

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

CAPÍTULO 1

Introducción 11

1.1 *Contextualización del Cáncer* 11

1.2 *La Planificación Quirúrgica en Oncología* 13

CAPÍTULO 2

Elementos matemáticos y tipográficos 15

2.1 *Ecuaciones en el estilo Tufte* 15

Bibliografía 17

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

Introducción

1.1 Contextualización del Cáncer

El cáncer¹ 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 metastásicos². 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 2020³, 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

¹ 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.

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

³ 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 casos⁴.

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 tumor⁵. 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 cáncer⁶.

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)⁷. 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

⁴ 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

⁵ 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

⁶ 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>

⁷ 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/publicaciones/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 mujeres⁸. 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.

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 urinarias⁹. 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 cáncer¹⁰. 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.

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 tratables¹¹.

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 oncológica¹². Además, el desarrollo de terapias dirigidas y la inmunoterapia han revolucionado el tratamiento del cáncer¹³, ofreciendo nuevas esperanzas para pacientes con tumores previamente considerados incurables. Estos avances no solo mejoran las tasas de supervivencia, sino que también reducen los efectos secundarios asociados con tratamientos más agresivos¹⁴.

1.2 La Planificación Quirúrgica en Oncología

Concepto General de la Planificación Quirúrgica

La planificación quirúrgica se refiere al conjunto de procesos y estrategias empleadas por los equipos de clínicos para diseñar, optimizar y anticipar los pasos necesarios para llevar a cabo una intervención quirúrgica. Este proceso incluye no solo la identificación precisa de la patología a tratar, sino también la determinación detallada de las estructuras anatómicas implicadas, la evaluación de posibles riesgos y complicaciones, y la selección del abor-

⁸ 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>

⁹ Helena Espinosa de Restrepo, Pelayo Correa, William Haenszel, Louise A. Brinton, and Argemiro Franco. Relación del tabaquismo con cánceres de vías respiratorias, digestivas y urinarias: Estudio de casos y testigos. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana*, 105(3):221–231, 1988. URL <https://iris.paho.org/handle/10665.2/17817>

¹⁰ 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-S0212656724002701>. Consultado el 1 de junio de 2025

¹¹ Amy B. Knudsen, Ann G. Zauber, Carolyn M. Rutter, Eline F. Peterse, Reinier G.S. Meester, Nicolas T. van Ravesteijn, Iris Lansdorp-Vogelaar, and Karen M. Kuntz. Estimated cancer deaths prevented with increased use of cancer screening. *JAMA Network Open*, 6(1):e2252241, 2023. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2022.52241. URL <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2812260>

¹² Douglas Hanahan and Robert A. Weinberg. Hallmarks of cancer: New dimensions. *Cancer Discovery*, 12(1):31–46, 2022. doi: 10.1158/2159-8290.CD-21-1059. URL <https://doi.org/10.1158/2159-8290.CD-21-1059>. Revisión clave sobre los avances en la comprensión del cáncer y terapias dirigidas

¹³ Robert D. Schreiber, Lloyd J. Old, and Mark J. Smyth. Cancer immunoediting: Integrating immunity's roles in cancer suppression and promotion. *Science*, 331:1565–1570, 2021. doi: 10.1126/science.1203486. Fundamental para inmunoterapia

¹⁴ Siddhartha Mukherjee. *The Emperor of All Maladies: A Biography of Cancer*. Scribner, 2010. ISBN 978-1439107959. Visión histórica y científica de los avances en oncología

1.2. LA PLANIFICACIÓN QUIRÚRGICA EN ONCOLOGÍA

¹⁵ Robert J. Gillies, Paul E. Kinahan, and Hedvig Hricak. Radiomics: Images are more than pictures, they are data. *Radiology*, 278(2):563–577, 2020. doi: 10.1148/radiol.2015151169. Destaca el uso de imágenes y datos para planificación quirúrgica precisa

¹⁶ John D. Birkmeyer and Justin B. Dimick. Understanding the volume-outcome relationship in surgery. *The American Journal of Surgery*, 204:541–546, 2012. doi: 10.1016/j.amjsurg.2012.07.012. Relación entre planificación, experiencia quirúrgica y resultados

¹⁷ National Comprehensive Cancer Network (NCCN). Nccn clinical practice guidelines in oncology: Surgical planning. Technical report, NCCN, 2023. URL <https://www.nccn.org/guidelines/>. Guías estándar para planificación quirúrgica en cáncer

daje quirúrgico más adecuado según el contexto clínico específico de cada paciente¹⁵.

El objetivo principal de la planificación quirúrgica es maximizar la eficacia y seguridad del procedimiento, buscando eliminar o controlar la patología tumoral con la menor afectación posible de estructuras vitales adyacentes, preservando así al máximo la función de los órgano y tejidos sanos. Esto se traduce directamente en una mejora de la calidad de vida del paciente tras la cirugía, reduciendo significativamente los riesgos postoperatorios, la duración del periodo de recuperación y mejorando las tasas globales de supervivencia¹⁶.

Una planificación quirúrgica precisa y rigurosa resulta particularmente importante en cirugía oncológica, donde la exactitud en la identificación y delimitación tumoral puede ser determinante para conseguir resecciones completas, con márgenes libres adecuados, reduciendo el riesgo de recurrencias o metástasis futura¹⁷.

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

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.

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.

John D. Birkmeyer and Justin B. Dimick. Understanding the volume-outcome relationship in surgery. *The American Journal of Surgery*, 204:541–546, 2012. doi: 10.1016/j.amjsurg.2012.07.012. Relación entre planificación, experiencia quirúrgica y resultados.

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-S0212656724002701>. Consultado el 1 de junio de 2025.

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>.

Robert J. Gillies, Paul E. Kinahan, and Hedvig Hricak. Radiomics: Images are more than pictures, they are data. *Radiology*, 278(2):563–577, 2020. doi: 10.1148/radiol.2015151169. Destaca el uso de imágenes y datos para planificación quirúrgica precisa.

Douglas Hanahan and Robert A. Weinberg. Hallmarks of cancer: New dimensions. *Cancer Discovery*, 12(1):31–46, 2022. doi: 10.1158/2159-8290.CD-21-1059. URL <https://doi.org/10.1158/2159-8290.CD-21-1059>. Revisión clave sobre los avances en la comprensión del cáncer y terapias dirigidas.

- Amy B. Knudsen, Ann G. Zauber, Carolyn M. Rutter, Eline F. Peterse, Reinier G.S. Meester, Nicolien T. van Ravesteijn, Iris Lansdorp-Vogelaar, and Karen M. Kuntz. Estimated cancer deaths prevented with increased use of cancer screening. *JAMA Network Open*, 6(1):e2252241, 2023. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2022.52241. URL <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2812260>.
- Siddhartha Mukherjee. *The Emperor of All Maladies: A Biography of Cancer*. Scribner, 2010. ISBN 978-1439107959. Visión histórica y científica de los avances en oncología.
- National Comprehensive Cancer Network (NCCN). Nccn clinical practice guidelines in oncology: Surgical planning. Technical report, NCCN, 2023. URL <https://www.nccn.org/guidelines/>. Guías estándar para planificación quirúrgica en cáncer.
- Helena Espinosa de Restrepo, Pelayo Correa, William Haenszel, Louise A. Brinton, and Argemiro Franco. Relación del tabaquismo con cánceres de vías respiratorias, digestivas y urinarias: Estudio de casos y testigos. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana*, 105(3):221–231, 1988. URL <https://iris.paho.org/handle/10665.2/17817>.
- Robert D. Schreiber, Lloyd J. Old, and Mark J. Smyth. Cancer immunoediting: Integrating immunity's roles in cancer suppression and promotion. *Science*, 331:1565–1570, 2021. doi: 10.1126/science.1203486. Fundamental para inmunoterapia.
- 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