



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

Alejandro Martínez Guillermo

# Herramientas de IA en la Planificación Quirúrgica: Segmentación y Clasificación Automatizada en Imágenes Médicas RM



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

*Director: Dr. José Antonio García*  
*Co-director: Dr. Javier García*  
*Dr. José Antonio García*

Copyright © June 2025 Alejandro Martínez Guillermo

Master Thesis by Alejandro Martínez Guillermo

Director: Dr. José Antonio García

Co-director: Dr. Javier García

Dr. José Antonio García

Presented in Universidad Politécnica de Cartagena

*First printing, June 2025*

A mis padres, por su apoyo incondicional.



---

## Índice general

---

1	<i>Introducción</i>	11
1.1	<i>Contextualización del Cáncer</i>	11
1.2	<i>Conclusiones</i>	13
2	<i>Elementos matemáticos y tipográficos</i>	15
2.1	<i>Ecuaciones en el estilo Tufte</i>	15
	<i>Bibliografía</i>	19



---

## Índice de figuras

---

- 2.1. Diagrama que ocupa el ancho completo de la página, incluyendo el margen. Este tipo de figuras son útiles para elementos que requieren más espacio. 15





---

Índice de tablas

---



## CAPÍTULO UNO

### Introducción

#### 1.1 Contextualización del Cáncer

El cáncer<sup>1</sup> se ha convertido en uno de los mayores desafíos de la salud pública alrededor del mundo, esto es debido a su elevada incidencia y su mortalidad. Es una enfermedad que afecta a millones de personas cada año, y representa una de las principales causas de muertes en muchos países, independientemente del nivel de desarrollo de estos mismos. No solo tiene una repercusión sanitaria, el cáncer tiene muchas repercusiones tanto económicas como sociales, ya que impacta de forma directa en la calidad de vida de los pacientes. El tratamiento del cáncer requiere un enfoque que debe combinar la prevención, el diagnóstico precoz, un tratamiento eficaz y un seguimiento continuo, a lo largo de este proceso deben de estar implicados profesionales de distintas disciplinas dentro del propio sistema sanitario.

#### Definición General del Cáncer

Se podría definir el cáncer como un grupo extenso de enfermedades, que se distinguen por la proliferación descontrolada e irregular de células que tienen la habilidad de infiltrarse y destruir tejidos cercanos, o incluso de extenderse hacia otros órganos a través de procesos metastásicos<sup>2</sup>. La base biológica de esta enfermedad se encuentra en cambios genéticos y epigenéticos, ya sean heredados u adquiridos, que alteran procesos del ciclo celular, como la apoptosis o la multiplicación celular. Estas alteraciones genéticas propician que las células desarrollen conductas invasivas y se propaguen sin restricciones, generando de esta manera tumores malignos en cualquier tejido u órgano.

#### Impacto Mundial del Cáncer: Epidemiología y Tendencias Globales

*Estadísticas Mundiales de Incidencia y Prevalencia* A nivel global, el cáncer es una de las enfermedades más frecuentes y una de las principales causas de mortalidad. Según datos proporcionados por GLOBOCAN 2020<sup>3</sup>, se estimó que en dicho año se produjeron aproximadamente 19,3 millones de nuevos casos de cáncer en el mundo. Los tipos de cáncer más diagnosticados a nivel global son el cáncer de mama, pulmón, colorrectal, próstata y gástrico. La incidencia global continúa aumentando, principalmente debido al envejecimiento poblacional y al incremento en la prevalencia de factores de riesgo asociados al estilo de vida.

*Tendencias en la Incidencia del Cáncer* Las tendencias en la incidencia del cáncer muestran un aumento constante en la mayoría de las regiones del mundo, especialmente en países en desarrollo. Este incremento se atribuye a varios factores, incluyendo el envejecimiento de la población, la urbanización y la adopción de estilos de vida poco saludables, como el tabaquismo, el

<sup>1</sup> El cáncer es una de las principales causas de muerte a nivel mundial, afectando a millones de personas cada año. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que en 2020 hubo aproximadamente 19.3 millones de nuevos casos y 10 millones de muertes por cáncer en todo el mundo. La detección temprana y el tratamiento adecuado son cruciales para mejorar las tasas de supervivencia.

<sup>2</sup> Organización Mundial de la Salud. Cáncer. <https://www.who.int/es/health-topics/cancer>, 2025

<sup>3</sup> J. Ferlay, M. Ervik, F. Lam, M. Colombet, L. Mery, M. Piñeros, A. Znaor, I. Soerjomataram, and F. Bray. Global cancer observatory: Cancer today. <https://gco.iarc.fr/today>, 2020. Available at: <https://gco.iarc.fr/today>

## 1.1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL CÁNCER

sedentarismo y dietas poco saludables. Además, se ha observado un aumento en la detección temprana y el diagnóstico de cáncer, lo que también contribuye al aumento aparente de casos<sup>4</sup>.

### *Supervivencia y Mortalidad por Cáncer*

*Supervivencia y mortalidad según el tipo de cáncer* Las tasas de supervivencia en cáncer varían considerablemente según el tipo específico y el estadio en el que se realiza el diagnóstico. Por ejemplo, el cáncer de mama presenta tasas de supervivencia a 5 años superiores al 80 % en países desarrollados gracias a la detección precoz y mejores tratamientos disponibles. En cambio, el cáncer de pulmón muestra tasas de supervivencia significativamente menores, inferiores al 20 %, principalmente debido a su diagnóstico tardío y la agresividad propia del tumor<sup>5</sup>. Otros tipos de cáncer con peor pronóstico incluyen el cáncer de páncreas, con una supervivencia a cinco años que raramente supera el 10 %, dada la dificultad en su detección temprana.

*Tasas globales de mortalidad por cáncer* A nivel mundial, el cáncer constituye la segunda causa de muerte más común después de las enfermedades cardiovasculares, siendo responsable de aproximadamente uno de cada seis fallecimientos anuales en el mundo. En 2020, aproximadamente 10 millones de personas fallecieron por causa directa del cáncer. El cáncer de pulmón es el más letal, seguido del cáncer colorrectal y hepático, siendo estos tres tipos responsables de casi la mitad del total de muertes relacionadas con el cáncer<sup>6</sup>.

### *Estadísticas del Cáncer en España*

*Casos nuevos diagnosticados anualmente* En España, el cáncer continúa siendo uno de los problemas de salud pública más importantes, registrándose cada año aproximadamente 280.100 nuevos casos según el informe de la Sociedad Española de Oncología Médica (SEOM) <sup>7</sup>. Esta cifra se prevé que continúe aumentando en las próximas décadas debido al envejecimiento de la población española y el impacto acumulativo de factores ambientales y hábitos de vida.

*Tipos más frecuentes de cáncer en España* En la población española, se han detectado los siguientes cánceres como los más frecuentes: cáncer colorrectal, cáncer de próstata, cáncer de pulmón, cáncer de mama y cáncer de vejiga urinaria. En el caso de los hombres, dominan los cánceres de próstata, pulmón y colon, mientras que, en el caso de las mujeres, el cáncer más frecuente es el cáncer de mama, seguido por el cáncer de colon y el cáncer de pulmón, estos datos están condicionados en parte por los hábitos de vida establecidos y por las características demográficas particulares del país como indica la Sociedad Española de Oncología Médica (SEOM).

### *Factores Influyentes en la Incidencia del Cáncer*

El cáncer es una enfermedad multifactorial, influenciada por factores demográficos, genéticos y ambientales, siendo fundamental identificar estos factores para establecer estrategias preventivas eficaces.

*Factores demográficos* Entre los factores demográficos más relevantes está la edad, ya que la mayoría de los tipos de cáncer tienen una incidencia notablemente mayor en personas mayores de 60 años, debido a la acumulación de mutaciones genéticas a lo largo de la vida. Asimismo, el sexo condiciona

<sup>4</sup> Y. Zhou, L. Zhang, X. Wang, and M. Li. Global burden of cancer and associated risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis. *Journal of Hematology and Oncology*, 17 (1):1–15, 2024. doi: 10.1186/s13045-024-01640-8. URL <https://jhoonline.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13045-024-01640-8>. Consultado el 1 de junio de 2025

<sup>5</sup> Claudia Allemani, Tomohiro Matsuda, Veronica Di Carlo, Rosalind Harewood, Mia Matz, Maja Nikšić, Audrey Bonaventure, Myroslav Valkov, Christopher J Johnson, Jacques Estève, et al. Global surveillance of trends in cancer survival 2000–14 (concord-3): analysis of individual records for 37.5 million patients diagnosed with one of 18 cancers from 322 population-based registries in 71 countries. *The Lancet*, 391(10125):1023–1075, 2018. doi: 10.1016/S0140-6736(17)33326-3

<sup>6</sup> Hyuna Sung, Jacques Ferlay, Rebecca L. Siegel, Mathieu Laversanne, Isabelle Soerjomataram, Ahmedin Jemal, and Freddie Bray. Global cancer statistics 2020: Globocan estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 71 (3):209–249, 2021. doi: 10.3322/caac.21660. URL <https://acsjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.3322/caac.21660>

<sup>7</sup> Sociedad Española de Oncología Médica (SEOM) and Red Española de Registros de Cáncer (REDECAN). Las cifras del cáncer en España 2025. SEOM, 2025. Disponible en: <https://seom.org/prensa/el-cancer-en-cifras>

## 1. INTRODUCCIÓN

considerablemente la incidencia de ciertos tipos específicos de cáncer, como el cáncer de próstata, que es exclusivamente masculino, o el cáncer de mama, que presenta una mayor incidencia en mujeres<sup>8</sup>. Por último, la herencia genética también representa un factor importante para algunos tipos de cáncer, como ocurre con el cáncer de mama y ovario en pacientes con mutaciones en los genes BRCA1 y BRCA2.

<sup>8</sup> Instituto Nacional del Cáncer (NCI). Factores de riesgo: Edad. *Instituto Nacional del Cáncer*, 2021. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/edad>

*Factores de riesgo asociados al estilo de vida* Diversos estudios han demostrado que los factores asociados al estilo de vida juegan un papel decisivo en la incidencia de cáncer. El tabaquismo constituye el principal factor de riesgo evitable para numerosos tipos de cáncer, especialmente cáncer de pulmón, cabeza y cuello, y vías urinarias [6]. Otros factores relacionados con hábitos de vida son el consumo excesivo de alcohol, una dieta rica en grasas saturadas y pobre en fibra, la obesidad, el sedentarismo y la exposición prolongada al sol sin protección, factores todos ellos que incrementan significativamente el riesgo de desarrollar diferentes tipos de cáncer<sup>9</sup>. Por ello, la prevención primaria, mediante cambios en el estilo de vida, representa una estrategia clave en la reducción del riesgo global y en la disminución de la incidencia de cáncer.

<sup>9</sup> Grupo de trabajo del PAPPS. Recomendaciones de prevención del cáncer. actualización 2024. *Atención Primaria*, 56(S1):1–10, 2024. doi: 10.1016/j.aprim.2024.102701. URL <https://www.elsevier.es/es-revista-atencion-primaria-27-articulo-recomendaciones-de-prevencion-del-cancer-actualizacion-2024>

### *Importancia de la Detección Temprana y el Tratamiento*

La detección temprana del cáncer es crucial para mejorar las tasas de supervivencia y la calidad de vida de los pacientes. La identificación precoz de la enfermedad permite iniciar tratamientos más efectivos y menos invasivos, lo que puede llevar a una mayor probabilidad de curación o control de la enfermedad. Las estrategias de detección temprana incluyen programas de cribado poblacional, como mamografías para el cáncer de mama, colonoscopias para el cáncer colorrectal y pruebas de Papanicolaou para el cáncer cervical. Estos programas han demostrado reducir la mortalidad por cáncer en poblaciones específicas al facilitar diagnósticos en etapas más tratables [8].

### *Avances en la Investigación y Tratamiento del Cáncer*

La investigación en cáncer ha avanzado significativamente en las últimas décadas, lo que ha llevado al desarrollo de nuevas terapias y enfoques de tratamiento. Los avances en la biología molecular y la genética han permitido identificar biomarcadores específicos que pueden predecir la respuesta a ciertos tratamientos, lo que ha llevado a la personalización de la terapia oncológica. Además, el desarrollo de terapias dirigidas y la inmunoterapia han revolucionado el tratamiento del cáncer, ofreciendo nuevas esperanzas para pacientes con tumores previamente considerados incurables [9]. Estos avances no solo mejoran las tasas de supervivencia, sino que también reducen los efectos secundarios asociados con tratamientos más agresivos.

## 1.2 Conclusiones

El cáncer es una enfermedad compleja y multifacética que representa un desafío significativo para la salud pública a nivel mundial. La comprensión de sus factores de riesgo, la importancia de la detección temprana y los avances en investigación y tratamiento son fundamentales para abordar esta enfermedad de manera efectiva. A medida que la ciencia avanza, se espera que las tasas de supervivencia continúen mejorando, ofreciendo nuevas esperanzas a millones de personas afectadas por el cáncer en todo el mundo.



---

## Elementos matemáticos y tipográficos

---

### 2.1 Ecuaciones en el estilo Tufte

Las ecuaciones pueden colocarse en línea como  $E = mc^2$  o en modo display:

$$\int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a) \quad (2.1)$$

Este es un ejemplo de texto en TeX Gyre Heros. La matemática también se muestra en sans-serif.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

#### Ejemplo de figura completa

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a,

Figura 2.1: Diagrama que ocupa el ancho completo de la página, incluyendo el margen. Este tipo de figuras son útiles para elementos que requieren más espacio.

## 2.1. ECUACIONES EN EL ESTILO TUFTE

ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetur at, consectetur sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing quis, ultrices a, dui.

Morbi luctus, wisi viverra faucibus pretium, nibh est placerat odio, nec commodo wisi enim eget quam. Quisque libero justo, consectetur a, feugiat vitae, porttitor eu, libero. Suspendisse sed mauris vitae elit sollicitudin malesuada. Maecenas ultricies eros sit amet ante. Ut venenatis velit. Maecenas sed mi eget dui varius euismod. Phasellus aliquet volutpat odio. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Pellentesque sit amet pede ac sem eleifend consectetur. Nullam elementum, urna vel imperdiet sodales, elit ipsum pharetra ligula, ac pretium ante justo



## 2. ELEMENTOS MATEMÁTICOS Y TIPOGRÁFICOS

a nulla. Curabitur tristique arcu eu metus. Vestibulum lectus. Proin mauris. Proin eu nunc eu urna hendrerit faucibus. Aliquam auctor, pede consequat laoreet varius, eros tellus scelerisque quam, pellentesque hendrerit ipsum dolor sed augue. Nulla nec lacus.

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.



---

## Bibliografía

---

Claudia Allemani, Tomohiro Matsuda, Veronica Di Carlo, Rosalind Harewood, Mia Matz, Maja Nikšić, Audrey Bonaventure, Myroslav Valkov, Christopher J Johnson, Jacques Estève, et al. Global surveillance of trends in cancer survival 2000–14 (concord-3): analysis of individual records for 37·5 million patients diagnosed with one of 18 cancers from 322 population-based registries in 71 countries. *The Lancet*, 391(10125):1023–1075, 2018. doi: 10.1016/S0140-6736(17)33326-3.

Organización Mundial de la Salud. Cáncer. <https://www.who.int/es/health-topics/cancer>, 2025.

Sociedad Española de Oncología Médica (SEOM) and Red Española de Registros de Cáncer (REDECAN). Las cifras del cáncer en España 2025. *SEOM*, 2025. Disponible en: <https://seom.org/prensa/el-cancer-en-cifras>.

Grupo de trabajo del PAPPS. Recomendaciones de prevención del cáncer. actualización 2024. *Atención Primaria*, 56(S1):1–10, 2024. doi: 10.1016/j.aprim.2024.102701. URL <https://www.elsevier.es/es-revista-atencion-primaria-27-articulo-recomendaciones-prevencion-del-cancer-actualizacion-S021265672>

Instituto Nacional del Cáncer (NCI). Factores de riesgo: Edad. *Instituto Nacional del Cáncer*, 2021. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/edad>.

J. Ferlay, M. Ervik, F. Lam, M. Colombet, L. Mery, M. Piñeros, A. Znaor, I. Soerjomataram, and F. Bray. Global cancer observatory: Cancer today. <https://gco.iarc.fr/today>, 2020. Available at: <https://gco.iarc.fr/today>.

Hyuna Sung, Jacques Ferlay, Rebecca L. Siegel, Mathieu Laversanne, Isabelle Soerjomataram, Ahmedin Jemal, and Freddie Bray. Global cancer statistics 2020: Globocan estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 71(3): 209–249, 2021. doi: 10.3322/caac.21660. URL <https://acsjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.3322/caac.21660>.

Y. Zhou, L. Zhang, X. Wang, and M. Li. Global burden of cancer and associated risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis. *Journal of Hematology and Oncology*, 17(1):1–15, 2024. doi: 10.1186/s13045-024-01640-8. URL <https://jhoonline.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13045-024-01640-8>. Consultado el 1 de junio de 2025.





Universidad  
Politécnica  
de Cartagena