

Impacto de la Inteligencia Artificial en la Detección y Análisis de Células Cancerosas

Impact of Artificial Intelligence on Detection and Analysis of cancer cells

Edgar F. Duque-Vazquez¹; Raúl E. Sánchez-Yáñez²; Ma. Fabiola León-Galván³; J. Eleazar Barbosa-Corona³; Joel E. López-Meza⁴; Noe Saldaña-Robles¹; Jonathan Cepeda-Negrete¹

¹Departamento de Ingeniería Agrícola, DICIVA, Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda El Copal km9; carretera Irapuato-Silao, Irapuato, 36500, Guanajuato, México.

²Departamento de Ingeniería Electrónica, DICIS, Universidad de Guanajuato, Carretera Salamanca - Valle de Santiago Km. 3.5 + 1.8; Comunidad de Palo Blanco; Salamanca, Guanajuato, México.

³Departamento de Alimentos, DICIVA, Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda El Copal km9; carretera Irapuato-Silao, Irapuato, 36500, Guanajuato, México.

⁴Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Km 9.5 Carretera Morelia-Zinapécuaro, Posta Veterinaria, Morelia, 58893, Michoacán, México.

j.cepeda@ugto.mx¹

Resumen

El cáncer es una de las principales causas de mortalidad a nivel mundial, impulsado por la división celular descontrolada y la propagación de células malignas a los tejidos circundantes. El diagnóstico temprano es fundamental para mejorar los resultados del tratamiento, y los avances recientes en inteligencia artificial están revolucionando la detección y el análisis de células cancerosas. Tradicionalmente, el análisis de células cancerosas se ha realizado manualmente a través de microscopía, pero los enfoques basados en la inteligencia artificial ahora ofrecen automatización y mayor precisión. Este artículo explora las aplicaciones de la inteligencia artificial en el análisis de células cancerosas. A pesar de la gran variedad de algoritmos reportados, persisten desafíos, como la necesidad de grandes conjuntos de datos de alta calidad y la mejora de la interpretabilidad de los modelos de IA. Se espera que, con los avances de la inteligencia artificial, los tratamientos contra el cáncer sean personalizados al integrar datos como imágenes médicas, secuencias genómicas y registros clínicos, lo que impulsará el campo de la oncología. El artículo destaca un proceso general para la elaboración de un algoritmo para analizar células cancerosas.

Palabras clave: cáncer; procesamiento digital de imágenes, aprendizaje profundo

Introducción

El cáncer es una enfermedad que se origina cuando las células del cuerpo comienzan a dividirse de manera incontrolada y se diseminan por los tejidos circundantes. Este proceso ocurre debido a alteraciones genéticas o daños en las células, que pierden la capacidad de regular su ciclo de vida normal. Actualmente, el cáncer representa una de las principales causas de mortalidad a nivel mundial, con millones de casos diagnosticados anualmente y una alta tasa de mortalidad, especialmente en tipos de cáncer detectados en etapas avanzadas. El diagnóstico temprano es, por lo tanto, fundamental para aumentar las posibilidades de tratamiento efectivo.

Los factores que contribuyen al desarrollo del cáncer son variados y abarcan desde predisposiciones genéticas hasta la exposición a agentes externos como radiación, productos químicos, virus, y hábitos de vida no saludables. En este contexto, los avances en biomedicina han permitido el desarrollo de nuevas herramientas para mejorar la detección temprana y el tratamiento del cáncer. Entre estas herramientas, la inteligencia artificial (IA) ha demostrado ser un recurso clave, ya que permite analizar grandes cantidades de datos de manera eficiente y precisa.

El análisis de células cancerosas, un paso esencial en el diagnóstico del cáncer tradicionalmente ha sido realizado mediante la observación directa a través de microscopios. Este enfoque, aunque útil, presenta limitaciones, como el tiempo necesario para examinar cada muestra y la posibilidad de cometer errores humanos. Aquí es donde la IA entra en juego, aportando soluciones basadas en algoritmos que permiten la automatización del análisis celular. Este enfoque reduce la dependencia de la interpretación humana y mejora

la precisión de los resultados. A lo largo de este artículo, se explorarán los principales enfoques de IA aplicados al análisis celular y cómo estos están revolucionando el campo de la oncología.

La inteligencia artificial ha ganado terreno en diversos campos, y la medicina no ha sido la excepción. El análisis de imágenes médicas, que involucra la identificación de estructuras celulares y la detección de anomalías, ha sido uno de los campos más beneficiados por los avances en IA. En el caso del análisis de células cancerígenas, el uso de algoritmos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo ha permitido mejorar la identificación de patrones anormales en las células, lo que facilita el diagnóstico temprano del cáncer.

Uno de los principales desafíos en el análisis de imágenes celulares es la gran cantidad de datos que deben procesarse. Las muestras celulares generadas en un hospital o centro de investigación son innumerables, y su análisis requiere una inversión significativa de tiempo y recursos. La IA ofrece una solución a este problema al automatizar muchas de las tareas manuales involucradas en el análisis. Por ejemplo, los algoritmos de segmentación, una técnica clave en el análisis de imágenes, permiten separar las células de fondo y resaltar las características más importantes de cada célula, como su tamaño, forma y estructura interna (Duque-Vazquez et al., 2024).

Además, la IA permite realizar análisis complejos que van más allá de lo que el ojo humano puede observar. Por ejemplo, técnicas como la visión computacional y el aprendizaje profundo pueden identificar patrones moleculares y celulares que son invisibles para los humanos, pero que son cruciales para comprender el desarrollo del cáncer. Esto ha llevado al desarrollo de herramientas como DeepCell (Van Valen et al., 2016), un modelo de aprendizaje profundo que clasifica células individuales basadas en su morfología, permitiendo un análisis más profundo y detallado de las muestras.

El diagnóstico del cáncer es un proceso complejo que involucra múltiples pruebas y evaluaciones, incluyendo biopsias, análisis de sangre, y estudios de imágenes como resonancias magnéticas y tomografías computarizadas. En muchos casos, el análisis de las células presentes en una muestra de tejido es un paso crucial en la determinación del tipo y la severidad del cáncer. Las técnicas basadas en IA han sido ampliamente utilizadas para mejorar este análisis. Algunas de las aplicaciones más comunes incluyen:

- *Detección de cáncer en imágenes médicas.* La IA se ha utilizado para desarrollar sistemas de detección automatizados que pueden identificar áreas sospechosas en mamografías, radiografías y otras imágenes. Estos sistemas ayudan a los médicos a priorizar las áreas que necesitan ser examinadas más de cerca, reduciendo el tiempo de diagnóstico y aumentando la precisión.
- *Análisis de células.* La detección de las células es importante para monitorear la progresión del cáncer y evaluar la eficacia del tratamiento. Los algoritmos de IA pueden analizar imágenes de muestras de sangre donde se pueden detectar células con una precisión superior a los métodos manuales.
- *Identificación de biomarcadores.* Los biomarcadores son moléculas que, entre sus funciones, indican la presencia de cáncer en el cuerpo. La IA puede analizar datos genómicos y proteómicos para identificar patrones específicos de expresión genética que son indicativos de cáncer. Esto no solo ayuda en el diagnóstico, sino también en el desarrollo de tratamientos personalizados.

Proceso estándar que sigue un algoritmo para analizar una célula cancerígena

El desarrollo de un algoritmo de inteligencia artificial para el análisis de células cancerosas sigue un proceso estructurado que consta de varias etapas. Aunque el proceso puede variar ligeramente dependiendo de la tarea específica que se quiera resolver, en términos generales se pueden identificar cinco pasos clave: obtención de la imagen, acondicionamiento de la imagen, algoritmo de IA para analizar la célula, mejoramiento y evaluación los cuales se presentan de manera gráfica en la Figura 1.



Obtención de la imagen

El primer paso es la adquisición de las imágenes celulares mediante técnicas de microscopía. Existen diferentes tipos de microscopía (óptica, electrónica, de fluorescencia, entre otras), y la elección de la técnica depende de las características de la célula que se desee analizar. Las imágenes pueden ser en 2D o 3D y pueden estar en diferentes formatos de color, como RGB o escala de grises. Es crucial elegir la técnica adecuada para asegurar que las características celulares de interés sean visibles.

Acondicionamiento

Una vez adquirida la imagen, es necesario mejorar su calidad para que el algoritmo pueda realizar un análisis preciso. Este paso incluye técnicas de procesamiento de imágenes, como la corrección de iluminación, ajuste de contraste, eliminación de ruido y cambio de tamaño. Dependiendo de las características de la imagen que se analice, también puede ser necesario realizar conversiones de color o aplicar filtros específicos para resaltar detalles morfológicos. Una preparación adecuada de la imagen es primordial para obtener buenos resultados.

Algoritmo

Esta es la etapa central del proceso. Aquí se selecciona el algoritmo que se utilizará para analizar las imágenes. Existen dos enfoques principales: los algoritmos basados en procesamiento de imágenes, y los modelos basados en aprendizaje profundo, que utilizan redes neuronales para clasificar o predecir el comportamiento celular. La elección del algoritmo depende de la tarea a realizar. Cuando se utilizan técnicas de procesamiento de imágenes, en la imagen, se aplican una serie secuencial de operaciones con el fin de resaltar de manera automática las características morfológicas de interés en la célula. Se han utilizado algoritmos como contornos activos (Wang et al., 2015), transformada de Hough (Gupta et al., 2018), partición de grafos (Dimopoulos et al., 2014; Mohiuddin et al., 2018), cuencas hidrográficas (Tareef et al., 2018; Sharif et al., 2012), y la umbralización por Otsu (Zhang et al., 2014). Cuando se usan modelos de predicción y clasificación, es común encontrarse con modelos como UNet (Al-Kofahi et al., 2018), DeepCell (Van Valen et al., 2016) entre otras. Los algoritmos de segmentación son muy empleados, ya que permiten identificar las fronteras de las células y separarlas del fondo de la imagen.

Mejoramiento y evaluación

Tras el análisis inicial de la imagen, se pueden aplicar técnicas adicionales para mejorar la precisión del resultado. Por ejemplo, en el caso de los algoritmos de segmentación, se pueden utilizar operaciones morfológicas para eliminar objetos no deseados o refinar la detección celular (Sharif et al., 2012; Karabağ et al., 2020). Estas técnicas pueden ser útiles para mejorar la precisión y la calidad del resultado obtenido, ya sea eliminando objetos no deseados o resaltando aún más detalles en las imágenes. En los modelos de aprendizaje profundo donde se realiza clasificación o predicción, solo resta evaluar su rendimiento mediante métricas. En los modelos de aprendizaje profundo, es importante evaluar el rendimiento del modelo mediante métricas como la precisión, la sensibilidad y el F1-score. Estas métricas comparan los resultados obtenidos con una referencia, lo que permite determinar la efectividad del algoritmo.



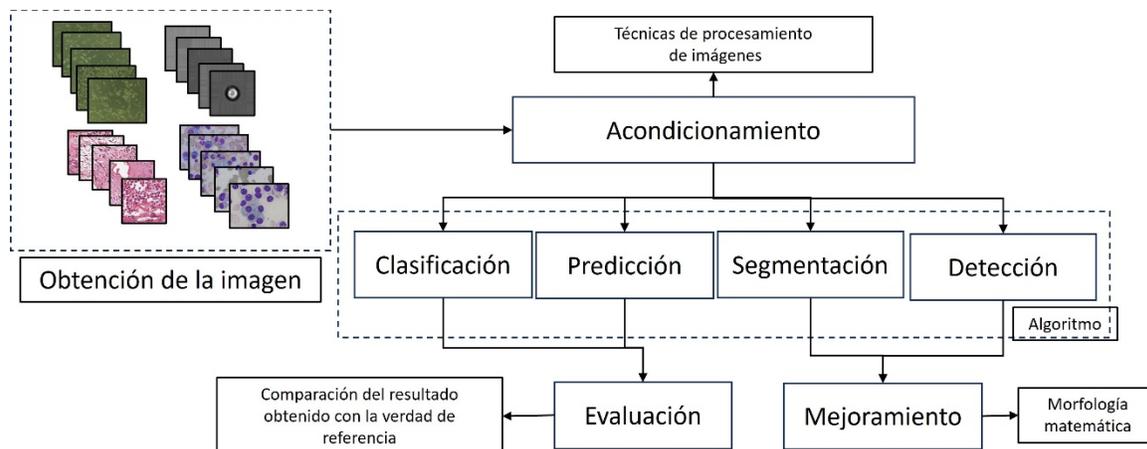


Figura 1. Proceso general de un algoritmo para el análisis de una célula cancerosa.

Retos y oportunidades

A pesar de los grandes avances en el uso de la IA para el análisis celular, aún existen desafíos importantes que deben superarse. Uno de los principales retos es la necesidad de grandes volúmenes de datos de alta calidad para entrenar los modelos de IA. La recopilación de estos datos puede ser costosa y llevar mucho tiempo, y es crucial que los datos utilizados sean representativos.

Otro desafío es la interpretación de los modelos de IA. Aunque los algoritmos de aprendizaje profundo han demostrado ser muy efectivos para el análisis de imágenes, a menudo se consideran "cajas negras" porque es difícil entender cómo toman decisiones. Esto es un problema en el ámbito clínico, ya que los médicos necesitan confiar en las herramientas de diagnóstico y comprender cómo se generan los resultados.

Sin embargo, las oportunidades que ofrece la IA en el análisis celular son enormes. En el futuro, es probable que veamos el desarrollo de sistemas más avanzados que no solo diagnostiquen el cáncer, sino que también proporcionen recomendaciones de tratamiento basadas en el análisis de las características individuales de cada paciente. Estos sistemas podrían integrar datos de diferentes fuentes, como imágenes médicas, secuencias genómicas y registros clínicos, para ofrecer un enfoque verdaderamente personalizado para el tratamiento del cáncer.

Conclusión

El uso de la inteligencia artificial en el análisis de células cancerosas está transformando la manera en que se diagnostican y tratan los pacientes con cáncer. La automatización de tareas clave, como la segmentación celular y la clasificación de células tumorales, ha mejorado la precisión diagnóstica y ha reducido el tiempo necesario para analizar grandes volúmenes de datos. Aunque existen desafíos que deben abordarse, como la necesidad de datos más diversos y la falta de interpretabilidad de algunos modelos, los avances en IA continúan abriendo nuevas posibilidades en el diagnóstico y tratamiento del cáncer. A medida que la tecnología siga evolucionando, es probable que veamos herramientas de IA más integradas y efectivas que ayuden a salvar vidas.

Bibliografía/Referencias

- Duque-Vazquez, E. F., Sanchez-Yanez, R. E., Saldaña-Robles, N., León-Galván, M. F., & Cepeda-Negrete, J. (2024). HeLa cell segmentation using digital image processing. *Heliyon*, 10(5).
- Van Valen, D. A., Kudo, T., Lane, K. M., Macklin, D. N., Quach, N. T., DeFelice, M. M., ... & Covert, M. W. (2016). Deep learning automates the quantitative analysis of individual cells in live-cell imaging experiments. *PLoS computational biology*, 12(11), e1005177.
- Wang, Y., Zhang, Z., Wang, H., & Bi, S. (2015). Segmentation of the clustered cells with optimized boundary detection in negative phase contrast images. *PloS one*, 10(6), e0130178.
- Gupta, A., Mallick, P., Sharma, O., Gupta, R., & Duggal, R. (2018). PCSeg: Color model driven probabilistic multiphase level set based tool for plasma cell segmentation in multiple myeloma. *PloS one*, 13(12), e0207908.
- Dimopoulos, S., Mayer, C. E., Rudolf, F., & Stelling, J. (2014). Accurate cell segmentation in microscopy images using membrane patterns. *Bioinformatics*, 30(18), 2644-2651.
- Mohiuddin, K., & Wan, J. W. (2018). Automated segmentation of cellular images using an effective region force. *Journal of Medical Imaging*, 5(4), 044002-044002.
- Tareef, A., Song, Y., Huang, H., Feng, D., Chen, M., Wang, Y., & Cai, W. (2018). Multi-pass fast watershed for accurate segmentation of overlapping cervical cells. *IEEE transactions on medical imaging*, 37(9), 2044-2059.
- Sharif, J. M., Miswan, M. F., Ngadi, M. A., Salam, M. S. H., & bin Abdul Jamil, M. M. (2012, February). Red blood cell segmentation using masking and watershed algorithm: A preliminary study. In *2012 international conference on biomedical engineering (ICoBE)* (pp. 258-262). IEEE.
- Zhang, L., Kong, H., Chin, C. T., Wang, T., & Chen, S. (2014). Cytoplasm segmentation on cervical cell images using graph cut-based approach. *Bio-Medical Materials and Engineering*, 24(1), 1125-1131.
- Al-Kofahi, Y., Zaltsman, A., Graves, R., Marshall, W., & Rusu, M. (2018). A deep learning-based algorithm for 2-D cell segmentation in microscopy images. *BMC bioinformatics*, 19, 1-11.
- Karabağ, C., Jones, M. L., Peddie, C. J., Weston, A. E., Collinson, L. M., & Reyes-Aldasoro, C. C. (2020). Semantic segmentation of HeLa cells: An objective comparison between one traditional algorithm and four deep-learning architectures. *Plos one*, 15(10), e0230605.

