

Soporte facilitador para la toma de imágenes microscópicas con dispositivos digitales

Support Facilitator for Taking Microscopic Images with Digital Devices

Michel Torres-Leyva¹
Leidys Cala Calviño¹
José Antonio Ortiz Maestre¹
Lianey Mercedes Suarez Sotomayor¹
Frank Hernández García^{2*}

¹ Facultad de Medicina No. 1, Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba, Cuba.

² Facultad “Dr. José Assef Yara”, Universidad de Ciencias Médicas de Ciego de Ávila, Cuba.

* Autor para la correspondencia: frank96@infomed.sld.cu

RESUMEN

Introducción: La rápida evolución de la tecnología provoca la rápida obsolescencia de los equipos, esto constituye una desventaja dados los equipos tradicionales con que contamos en nuestro laboratorio. Técnicas como el procesamiento digital de imágenes han ampliado su propósito hacia el mejoramiento de las imágenes adquiridas y la búsqueda de información en ellas.

Objetivo: Evaluar un soporte facilitador para la toma de imágenes microscópicas con dispositivos móviles digitales.

Métodos: Se desarrolló una investigación de innovación tecnológica realizada en el período octubre-diciembre del 2017, en los laboratorios de Ciencias Básicas Biomédicas de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba.

Resultados: Se propone la generación de una herramienta o soporte que admita el acople de un dispositivo digital para la toma de imágenes, que permita el procesamiento, almacenamiento y análisis de imágenes microscópicas, para la creación de una base de datos digitales para uso académico por parte del personal del área de ciencias básicas biomédicas y como un medio que facilite el estudio de tejidos a los estudiantes de medicina. Desde el punto de vista económico, la integración de imágenes en los sistemas de información supondría una reducción significativa de costos.

Conclusiones: Se aprovechan las ventajas de los dispositivos móviles para la digitalización de imágenes. Estos dispositivos pueden adaptarse a los microscopios y generar productos que permitan el fácil proceso de visualización y almacenamiento, siendo accesibles y de fácil uso. Facilitará el desarrollo de investigaciones en el campo de la histología.

Palabras clave: Ciencias básicas biomédicas; innovación tecnológica; digitalización de imágenes con dispositivos móviles.

ABSTRACT

Introduction: The rapid evolution of technology causes rapid obsolescence of equipment, which is a disadvantage given the traditional equipment that we have in our laboratory. Techniques such as digital image processing have expanded their purpose towards the improvement of acquired images and the search for information in them.

Objective: To evaluate a facilitating support for the taking of microscopic images with digital mobile devices.

Methods: A technological innovation research conducted in the period October-December 2017, in the laboratories of Basic Biomedical Sciences at the University of Medical Sciences of Santiago de Cuba was developed.

Results: We propose the generation of a tool that supports the coupling of a digital device for taking images. The tool allows the processing, storage and analysis of microscopic images, for the creation of a digital database for academic use by the personnel of the area of biomedical basic sciences, which will also serve as a means to facilitate the study of tissues to the Medicine students. From the economic point of view, the integration of images in the information systems would imply a significant reduction of costs.

Conclusions: The advantages of mobile devices for the digitalization of images are exploited. These devices can be adapted to microscopes and generate products that allow easy viewing and storage process, being accessible and easy to use. It will facilitate the development of investigations in the field of histology.

Key words: Basic sciences, technological innovation, digital imaging with mobile devices.

Introducción

Desde finales del siglo XX la microscopía se ha venido transformando, incluyendo nuevos recursos que mejoran y perfeccionan su práctica. Entre ellos se destaca el microscopio virtual, la sinergia entre disciplinas como la patología, la histología, la informática médica y el análisis de imágenes. Esta tecnología ha cambiado muchos paradigmas en la investigación, el diagnóstico, la educación y el entrenamiento médico.⁽¹⁾

Hacen varias décadas, se incorporaron cámaras a los microscopios para registrar las imágenes de determinados estudios. Actualmente es común el uso de cámaras digitales acopladas a microscopios trinoculares. En la adquisición de esas imágenes microscópicas, es conveniente mantener cierta estandarización, que es difícil garantizar por métodos manuales. Los ajustes de enfoque y, aunque menos crítico, de iluminación de cada usuario pueden ser diferentes debido a sus características visuales, además de depender de si fueron realizados observando por el ocular o por el monitor de una computadora (PC) a la que se acopla la cámara. Desde los años 80 del siglo pasado, apareció el interés de controlar los microscopios desde PCs, actuando a través de motores por pasos. Varios trabajos de la época abordan el tema, proponiendo soluciones

'caseras' incompletas para controlar el enfoque (eje z), las posiciones (x, y) y la iluminación. Posteriormente, se comenzaron a ofertar comercialmente algunos microscopios motorizados, con las ventajas del completo control desde una PC, aunque a precios mucho más elevados que los convencionales.⁽²⁾

El almacenamiento físico de cualquier tipo de información tiene grandes limitaciones. En particular, las preparaciones de histología convencionales (placas de vidrio) presentan inconvenientes como su capacidad de uso y el no ser portátiles: sólo un usuario puede observar la muestra, el transporte de las placas es tedioso, las preparaciones convencionales son frágiles y no son permanentes (aparecen burbujas y la coloración se destiñe muy rápidamente). Algunas técnicas (inmunofluorescencia) sólo permiten evaluar la preparación un breve periodo tras su realización, y algunos tejidos o sustancias, como los cristales en el líquido articular, no se conservan. Por el contrario, la muestra almacenada digitalmente resuelve la mayor parte de estas dificultades. La información siempre está disponible para ser utilizada por múltiples usuarios, se transporta fácilmente, la exploración se puede estandarizar y es flexible. Otra ventaja de tener las placas digitalizadas, es la posibilidad de hacer anotaciones, marcar regiones de interés, utilizar técnicas de segmentación de imágenes y reconocimiento de patrones, así como hacer posible el análisis, la comparación y las medidas entre las imágenes para ayuda en el diagnóstico, con lo cual se puede inferir nuevo conocimiento médico.⁽³⁾

En estudios recientes se ha calculado el impacto de la microscopía virtual en el aprendizaje, resaltando que los microscopios virtuales es una herramienta eficiente para la exploración de las placas de histología, y alcanzan 78 % de preferencia frente a 5,7 % de los microscopios convencionales. La ventaja de los microscopios virtuales, según los estudiantes, es la libertad para explorar y estudiar las placas, lo cual mejora significativamente el proceso de aprendizaje. Otra ventaja del uso de los sistemas de microscopía virtual es la posibilidad de ubicar a varios usuarios en lugares remotos, para observar en tiempo real la información de la placa virtual, con lo cual se ofrece un ambiente adecuado para la participación de múltiples expertos en investigaciones científicas o segundas opiniones en actividades de diagnóstico.⁽²⁾

Dentro del campo de la medicina, ha tomado importancia el uso del procesamiento digital de imágenes para el estudio de muestras de laboratorio clínico y anatomía patológica. Es importante resaltar las evidencias que la literatura registrar acerca del desarrollo de herramientas informáticas que prestan apoyo al análisis de las imágenes. Se han registrado desarrollos para la microscopía virtual, herramientas para aplicaciones en patología para el estudio tridimensional de estructuras de virus y desarrollo de programas. El uso de estas herramientas es de gran utilidad en el campo de la investigación, el desarrollo tecnológico y principalmente, como se ha registrado en la literatura, para el desarrollo de aplicaciones didácticas en la enseñanza de las estructuras microscópicas.⁽⁴⁾

El presente trabajo pretende ilustrar los resultados obtenidos en el desarrollo de un soporte que permite el acople de un dispositivo móvil al microscopio convencional, permitiendo la toma y digitalización de imágenes microscópicas, y el almacenamiento de imágenes captadas con la finalidad de generar bases de datos para futuros estudios y/o procesos de enseñanza. La

herramienta se basa en las ventajas de los dispositivos móviles para la digitalización de imágenes que se pueden adaptar a los microscopios y generar productos que permitan el fácil proceso de visualización y almacenamiento, que además son accesibles, de fácil uso y bajo costo. El objetivo de la investigación es evaluar el Soporte facilitador para la toma de imágenes microscópicas con dispositivos móviles digitales.

Métodos

Para el diseño de esta herramienta, se parte de la necesidad de digitalizar y visualizar imágenes microscópicas. Se realizó una investigación de Innovación Tecnológica en el período octubre-diciembre del 2017, en los laboratorios de Ciencias Básicas Biomédicas de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba. Consiste en un brazo flexible o soporte facilitador en la toma de imágenes microscópicas con cualquier dispositivo digital que queda sujeto ante el lente del microscopio óptico permitiendo de forma sencilla toma de imágenes de alta calidad. Se ha utilizado un microscopio óptico de fácil manipulación y un dispositivo móvil digital con tecnología Androide para adquisición de imágenes. En la Figura 1 se ilustra un esquema del dispositivo o soporte utilizado y el microscopio óptico empleado.



Fig. 1 - A la derecha microscopio óptico empleado, esquema del dispositivo a la izquierda.

El sistema de adquisición propuesto utiliza cualquier teléfono móvil con cámara y una aplicación Androide que permita el procesamiento digital de una imagen. El protocolo de toma de la imagen se realiza conforme a lo que describe el estudio de microscopia convencional, donde primeramente se debe localizar enfocando adecuadamente la imagen y luego fijar el soporte frente al microscopio para proceder a la toma de la imagen deseada.

En la Figura 2 se muestra el dispositivo o soporte que permite el acople de un teléfono móvil a un microscopio convencional, y se observa en la pantalla la captura de una imagen microscópica (linfocito en apoptosis) obtenida de un frotis de sangre periférica teñida con Giemsa.



Fig. 2 - Dispositivo que permite el acople de un teléfono móvil a un microscopio convencional.

Materiales empleados

El microscopio utilizado puede ser cualquiera de los convencionales utilizados en laboratorio clínico, con fácil manipulación manual y que posea los tres tipos tradicionales de aumento óptico, panorámico, 40x y 100x. La fuente de iluminación es de intensidad variable con la opción de controlar el flujo de luz a través de un diafragma manual. Se empleó un tubo metálico flexible y un soporte de selfie para fijar el teléfono celular que solo requiere tener cámara digital y tecnología androide. Al poder tener muestras en formato digital, es posible su posterior procesamiento para la realización de herramientas de diagnóstico.

Resultados y Discusión

El diagnóstico por microscopía óptica requiere tiempo y especialistas entrenados en la realización de los análisis. Actualmente, existen varios estudios que validan la calidad y precisión del diagnóstico realizado sobre muestras digitalizadas. El sistema de adquisición se basa en la telefonía móvil, sus precios cada vez más económicos han permitido su expansión geográfica. Las mejoras sus cámaras, la capacidad de registro de datos (documentos, imágenes, vídeos, audios, etc.) y la conexión a redes inalámbricas hacen de la telefonía un móvil un potencial interesante para la adquisición y transmisión de imágenes de microscopía. ^(2,5)

Producción de la imagen digital en microscopía óptica

La digitalización de una imagen electrónica capturada por un microscopio óptico permite obtener un incremento espectacular en las posibilidades de ampliar características, extraer información o modificar la imagen. En comparación con el mecanismo tradicional de captación de imágenes, la digitalización de la imagen y el proceso de postadquisición/ recuperación permiten una modificación reversible de la imagen como matriz ordenada de enteros fundamentalmente libre de ruido más que una mera serie de variaciones análogas en color e intensidad. Dependiendo de las condiciones de iluminación, la integridad de la muestra y los métodos de preparación, las imágenes capturadas con el microscopio óptico y la cámara de un teléfono móvil pueden requerir una cantidad considerable de rehabilitación/reinserción/renovación para conseguir un equilibrio entre precisión científica y composición estética. La gama de métodos de detección de luz y la amplia variedad de dispositivos de imagen que están disponibles actualmente para el microscopista hacen que su selección sea difícil y a menudo confusa. ⁽⁶⁾

Las imágenes digitales que se obtienen mediante un CCD (charge-coupled device) o un CMOS (complementary metal oxide semiconductor) a menudo sufren señales a ruido pobres, iluminación irregular, impurezas de enfoque, deslumbramiento, cambios en los colores y otros problemas que distorsionan la calidad global de la imagen. Las imágenes de señal continua se reproducen mediante dispositivos electrónicos analógicos que registran los datos de la imagen con precisión utilizando varios métodos, como una secuencia de fluctuaciones de la señal eléctrica o cambios en la naturaleza química de la emulsión de una película, que varían continuamente en los diferentes aspectos de la imagen. Para procesar o visualizar en el ordenador una señal continua o una imagen analógica, se debe convertir primero a un formato comprensible para el ordenador o formato digital. Este proceso se aplica a todas las imágenes, independientemente de su origen, complejidad y de si son en blanco y negro (escala de grises) o a todo color. Una imagen digital se compone de una matriz rectangular (o cuadrada) de píxeles que representan una serie de valores de intensidad ordenados en un sistema de coordenadas (x,y). ^(5,6)

Descripción del método tradicional y comparación con el propuesto utilizando el soporte.

La digitalización de imágenes de microscopía se realiza de forma estándar con una cámara acoplada de forma fija al microscopio. Las cámaras digitalizan muestras y almacenan las imágenes en una tarjeta de memoria (Fig. 3). Posteriormente, estas imágenes se transmiten a un ordenador

para su uso y posible procesamiento. El ordenador, la cámara, los oculares específicos que permiten el acople de la cámara y, en ocasiones, el software para la gestión y manipulación de imágenes suponen una inversión económica. ⁽⁷⁾



Fig. 3 - Cámara acoplada de forma fija al microscopio.

En el sistema de digitalización que se propone, este material se sustituye por un teléfono móvil y un adaptador móvil microscopio. Los adaptadores móvil microscopio son soportes mecánicos que permiten fijar un teléfono móvil al ocular de un microscopio. El precio de los adaptadores se encuentra entre 60 y 100€. Existen varios adaptadores disponibles actualmente en el mercado (Fig. 4): Magnifi, Skylight , Snapzoom, PhoneSkope, iScope, Meopix y Universal Digiscoping. ⁽⁷⁾



Fig. 4- Universal Digiscoping y otros dispositivos existentes.

Están diseñados para acoplar una gran variedad de teléfonos y tienen dos componentes, una carcasa de plástico policarbonato resistente a los impactos y una montura para el ocular del microscopio. Estas dos piezas son independientes y quedan unidas a bayoneta. Para ajustar la

montura a las diferentes dimensiones de los oculares se insertan gomas circulares en el interior de la montura, estas gomas se adquieren al comprar el adaptador. En función del número de gomas que se inserten el adaptador podrá acoplarse a unos oculares u otros, siempre y cuando el diámetro del ocular se encuentre en el rango 25-38 mm. Existen otros dispositivos también específicos para la adquisición de imágenes de microscopio, que se ajustan fácilmente a tecnologías móviles, como el Sistema smartphone-PDMS y el iPad alineado con dispositivo Keeploop. Estos dispositivos suponen una revolución para la telemedicina, permiten el diagnóstico de enfermedades en zonas remotas o de escasos recursos. Sin embargo, el mercado de la microscopía móvil se enfrenta a grandes retos.^(7,8)

Los aumentos disponibles con estas tecnologías suelen ser escasos para el diagnóstico de enfermedades (por ejemplo, en el caso del cáncer de útero se precisan 400 aumentos y para la malaria o tuberculosis son necesarios 1000 aumentos para un correcto diagnóstico) constituyendo esto una limitación. Las aberraciones, la dificultad para enfocar todo el campo de visión, son otros de los motivos que dificultan su introducción como instrumentos de diagnóstico, pero puede resultar una valiosa arma para el uso rutinario entre estudiantes de medicina, durante las prácticas convencionales de la asignatura morfofisiología, ya que pueden tomar sus propias imágenes, facilitando luego el estudio y motivándolos a profundizar en el tema.⁽⁹⁾

El soporte creado consta de una única pieza con libertad de movimientos en los tres ejes que permite alinear la cámara con el ocular. En este caso los soportes de la plataforma que sostienen el teléfono se ajustan con un fuelle. La montura, queda sobre la mesa de trabajo, frente al microscopio óptico, aumentando así la estabilidad del adaptador. Posiblemente, la mayor desventaja de los adaptadores móvil-microscopio es la dificultad para el alineamiento de la cámara con el ocular, tarea necesaria para poder observar correctamente todo el campo de visión. Este proceso es tedioso en los dispositivos convencionales, sin embargo, el tiempo necesario se reduce según se adquieren habilidades de uso y/o si la montura se encuentra ajustada al teléfono debido a usos anteriores. El soporte diseñado hace uso de un microscopio y un dispositivo móvil para la adquisición de imágenes, presenta la ventaja de poder adaptarse a gran variedad de teléfonos y microscopios. Su principal inconveniente es ajustar la posición del móvil con respecto al microscopio para poder visualizar correctamente todo el campo de visión. En este proceso se debe desplazar el móvil en los 3 ejes, proceso que puede durar entre 2 y 10 minutos en función de la experiencia y habilidad de la persona que lo realiza. La distancia focal está determinada por la morfología de cada lente pudiendo alcanzarse valores de 5.6 milímetros. Lente y teléfono se pueden unir directamente sin necesidad de estructuras complementarias y esta unión no es rígida. Estas tecnologías en conjunto son robustas, sencillas de usar y de un coste de adquisición llamativamente muy reducido para la institución.

Los únicos gastos son los correspondientes a la adquisición del material. Para este proyecto se han empleado una base de madera y un segmento de tubo metálico flexible. Una vez se han digitalizado los campos correspondientes a una muestra y si el móvil posee conexión a Internet, se procede al envío de las imágenes al servidor para que puedan ser incorporadas y analizadas.

Características de las cámaras de los dispositivos convencionales

Como el proceso de adquisición de imágenes microscópicas es complejo, es fundamental encontrar los parámetros adecuados para cada circunstancia, al menos de los factores que pueden controlarse. La resolución adecuada para la adquisición de imágenes debe tener en cuenta la máxima resolución de un microscopio. Cuando se usa una cámara digital como detector, una regla básica de resolución consiste en que, al menos, dos píxeles representen, sin ambigüedad, una característica en la imagen, lo cual por supuesto debe seguir la regla de Nyquist-Shanon. Para el diagnóstico, el entrenamiento y la valoración de la calidad de la imagen, es importante que los dispositivos digitales de visualización permitan observar la imagen, como si se estuviera haciendo en un microscopio convencional. Sin embargo, existen limitaciones en cuanto a la resolución de los dispositivos de visualización y la distancia del observador a la pantalla. ⁽⁹⁾

La resolución de las imágenes adquiridas con cámaras digitales está determinada por el número de células fotoeléctricas del dispositivo de cargas eléctricas acopladas (CCD). Las cámaras utilizadas en dispositivos comerciales de captura son de alta resolución, con tamaños de pixel desde 4,65 x 4,65 μm^2 hasta 14 x 14 μm^2 . Las platinas deben ser de excelente precisión y alta velocidad, con velocidades desde 30 mm/s hasta 180 mm/s y precisión de 1 a 3 micrómetros. Algunos dispositivos (LifeSpan Alias[®], Olympus SIS.Slide[®]) consiguen precisiones o distancias mínimas de 0,002 a 0,015 μm para el eje Z y 0,25 μm en los ejes X y Y. El microscopio Nikon Eclipse[®] adquiere las capturas en formato JPEG (Joint Photographic Experts Group) y las almacena en una carpeta, junto con un archivo "info" que permite reconstruir la preparación; este sistema es lento y la calidad de las imágenes es intermedia. El Aperio[®] captura tiras de imágenes tiff (Tagged Image File Format) con superposición, sistema rápido y de alta resolución. Este sistema en particular, a diferencia de muchos sistemas disponibles en el mercado, es adaptable a muchos microscopios pues es completamente externo. El sistema está compuesto por dos etapas: adquisición y almacenamiento. La fase de adquisición consiste de un sistema mecánico, adaptado a la platina de un microscopio convencional, y de una cámara digital JVC KY-F58[®]. acoplada al sistema óptico triocular del microscopio, disponible en el comercio. Se entiende entonces, porqué estos dispositivos son tan costosos en el mercado actual. ^(2,5)

Características de las cámaras de dispositivos de telefonía móvil

Las cámaras de los smartphone poseen lentes con curvaturas fijas que no están optimizadas para la digitalización a cortas distancias (< 2 cm.), como es el caso de la digitalización móvil-microscopio. Sin embargo, las cámaras de los smartphones ofrecen multitud de herramientas para optimizar la adquisición de la imagen. Además, el post-procesado con programas de tratamiento digital de imágenes permite ajustar la información de la imagen a ciertas necesidades. Con estas dos motivaciones, se realiza un estudio para determinar el dispositivo móvil y los parámetros de la cámara que permiten una óptima adquisición en el contexto en el que nos encontramos, así como, valorar el beneficio de técnicas básicas de procesado de imagen. Camera de Google, Open Camera, HD Camera Ultra, Cámara FV-5 Pro, son algunas de las aplicaciones Android que permiten acceder a los parámetros de la cámara del teléfono móvil. Entre ellas destaca Cámara FV-5 Pro por la amplia variedad de prestaciones que ofrece, aunque la capacidad de control de algunas de ellas no están disponibles en ciertos dispositivos. ^(4,5)

Resolución: En Cámara FV-5 Pro este parámetro puede tomar los siguientes valores en megapíxeles: 0.1, 0.2, 0.3, 2.1, 3.1, 8, 8.3, 15.5, 18.7, 20.7.

Zoom: El zoom es la capacidad de modificar el tamaño de la imagen sin variar la distancia entre la cámara y el motivo. Existe el zoom óptico y el zoom digital, pero en los dispositivos móviles sólo está disponible el digital. El zoom digital se puede implementar de dos maneras: aumentando el tamaño de los píxeles o aumentando el número de píxeles según se aumenta el zoom. En FV-5 Pro los valores de zoom varían entre 35 mm, valor estándar, y 144 mm en pasos de 1 milímetro.

Enfoque: El enfoque es la capacidad de la óptica de hacer coincidir los rayos de luz que inciden en la cámara en el punto focal, que a su vez coincidirá con el sensor de la cámara. Enfocar es dejar nítido aquello que está a una distancia concreta. El FV5 puede tomar los valores: Manual Focus, Macro, Face detection focus, Touch focus, Continuous autofocus, Infinity, Autofocus Lock.

ISO: La ISO de una cámara determina el nivel de sensibilidad de la misma a la luz disponible. Cuanto mayor es el valor de la ISO más sensible será el sensor a los rayos de luz. Al doblar el valor de ISO se dobla también la sensibilidad del sensor de la cámara ante la luz. Los valores de ISO en la aplicación FV5 varían 50 y 3200 pudiendo elegir el valor automático.

Distintos estudios demuestran la validez del telediagnóstico a través de muestras digitalizadas en comparación con el diagnóstico convencional utilizando directamente el microscopio óptico. Sin embargo, no existen estudios acerca de la validez y viabilidad del diagnóstico usando imágenes de microscopía adquiridas con un smartphone.⁽⁵⁾

Una investigación realizada en 2017, en Buenos Aires, compara diferentes métodos y tecnologías para determinar el tamaño de partículas de minerales y expone una alternativa efectiva, de bajo costo y que tiene la finalidad de ser utilizada en línea, mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes a través de técnicas manuales o por medio de dispositivos electrónicos determinándose propiedades geométricas como así también medidas estadísticas de interés para el proceso.⁽¹⁰⁾

Un estudio titulado Caracterización del uso espontáneo de dispositivos móviles en el aula universitaria, realizado en el 2015, evidenció la captura de imágenes con las cámaras digitales de los teléfonos celulares desde la lente ocular del microscopio por los estudiantes y que estos comparten las imágenes desde la pantalla del teléfono celular o a través de fotos impresas y realizan trabajo colaborativo. Por esto expone que los profesores podrán sugerir propuestas de enseñanza-aprendizaje que involucren el uso de los dispositivos móviles en la universidad, potenciando el uso de la tecnología que traen los estudiantes al aula.⁽⁴⁾

Desventajas

- No todos los dispositivos móviles y cámaras poseen las mismas capacidades de adquisición.

Ventajas

- Las dimensiones de la imagen tomada no afectan al análisis de la misma.
- El zoom digital del dispositivo ofrece mejores resultados que el zoom obtenido al aumentar la imagen en programas estándares de visualización de imágenes.

- Mayor rapidez.

A pesar de los rápidos avances de la microscopía óptica, sus diferentes modalidades requieren configuraciones complejas y de coste elevado que las hacen inaccesibles en regiones de pocos recursos. Por este motivo, en la última década se ha abierto un nuevo campo de investigación en el que se desarrollan tecnologías baratas, compactas, ligeras y sencillas de usar que adquieren imágenes lo suficientemente precisas para generar resultados útiles en el campo de la salud. Estos “microscopios portátiles” se integran a través de teléfonos móviles en redes de comunicación inalámbrica.

Conclusiones

Las tecnologías móviles han vivido un importante crecimiento en su potencialidad y funcionalidades que ha permitido su incorporación en el campo de la medicina. Es posible adquirir imágenes de microscopía con este soporte y un dispositivo móvil, sin necesidad de conocimientos técnicos. El sistema propuesto tiene un coste mínimo en comparación con otras cámaras usadas específicamente en este contexto y permite la toma de imágenes con una calidad adecuada para el aprendizaje básico en estudiantes de medicina, suficiente para procesar imágenes digitales.

Referencias

1. Marín D, Romero E. Sistemas de microscopía virtual: análisis y perspectivas. *Biomédica*. 2011;31:144-55.
2. García M, Bueno G, Peces C, González J, Carbajo M. Digital slides in pathology departments (II). An analysis of existing solutions. *Revista Española de Patología*. 2005;38:207-20.
3. Appleton B, Bradley A, Wildermoth M. Towards optimal image stitching for virtual microscopy. *Digital Image Computing: Techniques and Applications*. 2005;1:44.
4. Kim MH, Park Y, Seo D, Lim YJ, Kim D, Kim CW, et al. Virtual microscopy as a practical alternative to conventional microscopy in pathology education. *Basic Appl Pathol*. 2008;1:46-8.
5. Pedrana Martínez, GM. Investigar con y para la sociedad. 2015;(2):955-64.
6. Solución Viable para Control Automatizado de Enfoque e Iluminación en Microscopio Digital En: CLAIB 2011, IFMBE Proceedings [Internet]. Folgueras Méndez J, et al. (Eds.); 2011 [citado abril 2017]; 810–813. Disponible en: www.springerlink.com.
7. González RC, Woods RE. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley. 1992.
8. Baxes GA. *Digital Image Processing. Principles and Applications*. Wiley. 1994.
9. González RC, Woods RE. *Digital Image Processing*. New Jersey, USA: Prentice Hall. 2008 . 120-44.
10. Rodríguez Medina CG ,Chuk OD, Bertero R, Trigo P. Medición del tamaño de partículas de minerales mediante procesamiento digital de imágenes [INTERNET]. XIX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. WICC 2017, ITBA, Buenos Aires. 2017 [citado abril 2017];408-13. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/61343>.