

Aproximación al uso de interfaz

gráfica en la operatividad de agentes inteligentes con imágenes médicas

Approaching the use of graphical interface in the operation of intelligent agents with medical images

Shirley Katherine Osorio Ortega, Ing¹ <https://orcid.org/0000-0002-5444-4788>, Juan Diego Hernández Lalinde, MgSc² <https://orcid.org/0000-0001-6768-1873>, Johel E. Rodríguez, MgSc^{3*} <https://orcid.org/0000-0002-8353-2736>, Pedro Enrique Reyes Herrera, MD⁴ <https://orcid.org/0000-0002-1645-1223>, Pablo Marcelo Armas Ramírez, MD⁵ <https://orcid.org/0000-0001-5768-136X>, Luis Eduardo Morán Narváez, MD⁶ <https://orcid.org/0000-0002-4122-388X>, Gisella Patricia Velastegui Rodríguez, MD⁷ <https://orcid.org/0000-0001-6285-232X>, Juan Salazar, MD⁸ <https://orcid.org/0000-0003-4211-528X>, Roberto Añez, MD⁹ <https://orcid.org/0000-0001-6363-2767>, Valmore Bermúdez, MD, MgSc, PHD^{9*} <https://orcid.org/0000-0003-1880-8887>

¹Universidad Simón Bolívar. Adscrita al grupo de investigación INGEBIOCARIIBE. Cúcuta, Colombia.

²Universidad Simón Bolívar. Departamento de Ciencias Básicas, Sociales y Humanas. Cúcuta, Colombia.

³Universidad Simón Bolívar. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería en Sistemas. Cúcuta, Colombia.

⁴Universidad de Guayaquil Posgradista de cirugía general Universidad Espíritu Santo. República del Ecuador.

⁵Maestrante en Investigación Clínica y de Gestión del Conocimiento Científico. Universidad Europea Miguel de Cervantes. España.

⁶Universidad de Guayaquil. República del Ecuador.

⁷Posgradista de Medicina Interna. Universidad Espíritu Santo. República del Ecuador.

⁸Centro de Investigación Endocrino Metabólicas "Dr. Félix Gómez". Facultad de Medicina. Universidad del Zulia. Venezuela.

⁹Universidad Simón Bolívar, Facultad de Ciencias de la Salud, Cúcuta, Colombia.

*Autor de correspondencia: Johel E Rodríguez, Ingeniero en Sistemas. Universidad Simón Bolívar Sede Cúcuta, Avenida 4 con Calle 14, Bloque G, Barrio La Playa, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia. Teléfono: 311-4837421 e-mail: jrodriguez116@unisimonbolivar.edu.co

- El presente artículo de investigación es derivado del proyecto titulado: Desarrollo de una interfaz gráfica de usuario para la operatividad de agentes inteligentes, en el contexto de imágenes médicas gástricas, considerando librerías basadas en software libre.

Resumen

En el presente artículo se da a conocer el estado del arte relativo al desarrollo de interfaz gráfica de usuario para la integración de técnicas de procesamiento de imágenes y operadores basados en máquinas inteligentes, orientada a la construcción de enfoques computacionales útiles en la rutina clínica y/o en la investigación relacionada con el diagnóstico de neoplasias malignas en el sistema gastrointestinal. Para ello, inicialmente se contextualiza a través de una fundamentación teórica la interfaz gráfica en el contexto de las imágenes médicas, lo cual sustenta las entradas principales de la matriz documental. La revisión documental de artículos científicos, libros, capítulos de libros, tesis de grado y posgrado referentes al objeto de estudio son sistematizados mediante la matriz documental como instrumento de recolección de información. De allí, y considerando un análisis de contenido, se exploraron sesenta y cuatro referencias bibliográficas relacionadas con las entradas de la matriz documental. Los hallazgos develaron que en el contexto nacional y en el internacional ha ido creciendo el diseño de aplicativos para la integración de algoritmos matemático-computacionales con interfaz gráfica de usuario para el procesamiento y análisis de imágenes de tumores cancerígenos de estómago. No obstante, no se ha alcanzado aún una solución computacional óptima.

Palabras clave: Interfaz gráfica de usuario, software libre, procesamiento de imágenes médicas, agentes inteligentes, tomografía computarizada, cáncer gástrico.

Abstract

In this paper, we present the state of the art related to the development of graphic user interface for the integration of image processing techniques and operators based on machine learning, in this case, oriented to the construction of computational approaches useful in the clinical routine and/or in research related to the diagnosis of malignant neoplasms in the gastrointestinal system. In this sense, the graphical interface in the context of medical images is initially contextualized through a theoretical foundation, which supports the main entries of the documentary matrix. The documentary review of scientific papers, books, book chapters, undergraduate and postgraduate theses related to the object of study are systematized through the documentary matrix as an instrument for gathering information. From there, and considering a content analysis, sixty-four bibliographical references related to the entries of the documentary matrix are explored. The findings revealed an increase in the design of applications for the integration of mathematical-computational algorithms with graphical user interface for the processing and analysis of images of cancerous tumors of the stomach has grown. This increase has been both in the national and international context. However, an optimal computational solution has not yet been reached.

Keywords: Graphical user interface, free software, medical images processing, intelligence agents, computerized tomography, gastric cancer.

Para la publicación de métodos novedosos para la sistematización de imágenes médicas, se necesita que volúmenes de datos que crecen cada día sean verificados. Esto genera dificultades para los médicos quienes no son expertos en computación. Cada etapa del proceso de desarrollo de nuevos métodos como pruebas, depuración visual y evaluación periódica, similar a la evaluación clínica, necesita de una interfaz gráfica de usuario (Graphical User Interface/GUI) apropiada que sirva tanto para visualizar las imágenes y los resultados, como para interactuar con ellos (Hernandez Hoyos et al., 2012).

Estas herramientas de interacción permiten realizar, simplificar y mejorar muchas tareas que los profesionales de la salud requieren llevar a cabo diariamente y surgen como producto de intensas investigaciones de diferentes áreas de la ciencia con aplicación en la medicina (Arguiñarena, del Fresno, Escobar, Massa, & Santiago, 2012). En este sentido, en el presente artículo se muestra una revisión del estado actual del procesamiento de imágenes médicas y de la evolución de las tecnologías utilizadas en el desarrollo de tales procesos computacionales, haciendo especial consideración en las herramientas requeridas para la interacción entre los especialistas clínicos y los métodos basados en computadora. Asimismo, se busca mostrar el impacto del desarrollo de interfaz gráfica de usuarios para el apoyo al diagnóstico y tratamiento del cáncer gástrico a partir de imágenes médicas. La interfaz gráfica de usuario es considerada el puente de conexión entre el experto clínico y las patologías de cada paciente, considerándose las herramientas computacionales que usan como datos de entrada imágenes tridimensionales (3-D) de tomografía computarizada (CT), las cuales son normalmente almacenadas usando el protocolo DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine). Finalmente, se citan investigaciones reportadas acerca de diversos sistemas que se han logrado desarrollar, y cuya finalidad es contribuir al mejoramiento y óptimo desempeño en las diferentes áreas del campo de la medicina.

Metodología

La base conceptual y metodológica del presente artículo es la revisión, lectura, análisis documental e identificación de artículos de investigación, tesis de grado y posgrado, las cuales se clasificaron de acuerdo con los siguientes tópicos: interfaz gráfica, cáncer gástrico, imágenes médicas, procesamiento de imágenes, agentes inteligentes y software libre. Asimismo, se hace especial énfasis en las investigaciones en las cuales se resalta que los actos de diagnóstico y tratamiento han evolucionado notablemente con la ayuda que los métodos computacionales han brindado al área clínica.

Interfaz gráfica de usuario

La realización o desarrollo de software en la actualidad se ha transformado en un elemento productivo de gran extensión en diversas áreas del conocimiento, debido al auge tecnológico que día a día aumenta y requiere más y mejores

aplicaciones de software que complementen su apoyo al ser humano. Según Chamba y Alonso, las aplicaciones informáticas utilizan la interfaz gráfica de usuario para mantener un enlace de interacción con el humano, razón por la cual es importante tomar en cuenta disciplinas como la psicología cognitiva, la sociología, la ergonomía, la etnografía y todas aquellas que soporten la creación de diseños GUI que sean amigables, fáciles de usar e intuitivas para el usuario (Chamba & Alonso, 2014).

Según Areitio-Bertolín, una interfaz gráfica de usuario es un artefacto interactivo que posibilita, a través del uso y la representación de un lenguaje visual, una interacción amigable con un sistema informático (Areitio Bertolín & Areitio Bertolín, 2009). Además, por su parte, Reyes-García expone que las prácticas digitales se configuran mediante representaciones gráficas que aparecen en la pantalla de la computadora, que es la superficie principal para diseñar, visualizar e interactuar con información digital, de allí la importancia del diseño de interfaz gráfica (Reyes-García, 2017).

Las aplicaciones informáticas requieren del diseño basado en el usuario con la finalidad de establecer GUI efectivas, eficientes y eficaces (Fowler, 1998). Este tipo de diseño se refiere a la técnica de conocer las habilidades, hábitos, comportamiento y necesidades que tiene un usuario al interactuar con un software determinado, el cual debe ser fácil de usar para que provoque una aceptabilidad social y práctica por parte del usuario. Un producto de software que cumpla con estos requisitos se convertiría en un producto fácil de aprender a usar y de esta manera cumpliría con la finalidad para lo que fue concebido (Núñez & Núñez, 2005).

Teniendo un software basado en el usuario, que cumpla con sus expectativas, se facilitarán en gran medida las actividades que éste realice en su espacio laboral y de esta manera se creará una actitud positiva hacia el producto de software. Es así como los logros alcanzados por la interfaz de usuario durante el uso de un programa se transforman en un modelo a seguir para el desarrollo de otros programas con un propósito similar en otros campos (García-Álvarez, 2013; Rodríguez Dueñas, 2014, 2015; Sánchez & Vergara, 2016). García y Ávila, comprueban su hipótesis acerca de la existencia de alternativas de enseñanza del diseño de interfaz gráfica de usuario basada en software libre que cubren los requerimientos en carreras universitarias en México, siendo la principal barrera para el desempeño efectivo de los estudiantes, el idioma (García & Ávila, 2016).

Software libre

Los desarrollos computacionales basados en software libre pueden ser primero ejecutados por parte del usuario sin condiciones, además son susceptibles a ser distribuidos y modificados con la finalidad de ser perfeccionados en cuanto a funcionamiento y operatividad; también pueden ser adaptados a usos concretos y tales modificaciones pueden ser compartidas con otros usuarios para mantenerlo en permanente mejoramiento (Stallman & Gay, 2010).

Un desarrollo informático se considera software libre si otorga todas las libertades de uso antes señaladas. Debe adicio-

nalmente distinguirse software libre de software de dominio público, este último no está sujeto a restricciones dadas por una licencia, esto quiere decir que pertenece a todas las personas por igual, si el uso de un software está condicionado por una licencia éste ya no se considera de dominio público. Toda licencia corresponde con un conjunto de derechos que se adquieren sobre el uso que se le da al programa, que en el caso del software libre las licencias no son muy restrictivas respecto al uso de éste, pueden existir tantas licencias como acuerdos establecidos por sus autores. Con base en lo mencionado anteriormente es necesario señalar que el software no se vende, se licencia (Stallman & Gay, 2010).

Agentes inteligentes

Mitchell en el año 1997 refirió que el campo de los agentes o máquinas inteligentes está relacionado con responder la pregunta de cómo construir o desarrollar programas de computación que automáticamente mejoren con la experiencia que un determinado entrenador/profesor le suministre (Mitchell, 1997). Por otra parte, Bishop afirma que el reconocimiento de patrones tiene sus orígenes en la ingeniería, mientras que el aprendizaje automático surgió de la informática, y que ambas actividades han sido de gran apoyo al desarrollo de aplicaciones médicas (Bishop, 2006).

El aprendizaje se refiere al proceso de inferir reglas generales observando ejemplos. El campo de aprendizaje automático se basa en que una computadora puede “aprender” funciones específicas siguiendo algoritmos de aprendizaje definidos (Vapnik, 1999). Para este fin, a la máquina se le muestran ejemplos particulares de una tarea específica y su objetivo es inferir una regla general que puede explicar tanto los ejemplos que haya visto, así como nuevos ejemplos.

En general, se puede distinguir entre dos tipos de problemas de aprendizaje: supervisados y no supervisados. La clasificación es un ejemplo de problema de aprendizaje supervisado, su objetivo es encontrar una relación funcional entre entradas y salidas, se denomina supervisada porque los datos de entrenamiento están conformados por entradas y salidas, con lo que se puede evaluar si las salidas son correctas, en tal caso el aprendizaje está siendo supervisado (Cristianini & Shawe-Taylor, 2000). Contrariamente a esto, los datos de entrenamiento en el aprendizaje no supervisado están formados solo por entradas, sin ninguna información adicional sobre qué tipo de salida se espera en esos casos, en esta situación el aprendizaje radica en descubrir estructuras, un ejemplo típico de aprendizaje no supervisado es el agrupamiento (Bishop, 2006).

Los paradigmas de aprendizaje inteligente tienen como ventaja la actualización para la solución de problemas dinámicos de la vida real, ya que en todo momento se pueden presentar cambios en los escenarios y los parámetros ambientales. En estos casos el aspecto más importante es el aprendizaje de la exploración y la detección de la respuesta de ambiente para cada acción progresiva. La información acerca de la meta se revela a medida que exploramos con la ayuda de las nuevas acciones, muchos paradigmas de aprendizaje permiten alcanzar una meta sin el conocimiento previo de la ruta o situaciones similares (Kulkarni, 2012).

Procesamiento de imágenes

El procesamiento digital de imágenes incluye un conjunto de técnicas que operan sobre la representación digital de una imagen, con el propósito de descartar algunos de los elementos que conforman la escena, de modo que se facilite su posterior análisis, bien sea por parte de un usuario (humano) o un sistema de visión artificial (Gonzalez & Woods, 2008; Medina & Bellera, 2001). En general, las técnicas de procesamiento de imágenes son aplicadas cuando resulta necesario realzar o modificar una imagen para mejorar su apariencia o para destacar algún aspecto de la información contenida en la misma, o cuando se requiere medir, contrastar o clasificar algún elemento contenido en ella (Bankman, 2009). También se utilizan técnicas de procesamiento cuando se requiere combinar imágenes o porciones de las mismas o reorganizar su contenido (Dougherty, 2011).

La imagenología médica, por su parte, considera un conjunto de modalidades de adquisición de imágenes biomédicas, las cuales se diferencian en cuanto a la naturaleza de los principios físicos involucrados en el proceso de adquisición (Rangayyan, 2005), y adicionalmente en cuanto a la aplicación médica (Macovski, 1983). Así mismo, Bereciartua argumenta que (Bereciartua, 2016):

“La imagen médica se ha convertido en los últimos años en una potente herramienta de ayuda al diagnóstico. Gracias a los avanzados escáneres y software de reconstrucción de imágenes disponibles es posible la identificación de distintos órganos y tejidos, así como la obtención de datos que ayuden a caracterizar y cuantificar las patologías. Los radiólogos son los responsables del uso e interpretación de dichas imágenes y demandan herramientas que les permitan localizar órganos y tejidos con mayor precisión y rapidez, así como la identificación y caracterización cuantitativa de las patologías presentes en ellos, con el fin de realizar un diagnóstico preciso”. (p. 7).

Las modalidades más comunes de imagenología médica son los rayos X, la tomografía computarizada (Ramírez Giraldo, Arboleda Clavijo, & McCollough, 2008), la resonancia magnética (Plewes & Kucharczyk, 2012), la imagenología nuclear (Zhu, Lee, & Shim, 2011), las imágenes multispectrales de microscopio (Botina Monsalve, Galeano, Pérez, & Garzón, 2015) y la imagenología por ultrasonidos (Shapiro et al., 1998).

El desarrollo hasta ahora alcanzado en cuanto a diferentes soluciones tecnológicas para la generación de imágenes médicas ha apoyado significativamente los procesos de diagnóstico y la aplicación de terapias adecuadas por parte de los médicos especialistas (Reiner, Siegel, & Siddiqui, 2003). Arguiñarena y cols., por su parte señalan que (Arguiñarena et al., 2012):

“...dentro del campo de la informática de imágenes se puede destacar la gran producción científica y el desarrollo de aplicaciones para el diagnóstico asistido por computadoras o CADs (Computer Aid Diagnosis). Desafortunadamente es habitual que muchos de estos avances finalicen en la etapa de la investigación, ya que su evaluación e implementación

en el sistema de salud suelen verse obstaculizados por una serie de problemas, entre los que se pueden mencionar los asociados a la parcialidad y especificidad de herramientas o algoritmos desarrollados, a la no disponibilidad de un entorno de usuario adecuado para la aplicación clínica o a que estos no tienen capacidad de conectarse a un PACS (Picture Archiving and Communication System).”

A nivel comercial, existen entornos de trabajo extensibles sólo abiertos para un entorno empresarial. Weese y Lorenz consideran que desde la perspectiva industrial el procesamiento de imágenes presenta cuatro desafíos (Weese & Lorenz, 2016): 1). Las tecnologías de análisis de imagen deben ser adaptables para así permitir un desarrollo eficiente; 2). Deben crearse herramientas y procedimientos para la generación eficiente de datos referenciales (*ground truth*); 3). Los algoritmos de análisis de imágenes médicas deben ser desarrollados para el tratamiento de datos sin importar la modalidad imagenológica utilizada para su adquisición; y 4). El procesamiento de imágenes debe estar orientado al desarrollo eficiente de modelos de órganos. También existen algunos entornos de trabajo de código abierto que, en general, presentan ventajas y desventajas en comparación con el software de propietario en cuanto a la interfaz con el usuario, la capacidad de conexión con los equipamientos y servidores existentes en los ámbitos de la salud (Ganry et al., 2018; Mujika, Méndez, & de Miguel, 2018; Pahl et al., 2015).

Procesamiento de imágenes en la práctica clínica: enfoque en cáncer gástrico

A continuación, se exponen algunas de las técnicas que han sido implementadas en la detección del cáncer gástrico basándose en algoritmos de procesamiento de imágenes médicas. Tales modelos se focalizan en la identificación del área afectada mediante la aplicación de diversas técnicas matemático-computacionales, las cuales son soportadas con aplicativos computacionales basados en interfaz gráfica.

De manera general, la utilidad de los procedimientos computacionales para la detección de la morfolopatología de ciertas formaciones tumorales, antes y después de las terapias, ha sido develada en la investigación reportada por Molina y colaboradores (Molina et al., 2016), quienes proponen una técnica computacional basada en procesos de segmentación para imágenes 3D de tomografía por emisión de positrones (PET) fusionadas con tomografía computarizada (CT) para el diagnóstico de linfoma no Hodgkin (LNH). La técnica se encarga de discriminar con adecuada precisión la región que la lesión ocupa en la imagen tridimensional y con tal información permite estimar el volumen de la misma. Esta información cuantitativa es útil para indagar acerca del porcentaje de expansión o reducción del LNH luego de las terapias, y en consecuencia permite evidenciar la evolución clínica del paciente.

Por su parte, Alcaide y colaboradores afirmaron que el diagnóstico del cáncer de estómago mediante el procesamiento de imágenes digitales se corresponde en alto grado con la opinión del especialista (Alcaide et al., 2017). Mientras que Carcelén y Padilla sostienen que el registro de las imágenes

para el diagnóstico de un conjunto de datos ayuda a que no se repitan innecesariamente las técnicas sobre el paciente para obtener las imágenes por las implicaciones colaterales en la salud del mismo (Carcelén & Padilla, 2017). Tal aseveración es comprobada con el desarrollo de un sistema informático para la identificación, almacenamiento y procesamiento de imágenes médicas.

En todo caso, se hace indispensable la implementación de técnicas computacionales de procesamiento digital de imágenes para detectar e identificar las regiones neoplásicas de los tejidos de los órganos afectados. En este sentido, el procesamiento digital de imágenes es un subcampo de la visión artificial que se encarga de la manipulación de imágenes digitales con el fin de identificar e interpretar alguna información de interés que haya en ellas (Salinas, Sanchez, Miranda, Rodriguez, & Rosales, 2015). Rodríguez reporta la formulación de enfoque computacional para determinar la viabilidad de un método diagnóstico fundamentado en un código de post-análisis, también se hizo un análisis de una muestra de imágenes y generación de una serie de mapas de perfusión, difusión y difusión aparente (Rodríguez, 2016).

Por otro lado, Ronda y colaboradores verificaron que la manipulación digital de imágenes médicas desde los servicios de imagenología que las adquieren y analizan hacia los especialistas (quienes realizan el diagnóstico y establecen los procedimientos terapéuticos a seguir con el paciente), son cada vez más una realidad en los hospitales modernos del mundo. Los mismos autores advierten que debido al rápido desarrollo de las tecnologías modernas, ha surgido el protocolo DICOM 3.0 (DICOM 2019), el cual permite un eficiente envío de imágenes médicas y es hoy en día el más utilizado para las interacciones digitales de las mismas (Ronda, Ferrer, & Alvarez, 2001).

Endoscopia y procesamiento de imágenes

El manejo endoscópico ha propiciado la evolución del tratamiento del cáncer gástrico temprano en las últimas décadas (Forero Piñeros, Arantes, & Toyonaga, 2012). La endoscopia permite la visualización y la oportunidad de tomar biopsia para examen citológico (Ito, Blackstone, Riddell, & Kirsner, 1979). Alcaide y colaboradores analizaron estadísticamente imágenes de endoscopia a través de un sistema de información, el cual permite determinar una respuesta a variables determinísticas y no determinísticas a las muestras endoscópicas tratadas con el objetivo de cooperar en la detección temprana del cáncer gástrico para el establecimiento de la terapia correspondiente (Alcaide et al., 2017).

La introducción de la cápsula endoscópica y su consideración como técnica de referencia (*gold standard*) para la valoración de patologías del intestino (Barkin & O’Loughlin, 2004), así como la utilización de la enteroscopia de doble balón (Yamamoto et al., 2003), han permitido mejorar el diagnóstico por parte de los gastroenterólogos y endoscopistas al permitir una exploración mínimamente invasiva, sin sedación, sin generar dolor y con amplio campo de vista de la mucosa gástrica y de todo el intestino delgado, brindando adicionalmente la oportunidad de la intervención terapéutica con la finalidad

de dar solución a ciertas patologías (De Simone, Machado, & Guzmán Calderon, 2017).

Conjuntamente, Liu determinó la utilidad de la cromoendoscopia virtual digital en el diagnóstico de metaplasia intestinal gástrica, permitiendo además caracterizar histológicamente los patrones endoscópicos de tal patología (Liu, 2015). La cromoendoscopia virtual digital considera las imágenes endoscópicas tradicionalmente generadas y las procesa con la finalidad de reconstruir una imagen digital asociada a las longitudes de onda seleccionadas para tal procesamiento aritmético (Renda, 2009). Con el trabajo de Liu se evidencia la incorporación de técnicas computacionales de procesamiento para el análisis de imágenes médicas (Liu, 2015).

Tomografía computarizada en el sistema gastrointestinal

De las modalidades imagenológicas referidas en este artículo, la tomografía computarizada en espiral con tecnología de activación por electrocardiograma, referida generalmente como tomografía computarizada multicorte (MSCT) (Floh et al., 2005), es la normalmente seleccionada para la estadificación del cáncer gástrico por su capacidad para evaluar la profundidad del tumor, la enfermedad ganglionar y las metástasis (Hallinan & Venkatesh, 2013). La evaluación precisa de la invasión local del tumor, o la estadificación T en el sistema de clasificación TNM (Edge & Compton, 2010), es el elemento más significativo para planificar el tratamiento apropiado y uno de los factores predictivos más sólidos de recaída y supervivencia en pacientes con cáncer gástrico. La representación de la invasión serosa es particularmente importante ya que se ha demostrado que la participación de la serosa es un factor de mal pronóstico, tal elemento ha sido verificado a través de la MSCT (Kwee & Kwee, 2007).

Por otro lado, Cadenas-Rodríguez y colaboradores comprobaron la capacidad de la MSCT de localizar diferentes perforaciones gastrointestinales con un alto grado de sensibilidad y con una fuerte correlación con la ubicación establecida por varios observadores especialistas clínicos. Asimismo, determinaron que la presencia de burbujas de gas adyacentes a la pared, el aire libre extraluminal inframesocólico y la trabeculación de la grasa adyacente son los signos radiológicos que permiten determinar de manera más sensible en dónde se encuentra ubicada dicha perforación (Cadenas Rodríguez et al., 2013). Las perforaciones del tracto gastrointestinal se deben a una ruptura brusca de todas las capas del intestino delgado que compromete la integridad estructural de la pared intestinal ocasionada por diferentes causas tales como neoplasias, enfermedad de Crohn, distintas lesiones iatrogénicas que pueden suceder durante un procedimiento, sea diagnóstico o terapéutico, colitis ulcerativa, quimioterapia, bloqueo intestinal, por mencionar algunas (Flynn-O'Brien, Rice-Townsend, & Ledbetter, 2017).

Chacón y colaboradores desarrollaron un método computacional para detectar automáticamente la forma morfológica del adenocarcinoma tipo 2 de estómago a partir de imágenes de MSCT. El método considera tres etapas a saber, una etapa de realce de imagen que utiliza un procedimiento para corregir las interrupciones en la homogeneidad

presentes en el fondo de las imágenes MSCT; una etapa de segmentación basada en una técnica de agrupamiento para obtener la morfología del adenocarcinoma; y una tercera etapa, en la cual la región de patología se reconstruye y luego se visualiza con un procedimiento de computación gráfica tridimensional basado en el algoritmo de cubos marchantes. La validación de las segmentaciones obtenidas muestra que la representación patológica obtenida con el método propuesto muestra una alta correlación con la forma del cáncer de tipo 2 reproducida por un médico. No obstante, los autores no proponen una interfaz gráfica de usuario útil para el manejo del método computacional por parte del especialista (Chacón et al., 2018).

Interfaz gráfica para la operatividad de métodos computacionales en imágenes médicas

En el contexto educativo, Castillo y colaboradores desarrollaron un laboratorio virtual para el procesamiento digital de imágenes, el cual permite que los estudiantes analicen y comprendan un conjunto de algoritmos relacionados con las áreas de visión por computadora y de procesamiento digital de señales considerados en los programas de estudio de ingeniería biomédica, mecatrónica y electrónica de instituciones universitarias mexicanas. El laboratorio presenta una interfaz gráfica amigable, de fácil comprensión y que permite modificar interactivamente todos los parámetros asociados a los algoritmos de procesamiento considerados (Castillo, Ortegón, Vazquez, & Rivera, 2014).

Según lo expuesto por Cerrato y colaboradores, la interfaz gráfica permite reunir y automatizar el uso de las diferentes técnicas establecidas para el procesamiento de imagen entre las cuales se encuentran el realce de contraste y la segmentación. En su trabajo, estos autores proponen el desarrollo de una interfaz gráfica útil para automatizar ciertas técnicas de procesamiento de imágenes orientadas al realce del contraste usando operadores de morfología matemática y a la segmentación a través de algoritmos de agrupamiento. El objetivo principal es procesar y analizar imágenes de mamografía digitalizada a fin de mejorar los diagnósticos en la identificación de microcalcificaciones asociadas a la detección temprana del cáncer de mama (Cerrato, Quintanilla Domínguez, Gordillo, Rico, & Barrón, 2014).

Por su parte, Domínguez propuso el desarrollo y la puesta en funcionamiento en la rutina clínica de una interfaz gráfica soportada por MatLab como lenguaje de alto rendimiento para computación técnica (Domínguez, 2015; MathWorks, 2019). La solución computacional es diseñada para el procesamiento de imágenes de tomografía computarizada almacenadas bajo el protocolo DICOM, siendo el objetivo central la determinación de volúmenes de interés útiles en la radioterapia usando técnicas de detección de contornos sobre los volúmenes CT. Una vez segmentadas las regiones con el algoritmo de detección de contornos, la herramienta computacional incorpora procedimientos para el cálculo de distancia, ángulos y manipulación interactiva del contraste.

Por otro lado, si se considera que durante los últimos 10 años las publicaciones sobre agentes inteligentes (inteligencia

artificial) en radiología (incluyendo CT) han aumentado de 100–150 por año a 700–800 por año (Pesapane, Codari, & Sardanelli, 2018), y que la resonancia magnética y la tomografía computarizada son las técnicas imagenológicas más involucradas. Finalmente, tanto los radiólogos como los médicos especialistas que estuvieron a la vanguardia de la era digital en medicina, ahora pueden guiar la utilización de los agentes inteligentes en la atención médica, entonces la elevada interacción, la subjetividad, el alto consumo de tiempo y los altos niveles de errores pueden ser disminuidos incorporando tales herramientas de inteligencia artificial.

También, es importante considerar que los beneficios y ventajas que aporta la implementación de interfaz gráfica de usuario para la operatividad de agentes inteligentes en el contexto de imágenes médicas en oncología utilizando software libre en las entidades del sector salud, se orientan principalmente a la reducción de costos y tiempo en los procesos para la detección del cáncer gástrico, mejorando los mecanismos para el diagnóstico y la terapia, y apuntalando las herramientas clínicas que han sido propuestas para la detección temprana (Rollán et al., 2014).

Conclusiones

Las técnicas de procesamiento y análisis de imágenes médicas consideran un conjunto de algoritmos de cómputo útiles tanto para la representación digital de una imagen como para el realce y la extracción de ciertas propiedades que conforman estructuralmente las imágenes médicas. Tales procesos computacionales deben ser soportados por una interfaz gráfica de usuario la cual sirva de conexión entre el experto clínico y las patologías representadas imagenológicamente. Con respecto al procesamiento y análisis de imágenes médicas tridimensionales, los mismos han estado limitados por las dificultades que se han encontrado al momento del análisis clínico y realizar mediciones de las lesiones o de la morfofisiología de las estructuras contenidas en tales volúmenes.

Para abordar estos problemas, se han diseñado sistemas interactivos basados en estaciones de trabajo para visualizar y cuantificar estructuras en imágenes 3-D. Desafortunadamente, estos sistemas generalmente demandan una interacción humana, subjetiva, de alto consumo de tiempo y propensa a errores. Para reducir las desventajas de las técnicas puramente interactivas, algunos esfuerzos recientes han combinado el análisis automático de imágenes con la interacción humana. En todo caso, el uso de interfaz gráfica de usuario es un requerimiento mínimo para este tipo de procesamiento. En este sentido, el uso de la tecnología transversal en todas las áreas aporta grandes beneficios, principalmente a los pacientes de cáncer gástrico a través de un mejor servicio enfocado en la detección temprana.

Referencias

1. Alcaide, J. L., Patiño, M., Balankin, A., Patiño, J., Martínez, M. A., & Ramírez, T. A. (2017). Sistema de información para el diagnóstico de adenocarcinoma gástrico. *Polibits*, 56, 21-27.
2. Areitio Bertolín, M. G., & Areitio Bertolín, A. (2009). *Información, informática e internet: del ordenador personal a la «Empresa 2.0»*. Madrid: Vision Libros.
3. Arguiñarena, E., del Fresno, M., Escobar, P., Massa, J. M., & Santiago, M. (2012). *DcmView4j: una plataforma para procesamiento y visualización de imágenes médicas*. Presentado en Conference: Congreso Argentino de Informatica y Salud., La Plata, Argentina: SADIO.
4. Bankman, I. N. (Ed.). (2009). *Handbook of medical image processing and analysis* (2. ed). Amsterdam: Elsevier, Acad. Press.
5. Barkin, J. S., & O'Loughlin, C. (2004). Capsule endoscopy contraindications: complications and how to avoid their occurrence. *Gastrointestinal Endoscopy Clinics of North America*, 14(1), 61-65. <https://doi.org/10.1016/j.giec.2003.10.016>
6. Bereciartua, M. (2016). *Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imagen avanzado para interpretación de imágenes médicas. Aplicación a segmentación de hígado sobre imágenes de Resonancia Magnética multisequencia*. ((Tesis de Doctorado)). Universidad de País Vasco, España.
7. Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. New York: Springer.
8. Botina Monsalve, D. J., Galeano, J., Pérez, S., & Garzón, J. (2015). Adquisición y procesamiento de imágenes multispectrales biológicas: un caso de estudio en tejido cardiovascular. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 27(1), 61-66. <https://doi.org/10.33975/riuq.vol27n1.26>
9. Cadenas Rodríguez, L., Martí de Gracia, M., Saturio Galán, N., Pérez Dueñas, V., Salvatierra Arrieta, L., & Garzón Moll, G. (2013). Utilidad de la tomografía computarizada multidetector para identificar la localización de las perforaciones gastrointestinales. *Cirugía Española*, 91(5), 316-323. <https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2012.06.004>
10. Carcelén, L., & Padilla, L. (2017). *Sistema informático para la identificación, almacenamiento y procesamiento de imágenes médicas*. (Tesis de Ingeniería en Informática). Universidad Central de Ecuador.
11. Castillo, A., Ortegón, J., Vazquez, J., & Rivera, J. (2014). Virtual Laboratory for Digital Image Processing. *IEEE Latin America Transactions*, 12(6), 1176-1181. <https://doi.org/10.1109/TLA.2014.6894017>
12. Cerrato, J., Quintanilla Domínguez, J., Gordillo, J., Rico, J., & Barrón, J. (2014). Interfaz gráfica de usuario para la detección de microcalcificaciones mediante análisis de mamografía digitalizada. *Aplicaciones TIC. Tópicos Selectos de Ingeniería*, 43-58.
13. Chacón, G., Rodríguez, J. E., Bermúdez, V., Vera, M., Hernández, J. D., Vargas, S., ... Bravo, A. J. (2018). Computational assessment of stomach tumor volume from multi-slice computerized tomography images in presence of type 2 cancer. *F1000Research*, 7, 1098. <https://doi.org/10.12688/f1000research.14491.2>
14. Chamba, C., & Alonso, R. (2014). *Estándar de usabilidad para la interfaz gráfica de usuario en los proyectos de desarrollo de software* (Tesis previa la obtención del título de Ingeniería de Sistemas). Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
15. Cristianini, & Shawe-Taylor. (2000). *An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods Hardback*. Cambridge ; New York: Cambridge University Press.

16. De Simone, F., Machado, P., & Guzmán Calderon, E. (2017). Abordaje diagnóstico y terapéutico de las patologías del intestino delgado mediante cápsula endoscópica y enteroscopia de doble balón. *Revista de Gastroenterología del Perú*, 37(1), 58-64.
17. Domínguez, L. (2015). *Interfaz de procesamiento de imágenes médicas sobre computadora para Radioterapia*. (Tesis de Ingeniería Biomédica). Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba.
18. Dougherty, G. (Ed.). (2011). *Medical Image Processing: Techniques and Applications*. Recuperado de <https://www.springer.com/us/book/9781441997692>
19. Edge, S. B., & Compton, C. C. (2010). The American Joint Committee on Cancer: the 7th edition of the AJCC cancer staging manual and the future of TNM. *Annals of Surgical Oncology*, 17(6), 1471-1474. <https://doi.org/10.1245/s10434-010-0985-4>
20. Flohr, T. G., Schaller, S., Stierstorfer, K., Bruder, H., Ohnesorge, B. M., & Schoepf, U. J. (2005). Multi-detector row CT systems and image-reconstruction techniques. *Radiology*, 235(3), 756-773. <https://doi.org/10.1148/radiol.2353040037>
21. Flynn-O'Brien, K., Rice-Townsend, S., & Ledbetter, D. J. (2017). Structural Anomalies of the Gastrointestinal Tract. En *Avery's Diseases of the Newborn: Tenth Edition* (pp. 1039-1053.e3). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-40139-5.00071-1>
22. Forero Piñeros, E. A., Arantes, V., & Toyonaga, T. (2012). Disección endoscópica de la submucosa (DES) en cáncer gástrico temprano: Estado del arte. *Revista Colombiana de Gastroenterología*, 27(3), 200-221.
23. Fowler, S. L. (1998). *GUI design handbook*. New York: McGraw-Hill.
24. Ganry, L., Hersant, B., Bosc, R., Leyder, P., Quilichini, J., & Meningaud, J. P. (2018). Study of medical education in 3D surgical modeling by surgeons with free open-source software: Example of mandibular reconstruction with fibula free flap and creation of its surgical guides. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 119(4), 262-267. <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2018.02.012>
25. Garcia, H. S., & Avila, J. C. (2016). Análisis de alternativas de software libre. *Revista Electrónica Sobre Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación*, 3(6), 1-39.
26. García-Álvarez, M. T. (2013). El rol de las tecnologías de la información y comunicación en la gestión del conocimiento: un desafío estratégico en el nuevo contexto empresarial. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XIX(2), 322-333.
27. Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2008). *Digital image processing* (3rd ed). Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall.
28. Hallinan, J. T. P. D., & Venkatesh, S. K. (2013). Gastric carcinoma: imaging diagnosis, staging and assessment of treatment response. *Cancer Imaging: The Official Publication of the International Cancer Imaging Society*, 13, 212-227. <https://doi.org/10.1102/1470-7330.2013.0023>
29. Hernandez Hoyos, M., E. Dávila Serrano, E., Correa Agudelo, E., Torres González, J., Corredor, R., A. Gutiérrez Ossa, F., ... Orkisz, M. (2012). CreaTools: una plataforma para desarrollo de software de procesamiento de imágenes médicas. Aplicación a la segmentación de arterias coronarias y a la detección automática de lesiones en imágenes de angioTAC. *Revista Colombiana de Radiología*, 23, 3521-3528.
30. Ito, Y., Blackstone, M. O., Riddell, R. H., & Kirsner, J. B. (1979). The endoscopic diagnosis of early gastric cancer. *Gastrointestinal Endoscopy*, 25(3),96-101. [https://doi.org/10.1016/S0016-5107\(79\)73384-0](https://doi.org/10.1016/S0016-5107(79)73384-0)
31. Kulkarni, P. (2012). *Reinforcement and systemic machine learning for decision making*. Piscataway, NJ: Hoboken, NJ: IEEE Press; Wiley.
32. Kwee, R. M., & Kwee, T. C. (2007). Imaging in local staging of gastric cancer: a systematic review. *Journal of Clinical Oncology: Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*, 25(15),2107-2116. <https://doi.org/10.1200/JCO.2006.09.5224>
33. Liu, H. (2015). *Cromoendoscopia digital virtual asociada a magnificación en el diagnóstico de metaplasia intestinal gástrica*. (Tesis de Especialización en Gastroenterología.). Universidad de San Martín de Porres, Perú.
34. Macovski, A. (1983). *Medical Imaging Systems* (Edición: 1). Englewood Cliffs, N.J: Pearson.
35. MathWorks. (2019). MathLab, The MathWorks Inc. Recuperado 8 de junio de 2019, de <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
36. Medina, R., & Bellera, J. (2001). *Bases del Procesamiento de Imágenes Médicas*. 34. Mérida: Universidad de los Andes.
37. Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning*. New York: McGraw-Hill.
38. Molina, V., Vera, M., Huerfano, Y., Amaya, H., Vera, M., Salazar, W., ... Bermudez, V. (2016). Utilidad terapéutica del proceso de segmentación tumoral, aplicado a imágenes de PET-CT Resumen. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapeutica*, 35(3), 66-70.
39. Mujika, K. M., Méndez, J. A. J., & de Miguel, A. F. (2018). Advantages and Disadvantages in Image Processing with Free Software in Radiology. *Journal of Medical Systems*, 42(3), 36. <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0888-z>
40. Núñez, I., & Núñez, Y. (2005). Propuesta de clasificación de las herramientas - software para la gestión del conocimiento. *Acimed: revista cubana de los profesionales de la información y la comunicación en salud*, 13(2), 1.
41. Pahl, C., Zare, M., Nilashi, M., de Faria Borges, M. A., Weingaertner, D., Detschew, V., ... Ibrahim, O. (2015). Role of OpenEHR as an open source solution for the regional modelling of patient data in obstetrics. *Journal of Biomedical Informatics*, 55, 174-187. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2015.04.004>
42. Pesapane, F., Codari, M., & Sardanelli, F. (2018). Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity? Radiologists again at the forefront of innovation in medicine. *European Radiology Experimental*, 2(1), 35. <https://doi.org/10.1186/s41747-018-0061-6>
43. Plewes, D. B., & Kucharczyk, W. (2012). Physics of MRI: A primer. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 35(5),1038-1054. <https://doi.org/10.1002/jmri.23642>
44. Ramírez Giraldo, J. C., Arboleda Clavijo, C., & McCollough, C. H. (2008). Tomografía computarizada por rayos X: fundamentos y actualidad. *Revista Ingeniería Biomédica*, 2(4), 54-66.
45. Rangayyan, R. M. (2005). *Biomedical image analysis*. Boca Raton, Fla: CRC Press.
46. Reiner, B. I., Siegel, E. L., & Siddiqui, K. (2003). Evolution of the Digital Revolution: A Radiologist Perspective. *Journal of Digital Imaging*, 16(4),324-330. <https://doi.org/10.1007/s10278-003-1743-y>
47. Renda, A. (2009). *Multiple Primary Malignancies*. Springer Science & Business Media.
48. Reyes-Garcia, E. (2017). *The image-interface*. Hoboken, NJ: ISTE Ltd/John Wiley and Sons Inc.
49. Rodríguez, C. (2016). *Segmentación de imágenes de resonancia magnética adquiridas mediante secuencias IVIM para identificar te-*

jido sano de tejido canceroso en próstata. (Tesis de Maestría). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.

50. Rodríguez Dueñas, W. R. (2014). Software libre para educación e investigación en ingeniería. *Revista Educación en Ingeniería*, 9(18), 12-22. <https://doi.org/10.26507/rei.v9n18.383>
51. Rodríguez Dueñas, W. R. (2015). Herramientas informáticas libres para los desórdenes de la comunicación humana. *Revista Ciencias de la Salud*, 13(02), 261-274. <https://doi.org/10.12804/revsalud13.02.2015.14>
52. Rollán, A., Cortés, P., Calvo, A., Araya, R., Bufadel, M. E., González, R., ... Parra-Blanco, A. (2014). Diagnóstico precoz de cáncer gástrico: Propuesta de detección y seguimiento de lesiones premalignas gástricas: protocolo ACHED. *Revista médica de Chile*, 142(9), 1181-1192. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872014000900013>
53. Ronda, D., Ferrer, O., & Alvarez, N. A. (2001). Imagis: Sistema para la transmisión de imágenes médicas multimodales. *En Memorias del II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, Habana*, 5.
54. Salinas, J. J. J., Sanchez, L. O. S., Miranda, R. C., Rodriguez, J. M. O., & Rosales, H. G. (2015). Algoritmo de procesamiento digital de imágenes para la detección y evaluación de heridas de pie diabético. *Difu100ci@ Revista en Ingeniería y Tecnología, UAZ*, 8(1), 2-6.
55. Sánchez, L., & Vergara, R. (2016). *Desarrollo de una interfaz gráfica para la rehabilitación de las falanges de la extremidad superior (mano)*. (Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Control y Automatización). Instituto Politécnico Nacional, México.
56. Shapiro, R. S., Wagreich, J., Parsons, R. B., Stancato-Pasik, A., Yeh, H. C., & Lao, R. (1998). Tissue harmonic imaging sonography: evaluation of image quality compared with conventional sonography. *American Journal of Roentgenology*, 171(5), 1203-1206. <https://doi.org/10.2214/ajr.171.5.9798848>
57. Stallman, R., & Gay, J. (2010). *Free software, free society: selected essays of Richard M. Stallman*. Boston, MA: SoHo Books.
58. Weese, J., & Lorenz, C. (2016). Four challenges in medical image analysis from an industrial perspective. *Medical Image Analysis*, 33, 44-49. <https://doi.org/10.1016/j.media.2016.06.023>
59. Yamamoto, H., Yano, T., Kita, H., Sunada, K., Ido, K., & Sugano, K. (2003). New system of double-balloon enteroscopy for diagnosis and treatment of small intestinal disorders. *Gastroenterology*, 125(5), 1556. <https://doi.org/10.1016/j.gastro.2003.03.004>
60. Zhu, A., Lee, D., & Shim, H. (2011). Metabolic positron emission tomography imaging in cancer detection and therapy response. *Seminars in Oncology*, 38(1), 55-69. <https://doi.org/10.1053/j.seminoncol.2010.11.012>