

Procesamiento de imágenes a color utilizando morfología matemática

Wuilian J. TORRES

Centro de Procesamiento Digital de Imágenes, Fundación Instituto de Ingeniería

Caracas, Venezuela

Escuela de Matemáticas, Computación Gráfica y Geometría Aplicada. Facultad de Ciencias,

Universidad Central de Venezuela

Caracas, Venezuela

wtorres@fii.org

Roger J. BELLO

Escuela de Matemáticas, Computación Gráfica y Geometría Aplicada. Facultad de Ciencias,

Universidad Central de Venezuela

Caracas, Venezuela

roger.bello@gmail.com

RESUMEN

La Morfología matemática ha demostrado ser una herramienta importante en el análisis de imágenes cuando la topología y la estructura geométrica de los objetos presentes en ellas son los parámetros claves para su caracterización. Esta técnica ha sido ampliamente aplicada sobre imágenes binarias y en niveles de gris, no así cuando se trata de imágenes a color. En este trabajo se presenta un esquema de ordenamiento de los colores en el plano RGB (Red, Green, Blue) orientado a imágenes adquiridas en el espectro visible que hemos denominado SMD (Suma, Máximo y Diferencia), el cual se fundamenta en el orden lexicográfico de parámetros relacionados con la percepción visual como son la intensidad, el tono y la saturación. A partir de este ordenamiento se construyen los operadores morfológicos fundamentales para ser aplicados en imágenes a color: erosión, dilatación, apertura y clausura.

Palabras claves: morfología matemática, imagen a color, operadores morfológicos, morfología color.

1. INTRODUCCIÓN

La morfología matemática ha tenido un desarrollo importante en las aplicaciones relacionadas con la segmentación de imágenes donde los objetos que la conforman están caracterizados por su estructura geométrica o topología. Comenzó su desarrollo con imágenes binarias para luego ampliar su ámbito de acción

a las imágenes en niveles de gris [1] [3]. Sin embargo recientemente se han propuesto estrategias orientadas a las aplicaciones de la morfología matemática en el dominio de imágenes a color [2] [4].

La morfología matemática fundamenta todas sus operaciones en dos operadores: la erosión y la dilatación asociadas con un elemento estructurante. El elemento estructurante (ES) es un objeto de referencia de dimensiones pequeñas (algunos píxeles) y que presenta una estructura geométrica sencilla (punto, línea, cuadrado, círculo, etc.) asociado a la estructura o topología predominante en los elementos presentes en la imagen.

La *erosión* en las imágenes en niveles de gris se obtiene al desplazar el ES sobre la imagen y reemplazar el píxel central por el mínimo de los niveles digitales cubiertos por el ES. La erosión permite destacar las zonas oscuras presentes en la imagen, la figura 1b presenta el resultado de la erosión de la imagen utilizando como ES un cuadrado de 5 x 5 píxeles. La expresión que define la erosión de la imagen f por un elemento estructurante B se presenta en (1) [3].

$$\varepsilon_B(f)(x) = \min_{b \in B} f(x + b) \quad (1)$$

La *dilatación* en las imágenes en niveles de gris se obtiene al desplazar el ES sobre la imagen y reemplazar el píxel central por el máximo de los niveles digitales cubiertos por el ES. La dilatación permite destacar las zonas claras presentes en la imagen, la figura 1c presenta el resultado de la erosión de la imagen utilizando como ES un cuadrado de 5 x 5 píxeles. La expresión que define la

dilatación de la imagen f por un elemento estructurante B se presenta en (2) [3]

$$\delta_B(f)(x) = \max_{b \in B} f(x+b) \quad (2)$$

A partir de estos dos operadores fundamentales se construyen todas las funciones asociadas a la morfología matemática: apertura, clausura, top-hat, bottom-hat, erosión y dilatación geodésica, reconstrucción geodésica, etc. La figura 1d muestra el gradiente morfológico obtenido, en este caso, por la resta entre la imagen dilatada y la erosionada.

La morfología matemática realiza sus operaciones sobre conjuntos que conforman un retículo completo, es decir, que cumplen con relaciones de orden en sus niveles digitales y disponen de un ínfimo y un supremo. Las imágenes binarias y en niveles de gris cumplen esta condición mientras que, en las imágenes a color, se plantean los problemas para ordenar los colores presentes en ella y para definir el ínfimo y el supremo.

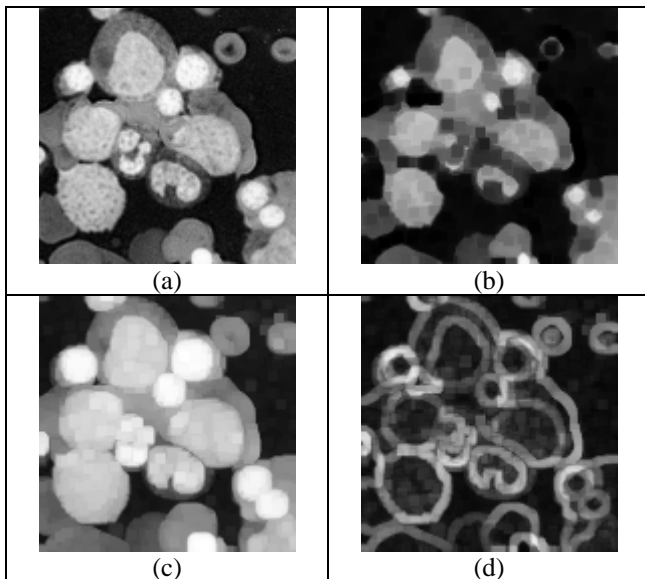


Fig 1: (a) imagen de glóbulos rojos, (b) erosión por un elemento estructurante cuadrado de 5x5 píxeles, (c) dilatación, (d) gradiente.

2. ORDENAMIENTO DEL COLOR

La primera estrategia utilizada para extender los operadores morfológicos a imágenes en color es la aproximación marginal, donde cada una de las tres componentes tri-cromáticas R, G y B se procesan independientemente, trayendo como consecuencia la aparición de colores que no están presentes en la imagen original. La figura 2b muestra el resultado de la dilatación de la imagen sintética en 2a por un círculo de radio 7.

En la aproximación vectorial cada color se representa por un vector 3D cuyo vértice está definido por sus tres componentes RGB; la relación de orden entre ellos se

establece en base a tres componentes perceptuales: la Intensidad, la Saturación y el Matiz [2][4].

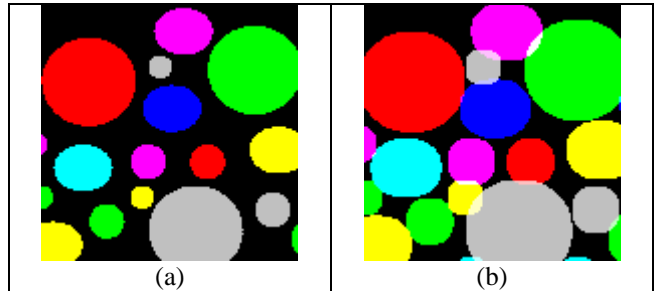


Fig2. Aproximación marginal: (a) imagen original (b) Dilatación

Éstos se obtienen por transformaciones que proyectan la imagen original definida en el espacio RGB en un nuevo espacio de color cuyos ejes corresponden al matiz (Hue), la intensidad (Intensity) y la saturación (Saturation) (HIS, HSV, HLS, etc.) [4]. En la figura 3a se presenta el espacio de color RGB y en 3b el HIS.

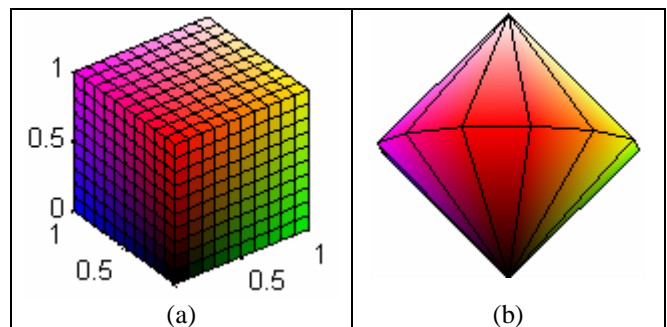


Fig.3: Espacios de color (a) RGB, (b) HIS

Para definir un orden sobre los colores es necesario que el esquema utilizado constituya un orden total donde todos los vectores sean comparables y se pueda definir un ínfimo y un supremo incluidos dentro del espacio de representación. Diversos autores utilizan el ordenamiento lexicográfico o de diccionario donde se asigna prioridad a los componentes: matiz, intensidad o saturación. El espacio HIS presenta algunos inconvenientes: introduce una conversión no lineal desde y hacia el espacio RGB, el valor del matiz está indefinido para valores de saturación cercanos a cero, los cambios reducidos en RGB producen inestabilidad en los valores de la saturación y del matiz [2].

El presente trabajo propone la aplicación de un orden lexicográfico en un espacio definido directamente dentro del espacio RGB. Este nuevo espacio presenta componentes relacionados con la intensidad, la saturación y el matiz, complementados con la asignación de un mayor peso en el color verde, rojo y al azul tomando en consideración la sensibilidad del ojo humano. Hemos denominado con las siglas SMD a este espacio de representación.

3. EL ORDEN SMD

Partiendo de la imagen en el espacio RGB, se definen tres variables relacionadas con la intensidad, la saturación y el matiz. Para considerar la intensidad, se emplea la suma (S) de los componentes (R, G, B); para la saturación, se utiliza el máximo (M) entre (R, G, B), y para el matiz, la diferencia (D) entre el máximo y el mínimo de (R, G, B), para luego ordenar (RGB) siguiendo la prioridad verde, rojo y azul.

El esquema de ordenamiento lexicográfico propuesto es el siguiente, dados p y q dos vectores con sus componentes rojo, verde y azul, tenemos:

$$\vec{p} = [p_R, p_V, p_A] \quad \text{y} \quad \vec{q} = [q_R, q_V, q_A]$$

Con $S_{\vec{p}} = p_R + p_V + p_A$ y $S_{\vec{q}} = q_R + q_V + q_A$

$$M_{\vec{p}} = \max(p_R, p_V, p_A)$$

y $D_{\vec{p}} = \max(p_R, p_V, p_A) - \min(p_R, p_V, p_A)$

$$p \leq q \Leftrightarrow \begin{cases} \text{Si } S_p < S_q \\ \text{Si no Si } S_p = S_q \text{ y } M_p < M_q \\ \text{Si no Si } S_p = S_q, M_p = M_q \text{ y } D_p < D_q \\ \text{Si no Si } S_p = S_q, M_p = M_q, D_p = D_q \\ \quad \text{y } p_V < q_V \\ \text{Si no Si } S_p = S_q, M_p = M_q \text{ y } D_p = D_q, \\ \quad p_V = q_V \text{ y } p_R \leq q_R \end{cases} \quad (3)$$

Para ilustrar la primera condición en la figura 4, se presentan tres planos con S constante: 0.5, 1.5 y 2.5. Los colores que se encuentran sobre plano mas cercano al origen (S = 0.5) son menores a los de los otros dos planos, mientras que los colores sobre un mismo plano S son iguales respecto a esta componente.

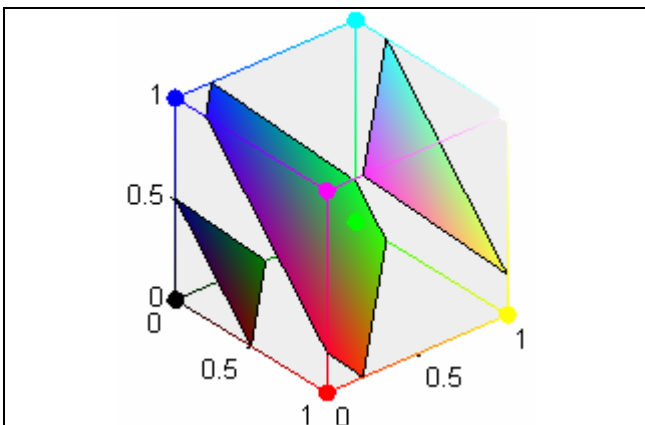


Fig.4: planos donde la componente S es constante.: S=0.5, en S=1.2 y S=2.2.

La segunda condición se muestra en la figura 5, allí se destaca la intersección del plano S: 0.5 con las componentes M: 0.5, 0.6 y 0.7, representadas por triángulos concéntricos a partir del centro del plano S, y en la gráfica son los triángulos rojo, negro y blanco

respectivamente. Los colores dispuestos en los lados de un triángulo son iguales con respecto a las componentes S y M, mientras que los que están en los triángulos interiores son menores a los que están sobre triángulos mas externos.

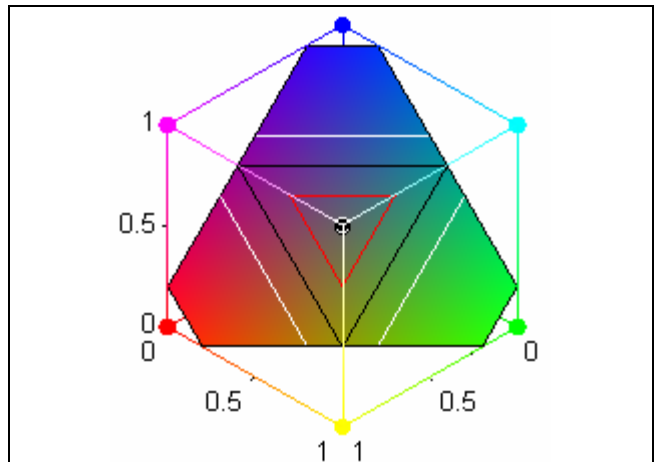


Fig.5: Intersección de los planos S = 1.2, y los triángulos M = 0.5 (rojo), 0.6 (negro) y 0.7 (blanco).

El ordenamiento respecto a la componente D se presenta en la figura 6, los colores que tienen el mismo valor de S, M y D se representan mediante puntos dispuestos sobre los triángulos antes definidos. Los puntos amarillos corresponden a tres colores con D = 0.3, y los seis colores con D = 0.5 se grafican con un punto rojo. Para ordenar los colores con igual valor en S, M y D se comparan los valores de la componente verde, luego la roja y finalmente la azul.

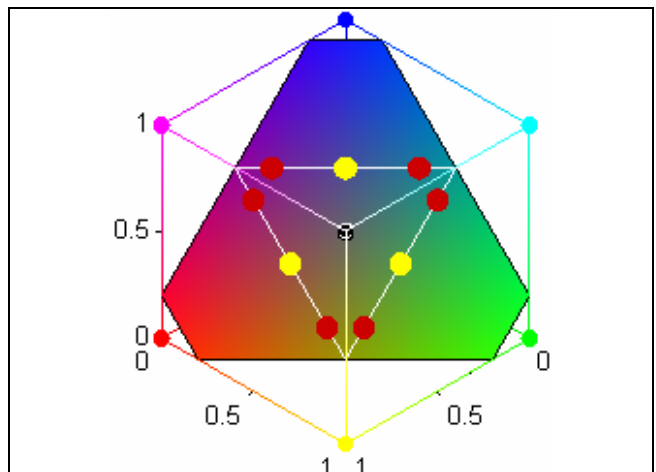


Fig.6: Los puntos amarillos corresponden a colores con S=1.2, M=0.6 y D=0.3, y los puntos rojos: S=1.2, M=0.6 y D=0.3.

Contrariamente a los niveles de gris, los colores no presentan un ínfimo y un supremo predefinidos, por lo que es necesario establecerlos previamente. En los ejemplos anteriores, se fijó el ínfimo y el supremo en los colores negro y blanco respectivamente. Generalmente, el ínfimo se corresponde con el fondo de la imagen a procesar mientras que el supremo corresponde al vértice opuesto en el espacio RGB. En la figura 7 se presenta el

espacio RGB cuando se tiene por ínfimo el magenta y como supremo el color verde.

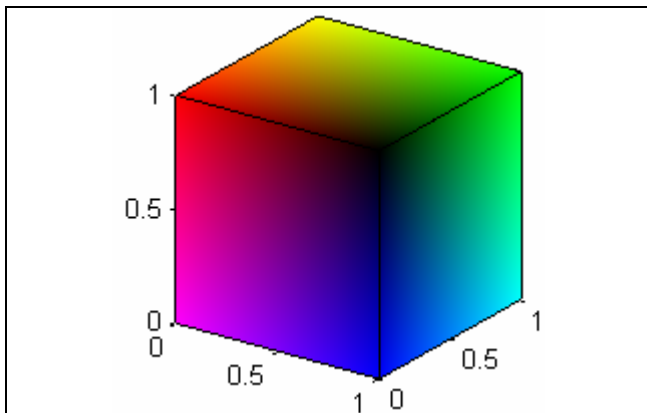


Fig.7. Espacio RGB con el color magenta como ínfimo y el verde como supremo.

La figura 8.a resume el resultado al ordenar una paleta de colores utilizando como ínfimo el color negro y como supremo el blanco, mientras que en 8.b se presenta ordenada utilizando como ínfimo el color magenta y como supremo el verde.

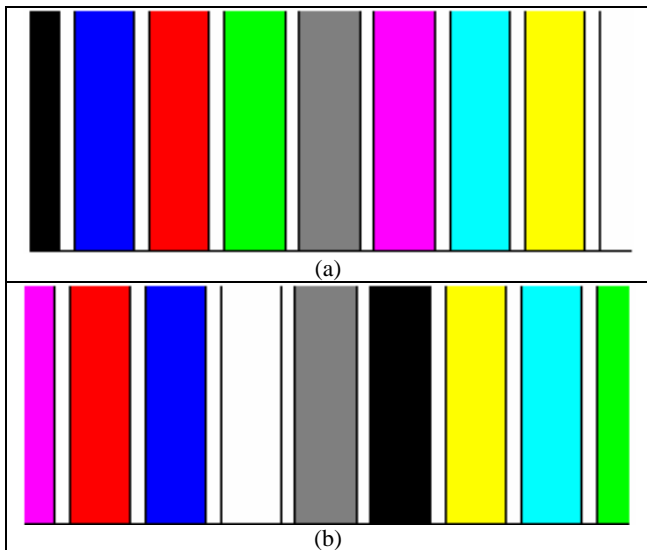


Fig.8: Paletas de colores ordenadas con ínfimo diferente: (a) negro (b) magenta

4. OPERADORES MORFOLÓGICOS EN IMÁGENES A COLOR

Una vez definido el esquema de ordenamiento para los vectores representativos del color, es posible determinar máximos y mínimos y en consecuencia, definir los operadores morfológicos básicos: erosión y dilatación. La figura 9 muestra la dilatación de la imagen sintética presentada en 9.a utilizando como elemento estructurante un círculo y diversos valores para el ínfimo: negro (9.b), magenta (9.c) y verde (9.d). Esta operación tiene por efecto dar mayor importancia a los colores cercanos al supremo en detrimento de los colores cercanos al ínfimo.

Por ejemplo, en la figura 9b, se verifica que el color cian está por encima del verde y del magenta, y a su vez es menor al amarillo de acuerdo con la paleta presentada en la figura 8a. En la figura 9c, se muestra la dilatación utilizando como ínfimo el color magenta, con el efecto de la erosión del color magenta por el color negro del fondo de la imagen, tal como se establece en la figura 8b.

Utilizando los filtros morfológicos adecuados, es posible extraer objetos particulares presentes en la imagen. En la figura 10, se muestra el resultado cuando se aplican operadores morfológicos como el "tophat", para extraer los círculos más pequeños de color magenta.

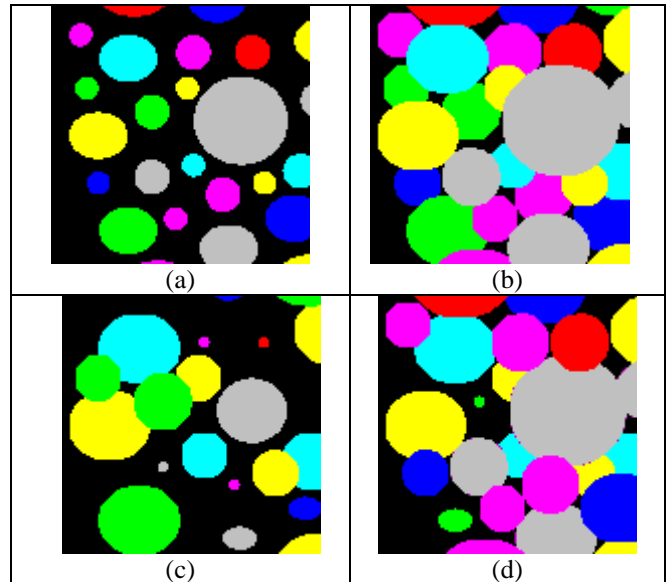


Fig.9. Dilatación con varios ínfimos: (a) Imagen original, (b) Ínfimo en negro, (c) Ínfimo en azul, (d) Ínfimo en magenta

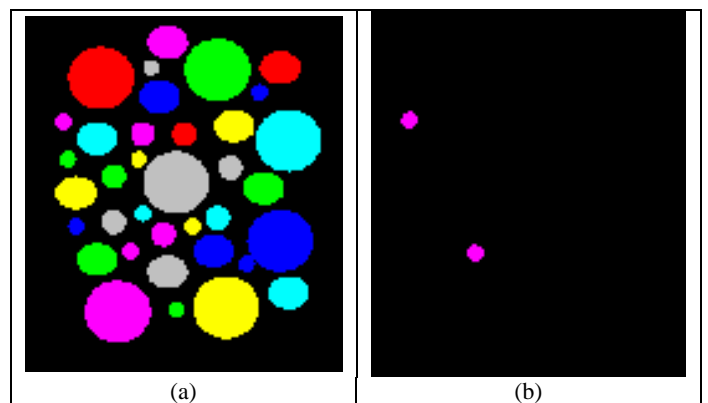


Fig.10. Extracción de elementos de interés presentes en la imagen: (a) Imagen original. (b) Círculos magenta pequeños.

5. APLICACIONES

Una vez definidos los operadores básicos de morfología matemática, es posible desarrollar para las imágenes a color los filtros morfológicos y los operadores clásicos empleados para la segmentación morfológica de imágenes. La figura 11b presenta la detección de bordes utilizando el gradiente morfológico sobre una imagen. En

este caso, el gradiente se determina por la diferencia entre la imagen resultante de la dilatación y la obtenida por erosión de la imagen original.

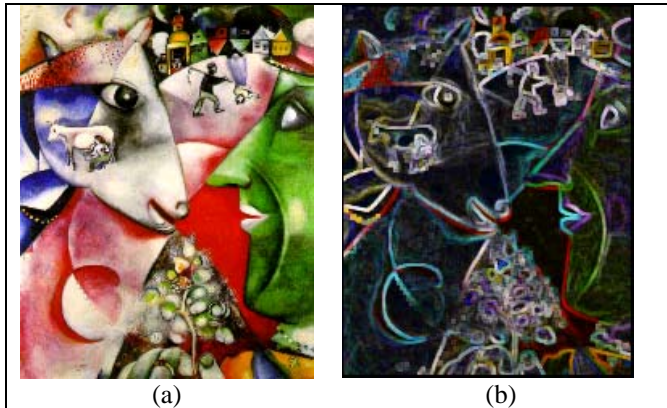
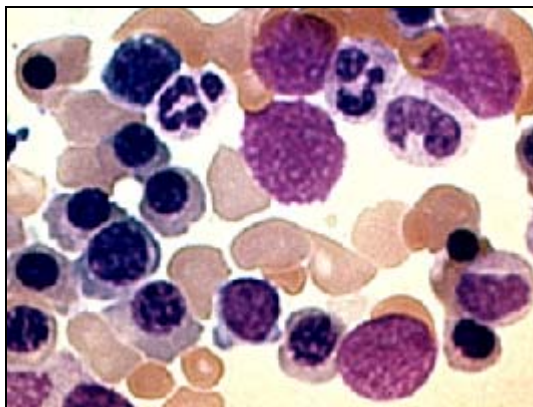


Fig. 11: Gradiente morfológico: (a) Imagen original (I and the village. Chagall. 1911), (b) Gradiente morfológico.

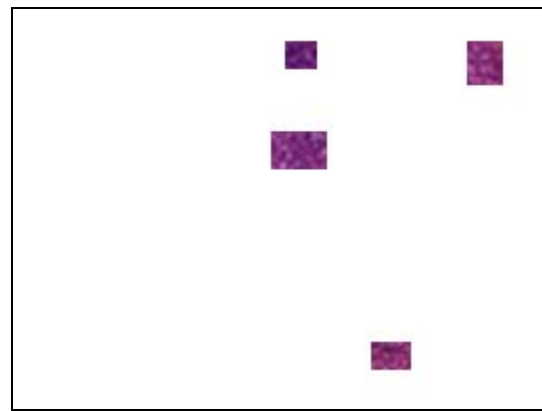
La reconstrucción geodésica (RG) es una de las aplicaciones de la morfología matemática que facilita la segmentación de imágenes a partir de elementos de la imagen llamados marcadores que representan a los objetos a destacar. La RG emplea operaciones de dilatación sucesivas sobre imágenes marcadoras cuya propagación está delimitada por una imagen máscara [2][3]. La dilatación geodésica de orden 1 de una imagen marcadora f respecto a una imagen máscara g , utiliza un elemento estructurante elemental B (cuadrado de 3×3), se expresa en (4) [3].

$$\delta_g^{(1)}(f) = \delta_B(f) \wedge g \quad (4)$$

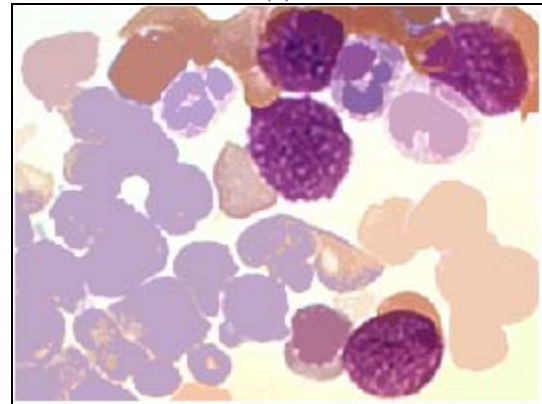
La figura 12 ilustra la utilización de este operador. En 12a se tiene la imagen obtenida por un microscopio de una muestra de sangre, ésta corresponde a la imagen máscara. La figura 12b muestra la imagen marcadora donde se destacan los elementos de interés presentes en la imagen. La figura 12c muestra el resultado de la reconstrucción geodésica con ínfimo en el color blanco.



(a)



(b)



(c)

Fig. 12: Reconstrucción geodésica en color. (a) Imagen original a ser utilizada como máscara. (b) Imagen marcadora. (c) Imagen reconstruida a partir de (b).

6. CONCLUSIONES

Se presenta una estrategia para el ordenamiento de los colores que hemos denominado SMD (Suma-Máximo-Diferencia) que sirve de insumo para el desarrollo de los operadores básicos de la morfología matemática en imágenes a color. El esquema propuesto permite definir las operaciones morfológicas dentro del espacio RGB, evitando las conversiones a espacios de colores que requieren transformaciones de carácter no lineal y sus efectos colaterales.

7. REFERENCIAS

- [1] J. Serra. Image analysis and mathematical morphology. Academic Press 1982
- [2] G. Ortiz. Procesamiento morfológico de imágenes en color. Aplicación a la reconstrucción geodésica. Tesis Doctoral Universidad de Alicante. 2002.
- [3] P. Soille. Morphological image análisis, principles and applications. Springer 1999
- [4] A.J. Hanbury, J. Serra, A 3D polar Coordinate Colour Representation Suitable for Image Análisis, Technical Report, PRIP-TR-77, T.U. Wien, 2002.