

Arquitectura para apoyo al diagnóstico de Leishmaniasis en Dispositivos de Bajo Procesamiento y Ambientes de Conectividad Limitada: Estado del Arte

Juan Miguel Gomez Ganem¹

¹ Pontificia Universidad Javeriana

Abstract. Leishmaniasis is a neglected tropical disease caused by the leishmania parasite. Parasitological methods remain as the “gold standard” for diagnosis of the disease. There are many advances in medical image processing and artificial intelligence that could be of relevance to help in the diagnosis of this disease. Especially given the context where it is most likely to be found, which are areas far from medical institutions capable of running the procedure. A tool that could bring the diagnosis to remote places using modern easily accessible technology could be desired. Here we expose some examples of said advances that could be of relevance considering the Colombian context where an architecture for low end devices and for places with low connectivity could be desired to bring those solutions to the places that need them the most.

Keywords: Leishmaniasis, Software Architecture

1 Introducción

La leishmaniasis es una enfermedad parasítica causada por el parásito de la leishmania. Este se encuentra en regiones subtropicales y tropicales, afectando cerca de 97 países en América, África, Asia y Europa [1]. La infección se transmite a través de picaduras del mosquito de arena. La presencia de Leishmaniasis en zonas tropicales se favorece por la mayor presencia de espacios como letrinas interiores, bodegas, establos, cuevas, fisuras en paredes, piedras o en el suelo, vegetación densa, huecos en árboles, madrigueras de roedores y de otros mamíferos y nidos de aves; microhábitats que son favorables para el descanso y la reproducción de los mosquitos de arena [2]. Es por esto por lo que la Leishmaniasis no suele darse en zonas urbanas, donde las condiciones para la supervivencia del mosquito de arena son mucho más escasas y, adicionalmente, la presencia de mayor acceso a instituciones clínicas y hospitales aumenta la posibilidad de detección temprana de la Leishmaniasis, disminuyendo el impacto de este.

Actualmente, Los métodos parasitológicos son considerados “el estándar de oro” para el diagnóstico de la Leishmaniasis. Este consta de la demostración de la existencia de parásitos en preparaciones teñidas de médula ósea o aspirados esplénicos [3]. Esto se puede hacer con el apoyo de sistemas para la visualización y análisis de imágenes

médicas. Debido al contexto de la enfermedad, sería ideal que el sistema no requiera de conectividad constante para hacer el análisis.

Es entonces, el propósito de este artículo, determinar y caracterizar las herramientas que existen en la actualidad para el apoyo y diagnóstico de la Leishmaniasis para determinar la necesidad de llevar un sistema basado en inteligencia artificial a lugar remotos en dispositivos de procesamiento reducido y con conectividad limitada.

2 Metodología

Para filtrar los artículos, solo se tomarán en cuenta artículos después del año 2010. Adicionalmente, no se tomarán en cuenta artículos orientados a la leishmaniasis animal. De los artículos se hará una caracterización de la arquitectura basada en 2 criterios: Uso de inteligencia artificial y necesidad de conectividad. Dentro de los artículos vistos, se selecciona los más cercanos al problema en cuestión, basándose en el problema atacado en los mismos.

Para la búsqueda de información se usaron dos buscadores de bases de datos: EDS Buscador de Recursos Electrónicos (Bases de Datos y Catálogo Biblos) PUJ [4] y Scopus [5].

Para la búsqueda en EDS Buscador de Recursos Electrónicos (Bases de Datos y Catálogo Biblos) PUJ, se usaron múltiples ecuaciones de búsqueda, diferentes al usado en Scopus debido a detalles de las diferencias de interpretación entre ambos. En Scopus solo se usó una ecuación de búsqueda.

Table 1. Ecuaciones de búsqueda

ID	Ecuación de Búsqueda	# de Resultados	Herramienta
EB1	(VTK OR ITK OR OpenCV OR cpPlugins OR QuimeraTK) AND (segmentation OR "medical image registration" OR "image processing" OR "medical image" OR visualization) AND (Leishmaniasis OR microscopy OR "Leishmaniasis diagnosis") AND ("Web development" OR "Progressive Web App (PWA)" OR emscripten OR "WebAssembly (WASM)") AND (performance OR interoperability OR modularity OR "software architecture") AND ("Artificial Intelligence (AI)" OR "Machine learning" OR "Convolutional Neural Networks (CNN)" OR "supervised learning" OR "unsupervised learning" OR "rational agents")	143	EDS Buscador de Recursos Electrónicos (Bases de Datos y Catálogo Biblos) PUJ
EB2	(VTK OR ITK OR OpenCV OR cpPlugins OR QuimeraTK) AND (segmentation OR "medical image registration" OR "image processing" OR "medical image" OR visualization) AND ("Web development" OR "Progressive Web App (PWA)" OR emscripten OR "WebAssembly (WASM)")	363	EDS Buscador de Recursos Electrónicos (Bases de Datos y Catálogo Biblos) PUJ

EB3	(Leishmaniasis OR microscopy OR "Leishmaniasis diagnosis") AND ("Web development" OR "Progressive Web App (PWA)" OR emscripten OR "WebAssembly (WASM)")	131	EDS Buscador de Recursos Electrónicos (Bases de Datos y Catálogo Biblos) PUJ
EB4	(Leishmaniasis OR microscopy OR "Leishmaniasis diagnosis") AND ("Web development" OR "Progressive Web App (PWA)" OR emscripten OR "WebAssembly (WASM)") AND ("Artificial Intelligence (AI)" OR "Machine learning" OR "Convolutional Neural Networks (CNN)" OR "supervised learning" OR "unsupervised learning" OR "rational agents")	26	EDS Buscador de Recursos Electrónicos (Bases de Datos y Catálogo Biblos) PUJ
EB5	TITLE-ABS-KEY ((segmentation OR "medical image* registration" OR "image* processing" OR "medical image*" OR visualization OR diagnosis) AND (leishmani?sis) AND ("Web development" OR "Progressive Web App" OR pwa OR scripted OR reassembly OR was OR performance OR interoperability OR modularity OR "software architecture" OR "Artificial Intelligence" OR "Machine learning" OR "convolution neural networks" OR cnn OR "supervised learning" OR "unsupervised learning" OR "rational agent*")) AND (EXCLUDE (SUBJAREA , "VETE")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ch") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp")) AND (EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Nonhuman") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Animals") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Animal") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Dog") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Dogs") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Unclassified Drug") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Dog Diseases") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Dog Disease") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Animal Experiment") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Veterinary") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Animal Tissue") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Animal Model") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Canine Visceral Leishmaniasis")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))	117	Scopus

Tabla 2. Actualización de búsqueda en el año 2023

ID	Ecuación de Búsqueda	# de Resultados	Herramienta
EB1	(VTK OR ITK OR OpenCV OR cpPlugins OR QuimeraTK) AND (segmentation OR "medical image registration" OR "image processing" OR "medical image" OR visualization) AND (Leishmaniasis OR microscopy OR "Leishmaniasis diagnosis") AND ("Web development" OR "Progressive Web App (PWA)" OR emscripten OR "WebAssembly (WASM)") AND (performance OR interoperability OR modularity OR "software architecture") AND ("Artificial Intelligence (AI)" OR "Machine learning" OR "Convolutional Neural Networks (CNN)" OR "supervised learning" OR "unsupervised learning" OR "rational agents")	1	EDS Buscador de Recursos Electrónicos (Bases de Datos y Catálogo Biblos) PUJ
EB2	(VTK OR ITK OR OpenCV OR cpPlugins OR QuimeraTK) AND (segmentation OR "medical image registration" OR "image processing" OR "medical image" OR visualization) AND ("Web development" OR "Progressive Web App (PWA)" OR emscripten OR "WebAssembly (WASM)")	1	EDS Buscador de Recursos Electrónicos (Bases de Datos y Catálogo Biblos) PUJ

EB3	(Leishmaniasis OR microscopy OR "Leishmaniasis diagnosis") AND ("Web development" OR "Progressive Web App (PWA)" OR emscripten OR "WebAssembly (WASM)")	18	EDS Buscador de Recursos Electrónicos (Bases de Datos y Catálogo Biblos) PUJ
EB4	(Leishmaniasis OR microscopy OR "Leishmaniasis diagnosis") AND ("Web development" OR "Progressive Web App (PWA)" OR emscripten OR "WebAssembly (WASM)") AND ("Artificial Intelligence (AI)" OR "Machine learning" OR "Convolutional Neural Networks (CNN)" OR "supervised learning" OR "unsupervised learning" OR "rational agents")	12	EDS Buscador de Recursos Electrónicos (Bases de Datos y Catálogo Biblos) PUJ
EB5	TITLE-ABS-KEY ((segmentation OR "medical image* registration" OR "image* processing" OR "medical image*" OR visualization OR diagnosis) AND (leishmani?sis) AND ("Web development" OR "Progressive Web App" OR pwa OR scripted OR reassembly OR was OR performance OR interoperability OR modularity OR "software architecture" OR "Artificial Intelligence" OR "Machine learning" OR "convolution neural networks" OR cnn OR "supervised learning" OR "unsupervised learning" OR "rational agent*")) AND (EXCLUDE (SUBJAREA , "VETE")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ch") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp")) AND (EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Nonhuman") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Animals") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Animal") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Dog") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Dogs") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Unclassified Drug") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Dog Diseases") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Dog Disease") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Animal Experiment") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Veterinary") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Animal Tissue") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Animal Model") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Canine Visceral Leishmaniasis")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))	13	Scopus

2.1 Criterios de Caracterización

Uso de inteligencia artificial. Describe si la solución propuesta hace uso de técnicas de inteligencia artificial y que técnica, arquitectura o modelo es el principalmente usado.

Necesidad de Conectividad. Describe si la solución propuesta requiere de conexión constante a internet o no. Algunas propuestas pueden funcionar tanto con conectividad constante o no. En ese caso se cataloga como “Opcional”.

3 Soluciones Evaluadas

Tabla 3. Resumen de Caracterización de Soluciones encontradas en el Buscador Integrado de la PUJ

Solución	Año	IA	Conectividad	Descripción
A software development of DICOM image processing based on QT, VTK and ITK [6]	2013	No	No	Visualización de imágenes medicas
Survey statistics of automated segmentations applied to optical imaging of mammalian cells [7]	2015	No	No	Visualización de imágenes de microscopía óptica
Web-based volume slicer for 3D electron-microscopy data from EMDB [8]	2016	No	Si	Visualización y segmentación de imágenes medicas
Towards a smart selection of resources in the cloud for low-energy multimedia processing [9]	2018	No	No	Procesamiento de Imágenes
Automated detection of Glaucoma using deep learning convolution network (G-net) [10]	2019	Si	No	Segmentación del disco óptico y la copa óptica
Medical data visual synchronization and information interaction using Internet-based graphics rendering and message-oriented streaming [11]	2019	No	Si	Visualización y sincronización de imágenes medicas
Low-Cost Image and Video Processing Using High-Performance Middleware in Single-board Computers with Open Internet Standards. [12]	2020	No	Opcional	Visualización y procesamiento de imágenes en dispositivos móviles y de capacidad limitada
TissUMaps [13]	2020	No	Si	Visualización y segmentación de imágenes medicas
Web-Based Application for Biomedical Image Registry, Analysis, and Translation (BiRAT) [14]	2022	No	Si	Visualización de imágenes medicas
Development of a Web Application for the Detection of Coronary Artery Calcium from Computed Tomography [15]	2022	No	Si	Visualización de escaneos CTCS
Artificial Intelligence in Cryo-Electron Microscopy [16]	2022	Si	No	Visualización de imágenes de Crio microscopía electrónica
TissUMaps 3 [17]	2023	No	Opcional	Visualización y segmentación de imágenes médicas.
Interoperable slide microscopy viewer and annotation tool for imaging data science and computational pathology [18]	2023	No	Si	Visualizador Web de imágenes de microscopia
The Comparative Pathology Workbench: Interactive visual analytics for biomedical data [19]	2023	No	Si	Herramienta web para analítica visual de histopatología de pacientes para el análisis colaborativo
CellTrackVis: interactive browser-based visualization for analyzing cell trajectories and lineages [20]	2023	No	No	Herramienta stand alone para el seguimiento del movimiento de células. Usa una arquitectura tradicional de monolito

Unsupervised machine learning, QSAR modelling and web tool development for streamlining the lead identification process of antimalarial flavonoids [21]	2023	Si	Si	Uso de modelo de IA para la detección de malaria y herramienta web para el uso libre del modelo
---	------	----	----	---

Tabla 3. Caracterización de Soluciones encontradas Scopus

Solución	Año	IA	Conectividad	Descripción
Detection and separation of overlapping cells based on contour concavity for Leishmania images [22]	2014	No	No	Detección de Leishmaniasis basado en análisis de contornos
Presumptive diagnosis of cutaneous leishmaniasis [23]	2021	Si	No	Aplicación móvil para el diagnóstico de Leishmaniasis basado en modelo de clasificación automática
A machine learning-based system for detecting leishmaniasis in microscopic images [24]	2022	Si	No	Detección de Leishmaniasis basado en aprendizaje de maquina usando el algoritmo de Viola-Jones
MiniPCR as a portable equipment for the molecular diagnosis of american cutaneous leishmaniasis [25]	Julio, 2023	No	No	Uso de kits de prueba miniPCR en conjunto con aplicación móvil, en contextos rurales con recursos limitados, para la detección de Leishmaniasis con pruebas en Colombia
Assessment of Deep Learning Models for Cutaneous Leishmania Parasite Diagnosis Using Microscopic Images [26]	Diciembre, 2023	Si	No	Evaluación de diferentes modelos de inteligencia artificial para la detección de leishmaniasis usando imágenes de microscopia
Automated Identification of Cutaneous Leishmaniasis Lesions Using Deep-Learning-Based Artificial Intelligence [27]	Diciembre, 2023	Si	No	Uso de modelo de IA para la detección de leishmaniasis

Dentro de las soluciones vistas en EDS Buscador de Recursos Electrónicos (Bases de Datos y Catálogo Biblos) PUJ (Tabla 2), se nota una inclinación hacia el uso de tecnologías tradicionales para el procesamiento en la web. Esto se caracteriza por dos factores: un cliente web simple y la delegación del trabajo de renderizado al servidor. Adicionalmente, las soluciones tienden a estar enfocadas a uso general, no hacia procedimientos médicos específicos y sobre todo hacia la visualización (con algunas excepciones). En el caso de las soluciones encontradas en Scopus (Tabla 3), si fue posible hallar soluciones orientadas específicamente a la Leishmaniasis y con arquitecturas diferentes a la tradicional.

Dentro de las herramientas vistas, se puede notar que el número de herramientas dirigidas a la Leishmaniasis son escasas. Esto en contraste al gran número de herramientas orientadas al procesamiento de imágenes médicas que existen actualmente.

Dentro de las herramientas web orientadas a visualización vistas, se ven similitudes en cuanto a las arquitecturas implementadas. En particular, el procesamiento de las imágenes se da en el servidor y las soluciones asumen un cliente con capacidad limitada. Con la masificación del celular inteligente y de nuevos avances en tecnología web, como lo es WebAssembly, esta suposición podría no ser cierta y abriría el campo a llevar estas herramientas a nuevos esquemas de procesamiento.

4 Soluciones Destacadas

En los artículos vistos, se encuentran algunas soluciones a destacar debido a su aplicabilidad con el contexto del problema o por su relevancia en el campo de la medicina con respecto a la leishmaniasis o enfermedad similar.

4.1 Low-Cost Image and Video Processing Using High-Performance Middleware in Single-board Computers with Open Internet Standards

En este artículo, se propone un esquema para el procesamiento de imágenes basado en unidades de procesamiento con capacidad limitada, tomando en cuenta el acceso a dispositivos presente en Latinoamérica. En específico, describen y comparan diferentes combinaciones de cliente/servidor, enfocándose en que la manipulación de la imagen se de en el cliente, a través de OpenCV.js, y el servidor solo cumpla la labor de proveer un servidor HTTP y acceso a un manejador de base de datos. Evalúan tres especificaciones de dispositivos para actuar como cliente y/o servidor: Un Samsung Galaxy S9+, una Raspberry PI 3B+ y por último un equipo portátil con un procesador Intel i7 7700HQ y 32 GiB RAM.

Dentro de los objetivos de diseño cabe destacar 1) las placas RPI deben utilizarse como dispositivos informáticos, lo que garantiza bajo costo, alto rendimiento, con bajo consumo de energía, sin piezas móviles, que acepten fuentes de poder estándar de móviles [12] 2) el procesamiento debe realizarse en extremo cliente y debe funcionar en navegadores móviles [12]. Estos dos objetivos garantizan que la arquitectura puede ser llevada a las ubicaciones donde más comúnmente se presenta la Leishmaniasis.

Por último, los resultados obtenidos en el artículo fueron bastante favorables y demuestran la capacidad de los dispositivos móviles actuales. Adicionalmente, la naturaleza modular de la arquitectura vista en este artículo, permite adaptarla fácilmente al contexto atacado de este proyecto.

4.2 Presumptive diagnosis of cutaneous leishmaniasis

En esta propuesta, se propone el uso de una red neuronal convolucional (CNN), a través de una aplicación móvil, para apoyar el pre-diagnóstico de la leishmaniasis. La

aplicación móvil está orientada a permitirle a los usuarios llevar a cabo el diagnóstico por medio de fotos de las lesiones en la piel, en lugares remotos con baja cobertura de salud y sin acceso a internet [23].

La aplicación es simple en su uso e implementación. Lo compone tres funcionalidades: Un módulo que contiene instrucciones simples y claras de su uso, un módulo de almacenamiento fotográfico que permite llevar un registro de manera ordenada, y un módulo de predicción “offline” que usa el modelo predictivo entrenado para predecir la probabilidad de leishmaniasis cutánea [23]

En esta propuesta reconoce que la enfermedad se presenta en lugar rurales, alejados de centros de salud. Por lo cual una aplicación móvil podría ser una buena herramienta para motivar a las personas a buscar cuidado médico.

4.3 MiniPCR as a portable equipment for the molecular diagnosis of american cutaneous leishmaniasis

La solución planteada en el artículo, se compone de tres partes. Un ciclador térmico de PCR portable (mini-PCR™; minipcrbio®), un visualizador molecular fluorescente P51™ (minipcrbio®) y la aplicación gratis para celular inteligente (iPhone) “Prismo Mirage”. El proceso de detección de Leishmaniasis inicia con la amplificación de ADN usando el miniPCR, seguido de la lectura de la amplificación usando el visualizador molecular fluorescente P51™. Finalmente usan la aplicación “Prismo Mirage” para cuantificar la emisión de luz de las muestras tanto positivas como negativas. Para hacer dicho proceso, tomaron fotos a 20 cm de las muestras y evaluaron el valor registrado de unidades de luz relativas por el canal verde, en el centro de los viales.

Esta propuesta busca mejorar la capacidad de diagnosticar la leishmaniasis en centros rurales de salud para mejorar el manejo de la enfermedad en lugares donde es endémica. Los resultados demuestran la viabilidad del método propuesto como mecanismo de diagnóstico, usando equipo de bajo costo y apoyo de herramientas digitales.

4.4 Interoperable slide microscopy viewer and annotation tool for imaging data science and computational pathology

Esta solución consta de un sistema web para visualizar y anotar imágenes médicas, con enfoque a poderse conectar a cualquier sistema que exponga sus servicios en forma de un API ReST que se conforme con el estándar de DICOMweb. Puntos para destacar es el uso de tecnologías recientes para la visualización que aprovechan las capacidades de un navegador moderno, usando tecnologías basadas en WebAssembly para el procesamiento en paralelo de las imágenes. Sin embargo, debido al enfoque hacia la interoperabilidad, y aunque tiene un módulo para usar inteligencia artificial, se enfoca en el componente web orientado a computadores de escritorio y en garantizar la interoperabilidad con sistemas basados en DICOMweb.

4.5 Assessment of Deep Learning Models for Cutaneous Leishmania Parasite Diagnosis Using Microscopic Images

Este estudio busca evaluar la viabilidad de uso y comparar los diferentes modelos de inteligencia artificial disponibles para detectar la leishmaniasis, usando imágenes de microscopia. Aunque los resultados demuestran la viabilidad de su uso, el artículo deja claro que los modelos no se pueden usar sin tomar en cuenta el contexto de su uso.

Debido a que el objetivo de este era evaluar el rendimiento de los modelos, no implementan una solución para uso en campo. Por ende, esta propuesta, aunque valida el uso de inteligencia artificial para la detección de leishmaniasis en imágenes de microscopia, considera la posibilidad de crear aplicaciones de IA para la detección de leishmaniasis siempre y tanto se considere el contexto de aplicación.

5 Conclusiones

La leishmaniasis sigue siendo una enfermedad con mucho campo tecnológico que explorar. Sin embargo, el campo del procesamiento de imágenes médicas y la inteligencia artificial han visto muchos avances que pueden ser interesantes de evaluar como oportunidades para el apoyo al diagnóstico de la enfermedad. Cabe resaltar que ya existen aportes relevantes en esa dirección, aunque de reducida cantidad. Propuestas como “Presumptive diagnosis of cutaneous leishmaniasis” introducen el campo de la inteligencia artificial, en un dispositivo móvil, como solución viable para el apoyo del diagnóstico de esta. Otras propuestas como “Low-Cost Image and Video Processing Using High-Performance Middleware in Single-board Computers with Open Internet Standards” brindan la posibilidad de llevar sistemas complejos a lugares remotos con conectividad limitada. “4.3 MiniPCR as a portable equipment for the molecular diagnosis of american cutaneous leishmaniasis” nos brinda un caso de uso aplicado de tecnologías de bajo costo en detectar la leishmaniasis, demostrando la necesidad de mejorar el proceso en contextos rurales. “Assessment of Deep Learning Models for Cutaneous Leishmania Parasite Diagnosis Using Microscopic Images” aunque no tome en cuenta el contexto de aplicación de IA para leishmaniasis, si promueven el uso de IA para la misma, invitando la creación de herramientas que lleven a la aplicación lo encontrado en dichos estudios.

Este tipo de propuestas se adecuan aún mas al contexto colombiano, en el cual es deseable crear herramientas capaces de llegar a lugares remotos, con acceso limitado a dispositivos de alto rendimiento, o con acceso a internet limitado, que permitan apoyar el diagnóstico.

Referencias

1. Steverding, D. The history of leishmaniasis. *Parasite Vectors* 10, 82 (2017) <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2028-5>
2. Khurshaid Khan, Sobia Wahid, Nazma Habib Khan, Naheed Ali, Potential Resting and Breeding Sites of Sand Flies (Diptera: Psychodidae) and Their Habitat Characteristics in Leishmaniasis Foci of Dir Districts, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan, *Journal of Medical Entomology*, Volume 54, Issue 5, September 2017, Pages 1390–1396, <https://doi.org/10.1093/jme/tjx098>
3. Thakur, S., Joshi, J. & Kaur, S. Leishmaniasis diagnosis: an update on the use of parasitological, immunological and molecular methods. *J Parasit Dis* 44, 253–272 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12639-020-01212-w>
4. EDS Buscador de Recursos Electrónicos (Bases de Datos y Catálogo Biblos) PUJ <https://eds.s.ebscohost.com/eds/search/advanced> tomado el día 31 de mayo 2023.
5. Buscador Scopus <https://www.scopus.com/home.uri> tomado el día 31 de mayo 2023.
6. Sun Mengmeng, Wu Shuicai. A software development of DICOM image processing based on QT, VTK and ITK. 2013 IEEE International Conference on Medical Imaging Physics and Engineering, Medical Imaging Physics and Engineering (ICMIPE), 2013 IEEE International Conference on. October 2013:231-235. doi:10.1109/ICMIPE.2013.6864541
7. Bajcsy P, Cardone A, Chalfoun J, et al. Survey statistics of automated segmentations applied to optical imaging of mammalian cells. *BMC Bioinformatics*. 2015;16:1-28. doi:10.1186/s12859-015-0762-2
8. Salavert-Torres J, Iudin A, Lagerstedt I, Sanz-García E, Kleywegt GJ, Patwardhan A. Web-based volume slicer for 3D electron-microscopy data from EMDB. *Journal of Structural Biology*. 2016;194(2):164-170. doi:10.1016/j.jsb.2016.02.012
9. Mahmoudi SA, Belarbi MA, Mahmoudi S, Belalem G. Towards a smart selection of resources in the cloud for low-energy multimedia processing. *Concurrency & Computation: Practice & Experience*. 2018;30(12):1-N.PAG. doi:10.1002/cpe.4372
10. Juneja, M., Singh, S., Agarwal, N. et al. Automated detection of Glaucoma using deep learning convolution network (G-net). *Multimed Tools Appl* 79, 15531–15553 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11042-019-7460-4>
11. Qi Zhang, Medical data visual synchronization and information interaction using Internet-based graphics rendering and message-oriented streaming, *Informatics in Medicine Unlocked*, Volume 17, 2019, 100253, ISSN 2352-9148, <https://doi.org/10.1016/j.imu.2019.100253>
12. C. A. Pérez, M. S. Cleva, D. O. Liska, D. C. Aquino and C. Rodrigues da Fonseca, "Low-Cost Image and Video Processing Using High-Performance Middleware in Single-board Computers with Open Internet Standards," in *IEEE Latin America Transactions*, vol. 18, no. 02, pp. 311-318, February 2020, doi: 10.1109/TLA.2020.9085285.
13. Leslie Solorzano and others, TissUMaps: interactive visualization of large-scale spatial gene expression and tissue morphology data, *Bioinformatics*, Volume 36, Issue 15, August 2020, Pages 4363–4365, <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btaa541>
14. Pemmaraju R, Minahan R, Wang E, Schadt K, Daldrup-Link H, Habte F. Web-Based Application for Biomedical Image Registry, Analysis, and Translation (BiRAT). *Tomography: A Journal for Imaging Research*. 2022;8(3):1453-1462. doi:10.3390/tomography8030117
15. Aguilera-Alvarez, J., Martínez-Nolasco, J., Olmos-Temois, S., Padilla-Medina, J., Sámano-Ortega, V., & Bravo-Sanchez, M. (2022). Development of a web application for the

- detection of coronary artery calcium from computed tomography. *Applied Sciences*, 12(23), 12281. doi:<https://doi-org.ezproxy.javeriana.edu.co/10.3390/app122312281>
16. Chung JM, Durie CL, Lee J. Artificial Intelligence in Cryo-Electron Microscopy. *Life* (2075-1729). 2022;12(8):1267. doi:10.3390/life12081267
 17. Pielawski N(1), Andersson A(1), Avenel C(1), et al. TissUMaps 3: Improvements in interactive visualization, exploration, and quality assessment of large-scale spatial omics data. *Heliyon*. 2023;9(5). doi:10.1016/j.heliyon.2023.e15306
 18. Gorman C, Herrmann MD, Punzo D, et al. Interoperable slide microscopy viewer and annotation tool for imaging data science and computational pathology. *Nature Communications*. 2023;14(1). doi:10.1038/s41467-023-37224-2
 19. Wicks MN, Glinka M, Hill B, et al. The Comparative Pathology Workbench: Interactive visual analytics for biomedical data. *Journal of Pathology Informatics*. 2023;14:1-12. doi:10.1016/j.jpi.2023.100328
 20. Shim C, Nguyen TTD, Kim W, Kim DY, Choi YS, Chung YD. CellTrackVis: interactive browser-based visualization for analyzing cell trajectories and lineages. *BMC Bioinformatics*. 2023;24(1). doi:10.1186/s12859-023-05218-y
 21. Zothantluanga JH, Chetia D, Rajkhowa S, Umar AK. Unsupervised machine learning, QSAR modelling and web tool development for streamlining the lead identification process of antimalarial flavonoids. *SAR and QSAR in Environmental Research*. 2023;34(2):117-146-146. doi:10.1080/1062936X.2023.2169347
 22. Neves, J. C., Castro, H., Tomás, A., Coimbra, M., & Proença, H. (2014). Detection and separation of overlapping cells based on contour concavity for leishmania images. *Cytometry Part A*, 85(6), 491-500. doi:10.1002/cyto.a.22465
 23. Arce-Lopera, C.A., Diaz-Cely, J. and Quintero, L. (2021) 'Presumptive diagnosis of cutaneous leishmaniasis', *Frontiers in Health Informatics*, 10. doi:10.30699/fhi.v10i1.278.
 24. Zare, M., Akbarialiabad, H., Parsaei, H., Asgari, Q., Alinejad, A., Bahreini, M. S., . . . Abdollahifard, G. (2022). A machine learning-based system for detecting leishmaniasis in microscopic images. *BMC Infectious Diseases*, 22(1) doi:10.1186/s12879-022-07029-7
 25. Castellanos-Gonzalez A., Cossio A., Jojoa J., Moen S., Travi B.L. (2023) MiniPCR as a portable equipment for the molecular diagnosis of american cutaneous leishmaniasis, *Acta Tropica*, 243, art. no. 106926 doi: 10.1016/j.actatropica.2023.106926
 26. Abdelmula A.M., Mirzaei O., Güler E., Sürer K. (2024) Assessment of Deep Learning Models for Cutaneous Leishmania Parasite Diagnosis Using Microscopic Images, doi: 10.3390/diagnostics14010012
 27. Leal JFDC, Gurgel-Gonçalves R, Trindade NS, Miranda VLD, Barroso DH. Automated Identification of Cutaneous Leishmaniasis Lesions Using Deep-Learning-Based Artificial Intelligence. *Biomedicines*. 2024;12(1). doi:10.3390/biomedicines12010012