

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Procesamiento de Imágenes
Recibido: 03/09/2016 | Aceptado: 01/12/2016

Suavizado de imágenes de microscopía celular mediante el uso de técnicas de filtrado morfológico

Smoothing of cellular microscopy images using morphological filtering techniques

Karla Janet Rodríguez Oliva¹, Rubén Orozco Morales²

¹ Centro de Ingeniería Clínica y Electromedicina, Ciego de Ávila, Cuba, karla@cpe.cav.sld.cu

² Centro de Estudios de Electrónica y Tecnologías de la Información, UCLV, Santa Clara, Cuba, rorozco@uclv.edu.cu

Autor para correspondencia: karla@cpe.cav.sld.cu

Resumen

Las imágenes que son capturadas por medio del microscopio óptico, aunque ayudan al diagnóstico de diversas patologías, también están sujetas a ser afectadas por diferentes artefactos, fluctuaciones, etc. De hecho, en este trabajo se investiga cómo puede beneficiar el uso de técnicas de filtrado morfológico para el suavizado de este tipo de imágenes. Este problema surge de la necesidad de mejorar la calidad de las imágenes de microscopía celular y acondicionarlas para las tareas de la clasificación y segmentación, cuando es necesario eliminar detalles que no son de interés para el posterior procesamiento y los procesos de análisis automatizado. También se persigue mejorar con esta técnica la evaluación posterior de las mismas, tanto para los sistemas automatizados como para un profesional calificado para esta labor. Además, se llevaron a cabo diversas medidas de calidad para evaluar el resultado de los filtros implementados.

Palabras Clave: Microscopía celular, suavizado, filtrado morfológico, medidas de calidad

Abstract

Images that are captured by the optical microscope, although they help the diagnosis of various pathologies, are also subject to be affected by different artifacts, fluctuations, etc. In fact, this work investigates how it can benefit the use of morphological filtering techniques for the smoothing of this type of images. This problem arises from the need to improve the quality of cellular microscopy images and to condition them for the tasks of classification and segmentation, when it is necessary to eliminate details that are not of interest for further processing and automated analysis processes.

It is also intended to improve with this technique the subsequent evaluation of the same, both for automated systems and for a professional qualified for this work. In addition, various quality measures were carried out to evaluate the results of the implemented filters.

Keywords: *Cellular microscopy, smoothing, morphological filtration, quality measurements*

Introducción

En la actualidad, con el desarrollo de la tecnología del equipamiento médico se genera un gran volumen de imágenes médicas que es necesario procesar. El empleo de diversas técnicas de procesamiento digital de imágenes, tales como la segmentación y la clasificación, para resolver esta situación, resultan mucho más exitosas cuando se aplican sobre imágenes con bajo nivel de detalles finos. Los métodos de filtrado convencionales, si bien pueden reducir el nivel de detalles con un bajo costo computacional y mediante algoritmos de relativamente fácil implementación, afectan los bordes de los objetos de interés en las imágenes. Por esta razón se hace tan necesario la utilización de los métodos de suavizado mediante técnicas de filtrado morfológico pues logran muy buenos resultados a la hora de eliminar pequeños detalles que no son de interés, entre los que puede encontrarse parte del ruido, preservando los bordes y los detalles significativos mediante la regulación, ya sea de la profundidad del suavizado (cantidad de iteraciones), como del elemento estructurante que interviene en la transformación.

En este trabajo se analiza la posibilidad de mejorar la calidad de este tipo de imágenes de microscopía de extendidos delgados de sangre periférica, suavizándolas mediante técnicas de filtrado morfológico. Para ello se emplearon imágenes obtenidas en el CBQ (Centro de Bioactivos Químicos), que es el centro autorizado para el estudio de diversas afecciones virales como la malaria tanto en personas como en animales.

Materiales y métodos

Es necesario determinar el desempeño de los diferentes tipos de filtros propuestos en este trabajo utilizando las imágenes en que se realizará el suavizado. Es por ello que se partió de láminas de extendidos delgados de sangre periférica contaminada con Malaria. Estos extendidos fueron teñidos con Giemsa, la misma tiene elementos que colorean los componentes celulares acidofílicos y basofílicos. En el caso del Plasmodium el citoplasma se colorea de azul, la cromatina (núcleo) se colorea de rojo y el pigmento malárico pardo-amarillo.

Estas imágenes fueron obtenidas por medio de un microscopio óptico de campo claro de la marca Zuzi utilizando un objetivo plan-acromático con magnificación 100x y apertura numérica 1.25. El microscopio posee un tercer ocular para

el acoplamiento de una cámara digital con magnificación 0.5x, lo que representa una magnificación total de 50x para una resolución de 69.12 nm calculada para una longitud de onda de 540 nm.

La cámara digital utilizada posee un sensor CMOS único a color con estructura de Bayer modelo UCMOS031100KPA, de la misma marca que el microscopio, que es conectado a la PC mediante puerto USB. El control de las funciones de captura de la cámara, fue realizado utilizando el software ToupView, compatible con cámaras que presentan sensores CMOS y CCD. Este software, permite la adquisición de imágenes de alta calidad, a través del ajuste de parámetros como el brillo general (nivel de iluminación, tiempo de exposición y ganancia), lucimiento del color y nivel de ruido. Las imágenes fueron obtenidas con una profundidad de 8 bits y resolución 2048 x 1536 píxeles, para un tamaño de 3.2 Mp, guardándose en formato de fichero TIFF (*Tagged Image File Format*) sin compresión.

Estos parámetros de adquisición son semejantes a los reportados en la literatura (Walliander, 2012) como por ejemplo utilizan el microscopio Axio Imager Z2 de Carl Zeiss MicroImaging, controlado por Metafer software de MetaSystems, Altlussheim, con una apertura numérica de 1.4 con magnificación total de 63x mediante objetivo plan-apocromático en aceite de inmersión, cámara con sensor CCD de 1360 x 1024 píxeles de 6.45 μm .

A continuación, en la tabla 1 van a mostrarse las características de la cámara.

El filtrado es quizás la operación fundamental del procesamiento de imágenes y visión por computadora. En el sentido más amplio del término "filtrado" el valor de la imagen filtrada en un lugar determinado, es una función de los valores de la imagen de entrada en una pequeña vecindad de ese mismo lugar. Otras propiedades de la imagen son la forma sobre el espacio y el tiempo.

Tabla 1: Características del sensor utilizado para la obtención de las imágenes

Datos	Características
Modelo del sensor	APTINA MT9T001
Resolución máxima (píxeles)	2048 x 1536 (3.2 Mp)
Tamaño del pixel (μm x μm)	3.2 x 3.2.
Configuración geométrica.	3 x 4
Diagonal	432 mm
Rango dinámico (dB)	61
SNR (dB)	43
Modo de captura	Cuadro móvil o video
Sistema operativo	Microsoft® Windows® XP/Vista/7
Imagen de salida (bit)	3 x 8 (RGB)
Software compatible	ToupView
Modo de exploración	Progresivo

Los bordes de las estructuras dentro de la imagen (primer plano) corresponden a discontinuidades en la función de la imagen. Los bordes pueden tener una cantidad considerable de información en una imagen, relevante para el observador o para herramientas de procesamiento; por ejemplo, pueden dividir una imagen en partes lisas que se puedan comparar, pero con diferentes niveles de intensidad. A la inversa, las imágenes procesadas por un filtro que suavice las zonas relativamente planas, preservando los bordes, retienen la información de límites en su conjunto de discontinuidades.

Fundamentos

El uso de morfología matemática en niveles bajo y medio del procesamiento de imágenes y aplicaciones de visión por computadora, han permitido el desarrollo de una clase de técnicas para analizar la información de la forma en imágenes monocromáticas, porque de una imagen compleja se pueden extraer partes sin significado y guardar los elementos significativos (Barash, 2000).

El suavizado de imágenes preservando sus bordes, proporciona la base para el posterior procesamiento, tales como recuperación de las formas, la estimación de movimiento, segmentación, contornos activos y la detección de características (Barash, 2000).

El problema básico que los diseñadores de filtros de suavizado deben superar es cómo eliminar la información no deseada sin necesidad de cambiar las ubicaciones y tamaños de los objetos, así como preservar características interesantes tanto del primer plano como del fondo (Chen K. ..., 2005).

Formalmente, los filtros pueden ser de diferentes tipos. Los filtros clásicos adolecen de afectar mucho las estructuras dentro de la imagen y en este tipo de estudio es necesario preservar las estructuras de interés, por otro lado, los filtros Adaptativos requieren una mayor carga computacional y debido a las iteraciones que realizan aumenta mucho el tiempo de la implementación. Otro tipo de filtrado es mediante filtros morfológicos que trabajan con conjuntos y elementos estructurantes de un tamaño predeterminado, actuando como operadores morfológicos (utilizados en los procesos de erosión y dilatación) o cuando son filtros convolutivos y utilizan conjuntos que actúan como función dispersora de puntos (utilizadas en filtros como los gaussianos); si la forma de esos conjuntos no se adapta al contenido de la imagen, entonces los resultados se deterioran. Por este motivo se han desarrollado técnicas de filtrado morfológico que utilizan elementos estructurantes denominados amebas porque se adaptan a los contornos de las estructuras dentro de la imagen (Romain Lerallut, 2005).

El tema central de este trabajo es el suavizado de imágenes mediante técnicas de filtrado morfológico; no obstante, con el propósito de comparar el desempeño de este tipo de filtros, se implementaron diversas técnicas de suavizado clásicas

y adaptativas y fueron evaluadas posteriormente aplicándolas a un grupo de 20 imágenes para comprobar su desempeño utilizando diversos métodos.

En total han sido programados para su evaluación 46 filtros de suavizado:

➤ Métodos clásicos:

- 3 variantes de filtros de promediado: AV1 al AV3.
- 3 variantes de filtro paso bajo Gaussiano: GLPF1 al GLPF3.
- 3 variantes de filtros de mediana: MF1 al MF3.

➤ Métodos morfológicos:

- 8 variantes de filtros de adjunción secuenciales alternantes: MAASF1 al MAASF8.
- 3 variantes de filtros de erosión-reconstrucción-dilatación-reconstrucción: MERDR1 al MERDR3.
- 3 variantes de filtros de apertura y cierre: MOC1 al MOC3.
- 3 variantes de filtros de reconstrucción geodésica: MGR1 al MGR3.

➤ Métodos adaptativos:

- 6 variantes de filtros de minimización del gradiente L0: L0GM1 al L0GM6.
- 3 variantes de filtrado de Wiener: WAF1 al WAF3.
- 3 variantes de filtros bilaterales: BF1 al BF3.
- 8 variantes de filtros de difusión anisotrópica no lineal: ANDF1 al ANDF8.

Filtrado morfológico

Las técnicas no lineales de filtrado se han vuelto progresivamente importantes en aplicaciones de procesamiento de imágenes, y son a menudo mejor que los filtros lineales en remover el ruido sin distorsiones en las características de la imagen. Sin embargo, el diseño y el análisis de filtros no lineales es mucho más difícil que para filtros lineales. Una vía para diseñar filtros no lineales es la morfología matemática, la cual crea filtros basados en las características de forma y tamaño (Choi, 2004).

El filtrado morfológico (Russ, 2002), (Mark A. Schulze, 1993) es una transformación local no lineal de características geométricas, sus operaciones fundamentales son el cierre, la apertura, la erosión y la dilatación. Sus áreas de aplicación son numerosas, por ejemplo, el procesamiento de imágenes biomédicas, alisamiento de bordes, etc.

Se implementaron diversos tipos de filtros como los alternantes secuenciales (MAASF) con 8 variantes. Estos se basan en la propiedad de la adjunción, la cual parte de que, dado que las operaciones de dilatación y erosión son

complementarias entre sí, dilatar una imagen tiene el mismo efecto que erosionar su complemento. Como resultado, por cada dilatación existe una única erosión, de forma tal que ese par de operaciones constituye una adjunción (Pei, 1997). Un filtro secuencial alternante es la composición de aperturas y cierres sobre la imagen $f[n_1, n_2]$ utilizando un elemento estructurante $e[n_1, n_2]$ el cual incrementa su radio progresivamente.

Los filtros alternantes en escala de grises pueden ser de dos tipos: 1) no iterativos (AFs) utilizando el mismo *strel* para todas las operaciones de apertura y cierre, o 2) iterativos o secuenciales (ASFs) utilizando alguno de los AFs en cada iteración y un *strel* creciente. Los filtros secuenciales alternantes implementados mediante la propiedad de la adjunción reducen considerablemente el costo computacional.

Con imágenes en escala de grises los filtros morfológicos adjuncionales alternantes secuenciales (MAASFs) suavizan la intensidad acorde con el tamaño y forma del *strel* de cada iteración.

Un filtro secuencial alternante es la composición de aperturas y cierres sobre la imagen $f[n_1, n_2]$ utilizando un elemento estructurante $e[n_1, n_2]$ el cual incrementa su radio progresivamente. Los ocho tipos de ASFs implementados mediante adjunción, además de ser computacionalmente eficientes, son propicios para suavizado de imágenes debido a que en ellos pueden regularse: el tipo y tamaño del *strel*, la cantidad de niveles de suavizado y el tipo de secuencia de operaciones de apertura y cierre (Pei, 1997), estos responden a las siguientes expresiones:

- $ASF^I_e(f) = (\dots(((f \circ e) \bullet e) \circ 2e) \bullet 2e) \dots \circ ne) \bullet ne.$
 - $ASF^{II}_e(f) = (\dots(((f \bullet e) \circ e) \bullet 2e) \circ 2e) \dots \bullet ne) \circ ne.$
 - $ASF^{III}_e(f) = ASF^I_e(f) \circ ne.$
 - $ASF^{IV}_e(f) = ASF^{II}_e(f) \bullet ne.$
 - $ASF^V_e(f) = (\dots(((f \circ e) \bullet 2e) \circ 3e) \dots \circ ne) \bullet ne.$
 - $ASF^{VI}_e(f) = (\dots(((f \bullet e) \circ 2e) \bullet 3e) \dots \bullet ne) \circ ne.$
 - $ASF^{VII}_e(f) = ASF^V_e(f) \circ ne.$
 - $ASF^{VIII}_e(f) = ASF^{VI}_e(f) \bullet ne.$
- (1)

Fueron implementadas además 3 variantes de filtros de Erosión-reconstrucción-dilatación-reconstrucción, desde que los operadores morfológicos han sido definidos en pares, ha sido muy factible y ha dado excelentes resultados, promediar los operadores complementarios. En este tipo de filtro además de realizar esta operación en pares va a utilizarse la reconstrucción; luego de llevar a cabo la erosión va a reconstruirse la imagen creando una máscara que depende de la imagen a analizar, luego se realizará una dilatación al resultado de la anterior operación y volverá a reconstruirse (Vincent L. , 1993), las transformaciones reconstructivas son relativamente bien conocidas en imágenes

binarias, donde simplemente extraen los componentes de una imagen que son marcados por otra imagen (la máscara). Sin embargo, la reconstrucción ha sido también definida para imágenes en escala de grises, este filtro ha demostrado muy buenos resultados en cuanto al suavizado y la preservación de estructuras de interés; de los filtros implementados tuvo un desempeño más favorable.

Las transformaciones reconstructivas son relativamente bien conocidas en imágenes binarias, donde simplemente extraen los componentes de una imagen que son marcados por otra imagen (la máscara). Sin embargo la reconstrucción ha sido también definida para imágenes en escala de grises (Vincent L. , 1993).

La reconstrucción $\rho_I(J)$ de la máscara I a partir del marcador J , es la unión de los componentes conectados de I que contiene al menos un píxel de J (Vincent, Morphological Grayscale Reconstruction in Image Analysis: Applications and Efficient Algorithms, 1993):

$$\rho_I(J) = \bigcup_{J \cap I_k \neq \emptyset} I_k \quad (2)$$

Otro tipo de filtrado morfológico implementado en este trabajo es el de Apertura y cierre (MOC), los operadores morfológicos *open-close* (OC) y *close-open* (CO) son definidos como una apertura seguida de un cierre y como un cierre seguido de una apertura respectivamente. Una alternativa de estos es el filtrado mediante combinación lineal de OC y CO (LOCO: *linear combination of OC and CO*) que se caracteriza por simular la respuesta del filtro de mediana que este tipo de operador cuando trabaja en pares puede remover tanto impulsos negativos como positivos. Una de las ventajas de estos tipos de filtros es que son mucho menos susceptibles al ruido impulsivo (S.ZLi, 1997).

Fueron implementados además 3 variantes de filtros de Reconstrucción geodésica, se utiliza el mismo principio de reconstruir una imagen, pero en este caso utilizando distancia geodésica.

La reconstrucción que se utilizará para este filtro está basada en las distancias geodésicas, de ahí su nombre. Dado un conjunto X (la máscara), la distancia geodésica entre dos píxeles p y q es la longitud del camino más corto, uniendo p y q que son incluidos en X .

Teniendo que $X \subset \mathbb{Z}^2$, siendo un conjunto discreto de \mathbb{Z}^2 , y $Y \subseteq X$. La dilatación geodésica de tamaño $n \geq 0$ de Y con X es el conjunto de píxeles de X en los cuales su distancia geodésica de Y es menor o igual que n :

$$\delta_X^{(n)}(Y) = \{p \in X \mid d_X(p, Y) \leq n\}. \quad (3)$$

Es necesario aclarar que la distancia geodésica entre dos píxeles con una máscara, es altamente dependiente de la conectividad que se use (Dueñas, 2009).

Filtrado Adaptativo:

Es bien conocido que los principales objetivos de los algoritmos para el suavizado de imágenes son: la eliminación de estructuras que no son de interés, la supresión del ruido en regiones homogéneas y la preservación de rasgos.

Un tipo de filtros que cumplen estos requerimientos son los llamados filtros adaptativos. Los métodos de suavizado adaptativos se basan en la idea de aplicar un proceso que a su vez depende de las propiedades locales de la imagen.

En el suavizado adaptativo, una medida de discontinuidad determina críticamente su desempeño. Para la mayoría de los enfoques de este tipo de suavizado, el gradiente espacial se utiliza ampliamente como una medida de la discontinuidad (Goyal, 2012).

Una característica definitoria de las operaciones iterativas está involucrada inevitablemente en el suavizado adaptativo (Chen K. , 2005). Muchos de los métodos adaptativos de suavizado se basan en el conocimiento a priori de los estadísticos de la imagen a ser suavizada. Estos métodos logran la adaptación mediante la comparación de la salida del filtro con una imagen de referencia, asumiendo que puede disponerse de una muestra representativa de la imagen suavizada.

El filtrado bilateral es una técnica para suavizar imágenes sin alterar los bordes. El uso del filtrado bilateral ha crecido rápidamente y ahora es utilizada en las aplicaciones de procesamiento de imágenes por su simplicidad y eficacia en la eliminación de estructuras similares al ruido. Este método intercambia entre los detalles de aplanamiento y la preservación borde afilado (G. Bellino, 2014).

El filtro bilateral tiene varias cualidades que explican su éxito:

- Su fórmula es simple: cada píxel es reemplazado por una media ponderada de sus vecinos. Este aspecto es importante, ya que hace que sea fácil de adquirir intuición acerca de su comportamiento, para adaptarlo a los requerimientos específicos de la aplicación, y para ponerla en práctica.
- Sólo depende de dos parámetros que indican el tamaño y el contraste de las características a preservar.
- Se puede utilizar de una manera no iterativa. Esto hace que los parámetros sean fáciles de definir, ya que su efecto no es acumulativo a lo largo de varias iteraciones.

El filtrado bilateral se ha propuesto como una alternativa no iterativa de la difusión anisotrópica que será tratada más adelante. En ambos de estos enfoques, las imágenes se suavizan mientras que los bordes se conservan. A diferencia del filtro de difusión anisotrópica, el filtrado bilateral no implica la solución de ecuaciones diferenciales parciales y se puede implementar en una sola iteración (S. Paris, 2009).

Otro filtro implementado fue el filtro de Wiener. Cuando se aplica sobre la imagen el filtro adaptativo de Wiener equivale a que se aplique un filtrado lineal a una imagen de forma adaptativa, es decir el filtro se adapta a la varianza local en la vecindad de cada píxel de la imagen. Cuando la varianza es grande, como sucede en los bordes de los objetos, el filtro de Wiener realiza poco suavizado. Cuando la varianza es pequeña, el filtro de Wiener realiza más suavizado. La fuerza del suavizado depende también del tamaño de la vecindad.

Este tipo de filtro a menudo produce mejores resultados que el filtrado lineal. El filtro adaptativo es más selectivo que un filtro lineal, pues preserva los bordes y otras regiones de alta frecuencia de la imagen. Además, no hay tareas de diseño; el filtro de Wiener se encarga de todos los cálculos preliminares y aplica el filtro a una imagen de entrada (Vaseghi, 2000). El filtro de Wiener, sin embargo, requiere más tiempo de cálculo que el filtrado lineal; estos tipos de filtrado adaptativo requieren un costo computacional mayor que el resto de los filtros implementados en este trabajo (S. Kumar, 2010).

Filtrado anisotrópico de difusión no lineal.

Para evitar el desenfoque de los bordes, Perona y Malik (Malik, 1990) desarrollaron un filtro que lo llamaron de difusión anisotrópica, un proceso mediante el cual el suavizado se limita a lo largo de las magnitudes del gradiente, preservando bordes de la imagen. Este filtro también se llama suavizado de Perona-Malik de difusión anisotrópica (PMAD).

Los métodos no lineales de filtrado anisotrópico utilizan el equivalente en espacio discreto de la formulación de la difusión del calor en espacio continuo, para analizar la intensidad de la imagen. Los operadores están diseñados para reducir la velocidad de difusión a través de las estructuras y características de interés, que son determinados por las medidas de discontinuidad de acuerdo a la apariencia de la imagen. Las tendencias comunes son la norma de las derivadas de la imagen (de primer orden para los bordes y segundo orden para crestas) o discontinuidades contextuales globales. Con el fin de asegurar la estabilidad del proceso de difusión, el calor se difunde en todo el plano de la imagen, lo que implica la convergencia a una imagen de intensidad uniforme. Este hecho implica establecer un cierto número de restricciones a los datos porque dependen de un número determinado de iteraciones (problema de terminación), para garantizar la preservación de las características más relevantes en la imagen (Gil, 2011). Los operadores están diseñados para reducir la velocidad de difusión a través de las estructuras y características de interés, que son determinados por las medidas de discontinuidad de acuerdo a la apariencia de la imagen.

Resultados

Es muy necesario evaluar el desempeño de un algoritmo de procesamiento de imágenes, existen muchos métodos para llevar esto a cabo y a continuación hablaremos acerca de los que han sido utilizados en este trabajo de diploma. Sobre

la base de una extensa búsqueda en la literatura en el contexto de suavizado de la imagen, los métodos de evaluación de desempeño existentes se pueden clasificar en tres categorías; es decir, objetiva, subjetiva y metodologías basadas en aplicaciones. Cuando se utiliza la metodología objetiva, la evaluación se lleva a cabo mediante la comparación de la imagen suavizada y la imagen original para ver la cantidad de ruido (estructuras no deseadas) que se ha eliminado de la imagen. Con respecto a la imagen original una medida de ganancia o de reducción de ruido debe ser definida para evaluar el suavizado. Siempre y cuando la imagen original esté disponible, la metodología objetiva se ha convertido en la primera opción para la evaluación del desempeño. Por desgracia, la imagen original antes de ser contaminada con ruido suele ser inaccesible (Goyal, 2012). Bajo estas circunstancias, casi todos los investigadores adoptan la metodología subjetiva para la evaluación del desempeño.

Uno de los métodos para evaluar la calidad de la imagen suavizada es teniendo en cuenta el índice de similitud estructural. La información estructural transmite los principales contenidos visuales de una imagen, y la degradación estructural tiene un impacto directo en la percepción de la misma (A. Liu, 2012).

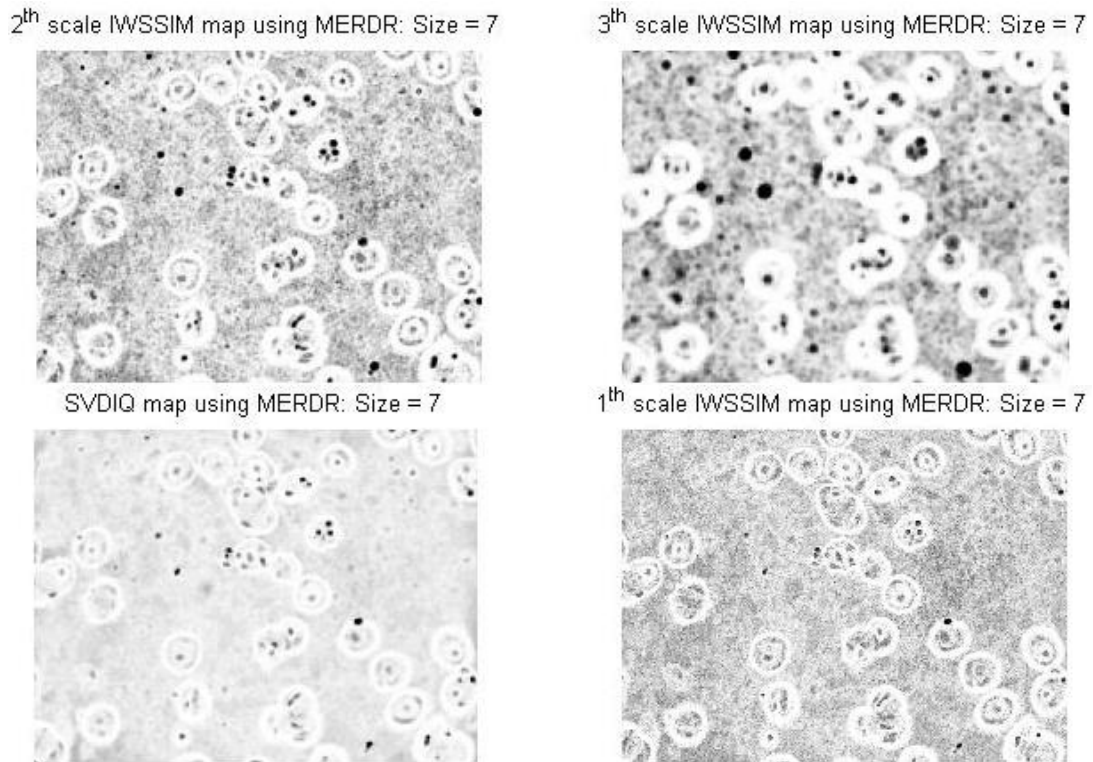
Este método emplea los componentes de similitud, calculados a diferentes escalas y ubicaciones como muestra en los mapas de similitud en la figura 1 para las tres escalas de descomposición IW-SSIM (*Information-content Weighted Multi-scale Structural Similarity index*) entre la imagen original (sin suavizado) y su versión suavizada utilizando el método morfológico de erosión-reconstrucción-dilatación-reconstrucción (MERDR).

El índice local de similitud estructural está definido por la ecuación:

$$SSIM_{local}(I,J) = [L(I,J)]^\alpha [C(I,J)]^\beta [S(I,J)]^\gamma \quad (4)$$

donde $\alpha, \beta, \gamma > 0$, son respectivamente, los pesos en la luminancia (L), contraste (C) y el término de la medida de similitud en las estructuras (S). La filosofía general detrás del índice SSIM es distinguir las distorsiones estructurales de las distorsiones no estructurales. Las distorsiones estructurales son los que afectan en mayor parte la degradación de la percepción de una imagen, mientras que las distorsiones no estructurales afectan sólo ligeramente la percepción de la degradación. Los dos primeros términos del índice de SSIM (L y C) por lo tanto representan distorsiones no estructurales, mientras que la distorsión estructural (S) está representado por una pérdida de correlación lineal (Wang, 2004).

Se observa que el primer mapa de la escala revela la similitud de los detalles más pequeños. Mientras tanto en las escalas superiores, los mapas muestran la similitud de detalles más gruesos en la imagen. Los bordes en los mapas presentan tonos blanquecinos que indican que el procedimiento de alisado logra preservar los bordes, por su parte grandes áreas dentro y fuera de las células muestran una baja similitud que significan que la imagen está muy suavizada.



Dos atributos que determinan la calidad de imagen son la nitidez de las líneas y bordes de una imagen y la suavidad de las áreas. Estos atributos perceptuales dependerán de los resultados de las operaciones de procesamiento de imágenes. Este es el por qué, en la mejora de una imagen dos operadores son comúnmente utilizados: agudización de las estructuras (líneas y bordes) y suavizado de las (casi uniforme) áreas. La mayoría de los píxeles en una imagen promedio 'pertenecen' a un área y sólo un pequeño número de ellos a líneas y bordes. Esto indica que un filtro, que realiza el suavizado, no se puede evaluar bien, por una medida que evalúa a cada píxel por igual (Dijk, 1999).

Por lo tanto, un diagrama de dispersión se representa utilizando la magnitud del gradiente en los píxeles de la imagen original $I(x, y)$ frente a los de la magnitud del gradiente de la versión filtrada $J(x, y)$. Como se puede observar en la figura 2, todos los píxeles agudizados y suavizados se agrupan en conjuntos A (de color rojo) y B (de color rosa), donde A son los píxeles para los que el gradiente filtrado es menor que el gradiente inicial (por debajo de la recta $y = x$), y B son los píxeles para los que el gradiente filtrado es mayor que el gradiente inicial (encima de la línea $y = x$). En general $|B| \ll |A|$, ya que un menor número de píxeles pueden encontrarse en los bordes que en las regiones suavizadas.

Figura 1. Mapas de la información del contenido de similitud estructural (IW-SSIM) para la 1ra, 2da y 3ra escala.

Nota: Las zonas más claras indican una gran similitud entre la imagen original y la suavizada, mientras que las zonas más oscuras indican que la similitud es menor.

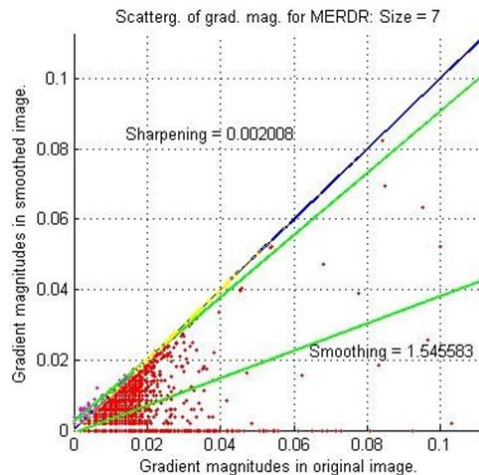


Figura 2. Diagrama de dispersión de magnitudes de gradiente usando las imágenes de la imagen muestra y la imagen suavizada mediante el método de merdr.

Nota: La línea azul indica que el gradiente es igual en ambas imágenes. Los círculos amarillos indican los píxeles para los cuales el gradiente en la filtrada es igual a la original. Las líneas verdes cotejadas a través de ambos conjuntos a y b, corresponden a la ecuación $y=ax+b$, dando un estimado del suavizado y el agudizado respectivamente.

Los bordes de las imágenes son una característica esencial para representar efectivamente el contenido de las mismas. Además, el histograma es una de los métodos más comúnmente utilizados para representar las características globales dentro de la composición de la imagen. Es invariante a la traslación y rotación de las imágenes. En general, los bordes se pueden describir mediante histogramas de bordes, que permiten a la frecuencia y la direccionalidad de sus cambios de brillo ser representadas de forma única. El estándar internacional MPEG-7 especifica un conjunto de descriptores de imagen y vídeo. Entre ellos, Histograma Descriptor de Bordes Locales (LEHD), captura la distribución espacial de los bordes en la imagen, por lo que será valorada su utilidad para el análisis comparativo de la propiedad de preservar bordes que tienen los métodos de suavizado analizados en este trabajo.

El descriptor de bordes representa la distribución espacial de estos. Para encontrar este histograma (LEHD), una imagen dada es primeramente sub-dividida en 4×4 sub-imágenes y para cada una de las sub-imágenes, se calculan sus características LEHD. En el estándar MPEG-7, los bordes se agrupan en cinco categorías: verticales, horizontales, bordes diagonales de 45° , bordes diagonales de 135° y no direccionales (S. Rahman, 2011).

Este procedimiento para determinar la orientación de los rasgos en la imagen (LEHD), es también conocido como Histograma Descriptor de Orientación de Rasgos (EOHD) (Choi, 2004). Para ejemplificar este histograma (EOHD), usamos una imagen de lámina periférica contaminada con Malaria (este histograma es de la imagen muestra).

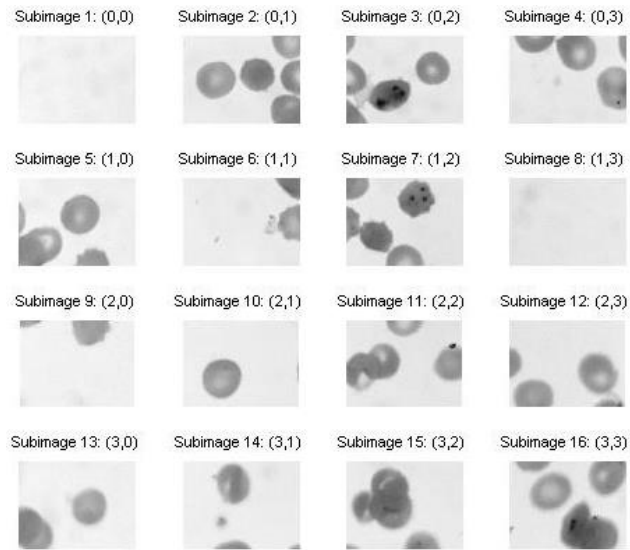
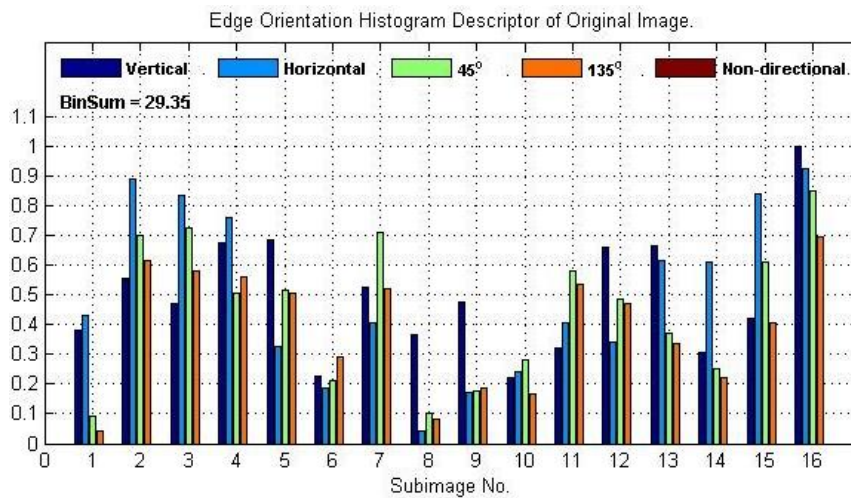


Figura 3: Las sub-íágenes de la imagen original.



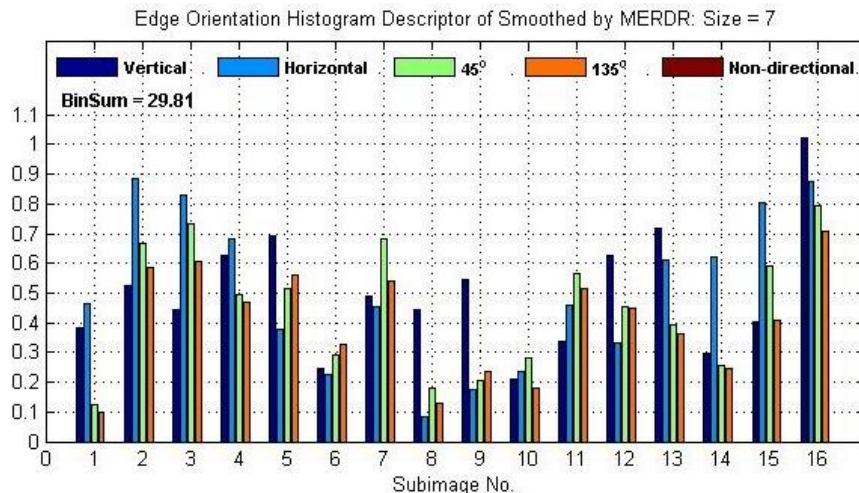
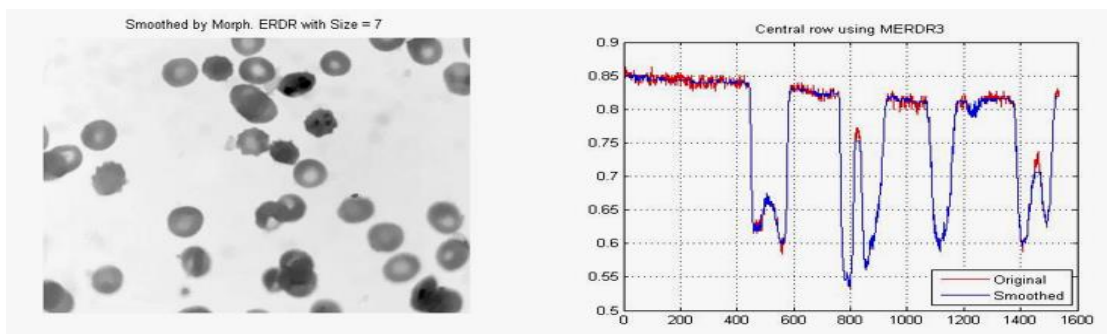


Figura 4: Histogramas descriptores de orientación de rasgos de la imagen original (arriba) y de la imagen suavizada con el método MERDR.

Es necesario realizar además evaluaciones perceptuales para evaluar el suavizado. Algunos autores (A. Shnayderman, 2006) comentan que una estimación precisa de la distorsión en una imagen puede obtenerse, no solo cuando las distorsiones son significativamente por encima del umbral visual humano, sino también cuando el rango de distorsión está cerca (o por debajo) del umbral visual humano. Es por esto que comparamos una imagen suavizada con la original (sin ser suavizada), a pesar de que sea en ocasiones un poco difícil reconocer los efectos del suavizado. Esto se debe a que un suavizado que preserve los bordes solo atenúa pequeños cambios de intensidades que no son fácilmente perceptibles. En la figura 3 podemos observar cómo incluso entre métodos morfológicos cambia la comparación perceptual, dependiendo del método, muestra imágenes suavizadas usando (en la parte inferior) un filtrado morfológico de reconstrucción geodésica (MGR) y un filtrado de erosión-reconstrucción-dilatación-reconstrucción (MERDR) en la parte superior. A la derecha de ambas imágenes para comprender mejor la medida del suavizado muestra la fila central de la imagen original (en color rojo) y la de la imagen suavizada (en color azul), ambas filas superpuestas para poder observar cuánto varía de la imagen original a la imagen suavizada, dependiendo del método que se utilice, escogimos estos dos métodos por ser el de reconstrucción geodésica el que peor desempeño tiene y el de erosión-reconstrucción-dilatación-reconstrucción el que mejores características en las imágenes resultantes presenta.



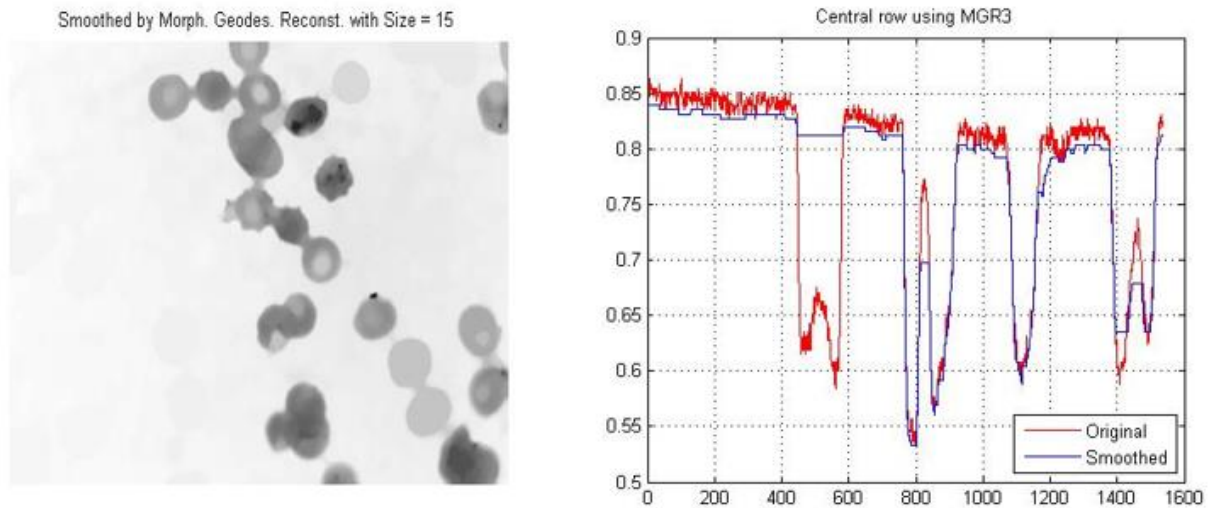


figura. 5: ejemplos de evaluación perceptual basándose en la fila central. variante del método erdr (arriba) y debajo una variante del método mgr.

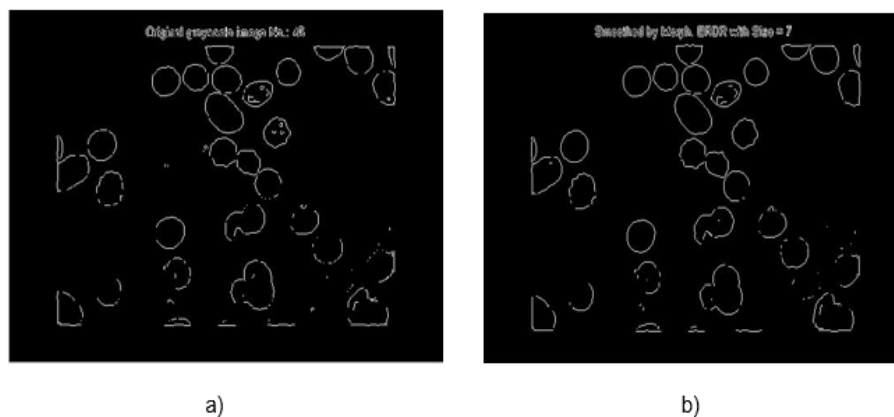


Figura. 6: Operadores de Sobel aplicados en a) La imagen original y b) La imagen suavizada para comparar en qué medida el filtro Merdr suavizó los bordes.

La validación perceptual de los efectos del suavizado basada en la comparación visual de los rasgos extraídos de la imagen original ha sido adoptada por algunos autores (Barash, 2000). Los criterios pueden mostrar el nivel de conservación de rasgos y el grado de suavizado en toda la imagen. La figura 6 muestra los rasgos detectados usando el método de Sobel, comparando la imagen original (parte izquierda) y la imagen suavizada usando el método de Erosión-Reconstrucción-Dilatación-Reconstrucción (MERDR), note que los bordes en la imagen suavizada son muy parecidos a la imagen original.

3. Futuras investigaciones:

Partiendo de los resultados obtenidos podemos afirmar que el proyecto “Suavizado de imágenes de microscopía celular mediante el uso de técnicas de filtrado morfológico” que se está llevando a cabo en el Centro de Estudios Informáticos de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas propone métodos de suavizado de imágenes de microscopía celular que mejoran la calidad de las mismas para las posteriores tareas de segmentación y clasificación. Para futuras investigaciones se hace la propuesta de Evaluar en forma cuantitativa la efectividad relativa de los métodos de suavizados empleados, a partir de imágenes sintéticas que permitan realizar una evaluación supervisada. Además, realizar otros métodos de suavizado para comprobar cuáles muestran mejores resultados, así como también continuar variando los parámetros de los filtros, ya implementados, para tener una mayor exactitud del rango que provee un mejor desempeño.

Conclusiones

Se implementaron distintos tipos de filtros para suavizar imágenes de microscopía celular y facilitar de esta manera su posterior procesamiento en tareas de segmentación y clasificación. Entre ellos, lograron un mejor desempeño los de tipo morfológico. Se demostró que los métodos clásicos de filtrado dependen muy poco de la imagen a analizar, dan muy buenos resultados, pero se pierde mucha información, pues suavizan en gran medida los bordes. Los adaptativos también los suavizan en menor cuantía, con el inconveniente de una mayor carga computacional. Basándonos en las medidas de calidad con las cuales se evaluaron las imágenes podemos concluir que se hace necesario en algunas mejorar el brillo o el contraste, y de esta manera asegurar mejores resultados de los filtros que son muy dependientes de la imagen que se utilice.

Referencias

- A. LIU, W. M. (2012). Image Quality Assessment Based on Gradient Similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*, 21(4), 1500-1512.
- A. SHNAYDERMAN, A. A. (2006). An SVD Based Gray Scale Image Quality Measure for Local and Global Assessment. *IEEE Transactions on Image Processing*, 15(2).
- BARASH, D. (2000). , *Bilateral Filtering and Anisotropic Diffusion: Towards a Unified Viewpoint*. Israel: Hewlett-Packard Laboratories.
- CHEN, K. .. (2005). Adaptive Smoothing via Contextual and Local Discontinuities. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*(27), 1552-1567.
- CHEN, K. (2005). Adaptive Smoothing via Contextual and Local Discontinuities. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27, 1552-1567.

- CHOI, J. S. (2004). Design and Implementation of a Concept based Image Retrieval System with Edge Description Templates. En *Storage and Retrieval Methods and Applications for Multimedia* (pág. 5307).
- DIJK, J. e. (1999). A new measure for the effect of sharpening and smoothing filters on images. *SCIA'99, Proc. 11th Scandinavian Conference on Image Analysis, Pattern Recognition Society of Denmark*. Dinamarca.
- DUEÑAS, C. P. (2009). “Apuntes de Visión Industrial de Ingeniería de Producción”. Universidad Politécnica de Madrid.
- G. BELLINO, F. F. BRIONES, A. G., RODRÍGUEZ, J. M. C., & de PAZ SANTANA, J. F.(2014) Sistema de predicción de edad en rostros. *Avances en Informática y Automática*, 125.Octavo Workshop
- GIL, D. e. (2011). Structure-preserving Smoothing of Biomedical Images. *Pattern Recognition*, 44, 1842-1851.
- GOYAL, A. A. (2012). A Comprehensive Review of Image Smoothing Techniques. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, 1(4), 315-319.
- MALIK, P. (1990). Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 12(7), 629-639.
- MARK A. SCHULZE, J. (1993). Linear combinations of Morphological operators: the midrange, pseu-domedian and LOCO filters.
- PEI, S.-C. a.-L. (1997). An Efficient Class of Alternating Sequential Filters in Morphology. *GRAPHICAL MODELS AND IMAGE PROCESSING*, 29(2), 109–116.
- ROMAIN LERALLUT, É. F. (2005). Image filtering using morphological amoebas. París: ISMM.
- RUSS, J. (2002). The image processing handbook. Boca Ratón, Florida, EEUU.
- S. KUMAR, P. M.-N. (2010). Performance Comparison of Median and Wiener Filter in Image Denoising. *International Journal of Computer Applications*, 12(4), 27-31.
- S. PARIS, P. K. (2009). Bilateral Filtering: Theory and Applications. *Foundations and Trends Computer Graphics and Vision*, 4(1).
- S. RAHMAN, S. A. (2011). Performance of PCA Based Semi-supervised Learning in Face Recognition Using MPEG-7 Edge Histogram Descriptor. *Journal of Multimedia*, 6(5), 404-415.
- S.ZLI, Y. J. (1997). Edge-Preserving Smoothing by Convex Minimization. *Computer Vision (ACCV'98)*.

VASEGHI, S. V. (2000). Wiener Filters. En *Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction* (Segunda ed., págs. 178-204). John Wiley & Sons Ltd.

VINCENT, L. (1993). Grayscale area openings and clos-ings, their efficient implementation and applications. *Xerox Imaging Systems*.

VINCENT, L. (1993). Morphological Grayscale Reconstruction in Image Analysis: Applications and Efficient Algorithms. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2(2), 176-201.

WALLIANDER, M. e. (2012). *Automated segmentation of blood cells in Giemsa stained digitized thin blood films*. 11th European Congress on Telepathology and 5th International Congress on Virtual Microscopy., Venice, Italy. .

WANG, Z. E. (2004). Multi-Scale Structural Similarity For Image Quality Assessment. *Proceedings of the 37th IEEE Asilomar Conference on Signal, Systems and Computers*.