visión artificial establece que la imagen que se captura,  $I(x, y)$ , es el producto de la Iluminación  $L(x, y)$  (cuánta luz incide sobre la escena) y la Reflectancia  $R(x, y)$  (la propiedad intrínseca de los objetos para reflejar la luz, es decir, su "color").

$$I(x, y) = L(x, y) \times R(x, y)$$

- En el modelo **RGB**, un cambio en la iluminación  $L$  (una sombra) multiplica los tres canales  $(R, G, B)$ , cambiando los tres valores simultáneamente. El algoritmo no puede distinguir fácilmente un objeto azul oscuro de un objeto azul claro en una sombra.
- En el modelo **HSV**, la conversión está diseñada de tal manera que el componente de Iluminación  $L$  se mapea casi por completo al canal **V (Valor)**. Los componentes de Reflectancia  $R$  (el color intrínseco del objeto) se mapean a los canales **H (Tono)** y **S (Saturación)**.

Por lo tanto, al aislar y analizar únicamente los canales H y S, el algoritmo puede estudiar el color intrínseco del objeto, siendo *robusto* a los cambios en la iluminación. Esta es la razón algorítmica fundamental de la superioridad de HSV en la segmentación de color.

## 6.4 Selección del Espacio de Trabajo para Edición vs. Análisis

La elección del modelo o espacio de color depende radicalmente del objetivo final:

### 1. Objetivo: Edición Fotográfica (Alta Fidelidad)

- **Espacio Recomendado:** ProPhoto RGB (o Adobe RGB).<sup>3</sup>
- **Justificación:** El objetivo es preservar la máxima cantidad de información de color capturada por el sensor de la cámara (RAW).<sup>26</sup> Al editar en un espacio de gama amplia, se evita el recorte (clipping) de colores, incluso si esos colores no son visibles en el monitor actual.<sup>26</sup> Los cálculos de manipulación de color se realizan con mayor precisión y amplitud.<sup>7</sup> El archivo final solo se convierte al espacio de destino (p.ej., sRGB para la web) como último paso.<sup>26</sup>

### 2. Objetivo: Análisis de Visión Artificial (Robustez)

- **Modelo Recomendado:** HSV o Escala de Grises.<sup>6</sup>
- **Justificación:** El objetivo es descartar información irrelevante (como la iluminación) para simplificar el problema. La imagen de entrada (de la cámara, en RGB) se convierte desde RGB a un modelo analítico. Se elige HSV si el color es el descriptor clave (p.ej., segmentar frutas).<sup>6</sup> Se elige Escala de Grises si la textura, la forma o la intensidad son los descriptores clave (p.ej., detección de bordes, OCR).

**Tabla 3: Análisis Estratégico de Casos de Uso**

Tarea de Procesamiento	Modelo/Espacio Recomendado	Justificación de la Elección
Detección de Bordes (Canny, Sobel)	Escala de Grises (Luminosidad)	Los bordes se definen por gradientes de intensidad (luminancia). La información de color (crominancia) es ruido para esta tarea.
OCR de Documentos Escaneados	Escala de Grises $\rightarrow$ Binario (Adaptativo)	1. Grises normaliza la iluminación. <sup>34</sup> 2. Binario aísla la forma del texto del fondo. <sup>35</sup> 3. Adaptativo maneja las sombras del escaneo. <sup>23</sup>
Segmentación de Fruta por Color	RGB $\rightarrow$ HSV	El canal H (Tono) es robusto a los cambios de iluminación, permitiendo la segmentación del color de la fruta en sol y

		sombra. <sup>6</sup>
<b>Edición Fotográfica (RAW) de Alta Gama</b>	ProPhoto RGB (16 bits)	Preserva la gama de color máxima capturada por el sensor. Evita el <i>clipping</i> de colores durante la edición. <sup>3</sup>
<b>Publicación de Imágenes en la Web</b>	sRGB (8 bits)	Estándar universal. Asegura la visualización consistente del color en la gran mayoría de monitores y dispositivos. <sup>8</sup>
<b>Análisis de Textura</b>	Escala de Grises (Luminosidad)	La textura es un patrón espacial de variaciones de intensidad (luminancia).

## Sección 7: Conclusiones y Síntesis

### 7.1 Resumen Comparativo de Modelos y Transformaciones

El análisis de los modelos de color RGB, HSV, escala de grises y binario revela que no existe un modelo "superior", sino una herramienta adecuada para cada tarea.

- **RGB** es el modelo fundamental de *adquisición* (cámaras) y *visualización* (pantallas). Su principal debilidad algorítmica es el acoplamiento de la información de luminancia y crominancia, haciéndolo frágil ante los cambios de iluminación.
- Los modelos **Acromáticos (Escala de Grises y Binario)** son herramientas de *reducción de dimensionalidad*. La escala de grises aísla la luminancia (intensidad percibida) para el análisis de textura y bordes. La imagen binaria aísla la forma pura para el análisis morfológico y el OCR.
- **HSV** es el modelo de *análisis perceptual*. Al desacoplar matemáticamente el Tono (H) y la Saturación (S) del Valor (V), proporciona una representación del color que es inherentemente robusta a las variaciones de iluminación, convirtiéndolo en el estándar de oro para la segmentación y el seguimiento basados en el color en la visión por computadora.

### 7.2 Recomendaciones para la Implementación

La selección de un modelo de color no es un detalle de implementación; es uno de los pasos de *diseño algorítmico* más fundamentales en cualquier pipeline de procesamiento de imágenes.

1. **Priorizar la Robustez para el Análisis:** Para tareas de visión artificial que deban

operar en entornos no controlados (p.ej., robótica, exteriores), la conversión de RGB a HSV es un primer paso casi obligatorio si el color es una característica distintiva.

2. **Sopesar el Costo Computacional:** En aplicaciones de tiempo real o en hardware con recursos limitados (sistemas embebidos), se debe sopesar la robustez de HSV frente a la latencia que introduce su conversión.<sup>6</sup> A menudo, un análisis inteligente en el espacio de escala de grises o incluso en un solo canal de RGB puede ser un sustituto "suficientemente bueno" y mucho más rápido.
3. **Dominar las Conversiones:** La capacidad de un sistema robusto no radica en adherirse a un solo modelo, sino en su capacidad para transformar fluidamente los datos entre representaciones (RGB, HSV, Grises, Binario), utilizando la información de cada dominio para construir una comprensión integral de la escena.

## Fuentes citadas

1. Espacio de color - Wikipedia, la enciclopedia libre, acceso: noviembre 10, 2025, [https://es.wikipedia.org/wiki/Espacio\\_de\\_color](https://es.wikipedia.org/wiki/Espacio_de_color)
2. Espacios de color en Fotografía: sRGB, Adobe RGB y ProPhoto RGB - RBG Escuela, acceso: noviembre 10, 2025, <https://rbgescuela.com/espacios-color-en-fotografia-srgb-adobe-rgb-y-prophot-o-rgb/>
3. Consejos para gestionar los perfiles de color en fotografía y video - Alpha Universe | Notas, acceso: noviembre 10, 2025, <https://www.sony.co.cr/alphauniverse/stories/consejos-para-gestionar-los-perfiles-de-color-en-fotografia-y-video>
4. acceso: noviembre 10, 2025, <https://www.eizo.es/gestion-y-calibracion-del-color/gestion-del-color-para-fotorafos/episodio-04-espacios-de-color-de-proceso#:~:text=El%20espacio%20de%20color%20influye%20en%20el%20tratamiento%20de%20im%C3%A1genes&text=El%20espacio%20de%20color%20de,%20imagen%20de%20forma%20diferente.>
5. Administración de color en After Effects - Adobe Help Center, acceso: noviembre 10, 2025, <https://helpx.adobe.com/la/after-effects/using/color-management.html>
6. RGB vs HSV: Which Color Model is Better for Machine Vision? - Unilogic, acceso: noviembre 10, 2025, <https://unilogic.in/blog/RGB-Vs-HSV/>
7. ¿Qué espacio de color elegir? ¿Más grande es mejor ..., acceso: noviembre 10, 2025, <https://www.photoshopeando.com/2014/05/22/que-espacio-de-color-elegir-mas-grande-es-mejor/>
8. Comprender sRGB: el espacio de color estándar para fotografía, acceso: noviembre 10, 2025, <https://proedu.com/es-mx/blogs/photography-fundamentals/understanding-srgb-the-standard-color-space-for-photography>
9. Colorimetría III: La Objetividad del Color en RGB, HSV y HSL. - Artesolar, acceso: noviembre 10, 2025, <https://www.artesolar.com/colorimetria-espacios-rgb-hsv-hsl/>

10. Espacios de color y perfiles ICC - IBM, acceso: noviembre 10, 2025,  
<https://www.ibm.com/docs/es/i/7.6.0?topic=concepts-color-spaces-icc-profiles>
11. RGB - Wikipedia, la enciclopedia libre, acceso: noviembre 10, 2025,  
<https://es.wikipedia.org/wiki/RGB>
12. Modelos de color RGB y CMYK: Todo lo que necesitas saber - Realisaprint.es, acceso: noviembre 10, 2025,  
<https://www.realisaprint.es/actualidad/consejos-y-tutoriales-sobre-el-mundo-de-la-impresion/modelos-de-color-rgb-y-cmyk-todo-lo-que-necesitas-saber/>
13. Administración de color de procesamiento de imágenes \* | Adobe Experience Manager, acceso: noviembre 10, 2025,  
<https://experienceleague.adobe.com/es/docs/dynamic-media-developer-resources/image-serving-api/image-rendering-api/http-protocol-reference/http-protocol-syntax/c-ir-color-management>
14. profundidad de bits - Tutorial de Digitalización de Imágenes - Terminología básica, acceso: noviembre 10, 2025,  
<http://preservationtutorial.library.cornell.edu/tutorial-spanish/intro/intro-04.html>
15. Why do we always divide RGB values by 255? [closed] - Stack Overflow, acceso: noviembre 10, 2025,  
<https://stackoverflow.com/questions/20486700/why-do-we-always-divide-rgb-values-by-255>
16. Why do the color values range from (0-255) only? - DEV Community, acceso: noviembre 10, 2025,  
<https://dev.to/rahulnegi/why-do-the-color-values-range-from-0-255-only-10k8>
17. Imágenes libres de regalías de Binary black and white - Shutterstock, acceso: noviembre 10, 2025,  
<https://www.shutterstock.com/es/search/binary-black-and-white>
18. Fuente de Image (Imagen), acceso: noviembre 10, 2025,  
[https://docs.red.com/955-0160/WEAPONMONSTRO8KVVOperationGuide/es-mx/Content/5\\_Advanced\\_Menus/Image/ImagePipline.htm](https://docs.red.com/955-0160/WEAPONMONSTRO8KVVOperationGuide/es-mx/Content/5_Advanced_Menus/Image/ImagePipline.htm)
19. What are color spaces? Types of color spaces for film and video. - YouTube, acceso: noviembre 10, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=uR2m-BdRVmM>
20. Modelo de color HSV - Wikipedia, la enciclopedia libre, acceso: noviembre 10, 2025, [https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_de\\_color\\_HSV](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_de_color_HSV)
21. Los colores como valores en la escala de grises - ttamayo.com, acceso: noviembre 10, 2025,  
<https://www.ttamayo.com/2018/03/valores-en-la-escala-de-grises/>
22. Conceptos de impresión en escala de grises - IBM, acceso: noviembre 10, 2025,  
<https://www.ibm.com/docs/es/i/7.5.0?topic=afp-grayscale-printing-concepts>
23. Explicación del umbralizado en el procesamiento de imágenes, acceso: noviembre 10, 2025,  
<https://www.ultralytics.com/es/blog/thresholding-in-image-processing>
24. Describing colours: RGB, acceso: noviembre 10, 2025,  
<https://data.europa.eu/apps/data-visualisation-guide/describing-colours-rgb>
25. Explicación de los espacios de color RGB:sRGB, AdobeRGB, DCI-P3, etc. - Proof.de, acceso: noviembre 10, 2025,

- <https://www.proof.de/es/rgb-fabraiseume-explicado/>
26. Espacios de color: ¿Cuál usar, por qué usarlo y cuándo? - YouTube, acceso: noviembre 10, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=aWD-fI8qmql>
27. Detección de color en visión artificial - Ultralytics, acceso: noviembre 10, 2025, <https://www.ultralytics.com/es/blog/leveraging-color-detection-in-computer-vision-applications>
28. ¿Qué es la escala de grises en Photoshop? - PRO EDU, acceso: noviembre 10, 2025, <https://proedu.com/es-mx/blogs/photoshop-skills/what-is-grayscale-in-photoshop>
29. Understand the GRAY SCALE and TONAL VALUES - YouTube, acceso: noviembre 10, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=j8T-kI5p51Y>
30. Construcción automática de características para segmentación de imágenes de pulmones afectados por COVID-19 utilizando prog - Universidad Veracruzana, acceso: noviembre 10, 2025, [https://www.uv.mx/mia/files/2021/07/Tesis\\_David\\_HS.pdf](https://www.uv.mx/mia/files/2021/07/Tesis_David_HS.pdf)
31. Imágenes a nivel de Gris, a blanco y negro (BW - Binarias) - YouTube, acceso: noviembre 10, 2025, <https://www.youtube.com/live/SC6AoSc4CQM>
32. OCR fundamentos usos ventajas y limitaciones del ocr - geekland, acceso: noviembre 10, 2025, <https://geekland.eu/fundamentos-usos-limitaciones-ocr/>
33. ¿Qué es OCR o Reconocimiento Óptico de Caracteres? - ElectroNeek, acceso: noviembre 10, 2025, <https://electroneek.com/es/rpa/what-is-ocr/>
34. Mejora de imágenes para OCR, acceso: noviembre 10, 2025, [https://docshield.tungstenautomation.com/OPU/es\\_ES/19.2.0-x8jtnwx31a/help/OP\\_U/Image\\_enhancement\\_for\\_OCR.htm](https://docshield.tungstenautomation.com/OPU/es_ES/19.2.0-x8jtnwx31a/help/OP_U/Image_enhancement_for_OCR.htm)
35. OCR vs ICR: Diferencias Clave y Cuándo Usar Cada Tecnología - AyP Digital, acceso: noviembre 10, 2025, <https://aypdigital.com/blog/ocr-vs-icr-diferencias/>
36. Glossary - Linearity, acceso: noviembre 10, 2025, <https://www.linearity.io/academy/glosario/h/>
37. Representación de colores en el sistema de coordenadas HSV, acceso: noviembre 10, 2025, [https://labmatlab.upv.es/eslabon/componentes\\_HSV/](https://labmatlab.upv.es/eslabon/componentes_HSV/)
38. Modelo de color HSL: qué es y qué ventajas tiene - uiFromMars, acceso: noviembre 10, 2025, <https://www.uifrommars.com/que-es-hsl/>
39. MODELO DE COLOR HSL Y HSV EN SKETCHBOOK - YouTube, acceso: noviembre 10, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=BQ8KSc8zs2c>
40. Conversión de RGB A Escala de Grises | PDF | Modelo de color Rgb | Píxel - Scribd, acceso: noviembre 10, 2025, <https://es.scribd.com/document/452910908/Conversion-de-RGB-a-escala-de-grises>
41. Three algorithms for converting color to grayscale - Applied Mathematics Consulting, acceso: noviembre 10, 2025, <https://www.johndcook.com/blog/2009/08/24/algorithms-convert-color-grayscale/>
42. "Standard" RGB to Grayscale Conversion - Stack Overflow, acceso: noviembre 10, 2025,

<https://stackoverflow.com/questions/17615963/standard-rgb-to-grayscale-conversion>

43. Cómo convertir imagen RGB a escala de grises (GUÍA COMPLETA!!! ) - YouTube, acceso: noviembre 10, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=qPcls-zV458>
44. What grayscale conversion algorithm does OpenCV cvtColor() use? - Stack Overflow, acceso: noviembre 10, 2025, <https://stackoverflow.com/questions/19181323/what-grayscale-conversion-algorithm-does-opencv-cvtColor-use>
45. 1.3.3 Conversión a escala de grises - Curso de Procesado de Imagen (c)GPI, acceso: noviembre 10, 2025, [https://www.uv.es/gpoei/eng/Pfc\\_web/generalidades/grises/grey.htm](https://www.uv.es/gpoei/eng/Pfc_web/generalidades/grises/grey.htm)
46. RGB to Grayscale Conversion - Mustafa Murat ARAT, acceso: noviembre 10, 2025, [https://mmuratarat.github.io/2020-05-13/rgb\\_to\\_grayscale\\_formulas](https://mmuratarat.github.io/2020-05-13/rgb_to_grayscale_formulas)
47. Simple Thresholding (Umbralización) OpenCV en Python » omes-va.com, acceso: noviembre 10, 2025, <https://omes-va.com/simple-thresholding/>
48. Técnicas alternativas para la conversión de imágenes a color a escala de grises en el tratamiento digital de imágenes - ResearchGate, acceso: noviembre 10, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/277198540\\_Tecnicas\\_alternativas\\_para\\_la\\_conversion\\_de\\_imagenes\\_a\\_color\\_a\\_escala\\_de\\_grises\\_en\\_el\\_tratamiento\\_digital\\_de\\_imagenes](https://www.researchgate.net/publication/277198540_Tecnicas_alternativas_para_la_conversion_de_imagenes_a_color_a_escala_de_grises_en_el_tratamiento_digital_de_imagenes)
49. Segmentación de imágenes térmicas mediante métodos de umbralización automáticos - UNED, acceso: noviembre 10, 2025, [https://www.uned.es/universidad/facultades/dam/jcr:f187f1d7-a4aa-47f3-af66-0292b8226561/PFM\\_Maria\\_Diaz\\_Martin.pdf](https://www.uned.es/universidad/facultades/dam/jcr:f187f1d7-a4aa-47f3-af66-0292b8226561/PFM_Maria_Diaz_Martin.pdf)
50. RGB, HSV, and HSL color conversion algorithms in JavaScript ..., acceso: noviembre 10, 2025, <https://gist.github.com/mjackson/5311256>
51. RGB to HSV Color Conversion Algorithm - Mathematics Stack Exchange, acceso: noviembre 10, 2025, <https://math.stackexchange.com/questions/556341/rgb-to-hsv-color-conversion-algorithm>
52. c++ - Algorithm to convert RGB to HSV and HSV to RGB in range 0 ..., acceso: noviembre 10, 2025, <https://stackoverflow.com/questions/3018313/algorithm-to-convert-rgb-to-hsv-and-hsv-to-rgb-in-range-0-255-for-both>
53. ¡Función para convertir HSV a RGB, para colores aleatorios y degradados que se ven mejor! : r/openscad - Reddit, acceso: noviembre 10, 2025, [https://www.reddit.com/r/openscad/comments/1968jae/function\\_to\\_convert\\_hsv\\_to\\_rgb\\_for\\_better\\_looking/?tl=es-419](https://www.reddit.com/r/openscad/comments/1968jae/function_to_convert_hsv_to_rgb_for_better_looking/?tl=es-419)
54. Convert HSV to RGB colors - Computer Science Stack Exchange, acceso: noviembre 10, 2025, <https://cs.stackexchange.com/questions/64549/convert-hsv-to-rgb-colors>
55. 1 Converting RGB to HSV - GitHub Pages, acceso: noviembre 10, 2025, <https://mattlockyer.github.io/lat455/documents/rgb-hsv.pdf>
56. Detección de objetos mediante color - Academia TIN, acceso: noviembre 10, 2025, <https://academia.tinoreste.com/deteccion-de-objetos-mediante-color/>

57. Sistemas de visión artificial en espacio de color para una detección precisa del color - UnitX, acceso: noviembre 10, 2025,  
<https://es.unitxlabs.com/color-space-machine-vision-system-accurate-color-detection/>
58. Detección de colores en OpenCV - Python (En 4 pasos) » omes-va.com, acceso: noviembre 10, 2025, <https://omes-va.com/deteccion-de-colores/>