



Biomarcadores Oncológicos en América Latina 2015-2025:

su utilidad clínica

Profesor

Dr. Julio Mora Campos

San Jose, Costa Rica, 2025

Contenido

1. Introducción	4
Capítulo I. Planteamiento del Problema	6
1.1 Pregunta Problema.....	9
1.2 Justificaciónón del problema	9
1.3 Objetivos generales y específicos	11
1.3.1 Objetivo general	11
1.3.2 Objetivos específicos.....	11
1.4 Hipótesis	12
1.4.1. Hipótesis principal.....	12
1.4.2 Hipótesis secundaria.....	12
Capítulo II. Marco Teórico	13
2.1 Antecedentes.....	13
2.2 Biomarcadores Tumorales (BT).....	18
2.3 Biomarcadores Utilizados en Pruebas de Cribado	19
2.4 Biomarcadores Usados en Pruebas de Diagnóstico	20
Biomarcadores Biológicos Usados en las Pruebas de Pronóstico	21
2.5. Teorías del Diagnóstico Médico	22
2.6. Genética Molecular en Oncología.....	23
2.7. Biomarcadores Oncológicos: Concepto y Clasificación.....	23
2.8 Métodos Clásicos de Diagnóstico en Oncología.....	23
2.9 Principales Marcadores para Cánceres Comunes.....	24
2.10 Aplicaciones Clínicas de Biomarcadores en la Detección Temprana y Pronóstico	24
2.11. Desafíos en América Latina	25
Capítulo III. Marco Metodológico	26
3.1 Tipo de Investigación	26
3.2 Alcance del estudio.....	26
3.3 Enfoque metodológico.....	27
3.4 Diseño de la investigación	27
3.5 Técnicas de recolección de información	28
3.6. Criterios de inclusión y exclusión	28
3.6. Procedimiento de análisis de la información	29
3.7. Consideraciones éticas	30
Capítulo IV. Análisis de Resultados	31
4.1. Presentación del capítulo	31
4.2. Panorama del cáncer en América Latina y Costa Rica.....	31

4.3. Utilidad general de los biomarcadores oncológicos	32
4.4. Biomarcadores en cáncer de próstata	33
4.5. Biomarcadores en cáncer colorrectal.....	34
4.6. Biomarcadores en cáncer de mama	36
4.7. Biomarcadores y cribado en cáncer gástrico	37
4.8. Biomarcadores en cáncer de pulmón.....	39
4.9. Reflexión crítica sobre la aplicabilidad en América Latina y Costa Rica	40
4.10. Matriz comparativa de biomarcadores según tipo de cáncer.....	41
4.11. Hallazgos clave del estudio	42
4.12. Síntesis y aportes del estudio.....	43
Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones	44
5.1. Conclusión general	44
5.2. Ventajas identificadas en los estudios revisados	44
5.3. Limitaciones identificadas en los estudios revisados	45
5.4. Síntesis final	46
5.5. Recomendaciones	47
Referencias Bibliográficas	48

Índice de Tablas

Tabla 1: cánceres más comunes

Tabla 2: Tasa de mortalidad por cáncer

Tabla 3: Tipos más frecuentes en Costa Rica

Tabla 4: BMT de cribado

Tabla 5: BMT de Pronóstico

1. Introducción

El cáncer continúa siendo una de las principales causas de muerte en América Latina, con una incidencia y mortalidad que aumentan cada año. Según datos proporcionados por el Global Cancer Observatory, se estima que para el año 2030 los nuevos casos en la región alcanzarán los 2 millones, y las muertes llegarán a 980 mil, lo que representa un incremento significativo respecto a las cifras actuales (Ferlay et al., 2025).

En Costa Rica, el Instituto Nacional de Estadística y Censos (Instituto Nacional de Estadísticas y censos (INEC, 2021) junto con el Ministerio de Salud en el año 2021 reportaron un incremento considerable en las tasas de mortalidad por cáncer durante las últimas décadas.

Los tipos de cáncer más frecuentes en América Latina, al igual que en Costa Rica, incluyen los de próstata, mama, estómago, colon, pulmón e hígado (International Agency for Research on Cancer [IARC], 2022).

A pesar de los avances en diagnóstico y tratamiento, América Latina enfrenta profundas desigualdades en la lucha contra el cáncer. El acceso a tratamientos, la detección temprana y la implementación de políticas de prevención son factores clave que influyen significativamente en las tasas de mortalidad y supervivencia en la región (Bárcenas, 2016).

El diagnóstico temprano del cáncer es crucial para mejorar los resultados del tratamiento y aumentar las tasas de supervivencia. Entre las herramientas diagnósticas más importantes se encuentran la mamografía (Smith et al., 2019), la colonoscopia (Hagggar & Boushey, 2008) y la citología cervical (Sankaranayanan et al., 2020), todas de gran valor clínico. Sin embargo, a pesar de la disponibilidad de estas pruebas, la medicina contemporánea ha identificado la necesidad de pruebas complementarias que permitan un diagnóstico más precoz y preciso.

Desde la década de 1960 hasta la actualidad, se han identificado diversas proteínas circulantes utilizadas como biomarcadores para la detección de tumores. Estos biomarcadores son sustancias, moléculas o procesos que se alteran como resultado de una condición precancerosa o un cáncer detectable en algún fluido biológico. Su utilidad se

ha establecido en el cribado, diagnóstico y pronóstico del cáncer(National Cancer Institute, 2021).

Según (López- Bayghen et al., (2020), los biomarcadores tumorales más comúnmente utilizados en América Latina se encuentran:

- PSA (Antígeno Prostático Específico): para cáncer de próstata.
- CA 125: para cáncer de ovario.
- HER2 (Receptor 2 del Factor de Crecimiento Epidérmico Humano): para cáncer de mama.
- EGFR (Receptor del Factor de Crecimiento Epidérmico): para cáncer de pulmón.
- KRAS: para cáncer colorrectal y de pulmón.
- BRCA1/2: para cáncer de mama y ovario.
- AFP (Alfa-fetoproteína): para cáncer hepático.
- CEA (Antígeno Carcinoembrionario): para cáncer colorrectal

Esta revisión bibliográfica tiene como objetivo evaluar la utilidad y aplicabilidad de los biomarcadores oncológicos en el cribado, diagnóstico y pronóstico de los cánceres prevalentes en América Latina.

Capítulo I. Planteamiento del Problema

La investigación plantea el problema sobre la importancia de los biomarcadores oncológicos en América Latina entre los años 2015- 2025 sobre las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuál es el impacto del uso de biomarcadores tumorales en la detección temprana del cáncer en América Latina?

El empleo de biomarcadores tumorales representa un avance significativo en la detección precoz del cáncer, permitiendo una identificación más precisa de la enfermedad en fases tempranas. Estos biomarcadores son fundamentales para optimizar la eficacia de los tratamientos y mejorar la supervivencia de los pacientes (Duff et al., 2010). Sin embargo, en América Latina, es necesario investigar la aplicabilidad y efectividad de estos biomarcadores en contextos con limitaciones de infraestructura y recursos económicos, lo que podría afectar su accesibilidad y uso generalizado (Ferlay et al., 2018).

2. ¿Cómo se comparan los biomarcadores en términos de accesibilidad y precisión con los métodos clásicos de diagnóstico en América Latina?

Los métodos tradicionales de diagnóstico, como la mamografía, la colonoscopia y la citología cervical, son ampliamente utilizados en la región para la detección temprana del cáncer, pero presentan limitaciones en términos de precisión, accesibilidad y costos (Berg et al., 2012; Hagar, 2009; Sankaranarayanan, 2020). En este contexto, los biomarcadores podrían ofrecer una alternativa más precisa, aunque su alto costo y la infraestructura limitada en varios países latinoamericanos representan barreras importantes que deben ser evaluadas (Ferlay et al., 2018).

3. ¿Cuál es la efectividad de los biomarcadores tumorales en las pruebas de pronóstico para determinar la agresividad del cáncer y la respuesta al tratamiento en la región?

Los biomarcadores pronósticos, como el Ki-67 y Her2, han demostrado ser herramientas útiles para evaluar la agresividad de la enfermedad y la respuesta a los tratamientos, lo que es crucial para personalizar las terapias (Brown et al., 2020). No obstante, es necesario realizar estudios específicos en América Latina para

comprender cómo estos biomarcadores pueden ser implementados en la práctica clínica y cómo las variaciones genéticas y los perfiles epidemiológicos de la región afectan la interpretación de los resultados.

4. ¿Qué factores limitan la adopción de biomarcadores tumorales en los sistemas de salud pública en América Latina?

Aunque los biomarcadores tumorales tienen un gran potencial, las barreras económicas y la falta de infraestructura en los sistemas de salud pública de América Latina constituyen desafíos significativos para su adopción (Ferlay et al., 2018). Además, la disponibilidad limitada de tecnologías de secuenciación de ADN, debido a su alto costo, limita su implementación en muchos países de la región, lo que impide su utilización generalizada como herramienta de diagnóstico y pronóstico (Auffray, 2009).

5. ¿Cómo influyen las diferencias en la prevalencia de tipos de cáncer entre países de América Latina en la selección de biomarcadores para el diagnóstico y tratamiento?

América Latina presenta patrones de prevalencia de cáncer que varían según el país, lo que sugiere que los biomarcadores deben ser seleccionados de acuerdo con las características epidemiológicas específicas de cada región. Por ejemplo, el cáncer de mama es predominante en países como Brasil y Argentina, mientras que el cáncer de vesícula biliar es más común en Bolivia (Internacional Agency for research on cancer(IARC),2022). Esta variabilidad plantea la necesidad de investigar qué biomarcadores son más efectivos en la detección y tratamiento de los cánceres más prevalentes en cada país de la región.

6. ¿Cómo podría la implementación de biomarcadores tumorales en los programas de cribado mejorar las tasas de detección precoz en la región?

Los biomarcadores tumorales, como el PSA para el cáncer de próstata y el CEA para el cáncer colorrectal, ya se utilizan en algunos países de América Latina para el cribado de cáncer (Roulston, 1990). Se requiere una evaluación exhaustiva de su impacto en la detección precoz y en la mejora de los resultados clínicos, teniendo en

cuenta las limitaciones del sistema de salud y la variabilidad en el acceso a las tecnologías diagnósticas en diferentes países de la región.

7. ¿Qué desafíos enfrentan los profesionales de la salud en América Latina al integrar biomarcadores tumorales en su práctica clínica diaria?

La integración de biomarcadores tumorales en la práctica clínica en América Latina enfrenta varios desafíos, incluidos la capacitación de los profesionales de la salud, la interpretación precisa de los resultados y la disponibilidad de los biomarcadores en hospitales y centros médicos (Jenkins et al., 2025). Además, el uso de biomarcadores para guiar las decisiones terapéuticas requiere un enfoque multidisciplinario y una infraestructura adecuada para su implementación efectiva.

8. ¿Cuáles son las barreras económicas, sociales y culturales para el acceso a los biomarcadores tumorales en América Latina, y cómo pueden superarse?

Las barreras económicas son uno de los principales obstáculos para el acceso a las tecnologías avanzadas de biomarcadores en América Latina. Los sistemas de salud pública de muchos países latinoamericanos carecen de los recursos necesarios para incorporar estas tecnologías de manera generalizada (Ferlay et al., 2018). Las políticas de salud pública deben centrarse en garantizar que estos avances sean accesibles y asequibles para toda la población, a través de la implementación de programas de salud que promuevan el acceso equitativo.

9. ¿Qué impacto tendría la implementación generalizada de biomarcadores tumorales en la mortalidad y morbilidad por cáncer en América Latina para el año 2030?

Se proyecta que la carga del cáncer en América Latina aumentará significativamente para el año 2030 (Ferlay et al., 2025). La incorporación de biomarcadores tumorales en los sistemas de salud podría contribuir a una disminución de las tasas de mortalidad y morbilidad, mejorando la detección temprana y la personalización de los tratamientos. Sin embargo, se necesita un análisis profundo para estimar el impacto real de esta implementación en función de los contextos socioeconómicos y sanitarios de cada país en la región.

1.1 Pregunta Problema

La pregunta más relevante que podríamos plantearnos ante la problemática del cáncer en America Latina es, ¿Cómo pueden los biomarcadores oncológicos contribuir a la mejora de la detección temprana, diagnóstico y pronóstico del cáncer en América Latina 2015-2025, considerando las limitaciones tecnológicas, económicas y las variaciones en la prevalencia de los tipos de cáncer entre los diferentes países de la región?"

1.2 Justificación del problema

El cáncer es una de las principales causas de muerte en América Latina y representa una amenaza creciente para la salud pública en la región. Se estima que para el año 2030, se registrarán aproximadamente 2 millones de nuevos casos y cerca de 980,000 muertes anuales por cáncer en América Latina (Ferlay et al.,2020). Este incremento está relacionado con múltiples factores: el envejecimiento de la población, cambios en el estilo de vida, exposición a factores de riesgo ambientales, y la persistente desigualdad en el acceso a servicios de salud de calidad.

Las condiciones socioeconómicas juegan un papel central en esta problemática. Muchos países latinoamericanos enfrentan sistemas de salud fragmentados, con limitaciones estructurales y presupuestarias, lo que dificulta una atención oncológica efectiva y equitativa. Las poblaciones rurales, indígenas o de bajos recursos económicos tienen un acceso limitado o nulo a servicios de prevención, diagnóstico y tratamiento del cáncer (Bárcenas, 2016). Esta desigualdad contribuye a diagnósticos tardíos y tasas de mortalidad más altas que en otras regiones del mundo, donde los sistemas de salud están más desarrollados y la atención oncológica más integrada.

Desde una perspectiva ambiental, la región se enfrenta a desafíos significativos. La contaminación del aire, el uso extensivo de agroquímicos, la urbanización descontrolada, el tabaquismo y las dietas ultraprocesadas son factores que han incrementado la incidencia de cáncer en las últimas décadas. Adicionalmente, el cambio climático y la acelerada industrialización han intensificado la exposición a agentes carcinógenos, especialmente en comunidades cercanas a zonas industriales o de alta actividad extractiva.

Frente a esta realidad, la introducción de biomarcadores oncológicos se posiciona como una herramienta estratégica de gran relevancia. Los biomarcadores permiten la detección de alteraciones moleculares y genéticas específicas asociadas con diferentes tipos de cáncer, incluso en etapas muy tempranas. Esto representa una ventaja crucial en entornos donde los recursos son limitados y donde muchas veces el diagnóstico ocurre en fases avanzadas de la enfermedad. Su uso también favorece el pronóstico y la selección de terapias personalizadas, mejorando la eficacia del tratamiento y reduciendo los efectos secundarios (Duffy & Crown, 2019).

Además, la implementación de biomarcadores puede fortalecer la equidad en salud. Aunque su acceso inicial puede parecer restringido por costos tecnológicos, diversas experiencias internacionales han demostrado que su uso sistemático en programas públicos puede disminuir los costos a largo plazo. Al evitar tratamientos innecesarios o ineficaces, y reducir la carga hospitalaria asociada a complicaciones derivadas del diagnóstico tardío, los biomarcadores se convierten en una inversión costo-efectiva. En este sentido, constituyen una oportunidad para transformar los sistemas de salud en América Latina, haciéndolos más sostenibles y centrados en la prevención.

La incorporación de los biomarcadores en la práctica clínica también marca un paso fundamental hacia la adopción del modelo de Medicina 4P (preventiva, predictiva, personalizada y participativa). Este enfoque propone un cambio de paradigma en la atención sanitaria, pasando de un modelo reactivo y generalizado a uno proactivo y centrado en el paciente. En contextos como el latinoamericano, donde la fragmentación y la inequidad aún persisten, avanzar hacia una medicina personalizada representa un reto ambicioso, pero también una posibilidad real de reducir brechas de salud y mejorar la calidad de vida de miles de personas.

En resumen, la alta incidencia y mortalidad del cáncer en América Latina, sumadas a las deficiencias estructurales del sistema de salud y a la exposición ambiental a factores de riesgo, subrayan la necesidad urgente de adoptar enfoques innovadores en la lucha contra esta enfermedad. Los biomarcadores oncológicos ofrecen una vía prometedora para mejorar la detección temprana, optimizar los tratamientos y racionalizar el uso de recursos, contribuyendo así a un sistema de salud más justo, eficiente y resiliente. Su estudio y aplicación deben ser una prioridad en las políticas públicas de salud de la región durante el periodo 2015–2025 y en adelante.

1.3 Objetivos generales y específicos

1.3.1 Objetivo general

- Explorar la utilidad clínica de los biomarcadores oncológicos en América Latina entre 2015 y 2025, con énfasis en su papel en la detección temprana, el diagnóstico, el pronóstico y el tratamiento del cáncer, valorando su accesibilidad, exactitud, influencia en los índices de mortalidad y morbilidad, así como los desafíos que enfrentan los sistemas de salud pública para su implementación

1.3.2 Objetivos específicos

- Valorar el desempeño de los biomarcadores en la detección oportuna y en el diagnóstico del cáncer en América Latina durante el periodo 2015-2025.
- Comparar la eficacia de los biomarcadores tumorales con los métodos diagnósticos tradicionales, considerando las condiciones socioeconómicas y de infraestructura que caracterizan a distintos contextos regionales.
- Identificar el efecto de los biomarcadores en la estimación del pronóstico y en la personalización de las terapias oncológicas, reconociendo las limitaciones tecnológicas y formativas que obstaculizan su integración en la práctica clínica.
- Interpretar las restricciones económicas, sociales, políticas y tecnológicas que limitan la incorporación de biomarcadores en los sistemas públicos de salud de América Latina y hacer recomendaciones que favorezcan su mayor disponibilidad y equidad en el acceso.

1.4 Hipótesis

1.4.1. Hipótesis principal

La integración de biomarcadores tumorales en el diagnóstico y tratamiento del cáncer en pacientes oncológicos de América Latina mejora significativamente la detección temprana, personalización del tratamiento y los resultados clínicos en los pacientes, reduciendo la mortalidad y aumentando la supervivencia.

1.4.2 Hipótesis secundaria

La implementación de tecnologías avanzadas para la identificación de biomarcadores tumorales en América Latina mejora la precisión en la clasificación del tipo de cáncer, lo que permite una mayor adaptación de los tratamientos a las características genómicas de los tumores y reduce las tasas de tratamiento ineficaz.

Capítulo II. Marco Teórico

2.1 Antecedentes

La secuenciación del genoma humano, junto con el desarrollo e implementación de las nuevas tecnologías “ómicas” de alto rendimiento (genómica, proteómica, metabolómica), está incrementando de manera significativa el conocimiento de las enfermedades humanas, estableciendo bases sólidas para el desarrollo de la medicina personalizada como esta expresado en Genomic Medicine: A paradigm shift por C, Auffray. (Auffray, 2009).

El modelo de la Medicina Personalizada plantea objetivos más ambiciosos, transformándola en lo que se denomina Medicina 4P (preventiva, predictiva, personalizada y participativa), (Personalized Medicine Coalition, 2009).

La medicina preventiva utiliza pruebas moleculares farmacogenéticas y farmacogenómicas para estratificar a los pacientes según su respuesta predictiva a un tratamiento particular. Esto mejora la eficacia de un tratamiento seleccionado adecuadamente o excluye a aquellos que probablemente experimentarán efectos adversos (Vivanco, 2009).

En los últimos años, J Van Eyk y M Dunn en su artículo Clinical proteomics: From diagnosis to therapy y otros colaboradores del 2008 han logrado identificar genes responsables de enfermedades que dependen de un solo gen (alrededor de 2000 enfermedades), tales como la enfermedad de Huntington, fibrosis quística y anemia falciforme. Otras enfermedades con bases genéticas complejas, como la diabetes, enfermedades coronarias y diversos tipos de cáncer, también están siendo estudiadas a través de técnicas genéticas tradicionales, aunque las nuevas tecnologías de secuenciación de ADN y los microarrays han permitido identificar un gran número de genes de susceptibilidad para estas enfermedades complejas. Esto abre la posibilidad de detección temprana y, en algunos casos, prevención.

2.2 Proyecto Genoma Humano

Desde la primera publicación del Proyecto Genoma Humano a principios de este siglo, muchos de los conocimientos previos sobre genética de las enfermedades humanas

han sido modificados. Gracias a este proyecto, se entiende que existen pequeñas diferencias entre un ser humano y otro no solo en la secuenciación de nucleótidos de un gen específico, sino también en el número de copias del mismo (Collins et al. 2003).

Las implicaciones de este número de copias de secuencia de un nucleótido, así como las variaciones "normales" en la misma secuencia, se encuentran siendo investigadas de manera intensa.

La siguiente fase del Proyecto Genoma se ha dedicado a la secuenciación completa de genomas tumorales y cánceres. Las diferencias encontradas en estas secuencias, ya sea en el orden o número de copias, han permitido la identificación preclínica de individuos en riesgo de cáncer, así como de enfermedades crónicas degenerativas como la diabetes (Velásquez, 2001). La investigación genómica ha tenido implicaciones en formas comunes de cáncer como el colorrectal, el pancreático y el mamario, entre otros.

Algunas herramientas tecnológicas más recientes, como la secuenciación masiva paralela, han hecho posible secuenciar genomas completos en cuestión de semanas, desafortunadamente los costos económicos han limitado su uso actual.

2.3 El Cáncer en América Latina

El cáncer sigue siendo una de las principales causas de muerte en América Latina, con una incidencia que aumenta cada año. Según los datos proporcionados por la IARC, se estima que en la región el cáncer alcanzará los 2 millones de casos nuevos y 980,000 muertes en 2030, lo que representa un aumento significativo en comparación con las cifras actuales (Ferlay et al., 201

A pesar de los avances en diagnóstico y tratamiento, América Latina sigue enfrentando grandes desigualdades en la lucha contra el cáncer (Bárcenes, 2016).

Según Cancer Today (2020) los cánceres más comunes según incidencia y mortalidad en la región se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 1

Cánceres más comunes por incidencia y mortalidad, estimaciones, 2018

País	Incidencia (1-3)	Mortalidad (1-3)
Argentina	Mama, Colorrecto, Próstata	Pulmón, Colorrecto, Mama
Bolivia	Cuello uterino, Próstata, Vesícula biliar	Vesícula biliar, Cuello uterino, Pulmón
Brasil	Mama, Próstata, Colorrecto	Pulmón, Colorrecto, Mama
Chile	Próstata, Colorrecto, Mama	Pulmón, Estómago, Colorrecto
Colombia	Mama, Próstata, Colorrecto	Estómago, Pulmón, Colorrecto
Costa Rica	Próstata, Mama, Colorrecto	Estómago, Colorrecto, Próstata
Ecuador	Próstata, Mama, Estómago	Estómago, Próstata, Colorrecto
México	Mama, Próstata, Colorrecto	Colorrecto, Próstata, Mama
Panamá	Próstata, Mama, Colorrecto	Próstata, Pulmón, Estómago
Paraguay	Mama, Próstata, Cuello uterino	Pulmón, Colorrecto, Mama
Perú	Próstata, Mama, Estómago	Estómago, Pulmón, Próstata
Uruguay	Colorrecto, Mama, Pulmón	Pulmón, Colorrecto, Mama
América Latina y el Caribe	Mama, Próstata, Colorrecto	Pulmón, Colorrecto, Próstata

Nota: En 2018, los tipos de cáncer más comunes por incidencia y mortalidad a nivel mundial fueron el cáncer de pulmón, el cáncer de mama, el cáncer colorrectal y el cáncer de próstata. Tomado de Cancer Today, 2020 (Ferlay et al, 2020)

Según los datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC) de Costa Rica en 2021, las tasas de mortalidad (por cada 100,000 habitantes) por provincia en Costa Rica fueron las siguientes.

Tabla 2

Tasa de mortalidad por cáncer en Provincias Costa Rica

Provincia	Tasa de Mortalidad por Cáncer
San José	127.4
Guanacaste	98.5
Cartago	119.5
Heredia	123.0
Limón	98.5
Alajuela	104.3
Puntarenas	101.0

Nota: Según los datos del (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC) 2021) , las tasas de mortalidad (por cada 100,000 habitantes) por provincia en Costa Rica.

- En cuanto a la incidencia de cáncer, según el Global Cancer Observatory (2022), los tipos de cáncer más frecuentes en Costa Rica fueron:

Tabla 3

Incidencia de Cáncer en Costa rica según tipos

Sexo	Cáncer	%
Hombres	Próstata	13,3%
	Estómago	8,5%
	Colon	8,4%
	Pulmón	6,6%
	Hígado	3,5%
Mujeres	Mama	10,1%
	Colon	8,4%
	Estómago	8,5%
	Pulmón	6,6%
	Hígado	3,5%

Nota:La incidencia de cancer Según tipos Global Cancer Observatory en 2022, (International Agency for Research on Cancer (IARC), 2022)

2.4 Valor de los Métodos Clásicos de Diagnóstico en el Cáncer

El diagnóstico temprano del cáncer es crucial para mejorar los resultados del tratamiento y aumentar las tasas de supervivencia. Entre las herramientas diagnósticas más importantes se encuentran la mamografía, la colonoscopia y la citología cervical. Cada uno de estos métodos tiene un papel fundamental en la detección precoz de cánceres específicos como el cáncer de mama, colorrectal y cervical respectivamente.

2.5 Mamografía en el Diagnóstico de Cáncer de Mama

La mamografía es una técnica de imagen utilizada para la detección temprana del cáncer de mama. Según Smith (Smith et al., (2019), las mamografías rutinarias pueden reducir la mortalidad por cáncer de mama en un 20% en mujeres de entre 50 y 69 años. La eficacia de la mamografía puede verse afectada por la densidad de la glándula mamaria, lo que podría llevar a resultados falsos positivos o negativos (Berg et al., 2012).

2.6 Colonoscopia en el Diagnóstico de Cáncer Colorrectal

La colonoscopia es altamente efectiva en la detección del cáncer colorrectal, así como en la identificación de pólipos precoces que podrían convertirse en cáncer. La detección y extirpación de pólipos adenomatosos puede reducir la incidencia de cáncer colorrectal hasta en un 68% (Hagar, 2009). Sin embargo, la colonoscopia no está exenta de limitaciones, pudiendo haber complicaciones como perforación o hemorragia. Además, el paciente requiere de una preparación intestinal adecuada, lo cual puede resultar incómodo (Kahi et al., 2015).

2.7 Citología Cervical en el Diagnóstico del Cáncer Cervical

La citología cervical, también conocida como la prueba de Papanicolaou o Pap, ha sido fundamental en la reducción de la incidencia y mortalidad del cáncer cervical (Sankaranarayanan et al.,2020). Las principales limitaciones de la citología cervical incluyen la posibilidad de falsos negativos, además de que la prueba no detecta todos los tipos de cáncer cervical (Mandelblat, 2019).

A pesar de contar con estas pruebas diagnósticas clásicas, la medicina ha sentido la necesidad de incorporar herramientas adicionales para mejorar y complementar el diagnóstico precoz y preciso.

2.8 Biomarcadores Tumorales (BT)

Desde la década de los 60, se han identificado varias proteínas circulantes utilizadas como biomarcadores para la detección de tumores. Los biomarcadores son sustancias, moléculas o procesos que se alteran como resultado de una condición pre-cancerosa o un cáncer detectable en algún fluido biológico o tejido. Estas sustancias pueden utilizarse para el cribado, diagnóstico, pronóstico y seguimiento del cáncer (Duff, 2010; Molina, 2002; NCCN Clinical Practice, 2021; National Cancer Institute, 2021).

La mayoría de los biomarcadores tumorales se producen en diferentes células normales o inflamatorias, pero en niveles más altos cuando hay cáncer (Ballehaninna, 2012); Duffy & Crown, 2019).

Idealmente, un biomarcador debe servir para detectar precozmente un cáncer, establecer un pronóstico, realizar un seguimiento y detectar una recurrencia temprana de la enfermedad (Ballehaninna, 2012 ;Kaurs, 2013 ;Wang.2019; Viscaino Salazar, 2012; Sierna-Arango, 2003; Escrig-SOS, 2006; Altman, D. G., 1994). En la práctica diaria, los biomarcadores no cumplen con todos los requisitos de un marcador tumoral, especialmente en lo que respecta a los aspectos analíticos de las mediciones (Roulston, 1990; Hernández, J., 2004).

Los requisitos más importantes de un marcador tumoral son su sensibilidad (la probabilidad de que un sujeto enfermo obtenga una prueba positiva) y su especificidad (la probabilidad de que un sujeto sano obtenga una prueba negativa) (Roulston, 1990 ;Hernández, J., 2004). A pesar de que no existe un biomarcador tumoral ideal, es posible evaluar su utilización en las diferentes etapas del cáncer (Ploussard, G., 1990; Szabu, C. I., 1997).

Se definen los biomarcadores como sustancias o procesos que se alteran cualitativa o cuantitativamente como resultado de una condición pre-cancerosa o un cáncer detectable mediante una prueba de laboratorio en sangre, tejidos u otros fluidos

biológicos. Son producidos por el tumor mismo o como respuesta a una lesión tumoral en el tejido circundante (Campuzano-Maya, ., 2010 , Schrohl, et al., 2003). La mayoría de los marcadores tumorales son producidos por células normales, pero en niveles más altos cuando hay cáncer (Hermida Lazcano et al.,2016 ;, (NCI, 2016).

2.9 Biomarcadores Utilizados en Pruebas de Cribado

Los biomarcadores de cribado son aquellos que detectan el cáncer (oculto) en una población aparentemente sana. Aunque no tienen una sensibilidad y especificidad ideales, son funcionales. El uso de los biomarcadores puede sugerir la existencia de un cáncer, debiendo confirmarse mediante una prueba histológica convencional (Roulston, 1990).

Tabla 4

Marcadores Biológicos de Cribado y su Prueba Convencional

Cáncer	Biomarcadores de Cribado	Referencias
Cáncer de próstata	- Antígeno específico de próstata (PSA)	Gurel, B., & Drake, C. G. (2021). Prostate Cancer Biomarkers. Current Urology Reports, 22(10), 14.
	- Fracción libre de PSA	
	- Tacto rectal	
Cáncer de mama	- Mutaciones en genes BRCA1 y BRCA2 (si hay antecedentes familiares)	Evans, D. G. R., & Laloo, F. (2021). Cancer risk management in BRCA1 and BRCA2 mutation carriers. British Journal of Cancer, 124(1), 1-13.
	- Mamografía digital	
Cáncer colorrectal	- Antígeno carcinoembrionario (CEA)	Brenner, H., & Hoffmeister, M. (2018). Effectiveness of screening for colorectal cancer: A systematic review. Cancer Prevention Research, 11(4), 203-210.
	- Microarray como prueba de tamiz	
	- Sangre oculta en heces	
	- Colonoscopia	

Cáncer de cuello uterino	- Citología vaginal (Papanicolaou)	Gage, J. C., & Schiffman, M. (2014). Screening for cervical cancer: an update of the U.S. Preventive Services Task Force recommendation. JAMA, 312(15), 1560-1570.
	- Prueba de VPH (virus del papiloma humano)	
Cáncer gástrico	- Antígeno carcinoembrionario (CEA)	Li, X., & Liu, J. (2019). Biomarkers for early diagnosis of gastric cancer. Journal of Cancer, 10(4), 844-850.
	- CA 19-9	
	- CA 72-4	
	- Pepsinógeno	
	- Proteína C-reactiva (ultrasensible)	
Cáncer de pulmón	- Antígeno carcinoembrionario (CEA)	Passlick, B., & Choi, J. (2021). Lung Cancer Screening: Biomarkers and Imaging. Journal of Thoracic Disease, 13(8), 4402-4414.
	- Antígeno asociado a cáncer de pulmón (LCAA)	

Nota: Biomarcadores de cribado y su prueba convencional

2.10 Biomarcadores Usados en Pruebas de Diagnóstico

La utilización de biomarcadores en el diagnóstico es más prevalente que en el cribado. Aunque teóricamente todas las neoplasias podrían tener uno o más biomarcadores, en la práctica solo algunos se han desarrollado (Patterson, 2019). Los biomarcadores de diagnóstico son fundamentales para el análisis integral de la enfermedad, contribuyendo al pronóstico y planificación del tratamiento (Jenkins et al., 2025)

Biomarcadores Biológicos Usados en las Pruebas de Pronóstico

Los biomarcadores pronósticos ofrecen información sobre la evolución del paciente, lo que ayuda a evaluar la agresividad de la enfermedad. Estos biomarcadores deben medirse en el momento del diagnóstico y antes de iniciar el tratamiento. Idealmente, forman parte del plan terapéutico individualizado del paciente (Brown et al., 2020)

Tabla 5

Marcadores Biológicos de Pronóstico para Distintos Cánceres

Cáncer	Marcadores Tumorales	Descripción
Cáncer de próstata	PSA	Se utiliza para la detección, pero también es útil en el pronóstico.
	Ki-67	Implicada en el ciclo celular y la proliferación celular. Niveles elevados se asocian con mal pronóstico.
Cáncer de mama	Her2, Neu, Br 27-29	Determinan la agresividad del cáncer y la respuesta a tratamientos.
	Ca 15-3 + ACE	Marcadores serológicos para monitorear la recurrencia.
	Ca 72-4, Ki-67	Marcadores tumorales de proliferación celular, asociados con evolución desfavorable.
	α -fetoproteína (AFP)	Usado para monitorizar ciertos tipos de cáncer de mama.
Cáncer colorrectal	CEA, CA-19-9	Evaluación del pronóstico, solo o combinados.
	α -fetoproteína (AFP)	Utilizado en el pronóstico, especialmente combinado con otros marcadores.
	p53	La sobreexpresión se asocia con un mal pronóstico.
	Ki-67	Indicador de proliferación celular, asociado con mal pronóstico.

Cáncer gástrico	CEA + CA 19-9	Combinación para evaluar la evolución del cáncer gástrico.	
	α -fetoproteína (AFP)	Marcador usado en el pronóstico del cáncer gástrico.	
	EGFR	Sobreexpresión asociada con mayor invasión tumoral y peor supervivencia.	
	Ki-67	Indicador de la tasa de proliferación celular en cáncer gástrico.	

Nota : Marcadores biológicos de pronóstico (Schrohl et al .,2003)

La incidencia del cáncer en la mayoría de los países latinoamericanos, al igual que en Costa Rica, sigue siendo un desafío significativo, a pesar de contar con un sistema de salud apropiado y programas de prevención.

Los métodos de detección de biomarcadores oncológicos deben seguir evaluándose y mejorándose. Al mismo tiempo, los esfuerzos en prevención y tratamiento deben continuar fortaleciéndose, con un enfoque particular en la utilización de biomarcadores tumorales para mejorar la detección temprana, el diagnóstico y el seguimiento de los pacientes.

2.11. Teorías del Diagnóstico Médico

El diagnóstico médico es un proceso dinámico que integra la información clínica, los hallazgos de laboratorio y las pruebas complementarias para identificar enfermedades. En oncología, este proceso ha evolucionado significativamente, incorporando enfoques avanzados como la genética molecular y los biomarcadores. Las principales teorías diagnósticas incluyen:

- **Diagnóstico Diferencial:** Consiste en la identificación de una enfermedad específica entre varias posibles, excluyendo otras condiciones con síntomas similares. Este enfoque es fundamental en oncología, donde los síntomas pueden ser inespecíficos y compartir características con otras patologías.
- **Diagnóstico Predictivo:** Se centra en la identificación de factores que predicen la probabilidad de desarrollar una enfermedad. En oncología, esto incluye el uso de tecnologías "ómicas" como la genómica, proteómica y metabolómica para predecir la aparición y evolución del cáncer.

- **Diagnóstico Pronóstico:** Evalúa la probable evolución de una enfermedad en un paciente específico. En cáncer, esto implica la utilización de biomarcadores y herramientas genéticas para estimar la agresividad del tumor y la respuesta al tratamiento.

2.12. Genética Molecular en Oncología

La genética molecular ha transformado la comprensión del cáncer al identificar alteraciones genéticas específicas que contribuyen a la carcinogénesis. La secuenciación de ADN ha permitido detectar mutaciones puntuales, reordenamientos cromosómicos y cambios en el número de copias de genes, facilitando la clasificación molecular de los tumores y el desarrollo de terapias dirigidas. Proyectos como el Atlas del Genoma del Cáncer han sido fundamentales en la identificación de estas alteraciones.

2.13. Biomarcadores Oncológicos: Concepto y Clasificación

Los biomarcadores oncológicos son sustancias biológicas que se alteran en presencia de cáncer y pueden medirse en fluidos biológicos como sangre, orina o tejidos. Su clasificación incluye:

- **Biomarcadores de Cribado:** Utilizados para detectar la presencia de cáncer en individuos asintomáticos.
- **Biomarcadores Diagnósticos:** Ayudan a confirmar la presencia de cáncer.
- **Biomarcadores Pronósticos:** Proporcionan información sobre la probable evolución de la enfermedad.
- **Biomarcadores de Recurrencia:** Detectan la reaparición del cáncer después del tratamiento.

Un biomarcador ideal debe ser específico, sensible, económico, de fácil obtención y capaz de proporcionar información relevante para el diagnóstico y seguimiento del cáncer.

2.14 Métodos Clásicos de Diagnóstico en Oncología

A pesar de los avances tecnológicos, los métodos clásicos siguen siendo esenciales en la detección temprana de ciertos tipos de cáncer:

- Mamografía: Utilizada en la detección temprana del cáncer de mama
- Colonoscopia: Empleada en el cribado del cáncer colorrectal.
- Citología Cervical: Fundamental en la prevención del cáncer cervical.

Estos métodos permiten la identificación precoz de lesiones malignas, mejorando las tasas de supervivencia.

2.15 Principales Marcadores para Cánceres Comunes

Diversos biomarcadores son utilizados en la práctica clínica para el diagnóstico y seguimiento de cánceres comunes:

- BRCA1 y BRCA2: Asociados al cáncer de mama y ovario.
- PSA (Antígeno Prostático Específico): Relacionado con el cáncer de próstata.
- CEA (Antígeno Carcinoembrionario): Utilizado en el cáncer colorrectal.
- AFP (Alfa-fetoproteína): Indicativo de cáncer hepático y de células germinales.

Estos biomarcadores son esenciales para la detección temprana, evaluación del pronóstico y monitoreo de la respuesta al tratamiento.

2.16 Aplicaciones Clínicas de Biomarcadores en la Detección Temprana y Pronóstico

Los biomarcadores desempeñan un papel crucial en la oncología personalizada:

- Detección Temprana: Facilitan la identificación de cánceres en etapas iniciales, cuando el tratamiento es más efectivo.
- Pronóstico: Permiten estimar la agresividad del tumor y la probable respuesta al tratamiento.
- Terapias Dirigidas: Identifican alteraciones genéticas específicas que pueden ser blanco de terapias dirigidas, mejorando la eficacia del tratamiento y reduciendo efectos secundarios.

La integración de biomarcadores en la práctica clínica ha permitido avances significativos en la medicina de precisión, ofreciendo tratamientos más personalizados y efectivos.

2.17. Desafíos en América Latina

A pesar de los avances en diagnóstico y tratamiento, en América Latina persisten desafíos significativos:

- **Desigualdad en el Acceso:** La disponibilidad de tecnologías avanzadas es limitada, especialmente en áreas rurales y comunidades desfavorecidas.
- **Infraestructura Insuficiente:** La falta de recursos y personal capacitado dificulta la implementación de programas de prevención y tratamiento efectivos.
- **Educación y Concientización:** Es necesario mejorar la educación en salud y la concientización sobre la importancia del diagnóstico temprano del cáncer.

Superar estos desafíos requiere un compromiso conjunto entre gobiernos, instituciones de salud y la comunidad para mejorar la infraestructura, el acceso a tecnologías y la educación en salud.

Capítulo III. Marco Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo documental, ya que se fundamenta en la revisión, selección, análisis e interpretación de información científica previamente publicada sobre el uso de marcadores oncológicos en el cribado, diagnóstico y pronóstico de distintos tipos de cáncer.

Este tipo de investigación resulta pertinente debido a que permite recopilar evidencia actualizada sobre biomarcadores utilizados en cáncer de próstata, mama, estómago, pulmón y colorrectal, sin realizar trabajo de campo directo con pacientes o personal de salud.

Asimismo, la investigación posee un carácter descriptivo y analítico. Es descriptiva porque permite identificar y caracterizar los principales marcadores oncológicos reportados en la literatura científica, así como sus aplicaciones clínicas. A su vez, es analítica porque busca examinar la utilidad, fortalezas, limitaciones, sensibilidad, especificidad y valor pronóstico de dichos biomarcadores, especialmente en el contexto latinoamericano.

De esta manera, el estudio permite organizar el conocimiento disponible y valorar la aplicabilidad de los marcadores oncológicos a partir de la evidencia científica existente.

3.2 Alcance del estudio

El presente estudio posee un alcance descriptivo y analítico, debido a que se orienta a describir, organizar y analizar la evidencia científica disponible sobre la utilidad clínica de los marcadores oncológicos en el cribado, diagnóstico y pronóstico de algunos de los cánceres más prevalentes en Latinoamérica, específicamente cáncer de próstata, mama, estómago, pulmón y colorrectal.

Desde el alcance descriptivo, la investigación busca caracterizar los principales biomarcadores utilizados en estos tipos de cáncer, identificando sus aplicaciones clínicas, su nivel de uso y su relevancia dentro del abordaje médico. Desde el componente analítico, se pretende valorar sus fortalezas, limitaciones, sensibilidad, especificidad y valor

pronóstico, considerando la evidencia científica reciente disponible para el contexto latinoamericano.

De esta manera, el estudio permite comprender no solo la función de los marcadores oncológicos, sino también los desafíos asociados a su implementación en la región, tomando en cuenta factores como la disponibilidad de estudios, la calidad de la evidencia y las condiciones particulares de los sistemas de salud latinoamericanos.

3.3 Enfoque metodológico

La investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo de tipo documental, ya que se basa en la revisión, análisis e interpretación de fuentes científicas previamente publicadas. Este enfoque resulta pertinente porque permite examinar el conocimiento acumulado sobre los biomarcadores oncológicos, así como sintetizar los principales hallazgos relacionados con su aplicabilidad en el cribado, diagnóstico y pronóstico del cáncer.

El enfoque cualitativo documental permite realizar una lectura crítica de la evidencia científica, identificar tendencias, comparar resultados entre estudios y reconocer vacíos de información en relación con el uso de marcadores oncológicos en Latinoamérica.

3.4 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación corresponde a una revisión sistemática de carácter narrativo. Este tipo de diseño permite realizar una búsqueda organizada de literatura científica, aplicar criterios de selección previamente definidos y analizar los estudios incluidos desde una perspectiva descriptiva e interpretativa.

La revisión se centró en estudios publicados entre los años 2015 y 2025, con el propósito de garantizar la actualidad de la información recopilada. Se priorizaron investigaciones secundarias y estudios de alta relevancia metodológica, tales como metaanálisis, revisiones sistemáticas y ensayos clínicos aleatorizados.

Este diseño permitió recopilar evidencia científica relacionada con biomarcadores utilizados en cáncer de mama, próstata, estómago, pulmón y colorrectal, con especial interés en estudios desarrollados o aplicables a poblaciones latinoamericanas.

3.5 Técnicas de recolección de información

La técnica utilizada para la recolección de información fue la búsqueda sistemática de literatura científica en bases de datos académicas reconocidas. Para ello, se consultaron fuentes en idioma español e inglés, con el fin de ampliar la cobertura de la revisión y acceder a estudios relevantes tanto a nivel regional como internacional.

Las principales bases de datos consultadas fueron:

- PubMed
- ScienceDirect
- Google Académico

La estrategia de búsqueda incluyó el uso de palabras clave y términos relacionados con el tema de investigación, tales como: tumor biomarker, cancer, lung cancer, colorectal cancer, prostate cancer, breast cancer tumor markers, sensitivity and specificity of oncological biomarkers, stomach cancer, metaanálisis de cáncer en Colombia, biomarcadores oncológicos, cáncer en Latinoamérica, sensibilidad y especificidad de biomarcadores, entre otros.

Inicialmente, se identificaron aproximadamente 200 artículos relacionados con el tema. Posteriormente, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para depurar los resultados y seleccionar únicamente aquellos estudios que presentaran mayor pertinencia temática, calidad metodológica y relación directa con los objetivos de la investigación.

Finalmente, se seleccionaron 25 estudios científicos, entre los cuales se incluyeron metaanálisis, ensayos clínicos aleatorizados y revisiones sistemáticas. Estos documentos abordaban el uso de biomarcadores oncológicos en cáncer de mama, próstata, estómago, pulmón y colorrectal, con énfasis en sensibilidad, especificidad, utilidad diagnóstica y valor pronóstico.

3.6. Criterios de inclusión y exclusión

Para garantizar la rigurosidad del proceso de selección documental, se establecieron criterios de inclusión y exclusión que permitieran delimitar la evidencia científica analizada.

Criterios de inclusión

Se incluyeron estudios publicados entre los años 2015 y 2025, con el fin de asegurar la actualidad de la información. Asimismo, se consideraron investigaciones enfocadas en poblaciones latinoamericanas o cuyos resultados tuvieran aplicabilidad para el contexto de la región.

También se incluyeron estudios que abordaran biomarcadores oncológicos en cáncer de próstata, mama, estómago, pulmón y colorrectal, especialmente aquellos que presentaran resultados relacionados con sensibilidad, especificidad, utilidad diagnóstica, cribado o valor pronóstico.

Se priorizaron publicaciones científicas como metaanálisis, revisiones sistemáticas, ensayos clínicos aleatorizados y artículos indexados en bases de datos académicas reconocidas.

Criterios de exclusión

Se excluyeron artículos duplicados, publicaciones fuera del periodo establecido, estudios que no abordaran directamente los tipos de cáncer seleccionados y documentos que no presentaran información relacionada con biomarcadores oncológicos.

También se descartaron investigaciones con muestras no representativas o sin relación clara con América Latina, así como literatura gris, documentos de opinión, publicaciones sin validación científica y estudios con información metodológica insuficiente.

3.6. Procedimiento de análisis de la información

Una vez seleccionados los estudios, se procedió a realizar una lectura crítica de cada documento, identificando los principales datos relacionados con el tipo de cáncer estudiado, el biomarcador analizado, su utilidad clínica, sensibilidad, especificidad, valor pronóstico y principales limitaciones.

Posteriormente, la información fue organizada según el tipo de cáncer y el biomarcador correspondiente, lo que permitió comparar los hallazgos entre estudios y establecer patrones comunes en la evidencia revisada.

El análisis se desarrolló de manera narrativa, integrando los resultados más relevantes de los estudios seleccionados y relacionándolos con los objetivos de la investigación. Este procedimiento permitió sintetizar la evidencia científica disponible y valorar la utilidad de los marcadores oncológicos en el contexto latinoamericano.

3.7. Consideraciones éticas

Al tratarse de una investigación documental basada en fuentes científicas previamente publicadas, no se trabajó directamente con personas participantes ni se recolectaron datos personales o clínicos de pacientes. Por esta razón, el estudio no implicó riesgos éticos directos asociados a la intervención con seres humanos.

No obstante, se respetaron los principios de integridad académica mediante el uso adecuado de las fuentes consultadas, la citación correspondiente de los autores y la selección responsable de información científica validada. Además, se procuró utilizar evidencia actualizada, pertinente y procedente de bases de datos académicas reconocidas.

Capítulo IV. Análisis de Resultados

4.1. Presentación del capítulo

El presente capítulo expone los principales resultados obtenidos a partir de la revisión documental de estudios científicos relacionados con el uso de biomarcadores oncológicos en el cribado, diagnóstico, pronóstico y seguimiento de diferentes tipos de cáncer. El análisis se centra en cinco tipos de cáncer de alta relevancia epidemiológica: próstata, mama, colorrectal, estómago y pulmón.

La revisión permitió identificar que los biomarcadores oncológicos constituyen herramientas de apoyo en la práctica clínica, especialmente cuando se utilizan de manera complementaria con otros métodos diagnósticos, como estudios de imagen, biopsias, evaluación clínica y antecedentes del paciente. No obstante, también se evidenció que su utilidad varía considerablemente según el tipo de cáncer, el biomarcador analizado, la etapa de la enfermedad, la población estudiada y las condiciones del sistema de salud donde se aplican.

Además, aunque varios de los estudios revisados provienen de contextos internacionales como Asia, Europa y Estados Unidos, sus hallazgos permiten establecer puntos de comparación importantes para América Latina y Costa Rica. Sin embargo, es necesario interpretar estos resultados con cautela, ya que las diferencias en infraestructura sanitaria, acceso a pruebas especializadas, disponibilidad tecnológica, genética poblacional, costos y programas de tamizaje pueden limitar la extrapolación directa de los resultados al contexto latinoamericano.

4.2. Panorama del cáncer en América Latina y Costa Rica

El cáncer representa una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en América Latina y el Caribe. Su impacto ha aumentado debido al envejecimiento poblacional, la transición epidemiológica, los cambios en los estilos de vida, la exposición a factores de riesgo y las desigualdades en el acceso oportuno al diagnóstico y tratamiento.

En América Latina, los cánceres más frecuentes varían según el sexo. En hombres, destacan el cáncer de próstata, pulmón y colorrectal; mientras que en mujeres predominan el cáncer de mama, pulmón, colorrectal y cuello uterino. Esta distribución evidencia la

necesidad de fortalecer estrategias de prevención, diagnóstico temprano y seguimiento clínico, especialmente en aquellos tipos de cáncer con mayor carga de enfermedad.

En el caso de Costa Rica, el cáncer también constituye un problema prioritario de salud pública. El país cuenta con un sistema de salud público con cobertura nacional, principalmente a través de la Caja Costarricense de Seguro Social; sin embargo, persisten retos importantes relacionados con listas de espera, acceso desigual entre zonas urbanas y rurales, disponibilidad de pruebas especializadas y necesidad de ampliar programas de detección temprana.

Desde esta perspectiva, el análisis de biomarcadores oncológicos adquiere relevancia porque podría contribuir a mejorar la identificación temprana, el pronóstico y el seguimiento de pacientes. No obstante, para que estos biomarcadores sean realmente útiles en Costa Rica y América Latina, deben ser evaluados no solo desde su precisión diagnóstica, sino también desde su accesibilidad, costo, disponibilidad institucional y pertinencia para las poblaciones locales.

4.3. Utilidad general de los biomarcadores oncológicos

Los biomarcadores oncológicos son indicadores biológicos que pueden encontrarse en sangre, tejidos, células tumorales u otros fluidos corporales, y que permiten aportar información sobre la presencia, evolución o comportamiento de un cáncer. En términos generales, pueden utilizarse para apoyar el cribado, el diagnóstico, el pronóstico, la predicción de respuesta terapéutica y el seguimiento posterior al tratamiento.

Los estudios revisados coinciden en que los biomarcadores no deben interpretarse como pruebas diagnósticas aisladas. Su principal valor clínico se encuentra en su uso complementario, integrado con la historia clínica, los factores de riesgo, los estudios de imagen y la confirmación histopatológica. Esta consideración es fundamental, ya que muchos biomarcadores presentan limitaciones de sensibilidad o especificidad, lo que puede generar falsos positivos o falsos negativos.

En el contexto latinoamericano, esta limitación adquiere mayor relevancia. Un biomarcador con baja sensibilidad puede retrasar el diagnóstico si se utiliza de manera inadecuada como única herramienta de detección. De igual forma, un biomarcador con

baja especificidad puede aumentar la cantidad de pruebas complementarias innecesarias, generando costos adicionales para los sistemas de salud y ansiedad en los pacientes.

Por lo tanto, el uso de biomarcadores oncológicos en América Latina debe orientarse hacia una aplicación racional, basada en evidencia, considerando tanto su rendimiento clínico como la capacidad real de los sistemas de salud para implementarlos de manera equitativa.

4.4. Biomarcadores en cáncer de próstata

4.4.1. Antígeno prostático específico como prueba de cribado

El antígeno prostático específico, conocido como PSA, ha sido ampliamente utilizado como biomarcador para el cribado del cáncer de próstata. Sin embargo, los resultados revisados muestran que su utilidad como herramienta de tamizaje poblacional sigue siendo discutida.

El metaanálisis sobre cribado de cáncer de próstata mediante PSA incluyó una muestra amplia de más de 700 mil participantes. Los resultados indicaron que el cribado con PSA probablemente no reduce de manera significativa la mortalidad por todas las causas ni la mortalidad específica por cáncer de próstata. Aunque puede contribuir a detectar algunos casos, el beneficio en términos de reducción de mortalidad parece limitado.

Desde un análisis crítico, estos resultados sugieren que el PSA no debería utilizarse de forma indiscriminada en programas masivos de tamizaje sin criterios clínicos claros. Su uso puede generar sobrediagnóstico, sobretratamiento y procedimientos invasivos innecesarios, especialmente en casos de tumores de crecimiento lento que quizá no hubieran generado complicaciones clínicas relevantes.

Para América Latina y Costa Rica, esto implica que el PSA puede seguir siendo una herramienta útil, pero debe aplicarse bajo un enfoque individualizado. Es decir, su uso debería considerar edad, antecedentes familiares, síntomas, factores de riesgo, expectativa de vida y posibilidades reales de seguimiento. En sistemas de salud con recursos limitados, aplicar el PSA sin criterios claros podría saturar los servicios de urología y diagnóstico especializado.

4.4.2. Comparación entre PSA y examen rectal digital

Otro estudio revisado comparó el rendimiento del PSA con el examen rectal digital como pruebas de detección del cáncer de próstata. Los resultados mostraron que ambos métodos presentan valores predictivos positivos bajos. Además, la combinación de ambas pruebas no mejoró significativamente la tasa de detección.

El examen rectal digital mostró una sensibilidad limitada, lo que significa que puede no detectar una proporción importante de casos, especialmente en etapas tempranas. Esto cuestiona su valor como prueba de tamizaje cuando se utiliza de forma aislada.

Desde la perspectiva clínica, estos hallazgos apoyan la necesidad de avanzar hacia estrategias de detección más personalizadas y basadas en riesgo. En Costa Rica, donde el cáncer de próstata es uno de los más frecuentes en hombres, la recomendación no sería eliminar el PSA o el examen físico, sino integrarlos dentro de protocolos más completos, con criterios definidos para referencia, seguimiento y confirmación diagnóstica.

En síntesis, el aporte principal de la revisión sobre cáncer de próstata es que el PSA y el examen rectal digital tienen utilidad limitada como pruebas aisladas. Su valor aumenta cuando se interpretan dentro de una estrategia clínica integral y no como pruebas definitivas de diagnóstico.

4.5. Biomarcadores en cáncer colorrectal

4.5.1. Marcadores tumorales tradicionales: CEA, CA 19-9 y CA 125

En el cáncer colorrectal, los biomarcadores más estudiados incluyen el antígeno carcinoembrionario, conocido como CEA, el CA 19-9 y el CA 125. De estos, el CEA sigue siendo el marcador más utilizado en la práctica clínica, especialmente para el seguimiento de pacientes, evaluación de respuesta al tratamiento y detección de recurrencia.

Los estudios revisados muestran que el CEA tiene una utilidad limitada para la detección temprana, debido a que su sensibilidad y especificidad no son suficientes para utilizarlo como prueba diagnóstica independiente. Sin embargo, sí resulta útil en el seguimiento posterior al tratamiento, principalmente para identificar posibles recurrencias.

El CA 19-9 puede tener valor en algunos casos de enfermedad avanzada, aunque presenta menor especificidad y puede generar falsos positivos. Por su parte, el CA 125 tiene una utilidad más limitada en cáncer colorrectal y no se recomienda como marcador rutinario para este tipo de cáncer.

Desde un análisis crítico, estos resultados evidencian que los marcadores tradicionales en cáncer colorrectal no resuelven por sí solos el problema del diagnóstico temprano. Su mayor aporte está en el seguimiento clínico, no en el tamizaje poblacional. Esto es importante para América Latina, ya que muchos países aún presentan limitaciones en programas de detección oportuna del cáncer colorrectal.

En Costa Rica, estos hallazgos podrían orientar la necesidad de fortalecer estrategias de tamizaje basadas en pruebas con mayor valor preventivo, como sangre oculta en heces, colonoscopia en grupos de riesgo y seguimiento sistemático de pacientes. Los biomarcadores como CEA pueden complementar el seguimiento, pero no sustituir las pruebas diagnósticas establecidas.

4.5.2. Factores de riesgo en cáncer colorrectal de inicio temprano

El metaanálisis sobre cáncer colorrectal de inicio temprano identificó factores de riesgo relevantes, entre ellos sexo masculino, antecedentes familiares, obesidad, hiperlipidemia, consumo de alcohol y síndrome de Lynch. El antecedente familiar y el síndrome de Lynch mostraron una asociación particularmente importante con el riesgo de desarrollar cáncer colorrectal.

Aunque este estudio no se centra exclusivamente en biomarcadores tumorales, sí aporta información relevante para la identificación de poblaciones de alto riesgo. En este sentido, los factores genéticos y familiares pueden considerarse elementos clave para orientar estrategias de vigilancia y detección temprana.

Desde una perspectiva latinoamericana, este hallazgo es importante porque los programas de tamizaje no siempre logran cubrir de manera efectiva a toda la población. Por ello, identificar grupos prioritarios podría mejorar el uso de recursos disponibles. En Costa Rica, esto podría traducirse en protocolos de detección más focalizados para

personas con antecedentes familiares, obesidad, consumo problemático de alcohol u otros factores de riesgo.

El principal aporte de esta sección es reconocer que el abordaje del cáncer colorrectal no debe limitarse a marcadores séricos, sino que debe integrar factores clínicos, familiares, genéticos y conductuales para mejorar la prevención y detección temprana.

4.6. Biomarcadores en cáncer de mama

4.6.1. Mutaciones BRCA1 y BRCA2

Las mutaciones germinales en los genes BRCA1 y BRCA2 constituyen biomarcadores genéticos de gran relevancia en cáncer de mama, especialmente por su relación con mayor riesgo de desarrollar la enfermedad y por su posible influencia en el pronóstico.

El metaanálisis revisado incluyó 58 estudios y alrededor de 30 mil pacientes. Los resultados indicaron que las mutaciones en BRCA1 y BRCA2 pueden influir en el pronóstico, aunque el efecto varía según el tipo de mutación, las características clínicas de la paciente, la etapa del diagnóstico y el tratamiento recibido.

Las pacientes con mutaciones BRCA1 tienden a presentar un pronóstico menos favorable en comparación con aquellas sin esta alteración, mientras que las mutaciones BRCA2 pueden mostrar comportamientos distintos. No obstante, los resultados deben interpretarse con precaución debido a la heterogeneidad de los estudios incluidos.

Desde un análisis crítico, las pruebas BRCA representan una herramienta importante para la medicina personalizada. Permiten identificar riesgo hereditario, orientar decisiones terapéuticas y fortalecer el seguimiento familiar. Sin embargo, su implementación en América Latina enfrenta barreras relacionadas con costos, disponibilidad de pruebas genéticas, acceso a consejería genética y desigualdad en los servicios especializados.

En Costa Rica, la incorporación de pruebas genéticas como BRCA podría aportar significativamente al manejo del cáncer de mama, especialmente en pacientes jóvenes, con antecedentes familiares o con características clínicas sugestivas de predisposición

hereditaria. Sin embargo, para su aplicación efectiva, se requiere fortalecer rutas de referencia, acceso equitativo y acompañamiento profesional en interpretación genética.

4.6.2. CA 15-3 y CEA en cáncer de mama

La revisión sistemática sobre marcadores tumorales en cáncer de mama analizó principalmente el CA 15-3 y el CEA. Los resultados muestran que estos marcadores pueden tener utilidad en el seguimiento de pacientes con enfermedad metastásica o en la identificación de recurrencia, pero su valor para diagnóstico temprano es limitado.

La evidencia revisada indica que los resultados sobre CA 15-3 y CEA son contradictorios y no existe consenso suficiente para recomendarlos como herramientas diagnósticas aisladas. Esto se debe a que pueden elevarse en condiciones no malignas o no estar aumentados en todas las pacientes con cáncer.

Desde una lectura crítica, estos biomarcadores pueden ser útiles como apoyo en el seguimiento de casos seleccionados, pero no deben reemplazar estudios clínicos, imagenológicos ni histopatológicos. En América Latina, su uso debe ser cuidadoso para evitar diagnósticos erróneos o decisiones clínicas basadas únicamente en valores séricos.

El aporte principal en cáncer de mama es diferenciar entre biomarcadores de alto valor para medicina personalizada, como BRCA1 y BRCA2, y marcadores séricos de utilidad más limitada, como CA 15-3 y CEA. Esta distinción es fundamental para priorizar recursos y orientar decisiones clínicas.

4.7. Biomarcadores y cribado en cáncer gástrico

4.7.1. Cribado mediante endoscopia y métodos serológicos

El cáncer gástrico continúa siendo un problema relevante de salud pública, especialmente en regiones con alta incidencia. El estudio revisado sobre cribado de cáncer gástrico incluyó más de 1,6 millones de participantes y analizó principalmente evidencia proveniente de países asiáticos como Japón, Corea del Sur y China.

Los resultados indicaron que el cribado mediante endoscopia se asocia con una reducción de la mortalidad por cáncer gástrico y permite detectar la enfermedad en etapas

más tempranas. También se analizaron métodos serológicos, como pepsinógeno, aunque con evidencia menos sólida en comparación con la endoscopia.

Sin embargo, estos hallazgos no pueden trasladarse automáticamente a América Latina. Los países asiáticos incluidos en el estudio cuentan con alta incidencia de cáncer gástrico, programas nacionales de cribado y mayor experiencia en detección endoscópica poblacional. En contraste, en muchos países latinoamericanos existen limitaciones de acceso a endoscopia, listas de espera, desigualdad territorial y menor disponibilidad de programas organizados de tamizaje.

Para Costa Rica, estos resultados sugieren que el cribado endoscópico podría ser útil en grupos de alto riesgo, pero su implementación universal requeriría evaluar costo-efectividad, capacidad instalada, recursos humanos y criterios de priorización. En este sentido, una estrategia más realista podría orientarse a pacientes con antecedentes familiares, infección por *Helicobacter pylori*, síntomas persistentes o factores de riesgo alimentarios y ambientales.

4.7.2. Factores de riesgo e indicadores biológicos indirectos

El metaanálisis sobre factores de riesgo para cáncer gástrico identificó asociaciones importantes con infección por *Helicobacter pylori*, tabaquismo, consumo elevado de alcohol y dieta rica en alimentos procesados o baja en frutas y verduras.

Aunque este estudio no analiza biomarcadores oncológicos en sentido estricto, aporta elementos relevantes para comprender la carcinogénesis gástrica. La infección por *Helicobacter pylori* puede considerarse un indicador biológico clave en la prevención y vigilancia del cáncer gástrico, debido a su relación con inflamación crónica y transformación maligna.

Desde el contexto latinoamericano, este hallazgo tiene alta relevancia, ya que la infección por *Helicobacter pylori* es frecuente en la región y muchas veces se relaciona con condiciones socioeconómicas, acceso limitado a diagnóstico y tratamiento oportuno. Por ello, las estrategias de prevención del cáncer gástrico deberían incluir detección y erradicación de esta infección en poblaciones de riesgo.

El principal aporte de esta sección es mostrar que, en cáncer gástrico, la prevención y detección temprana no dependen únicamente de biomarcadores tumorales, sino también de la identificación de factores biológicos y ambientales que pueden ser intervenidos desde la salud pública.

4.8. Biomarcadores en cáncer de pulmón

4.8.1. Células tumorales circulantes

Las células tumorales circulantes han sido estudiadas como posibles biomarcadores diagnósticos en cáncer de pulmón. El metaanálisis revisado incluyó 20 estudios, con 2.845 pacientes con cáncer de pulmón y 2.973 controles sanos.

Los resultados mostraron una sensibilidad de 40,6% y una especificidad de 92,6%. Esto significa que las células tumorales circulantes tienen una alta capacidad para identificar correctamente a personas sanas, pero una capacidad limitada para detectar todos los casos positivos de cáncer de pulmón.

Desde un análisis crítico, este biomarcador presenta un potencial importante, especialmente por su alta especificidad. Sin embargo, su baja sensibilidad limita su uso como prueba diagnóstica única. Además, la heterogeneidad entre los estudios sugiere que los resultados pueden variar según la técnica utilizada para detectar las células tumorales circulantes.

En América Latina y Costa Rica, su aplicación clínica todavía enfrenta desafíos importantes. Estas pruebas suelen requerir tecnología especializada, personal capacitado y costos elevados, lo cual podría limitar su implementación rutinaria en sistemas de salud públicos. Por tanto, su uso podría ser más factible inicialmente en investigación clínica, centros especializados o pacientes seleccionados, antes que como herramienta de tamizaje poblacional.

4.8.2. Marcadores moleculares y tumorales en cáncer de pulmón

La revisión sobre marcadores tumorales en cáncer de pulmón destaca la importancia de los avances moleculares en el estudio de la enfermedad. Se mencionan

marcadores relacionados con susceptibilidad genética, diagnóstico temprano, pronóstico y predicción de respuesta al tratamiento.

Aunque algunas investigaciones han explorado alteraciones en genes como p53, K-ras y HER-2/neu, así como otros marcadores séricos, la evidencia muestra que todavía existen limitaciones para su uso rutinario debido a variabilidad en sensibilidad, especificidad y falta de consenso clínico.

Desde la perspectiva actual, el cáncer de pulmón requiere un abordaje cada vez más personalizado. Sin embargo, para América Latina, la incorporación de biomarcadores moleculares debe analizarse junto con la disponibilidad de laboratorios especializados, acceso a terapias dirigidas y equidad en el diagnóstico. No tendría sentido identificar marcadores moleculares si posteriormente el sistema de salud no puede garantizar acceso oportuno al tratamiento correspondiente.

El aporte de esta sección es evidenciar que los biomarcadores en cáncer de pulmón poseen alto potencial clínico, pero su implementación regional exige mayor estandarización, inversión tecnológica y estudios específicos en poblaciones latinoamericanas.

4.9. Reflexión crítica sobre la aplicabilidad en América Latina y Costa Rica

Uno de los hallazgos más importantes de esta revisión es que gran parte de la evidencia sobre biomarcadores oncológicos proviene de estudios realizados en Asia, Europa o Estados Unidos. Aunque estos estudios aportan información valiosa, sus resultados no siempre son completamente extrapolables a América Latina.

Existen varias razones para esta limitación. En primer lugar, las poblaciones pueden diferir en características genéticas, factores ambientales, estilos de vida y prevalencia de ciertos tipos de cáncer. En segundo lugar, los sistemas de salud latinoamericanos presentan desigualdades importantes en acceso a diagnóstico especializado, pruebas moleculares, infraestructura tecnológica y seguimiento oportuno. En tercer lugar, muchos biomarcadores requieren recursos económicos y humanos que no siempre están disponibles de manera equitativa.

En el caso de Costa Rica, si bien existe un sistema de salud público consolidado, persisten desafíos relacionados con listas de espera, concentración de servicios especializados y acceso diferenciado según zona geográfica. Por ello, la incorporación de biomarcadores oncológicos debe realizarse de forma planificada, priorizando aquellos con mayor evidencia clínica, utilidad demostrada y viabilidad institucional.

De esta manera, el análisis permite afirmar que el valor de un biomarcador no depende únicamente de su precisión diagnóstica, sino también de su aplicabilidad real en el contexto donde se pretende utilizar.

4.10. Matriz comparativa de biomarcadores según tipo de cáncer

Tipo de cáncer	Biomarcadores o indicadores revisados	Principal utilidad clínica	Limitaciones identificadas	Aplicabilidad para América Latina / Costa Rica
Próstata	PSA y examen rectal digital	Apoyo en cribado y sospecha clínica	Bajo impacto en mortalidad, riesgo de sobrediagnóstico y falsos positivos	Útil si se aplica con criterios de riesgo y seguimiento clínico adecuado
Colorrectal	CEA, CA 19-9, CA 125, factores familiares y genéticos	Seguimiento, recurrencia y estratificación de riesgo	Baja utilidad para detección temprana como prueba aislada	Relevante para seguimiento, pero debe complementarse con colonoscopia y pruebas de tamizaje
Mama	BRCA1, BRCA2, CA 15-3 y CEA	Predisposición hereditaria, pronóstico y seguimiento	Alto costo de pruebas genéticas; utilidad limitada de marcadores séricos	BRCA tiene alto valor en pacientes seleccionadas; requiere acceso a consejería genética
Estómago	Endoscopia, pepsinógeno, Helicobacter pylori	Cribado en poblaciones de alto riesgo y prevención	Evidencia fuerte principalmente en Asia; limitada extrapolación regional	Aplicable en grupos de riesgo; H. pylori debe considerarse prioridad preventiva

Pulmón	Células tumorales circulantes, marcadores moleculares	Diagnóstico complementario, pronóstico y medicina personalizada	Baja sensibilidad de CTC; alto costo tecnológico	Potencial en centros especializados; requiere inversión y validación regional
--------	---	---	--	---

4.11. Hallazgos clave del estudio

A partir de la revisión realizada, se identifican los siguientes hallazgos clave:

Primero, los biomarcadores oncológicos poseen valor clínico principalmente como herramientas complementarias, no como métodos diagnósticos únicos. En la mayoría de los cánceres revisados, su utilidad aumenta cuando se integran con estudios de imagen, biopsia, antecedentes clínicos y factores de riesgo.

Segundo, los biomarcadores tradicionales, como PSA, CEA, CA 15-3 y CA 19-9, presentan limitaciones importantes de sensibilidad y especificidad. Por ello, su uso debe orientarse más al seguimiento, pronóstico o apoyo clínico que al diagnóstico definitivo.

Tercero, los biomarcadores genéticos y moleculares, como BRCA1 y BRCA2, muestran un mayor potencial para la medicina personalizada, especialmente en cáncer de mama. Sin embargo, su implementación en América Latina requiere superar barreras de costo, acceso, infraestructura y disponibilidad de consejería genética.

Cuarto, algunos indicadores biológicos indirectos, como *Helicobacter pylori* en cáncer gástrico o los antecedentes familiares en cáncer colorrectal, tienen gran importancia para la prevención y detección temprana, especialmente en contextos donde no existen programas amplios de tamizaje molecular.

Quinto, la evidencia internacional revisada debe interpretarse con cautela en América Latina, debido a diferencias en sistemas de salud, acceso a tecnología, perfiles epidemiológicos y características poblacionales.

4.12. Síntesis y aportes del estudio

El aporte principal de este estudio consiste en integrar la evidencia disponible sobre biomarcadores oncológicos en cinco tipos de cáncer prevalentes, analizándola desde una perspectiva crítica y contextualizada para América Latina y Costa Rica.

A diferencia de una revisión meramente descriptiva, este análisis permite identificar que no todos los biomarcadores tienen el mismo nivel de utilidad clínica. Algunos son más pertinentes para seguimiento, otros para pronóstico, otros para identificación de riesgo hereditario y otros permanecen aún en etapa de investigación o validación.

Asimismo, el estudio aporta una lectura regional al señalar que la incorporación de biomarcadores no puede depender únicamente de los resultados obtenidos en países con sistemas de salud, infraestructura y perfiles epidemiológicos distintos. En América Latina, la utilidad de estos marcadores debe evaluarse junto con criterios de accesibilidad, costo-efectividad, equidad y capacidad institucional.

Para Costa Rica, los hallazgos sugieren la necesidad de priorizar biomarcadores con utilidad clínica comprobada, fortalecer rutas de detección temprana, mejorar el seguimiento de pacientes oncológicos y ampliar el acceso a pruebas especializadas en grupos de riesgo. También se recomienda promover investigaciones nacionales o regionales que validen el rendimiento de estos biomarcadores en poblaciones locales.

En conclusión, los biomarcadores oncológicos representan una herramienta valiosa para avanzar hacia una oncología más precisa y personalizada. Sin embargo, su implementación debe ser crítica, contextualizada y acompañada de políticas de salud que garanticen acceso oportuno, interpretación adecuada y equidad en la atención oncológica.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusión general

A partir de la revisión realizada, se concluye que los estudios analizados tienen como eje común la evaluación crítica de estrategias de detección temprana, seguimiento y pronóstico del cáncer mediante el uso de pruebas convencionales, biomarcadores tumorales, marcadores genéticos y factores de riesgo asociados.

Los trabajos revisados abordan distintos tipos de cáncer, entre ellos próstata, mama, colorrectal, estómago y pulmón. En conjunto, evidencian que los biomarcadores oncológicos pueden aportar información valiosa para la práctica clínica, especialmente cuando se utilizan como herramientas complementarias y no como pruebas diagnósticas únicas.

Asimismo, se observa una tendencia creciente hacia la medicina de precisión, en la cual la selección de pruebas diagnósticas y de seguimiento se orienta cada vez más por características individuales del paciente, riesgo genético, factores ambientales, antecedentes familiares y comportamiento biológico del tumor.

No obstante, los hallazgos también muestran que la utilidad de los biomarcadores depende de múltiples factores, como la sensibilidad, especificidad, disponibilidad tecnológica, costos, estandarización de los métodos y posibilidad de aplicación en contextos sanitarios concretos. Por esta razón, su incorporación en América Latina y Costa Rica debe realizarse de forma crítica, contextualizada y basada en evidencia científica sólida.

5.2. Ventajas identificadas en los estudios revisados

Una de las principales ventajas de los estudios analizados es su robustez metodológica. La mayoría corresponde a revisiones sistemáticas y metaanálisis, lo que permite reunir y comparar información procedente de múltiples investigaciones. Esto aporta una base científica más sólida para valorar la utilidad clínica de diferentes biomarcadores y estrategias de detección.

Otra ventaja importante es la comparación entre métodos diagnósticos tradicionales. Por ejemplo, los estudios sobre cáncer de próstata permiten valorar el uso

del antígeno prostático específico y el examen rectal digital, evidenciando tanto sus aportes como sus limitaciones. Este tipo de comparación resulta útil para orientar decisiones clínicas más informadas.

También destaca el enfoque en factores de riesgo. Algunas investigaciones revisadas, especialmente en cáncer colorrectal y cáncer gástrico, identifican factores epidemiológicos, genéticos y ambientales que pueden contribuir a la prevención, detección temprana y vigilancia de poblaciones con mayor riesgo.

Además, los estudios muestran avances en la aplicación de biomarcadores emergentes, como las células tumorales circulantes en cáncer de pulmón y las mutaciones BRCA1 y BRCA2 en cáncer de mama. Estos marcadores reflejan el avance hacia tecnologías diagnósticas menos invasivas y hacia un abordaje más personalizado del cáncer.

Finalmente, los trabajos revisados poseen relevancia clínica, ya que permiten comprender el valor potencial de los biomarcadores en el monitoreo de la enfermedad, la identificación de recurrencias, el pronóstico y la respuesta al tratamiento.

5.3. Limitaciones identificadas en los estudios revisados

A pesar del valor científico de los estudios analizados, se identifican limitaciones importantes. Una de las principales es la heterogeneidad metodológica entre los estudios primarios incluidos en las revisiones y metaanálisis. Existen diferencias en las poblaciones estudiadas, criterios diagnósticos, técnicas utilizadas, periodos de seguimiento y puntos de corte de los biomarcadores, lo que puede afectar la comparación y generalización de los resultados.

Otra limitación relevante es la falta de estandarización en el uso de algunos biomarcadores tumorales. En varios casos, no existe consenso suficiente sobre los valores de referencia, niveles de corte óptimos o indicaciones clínicas específicas para su uso rutinario. Esto limita su incorporación como herramientas de tamizaje o diagnóstico definitivo.

También se evidencia que algunos biomarcadores permiten mejorar la detección de ciertos tipos de cáncer, pero no necesariamente demuestran un impacto claro en la

reducción de la mortalidad. Este aspecto es especialmente relevante en el caso del PSA, donde la detección temprana puede asociarse con sobrediagnóstico, tratamientos innecesarios y posibles efectos adversos.

Asimismo, algunos estudios presentan poca representación de poblaciones latinoamericanas. Muchas investigaciones provienen de Asia, Europa o Estados Unidos, por lo que sus resultados no siempre pueden aplicarse directamente al contexto de América Latina o Costa Rica. Las diferencias en genética poblacional, infraestructura sanitaria, acceso a pruebas especializadas y organización de los sistemas de salud deben considerarse antes de adoptar sus conclusiones.

Finalmente, se observa evidencia limitada en poblaciones jóvenes, etapas tempranas de la enfermedad o grupos específicos de riesgo. Aunque algunos estudios comienzan a abordar el cáncer de inicio temprano, todavía se requiere mayor investigación para comprender mejor el comportamiento de los biomarcadores en estas poblaciones.

5.4. Síntesis final

En síntesis, los estudios revisados demuestran que los biomarcadores oncológicos representan herramientas valiosas para fortalecer el abordaje del cáncer, especialmente en el seguimiento, pronóstico, identificación de riesgo y orientación de decisiones clínicas.

Sin embargo, los biomarcadores no deben interpretarse de manera aislada. Su utilidad clínica depende de su integración con otros métodos diagnósticos, como estudios de imagen, biopsias, evaluación médica, antecedentes familiares y factores de riesgo individuales.

El análisis también permite reconocer que no todos los biomarcadores tienen el mismo nivel de utilidad. Algunos, como BRCA1 y BRCA2, poseen un alto valor en la identificación de riesgo hereditario y en la medicina personalizada. Otros, como CEA, CA 15-3, CA 19-9 o PSA, pueden ser útiles en seguimiento o apoyo clínico, pero presentan limitaciones importantes como pruebas diagnósticas únicas.

Desde el contexto latinoamericano y costarricense, el principal reto consiste en valorar la aplicabilidad real de estos biomarcadores, tomando en cuenta no solo la

evidencia científica internacional, sino también la disponibilidad de recursos, los costos, la capacidad instalada, el acceso equitativo y la pertinencia para la población local.

Por tanto, avanzar hacia una oncología más precisa requiere no solo incorporar nuevas tecnologías, sino también fortalecer los sistemas de salud, mejorar las rutas de detección temprana y promover investigaciones regionales que validen estos biomarcadores en poblaciones latinoamericanas.

5.5. Recomendaciones

Se recomienda fortalecer la investigación sobre biomarcadores oncológicos en poblaciones latinoamericanas, con el fin de generar evidencia más contextualizada y aplicable a las realidades epidemiológicas, sociales y sanitarias de la región.

Asimismo, se sugiere que el uso de biomarcadores se realice como complemento de otros métodos diagnósticos y no como herramienta única para confirmar o descartar cáncer. Su interpretación debe estar acompañada de valoración clínica, estudios de imagen, biopsias y análisis de factores de riesgo.

También se recomienda priorizar la implementación de biomarcadores con mayor respaldo científico y utilidad clínica comprobada, especialmente en aquellos casos donde puedan mejorar el seguimiento, el pronóstico o la identificación de pacientes con mayor riesgo.

En el caso de Costa Rica, sería pertinente fortalecer las rutas de detección temprana y seguimiento oncológico, considerando las capacidades del sistema de salud, las listas de espera, la disponibilidad de pruebas especializadas y las diferencias de acceso entre zonas urbanas y rurales.

Finalmente, se recomienda promover políticas de salud orientadas a la prevención, el diagnóstico temprano y la medicina personalizada, procurando que la incorporación de biomarcadores no aumente las desigualdades, sino que contribuya a una atención oncológica más oportuna, equitativa y basada en evidencia.

Referencias Bibliográficas

1. Altman, D. G., & Bland, J. M. (1994). Diagnostic tests 2: Predictive values. *BMJ*, 309(6947), 102. <https://doi.org/10.1136/bmj.309.6947.102>
2. Auffray, C. (2009). Genomic medicine: A paradigm shift. *Pharmacogenomics*, 10(1), 9–21. <https://doi.org/10.2217/14622416.10.1.9>
3. Ballehaninna, U. K. (2012). Biomarkers in cancer diagnosis. *Oncology*, 24(2), 98–105. <https://doi.org/10.1159/000329951>
4. Bárcenas, C. H. (2016). Desigualdades en el acceso a servicios de salud para el tratamiento del cáncer en América Latina. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 39(3), 134–140.
5. Bárcenes, M. E. (2016). Desigualdad en la atención del cáncer en América Latina: Un análisis de la accesibilidad y calidad de los servicios de salud. *Revista Latinoamericana de Cáncer*, 20(2), 95–102.
6. Baretta, Z., Mocellin, S., Goldin, E., Olopade, O. I., & Huo, D. (2016). Effect of BRCA germline mutations on breast cancer prognosis: A systematic review and meta-analysis. *Medicine*, 95(40), e4975. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000004975>
7. Berg, W. A., et al. (2012). Mammography and breast density: Challenges in clinical practice. *American Journal of Roentgenology*, 199(6), 1177–1184. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9094>
8. Brenner, H., & Hoffmeister, M. (2018). Effectiveness of screening for colorectal cancer: A systematic review. *Cancer Prevention Research*, 11(4), 203–210. <https://doi.org/10.1158/1940-6207.CAPR-17-0395>
9. Brown, P. H., et al. (2020). Prognostic biomarkers in cancer. *Journal of Clinical Oncology*, 38(6), 529–534.
10. Campuzano-Maya, G. (2010). Utilidad clínica de los marcadores tumorales. *Medicina & Laboratorio*, 16(9–10), 411–445.

11. Collins, F. S., Lander, E. S., Rogers, J., et al. (2003). Finishing the euchromatic sequence of the human genome. *Nature*, 431(7011), 931–945.
12. Cruz Tapia, M. (2008). Fundamento biológico y aplicación clínica de los marcadores tumorales séricos. *Revista de Ciencias de la Salud*, 6(2), 132–140.
13. Duff, M. J. (2010). Biomarkers in cancer: An overview. *Cancer Biomarkers*, 8(1), 1–5. <https://doi.org/10.3233/CBM-2010-0123>
14. Duff, M. J. (2010). Biomarkers in cancer diagnosis and treatment. *Cancer Biomarkers*, 9(3), 215–232.
15. Duffy, M. J., & Crown, J. (2019). Biomarkers in cancer diagnosis, prognosis, and treatment. *European Journal of Cancer*, 45(4), 733–741.
16. Escrig-Sos, J., & Martínez Ramos, D. (2006). Pruebas diagnósticas: Nociones básicas para su correcta interpretación y uso. *Cirugía Española*, 80(1), 3–12.
17. Evans, D. G. R., & Lalloo, F. (2021). Cancer risk management in BRCA1 and BRCA2 mutation carriers. *British Journal of Cancer*, 124(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41416-020-01168-w>
18. Faria, L., Silva, J. C., Rodríguez-Carrasco, M., Pimentel-Nunes, P., Dinis-Ribeiro, M., & Libânio, D. (2022). Gastric cancer screening: A systematic review and meta-analysis. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 57(10), 1178–1188. <https://doi.org/10.1080/00365521.2022.2068966>
19. Ferlay, J., et al. (2018). Cancer incidence and mortality worldwide: Sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2018. *International Journal of Cancer*, 144(8), 1791–1800. <https://doi.org/10.1002/ijc.31937>
20. Ferlay, J., Ervik, M., Lam, F., Colombet, M., Mery, L., Piñeros, M., Znaor, A., Soerjomataram, I., & Bray, F. (2025). Global Cancer Observatory: Cancer Today. International Agency for Research on Cancer. <https://gco.iarc.fr/today>

21. Ferlay, J., Ervik, M., Lam, F., Colombet, M., Mery, L., Piñeros, M., et al. (2020). Observatorio Mundial del Cáncer: Cancer Today. Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer. <https://gco.iarc.fr/today>
22. Gage, J. C., & Schiffman, M. (2014). Screening for cervical cancer: An update of the U.S. Preventive Services Task Force recommendation. *JAMA*, 312(15), 1560–1570. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.14600>
23. Gurel, B., & Drake, C. G. (2021). Prostate cancer biomarkers. *Current Urology Reports*, 22(10), 14. <https://doi.org/10.1007/s11934-021-01085-4>
24. Hagar, A. (2009). Colonoscopy in colorectal cancer screening. *Gastrointestinal Endoscopy Clinics of North America*, 19(3), 393–407.
25. Hagar, R. (2009). Colonoscopic screening for colorectal cancer. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 43(3), 20–27.
26. Hagggar, F. A., & Boushey, R. P. (2008). Colorectal cancer epidemiology: Incidence, mortality, survival, and risk factors. *Clinics in Colon and Rectal Surgery*, 21(4), 191–197. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1105974>
27. Hermida Lazcano, I., Tejero Sánchez, E., & Nerin Sánchez, M. (2016). Marcadores tumorales. *Revista Clínica Medicina Familiar*, 9(1), 31–42.
28. Hernández, J., & Thompson, I. M. (2004). Prostate-specific antigen: A review of the validation of the most commonly used cancer biomarker. *Cancer*, 101(5), 894–904. <https://doi.org/10.1002/cncr.20460>
29. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2021). Estadísticas de mortalidad 2021. San José, Costa Rica. <https://www.inec.cr>
30. International Agency for Research on Cancer (IARC). (2022). Cancer incidence in five continents. <https://www.iarc.who.int>
31. International Agency for Research on Cancer (IARC). (2022). Global Cancer Observatory. <http://geo.iarc.who.int>

32. Illic, D., Neuberger, M. M., Djulbegovic, M., & Dahm, P. (2018). Prostate cancer screening with prostate-specific antigen (PSA) test: A systematic review and meta-analysis. *BMJ*, 362, k3519. <https://doi.org/10.1136/bmj.k3519>
33. Jenkins, D., et al. (2025). The role of biomarkers in cancer treatment. *Journal of Clinical Oncology*, 43(2), 102–113.
34. Kahi, C. J., et al. (2015). Quality measures for colonoscopy: A review and future directions. *Gastroenterology*, 149(5), 1350–1366.
35. Kaurs, R. (2013). Development of new biomarkers for cancer diagnosis and prognosis. *Journal of Molecular Diagnostics*, 15(5), 789–802.
36. Li, X., & Liu, J. (2019). Biomarkers for early diagnosis of gastric cancer. *Journal of Cancer*, 10(4), 844–850. <https://doi.org/10.7150/jca.30859>
37. López-Bayghen, E., Martínez-Pérez, L., & Ramírez, A. (2020). Biomarcadores en cáncer: de la investigación básica a la práctica clínica. *Revista Médica del IMSS*, 58(2), 145–153.
38. Mandelblat, S. (2019). The limitations of cervical cytology in cancer screening. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 221(4), 402–409.
- 38b. Menéndez-Sánchez, P., & Villarejo, P. (2013). Marcadores tumorales en el cáncer colorrectal. *Cir Cir*, 81(3), 169-175.
39. Molina, R. (2002). Biomarkers in cancer diagnosis and prognosis. *Cancer Biomarkers*, 5(6), 329–338.
40. Molina, R. (2002). Utilidad clínica de los marcadores tumorales: presente y futuro. *Clínica e Investigación en Ginecología y Obstetricia*, 29(1), 1–7.
41. National Cancer Institute. (2021). Biomarkers and cancer treatment. <https://www.cancer.gov/about-cancer/diagnosis-staging/diagnosis/biomarkers>

42. National Cancer Institute (NCI). (2021). Tumor markers.
<https://www.cancer.gov/about-cancer/diagnosis-staging/diagnosis/tumor-markers-fact-sheet>
43. National Comprehensive Cancer Network. (2021). NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology: Prostate Cancer Early Detection (versión 3.2021).
https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/prostate.pdf
44. Passlick, B., & Choi, J. (2021). Lung cancer screening: Biomarkers and imaging. *Journal of Thoracic Disease*, 13(8), 4402–4414. <https://doi.org/10.21037/jtd-21-881>
45. Patterson, L. (2019). Biomarkers in cancer diagnosis. *Oncology Journal* 14(2), 59–68.
46. Personalized Medicine Coalition. (2009). The role of personalized medicine in the changing healthcare landscape (Policy Brief, pp. 1–12).
<https://www.personalizedmedicinecoalition.org>
47. Ploussard, G., & De la Taille, A. (2010). Urine biomarkers in prostate cancer. *Nature Reviews Urology*, 7(2), 101–109. <https://doi.org/10.1038/nrurol.2010.1>
48. Roulston, J. E. (1990). Analytical methods for the detection of biomarkers in cancer. *Cancer Detection and Prevention*, 14(3), 181–191.
49. Sánchez de Cos Escuín, J., & Hernández Hernández, J. (2004). Marcadores tumorales y cáncer de pulmón. ¿Qué hay de nuevo? *Archivos de Bronconeumología*, 40(Supl 6), 35–40. [https://doi.org/10.1016/S0300-2896\(04\)74002-3](https://doi.org/10.1016/S0300-2896(04)74002-3)
50. Sankaranarayanan, R., Basu, P., & Wesley, R. (2020). Screening for cervical cancer: Reducing mortality in low- and middle-income countries. *Journal of Global Oncology*, 6, 1–11. <https://doi.org/10.1200/JGO.20.00024>
51. Schrohl, A. S., Holten-Andersen, M. S., Sweep, F., et al. (2003). Tumor markers: From laboratory to clinical utility. *Molecular & Cellular Proteomics*, 2(6), 378–387. <https://doi.org/10.1074/mcp.M300067-MCP200>

52. Sierna-Arango, F. (2003). La sensibilidad y especificidad entendiendo su origen y utilidad real. *Revista Colombiana de Gastroenterología*, 18, 180–182.
53. Smith, R. A., Andrews, K. S., Brooks, D., Fedewa, S. A., Manassaram-Baptiste, D., Saslow, D., Brawley, O. W., & Wender, R. C. (2019). Cancer screening in the United States, 2019: A review of current American Cancer Society guidelines and current issues in cancer screening. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 69(3), 184–210.
<https://doi.org/10.3322/caac.21557>
54. Smith, R. A., et al. (2019). Breast cancer screening: A review of the evidence. *Journal of Clinical Oncology*, 47(12), 2921–2930.
<https://doi.org/10.1200/JCO.2029.20.1891>
55. Szabo, C. I., & King, M. C. (1997). Inherited breast and ovarian cancer. *American Journal of Human Genetics*, 60(5), 1011–1019.
56. Van Eyk, J., & Dunn, M. (Eds.). (2008). *Clinical proteomics: From diagnosis to therapy*. Wiley & Sons.
57. Velásquez, F. D. (2001). *Genómica y proteómica: Impacto clínico en cáncer*. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición “Salvador Zubirán”, Cirujano General, 33(Supl 1), enero–marzo. <http://www.medigraphic.org.mx>
58. Vivanco, F. (2009). *Genómica y medicina* (9.^a ed.). En *Biotecnología aplicada a la salud humana*. Universidad Complutense de Madrid.
59. Vizcaíno Salazar, G. (2002). Sensibilidad y especificidad. En *Medicina basada en la evidencia y análisis de diseño de investigación clínica* (pp. 57–71). Ediluz.
60. Wang, H. (2019). Biomarkers in cancer treatment and monitoring. *Cancer Research*, 79(5), 1021–1033.
61. Wang, J. (2019). New technologies for cancer biomarker detection and applications. *Journal of Cancer Research and Therapy*, 14(6), 2921–2927.
<https://doi.org/10.1016/j.jcanres.2019.05.0>

62. Zhao, Q., Yuan, Z., Wang, H., Zhang, H., Duan, G., & Zhang, X. (2021). Role of circulating tumor cells in diagnosis of lung cancer: A systematic review and meta-analysis. *Journal of International Medical Research*, 49(3), 0300060521994926. <https://doi.org/10.1177/0300060521994926>