



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA

## El color de una imagen digital

<b>Apellidos, nombre</b>	Vicente Atienza Vanacloig (vatienza@disca.upv.es)
<b>Departamento</b>	Informática de Sistemas y Computadores (DISCA)
<b>Centro</b>	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática

## 1 Resumen de las ideas clave

Este artículo trata sobre cómo se maneja el color en los sistemas digitales. Veremos que los ordenadores componen un tono de color a partir de una mezcla de colores básicos y cómo esta estrategia se usa tanto para la representación y codificación digital de imágenes en color (por ejemplo, para guardar imágenes en archivos) como para su reproducción en diferentes dispositivos, entre ellos monitores e impresoras.

## 2 Introducción

Seguro que más de una vez has usado algún programa para crear o editar una imagen. Y entonces casi seguro también que en algún momento te has encontrado con un cuadro de selección de color similar a los que aparecen en la Figura 1.

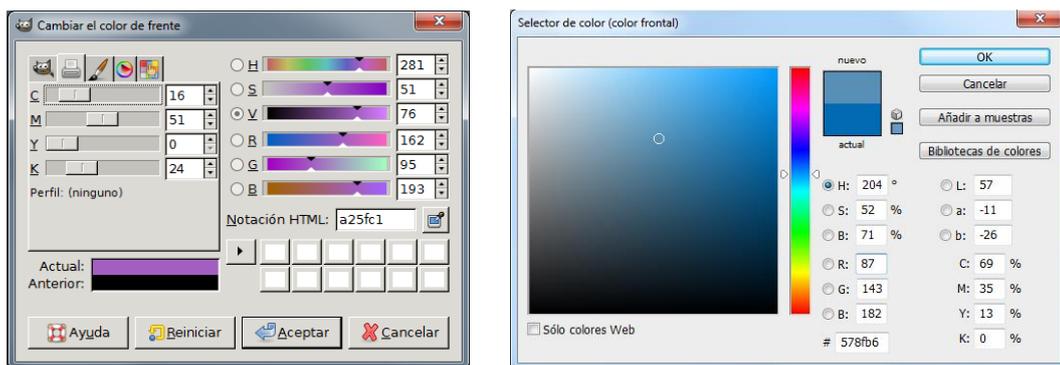


Figura 1. Cuadros de diálogo para selección de color usados en Gimp[1] (izquierda) y Photoshop (derecha).

Si tienes habilidades con los pinceles y te defiendes mezclando colores o al menos recuerdas tus felices días de colegio pasados entre témperas y acuarelas, algo de lo que te presentan estos coloridos diálogos te habrá resultado ya familiar.

Aunque es probable también que la explosión de controles, siglas y valores numéricos que aparecen ante ti te resulte cuando menos intimidatoria. “Si yo sólo quería un rosa clarito... ¿dónde hago clic?”

Algo que ya se intuye a partir de estos cuadros de diálogo es que de alguna manera, los colores se construyen de forma numérica, porque cualquier selección de color que hacemos hace bailar los números asociados a las diferentes (y numerosas) siglas: H, S, V, B, G, R,... Y también que, como en el cole, parece evidente que estamos creando un color mediante la mezcla de otros.

Iremos bien encaminados con estas ideas. Respecto a los números, ya sabemos que en el mundo digital todo debe describirse mediante secuencias de valores numéricos expresados mediante unos y ceros. Estos cuadros de diálogo hacen bien en ahorrarnos el detalle de los unos y los ceros, pero no nos ocultan que incluso los colores en el ordenador no son más que números.



Y respecto a lo de crear colores mediante la mezcla de otros, es algo que, desde luego, no han inventado los ordenadores sino que han heredado de los tiempos predigitales. En el mundo analógico los tonos de color son prácticamente infinitos y la manera como los hemos obtenido casi siempre ha sido mezclando un conjunto de colores básicos, bastante reducido por conveniencia y economía.

Era y es así por ejemplo en la imprenta, donde a partir de la mezcla de unas pocas tintas básicas siempre han sabido obtener el color buscado. Y ya era también así, por ejemplo, en las pantallas de los antiguos televisores analógicos en color, aquéllos con voluminosos tubos CRT, donde se conseguía hacer aparecer cualquier color encendiendo con brillo variable pequeños tríos de puntos de fósforo con tres colores elementales: rojo, verde y azul.

En la Figura 2 puedes ver ampliado el típico patrón de puntos de uno de estos televisores. Si se mira la pantalla desde la distancia suficiente, los pequeños puntos se funden visualmente en la retina, y esta mezcla resulta en el color buscado. En el ejemplo, están encendidos al máximo los puntos verdes y rojos, mientras que los azules están prácticamente apagados. Si te alejases lo suficiente, verías un recuadro de color amarillento, resultado de la fusión del rojo con el verde.

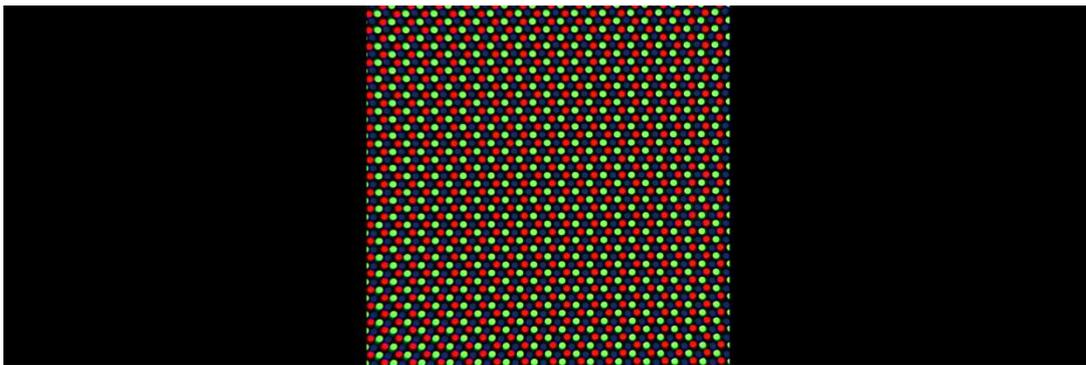


Figura 2. Disposición de los puntos rojos, verdes y azules en un televisor analógico con pantalla CRT. Ejemplo de la combinación de brillos que producen un tono amarillento.

### 3 Objetivos

Pues ya sabemos de dónde venimos y a dónde queremos llegar: a entender cómo los ordenadores representan y reproducen digitalmente las imágenes en color, de manera que, al finalizar este artículo seas capaz de:

- Diferenciar los distintos mecanismos físicos que permiten obtener un color mediante la mezcla de un pequeño conjunto de colores básicos.
- Explicar qué son los colores primarios y secundarios de un sistema de color.
- Nombrar los principales sistemas de color que se utilizan en los entornos digitales y citar una aplicación concreta para cada uno.
- Utilizar todas las posibilidades ofrecidas por los cuadros de selección de color en los programas de edición de imágenes.
- Describir la manera como una impresora de inyección de tinta consigue crear cualquier tono de color mediante un pequeño conjunto de tintas.



## 4 Mezclando colores

Acabamos de ver que en la pantalla de un televisor, rojo y verde hacen amarillo. Volviendo a los tiempos del cole, imagínate mezclando pintura roja y pintura verde. ¿Estás convencido de que vas a obtener pintura amarilla? Si te pones a ello, casi seguro que te va a pasar esto:



Figura 3. Mezcla de pinturas roja y verde.

¿Qué está ocurriendo? Pues que acabamos de descubrir que hay dos procesos diferentes de mezcla de colores, que no obtienen los mismos resultados.

Y es que en el caso del televisor mezclábamos **luces de color** (roja y verde). Es fácil deducir que el espectro de la luz resultante en el ejemplo de la Figura 2 incluiría las componentes roja y verde. Porque estamos en este caso **sumando** luces en lo que se conoce como una **mezcla aditiva**. Cuantas más luces de color se sumen a la mezcla, más brillante será el color obtenido y más rico su espectro. Si no se aporta ninguna componente de luz en una mezcla aditiva, obtenemos el **negro**, que es el color que tiene la pantalla del televisor cuando está apagada.

En cambio cuando se mezclan pinturas o tintas lo que vemos es el resultado de la **luz reflejada** o filtrada por la mezcla. ¿Por qué la pintura verde se ve verde cuando se ilumina con luz blanca, que contiene todos los colores? Porque sólo refleja la componente verde de la luz blanca y absorbe (**sustrae**) el resto del espectro, como ilustra la siguiente figura.



Figura 4. Generación sustractiva de color.



Por eso cuando mezclamos pinturas hablamos de que se produce una **mezcla sustractiva**. ¿Qué ocurre al mezclar las pinturas roja y verde? Lo has adivinado. La parte roja de la mezcla absorbe todas las componentes excepto el color rojo, y la verde todas excepto el verde (también absorbe, en alguna medida, el rojo que la otra pintura pretendía reflejar). El resultado es que la luz reflejada por la mezcla no contiene una parte importante del espectro de color y resulta en el tono marrón oscuro que observamos. En una mezcla sustractiva, el brillo del color resultante debe ser menor que el de cada una de las pinturas usadas, porque cada nueva pintura añadida sustrae una parte más del espectro. Las pinturas se depositan sobre un fondo blanco que refleja todos los colores del espectro. La ausencia de pintura produce, por tanto, el color blanco, que es el más brillante posible (ninguna componente de color ha sido sustraída).

## 5 Sistemas aditivos: RGB, YC<sub>B</sub>C<sub>R</sub>

Una vez conocido el fundamento de los mecanismos de mezcla de color, vamos a ver de qué manera se usan para crear, representar y reproducir colores digitalmente. En el mundo de los ordenadores, se utiliza ampliamente el sistema aditivo **RGB**, que usa los **colores primarios rojo, verde y azul** (el nombre deriva de las iniciales de estos tres colores en inglés). La Figura 5 muestra los colores que se obtienen de las diferentes mezclas de estos tres colores primarios a su máxima intensidad. La mezcla de cada dos colores primarios da como resultado lo que se conoce como **colores secundarios**. En el caso **RGB** los colores secundarios son **cian, magenta y amarillo**. De nuevo se observa cómo la mezcla aditiva de rojo y verde intensos produce amarillo. En la parte central, como cabía esperar, se ve que la mezcla de los tres colores primarios **RGB** da como resultado el color blanco. Si se hiciera variar la intensidad de cada uno de los colores primarios, veríamos que se podría componer casi cualquier tono de color del espectro visible.

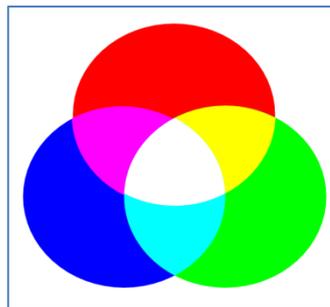


Figura 5. Mezcla aditiva de colores en el modelo RGB.

Y en esto se basa la síntesis de colores en el ordenador, en especificar el color como una serie de valores numéricos que indican la intensidad de cada componente, 3 valores para **RGB**. Es frecuente usar un byte (8 bits) para indicar cada uno de estos valores, con lo que se puede especificar un número entero entre 0 y 255 para cada componente. Cuanto mayor es el valor, mayor es el brillo de la componente. En total usamos **24 bits para especificar un color**. En el caso de una imagen, esto será lo que se requiera para codificar cada uno de sus píxeles.

La Figura 6 ofrece la descripción **RGB** de algunos colores de ejemplo. Observa por ejemplo que, cómo ya sabíamos, se puede codificar el amarillo brillante como la mezcla de rojo y verde a su máximo intensidad (**RGB= 255, 255, 0**). Y cómo los tonos



neutros (grises con distinto brillo, del negro al blanco) se obtienen igualando el valor de las tres componentes. El blanco se obtiene dando el máximo valor a las tres ( $RGB = 255, 255, 255$ ).

	R	G	B		R	G	B
rojo	255	0	0	azul	0	0	255
naranja	255	128	0	magenta	255	0	255
amarillo	255	255	0	negro	0	0	0
verde claro	128	255	128	gris 25%	64	64	64
verde	0	255	0	gris 50%	128	128	128
verde oscuro	0	128	0	blanco	255	255	255

Figura 6. Composición de algunos colores de ejemplo mediante el sistema RGB.

El sistema RGB, con algunas variantes, es el utilizado de forma casi universal a la hora de codificar el color en la mayoría de los **formatos de archivo** para imágenes. Hay diferencias sutiles en cuanto a qué tonos exactos de rojo, verde y azul se escogen como colores primarios o de qué manera la escala de valores numéricos se corresponde con los niveles de brillo.

También se usa ampliamente para la **adquisición de imágenes** (mediante escáneres o cámaras digitales) y para su **visualización en pantallas**, que por su propia naturaleza generan el color de forma aditiva, mezclando puntos luminosos de colores primarios. Es el caso de los monitores de ordenador, los cañones de vídeo o las pantallas de los dispositivos portátiles. Los adaptadores de vídeo, responsables de generar la señal que se envía a estos dispositivos, también usan el sistema RGB para este propósito.

Una variante interesante es el sistema  $YCbCr$ , por ser el que se usa en el popular formato de imagen JPEG y algunos estándares de vídeo relacionados. Se trata de nuevo de una representación del color con tres componentes ( $Y, C_B, C_R$ ) donde  $Y$  corresponde al brillo del color o **luminancia** (algo así como su versión en blanco y negro) y las dos últimas,  $C_B$  y  $C_R$ , representan, ahora sí, la información de color.  $C_B$  y  $C_R$  se denominan **diferencias de color** porque codifican una diferencia entre el brillo o luminancia  $Y$  y las componentes de color  $B$  y  $R$  respectivamente. El valor de verde, no codificado, puede recuperarse fácilmente, ya que es el aporte que faltará añadir para obtener la luminancia total  $Y$ . Este sistema está indicado para codificar imágenes en color con compresión, porque permite tratar de forma separada la información más importante (ya que es la que mejor apreciamos): el brillo del color.

## 6 Sistemas sustractivos: CMY, CMYK

Los sistemas sustractivos tienen también importancia en el mundo digital, porque se usan a la hora de **imprimir colores mediante tintas**, como ocurre en las impresoras. En teoría, superponiendo en distintas proporciones tres tintas con los colores cian, magenta y amarillo sobre un fondo blanco es posible obtener casi cualquier color. Este es el fundamento del sistema **CMY**. La Figura 7 muestra los colores que se obtienen con las mezclas de estos tres colores básicos.

Observa que las distintas mezclas de dos de estos colores primarios consiguen obtener los colores básicos RGB, que ahora se dicen secundarios. Por ejemplo, amarillo y magenta producen el rojo.

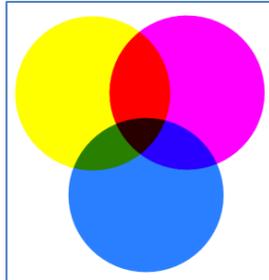


Figura 7. Mezcla sustractiva de colores en el modelo CMY.

**CUESTIÓN 1.** Quizá no lo creas, pero con lo que has visto hasta aquí estás en condiciones de explicar por qué la mezcla sustractiva de amarillo y magenta da el rojo como resultado. Una pista: repasa primero cómo se forman el amarillo y el magenta de forma aditiva en el sistema RGB.

La mezcla de las tres tintas CMY daría como resultado el negro (CMY= 255, 255, 255). Por el contrario el blanco se obtiene cuando no se deposita ninguna tinta sobre el papel (CMY= 0, 0, 0).

Esta es la teoría. En la práctica los impresores saben muy bien que las mezclas de tinta tienen sus limitaciones y que, por ejemplo, la mezcla de las tres tintas CMY no permite obtener un negro bonito ni suficientemente intenso. Por ello siempre se añade una cuarta tinta, la negra, obteniéndose así el sistema denominado **CMYK**. En general la tinta negra, más económica, permite conseguir los colores oscuros con un menor uso de las otras tres tintas. Y también se evita que se empape demasiado el papel. Como ves, cuestiones prácticas.

Los programas de manipulación de imágenes, como Gimp, también permiten trabajar con imágenes en el espacio CMYK. Por ejemplo, con Gimp es posible obtener las 4 **separaciones de color** o **canales CMYK** para una imagen cualquiera. Estas separaciones son de interés en trabajos de imprenta con la técnica de *cuatricromía*, basada directamente en el sistema CMYK. Te mostramos un ejemplo en la Figura 8.

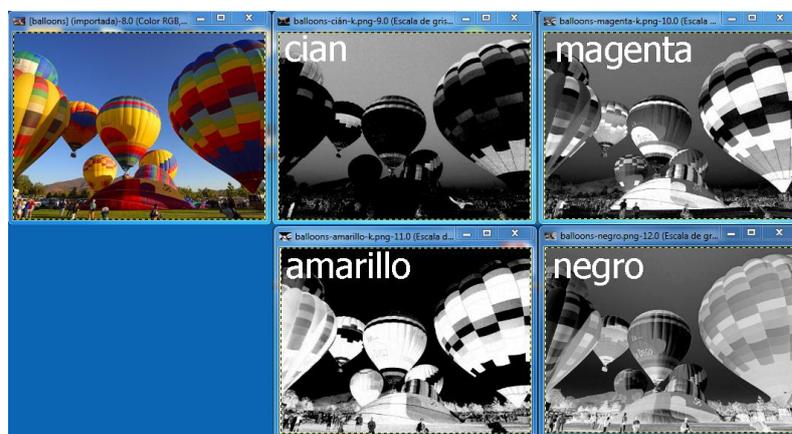


Figura 8. Obtención de las separaciones de color CMYK mediante Gimp.



Las partes más brillantes de las imágenes de las separaciones corresponden a las zonas donde más tinta de ese color se aportará. Observa, por ejemplo, cómo en la zona del cielo (azul), las imágenes cian y magenta son bastante brillantes y en cambio la imagen del amarillo es muy oscura. Esto está de acuerdo con las mezclas sustractivas que conocemos por la Figura 7: efectivamente, el azul se obtiene mezclando cian y magenta.

**CUESTIÓN 2.** Esta cuestión es fácil. ¿No te ha resultado curioso que la imagen de negro viene a ser el negativo de la imagen original (si esta no tuviera color)? Explícalo.

## Cómo crea los colores una impresora

Un gran número de impresoras de inyección de tinta trabajan, efectivamente, con 4 tintas CMYK. Estas impresoras son capaces de depositar sobre el papel minúsculas gotas de tinta de cada uno de sus 4 cartuchos y superponerlas si es necesario para obtener mezclas sustractivas. Sin embargo, no son capaces de dosificar con precisión la cantidad de tinta de cada gota de color primario, como sería necesario para aplicar una verdadera técnica CMYK. Las boquillas de los cartuchos de tinta sólo pueden poner una gota entera sobre el papel cuando se requiera. De manera que depositando gotas enteras individuales o superponiendo un par de ellas son capaces de crear minúsculos puntos de 7 colores distintos: cian (C) magenta (M), amarillo (Y), negro (K), rojo (M, Y), verde (C, Y) y azul (C, M).

Por otro lado, mediante tramas adecuadas de puntos próximos de estos 7 colores básicos sobre el papel blanco consiguen obtener, por el efecto de fusión en la retina que ya conocemos, casi cualquier color que se requiera. Esta técnica de creación de colores mediante patrones de puntos de un pequeño conjunto de colores se conoce como **tramado** (*dithering* en inglés). La Figura 9 te ofrece un ejemplo. El efecto obtenido de fusión visual de puntos próximos es básicamente el mismo que se produce en las pantallas y ya hemos visto que es una forma de mezcla aditiva. Así que ahora sabemos que las impresoras utilizan una técnica mixta para obtener el color, aditiva y sustractiva a la vez, bastante compleja pero muy ingeniosa.

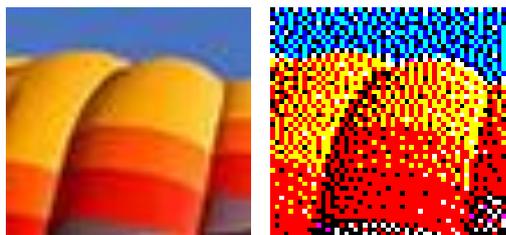


Figura 9. Simulación de impresión (derecha) de una pequeña parte de la imagen anterior (50x50 píxeles). Se han usado puntos con los 7 colores (más el blanco) que puede llegar a crear una impresora de 4 tintas y una técnica de tramado.

## 7 No somos máquinas: sistema HSV

Como hemos visto, los sistemas de color anteriores están estrechamente relacionados con aspectos tecnológicos: cómo el ordenador representa el color de forma que sea fácil de interpretar y representar por los monitores o las impresoras. Sin embargo, son poco intuitivos para las personas. No es fácil deducir,

por ejemplo, que para obtener amarillo hay que hacer una mezcla aditiva de rojo y verde.

Volvamos al ejemplo de la introducción: supón que quieres hacer uso de un cuadro de selección de colores para obtener un “rosa clarito”. Todos entendemos intuitivamente que el rosa es un “rojo blanquinoso” o “rojo pastel” y que “clarito” significa “brillante” o “luminoso”. De nuevo parece que definimos un color mediante tres características: su tono o *matiz* (rojo), su *saturación* (pastel) y su *intensidad* (claro). Pero en este caso se trata de magnitudes con un sentido muy intuitivo, que nos van a llevar de forma inequívoca al color buscado.

Este es el fundamento del último espacio de color que veremos aquí: el **HSV**. El matiz de color (**H** de *hue* en inglés) es la posición del color en un espectro en forma de rueda de colores, por lo que este valor se expresa como un ángulo: del rojo (0°) al violeta (360°). **S** es un porcentaje que representa la saturación, en una escala donde 0% corresponde a un color completamente desaturado (gris) y 100% corresponde al mismo color con su máxima viveza. Por último la componente **V** (de *value*) representa la intensidad o brillo del color, donde 0% sería el color totalmente oscuro (negro, de hecho) y 100% el mismo tono de color con brillo máximo.



Figura 8. Cuadro de Gimp que permite seleccionar gráficamente un color en el espacio HSV.

En la Figura 8 aparece un cuadro de diálogo que nos permite escoger gráficamente un color en el espacio HSV. Mediante la barra vertical central se escoge el valor de *H*, moviéndonos en una escala que recuerda a los colores del arcoíris. En nuestro caso se ha elegido un tono rojo. Después, el cuadro de la izquierda representa, para el matiz rojo elegido, todas las posibles variaciones de brillo (moviéndose en el eje horizontal) y saturación (eje vertical). La intersección de las líneas representa el color final que buscábamos, con alto brillo y baja saturación.

**CUESTIÓN 3.** A partir de la interpretación del cuadro de diálogo, ¿cuál es la codificación HSV del color que hemos seleccionado?

## Solución a las cuestiones

### CUESTIÓN 1

Como hemos visto, el amarillo contiene la suma de dos colores *RGB*: el rojo y el verde, es decir, una tinta amarilla sustrae el azul del espectro completo. Por otro lado el magenta es la suma de rojo y azul, que es tanto como decir que una tinta magenta lo que hace es absorber el color verde. La mezcla sustractiva de las tintas amarilla y magenta sustraen entonces en su conjunto tanto el azul como el verde. La componente que queda y es reflejada es, efectivamente, el color rojo.

### CUESTIÓN 2

Las partes claras de la imagen de negro corresponden a las zonas más oscuras de la imagen original, porque son las que más tinta negra requieren.

### CUESTIÓN 3

En los campos numéricos de la parte derecha se puede observar que su descripción *HSV* sería:  $H=11^\circ$ ,  $S=19\%$ ,  $V=98\%$ .

## 8 Cierre

A lo largo de este artículo hemos aprendido cómo los ordenadores representan el color de las imágenes, mediante diferentes mezclas de colores primarios que se cuantifican de forma numérica. Las estrategias de mezcla y los sistemas de color se pueden agrupar en dos grandes tipos: aditivos y sustractivos. Ambos se utilizan extensamente en el mundo digital, para diferentes propósitos.

Tipo de mezcla	Sistema de color	Uso en sistemas digitales
Aditiva	<i>RGB</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Codificación de imágenes en memoria y en archivos de imagen.</li> <li>Adquisición (escáneres, cámaras digitales) y reproducción de imágenes en pantallas (monitores, pantallas de dispositivos portátiles).</li> </ul>
	<i>YCbCr</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Codificación de imágenes en archivos JPEG.</li> <li>Compresión de vídeo.</li> </ul>
Sustractiva	<i>CMY</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Escaso. Fundamento del sistema <i>CMYK</i>.</li> </ul>
	<i>CMYK</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impresoras.</li> </ul>
-	<i>HSV</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manipulación del color en diseño gráfico</li> </ul>

En adelante, los cuadros de diálogo que nos permiten escoger un color en los programas de dibujo no tendrán ningún secreto para nosotros. ¡Vayamos sin titubeos a por nuestro rosa clarito!

## 9 Bibliografía

[1] "GIMP: The GNU Image Manipulation Program": Disponible en: <http://www.gimp.org>

[2] Image Specialists, "How Inkjet Printers Work", Disponible en: [http://www.image-specialists.com/ink\\_int\\_injet\\_printer.aspx](http://www.image-specialists.com/ink_int_injet_printer.aspx)