

# Avances en diagnóstico temprano de cáncer testicular: integración de biomarcadores y técnicas de imagen

Advances in early diagnosis of testicular cancer: integration of biomarkers and imaging techniques

 <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v10.n1.2026.167-185>

**Recibido:** 10-09-2025    **Aceptado:** 11-12-2025    **Publicado:** 25-01-2026

Jacqueline Narciza Mera Chica<sup>1\*</sup>

 <https://orcid.org/0009-0003-4210-3841>

Silvana Noelia Campozano Pin<sup>2</sup>

 <https://orcid.org/0000-0001-7377-2720>

Steven Alexander Barreiro Vera<sup>3</sup>

 <https://orcid.org/0009-0007-9542-1826>

Juan Carlos Indio Zambrano<sup>4</sup>

 <https://orcid.org/0009-0008-3473-4885>

1. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí; Manta, Ecuador.

2. Universidad Estatal del Sur de Manabí; Jipijapa, Ecuador.

3. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí; Manta, Ecuador.

4. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí; Manta, Ecuador.

**Volumen:** 10

**Número:** 1

**Año:** 2026

**Paginación:** 167-185

**URL:** <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/1058>

**\*Correspondencia autor:** jacqueline.mera@uleam.edu.ec

## RESUMEN

El diagnóstico preciso del cáncer testicular (CT), una neoplasia común en hombres jóvenes, se está transformando mediante la integración de biomarcadores séricos y técnicas avanzadas de imagen. El objetivo principal de esta revisión bibliográfica es analizar los avances en el diagnóstico temprano del CT mediante la integración de biomarcadores séricos y técnicas de imagen, buscando identificar su impacto en la precisión diagnóstica y la detección precoz. La metodología consistió en una revisión bibliográfica de alto impacto utilizando bases de datos como PubMed y ScienceDirect, enfocada en la integración de biomarcadores y técnicas de imagen para el diagnóstico de cáncer testicular, y aplicando estrictos criterios de inclusión y exclusión de la literatura. Los hallazgos reafirman que la combinación de la ecografía (para la detección física de la masa) con los biomarcadores tradicionales (AFP, β-HCG, LDH, para la confirmación bioquímica y clasificación) es el estándar diagnóstico que permite evitar biopsias invasivas. Además, se exploran los avances emergentes, como el microRNA miR-371a-3p y las técnicas de imagen avanzadas (mpMRI, radiómica), cuyo potencial radica en refinar la clasificación histológica y mejorar la precisión en estadios tempranos. El principal desafío identificado es la necesidad urgente de estudios prospectivos y aleatorizados para validar e implementar clínicamente la integración de estas herramientas diagnósticas más allá del ámbito de investigación.

**Palabras clave:** Cáncer testicular, Diagnóstico temprano, Biomarcadores, Técnicas de imagen.

## ABSTRACT

The accurate diagnosis of testicular cancer (CT), a neoplasm common in young men, is being transformed by integrating serum biomarkers and advanced imaging techniques. The main objective of this literature review is to analyze the advances in the early diagnosis of CT by integrating serum biomarkers and imaging techniques, seeking to identify their impact on diagnostic accuracy and early detection. The methodology consisted of a high-impact literature review using databases such as PubMed and ScienceDirect, focusing on the integration of biomarkers and imaging techniques for the diagnosis of testicular cancer, and applying strict inclusion and exclusion criteria to the literature. The findings reaffirm that the combination of ultrasound (for physical detection of mass) with traditional biomarkers (AFP, β-HCG, LDH, for biochemical confirmation and classification) is the diagnostic standard to avoid invasive biopsies. In addition, emerging advances such as miR-371a-3p microRNA and advanced imaging techniques (mpMRI, radiomics) are explored, whose potential lies in refining histological classification and improving accuracy at early stages. The main challenge identified is the urgent need for prospective and randomized studies to clinically validate and implement the integration of these diagnostic tools beyond the scope of research.

**Palabras clave:** Testicular cancer, Early diagnosis, Biomarkers, Imaging techniques.



Creative Commons Attribution 4.0  
International (CC BY 4.0)

## **Introducción**

El cáncer testicular (CT) es una neoplasia maligna de los genitales masculinos que afecta principalmente a hombres jóvenes (Pang et al., 2025). A pesar de considerarse un tipo de cáncer relativamente raro, que representa aproximadamente el 1 % de todos los tipos, Bainomugisa et al (2025), menciona que el cáncer testicular es el cáncer más diagnosticado entre los hombres jóvenes (de 14 a 44 años) en América, Europa y Oceanía, y conlleva importantes consecuencias adversas tanto en el tratamiento como en el ámbito psicosocial.

Dentro del contexto de la práctica clínica, el diagnóstico temprano y oportuno es de vital importancia ya que se ha demostrado que un diagnóstico erróneo del estadio y el tipo de tumor testicular conlleva a riesgos de un tratamiento inadecuado con consecuencias posteriores (Honecker et al., 2018).

Los avances en el diagnóstico precoz del cáncer testicular se centran en la integración de biomarcadores y técnicas de imagen, que son fundamentales para mejorar los resultados de los pacientes y aumentar la obtención de una adecuada respuesta al tratamiento (Mehr et al., 2026). El cáncer testicular, sobre todo refiriéndose a los tumores de células germinativas testiculares (TGCT), es notable por la alta tasa de curabilidad que presenta siempre y cuando sea detectado temprano, pero los métodos de diagnóstico tradicionales a menudo son insuficientes, especialmente en enfermedades de estadio bajo o en etapas iniciales (Bainomugisa et al., 2025).

La identificación de biomarcadores validados y que son considerados como fiables, como la  $\alpha$ -fetoproteína (AFP) y la gonadotropina coriónica humana (hCG), junto con otros biomarcadores emergentes que incluyen biomarcadores moleculares como los microRNAs y el ADN tumoral circulante (ctDNA), han demostrado tener un gran potencial de orientar significativamente la precisión diagnóstica y las estrategias de vigilancia (Pang et al., 2025).

Las técnicas de imagen, incluyendo ultrasónico, tomografía computarizada (CT) y resonancia magnética (MRI), juegan un papel indispensable en la evaluación de masas testiculares y estadificación de la enfermedad. Los recientes avances en la tecnología de imágenes, como la IRM de imagen ponderada por difusión (DWI) y la radiómica, ofrecen una mejor diferenciación entre las lesiones benignas y malignas, ayudando así a la detección temprana del cáncer (Thomas et al., 2020).

La integración de las técnicas diagnósticas de imagen con datos de biomarcadores está transformando el diagnóstico y tratamiento (Mehr et al., 2026). Sin embargo, la ausencia de estudios aleatorizados que indaguen sobre este tipo de integraciones de técnicas diagnósticas sobre el cáncer testicular limita su validación e implementación en la práctica clínica (Pang et al., 2025). Por este motivo, la presente investigación tiene como propósito analizar los avances en el diagnóstico temprano del cáncer testicular mediante la integración de biomarcadores séricos y técnicas de imagen, con el fin de identificar su impacto en la precisión diagnóstica y en la detección precoz de tumores testiculares.

## **Metodología**

El presente artículo se llevó a cabo a través de una revisión basada en el análisis, recopilación y revisión de la bibliografía disponible utilizando bases de datos confiables como PubMed, ScienceDirect, Taylor & Francis y nature, para la búsqueda de información científica con alto impacto dentro de la evidencia en ciencias de la salud sobre los avances e integración de biomarcadores y técnicas de imagen en el diagnóstico temprano de cáncer testicular. El manejo y organización de la bibliografía se realizó por medio del gestor Mendeley, a partir de las palabras clave del título de la investigación se utilizaron los indicadores “Cáncer testicular, Diagnóstico temprano, Biomarcadores, Técnicas de imagen” obtenidas de los descriptores en Ciencias de la

Salud de la Organización Panamericana de la Salud (DeCS OPS) y combinándolos con buscadores Booleanos como “and, or, not”.

De esta forma se obtuvo una búsqueda inicial de 169 fuentes bibliográficas en inglés y español de la literatura científica (Tabla 1).

## Tabla 1.

### Búsqueda de bibliografía en las bases de datos

Bases de datos	Número de archivos obtenidos
Taylor and Francis	100
PubMed	2
ScienceDirect	58
nature	9
Total de artículos	169

Una vez realizada la búsqueda inicial se eliminaron duplicados, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión mencionados en la Tabla 2 y para validar la calidad y pertinencia de los artículos obtenidos se aplicaron los criterios desarrollados por

Garro et al. (Lobo et al., 2023) quienes publicaron la escala para Evaluar Artículos Científicos en Ciencias Sociales y Humanas (EACSH) obteniendo un total de 29 artículos de gran relevancia para el desarrollo de la presente investigación.

## Tabla 2.

### Criterios de inclusión y exclusión de la literatura

Criterios	Inclusión	Exclusión
Tipo de publicación	Revistas indexadas y con factor de impacto	Cartas al editor, resúmenes de congresos, editoriales
Antigüedad	Publicaciones de los últimos cinco años	Publicaciones anteriores a los últimos cinco años
Idioma	Inglés/español	Otros idiomas
Accesibilidad	Artículos de acceso libre	Artículos de pago no accesibles
Temática	Abordar aspectos sobre el diagnóstico de cáncer testicular	Artículos no relacionados a la temática

## Resultados

### Biomarcadores en el cáncer testicular

#### Resumen de los biomarcadores tradicionales

Los marcadores tumorales séricos clásicos en la actualidad representan un papel clave en el diagnóstico, el pronóstico y la vigilancia de pacientes con tumores de células germinativas testiculares (TCGT). Existen tres biomarcadores séricos clásicos los cuales son la  $\alpha$ -fetoproteína (AFP), la subu-

nidad beta de la gonadotropina coriónica humana (hCG) y la lactato deshidrogenasa (LDH), los cuales se utilizan comúnmente en la práctica clínica (Ujfaludi et al., 2024). Estos marcadores se ha demostrado que pueden ser elevados en un número bastante representativo de pacientes, ayudando a la identificación de más del 90% de los cánceres testiculares (Dittonno et al., 2023). Sin embargo, también se ha podido demostrar que su sensibilidad es limitada alcanzando aproximadamente el 50%, sobre todo al implementarla en aquellas enfermedades con

estadio bajo, con teratomas y seminomas puros, en donde a menudo es común que se produzcan falsos negativos en pacientes que en realidad presentan una enfermedad en estadio temprano o que presentan histologías que no suelen sobreexpresar este tipo de biomarcadores, como es el caso del teratoma y el seminoma (Sykes et al., 2024). Así mismo, también pueden llegar a observarse resultados de falsos positivos como resultado de otras afecciones benignas y malignas. La sensibilidad de la AFP, la  $\beta$ -hCG y la LDH, tanto de forma individual como combinada, es relativamente baja (Ditonno et al., 2023; Sykes et al., 2024; Malik et al., 2024).

## Biomarcadores emergentes

### **microRNA**

Dentro de los biomarcadores emergentes destacan biomarcadores como miR-371a-3p, miR-21, miR-29a y miR-106b debido a su alta sensibilidad que se encuentra entre un 84 a 93% y especificidad en un rango de 86-99%, estos resultados sin duda reflejan parámetros superiores a los biomarcadores clásicos y permiten potenciar el diagnóstico de tipo no invasivo y una mejor monitorización de la respuesta al tratamiento (Ditonno et al., 2023). El microRNA (miRNA) tiene un papel cada vez más relevante en el diagnóstico y manejo del cáncer testicular, especialmente en los tumores de células germinales testiculares (TGCT) (Sykes et al., 2024). Algunos miRNAs específicos, particularmente el miR-371a-3p, han mostrado ser biomarcadores altamente sensibles y específicos en este tipo de cáncer, superando a los tradicionales marcadores séricos como la alfafetoproteína (AFP), la beta gonadotropina coriónica humana ( $\beta$ -HCG) y la lactato deshidrogenasa (LDH) (Egan & Salari, 2023).

Una investigación reciente ha destacado el potencial de los microRNAs, especialmente miR-371a-3p, como biomarcadores emergentes en el manejo del cáncer testicular. Pero, a pesar de que estos biomarcadores

han demostrado ser altamente prometedores para mejorar los enfoques diagnósticos en varias etapas de este tipo de neoplasias, el miR-371a-3p aún continua siendo insensible hacia neoplasias como el teratoma, lo que indica la necesidad de una mayor investigación y validación (Feng et al., 2022)

### **ADN tumoral circulante y células tumorales circulantes**

Otros biomarcadores prometedores incluyen el ADN tumoral circulante (ctDNA) y las células tumorales circulantes (CTCs). El ctDNA consiste en fragmentos de ADN liberados por las células tumorales al torrente sanguíneo el cual ofrece sin lugar a duda un método no invasivo para la detección y el seguimiento del cáncer. Sin embargo aún se requieren y se necesitan más estudios para poder consolidar a estos biomarcadores en el diagnóstico y la vigilancia de las TGCT, ya que la mayoría de los datos actuales son retrospectivos y requieren una validación prospectiva antes de la adopción clínica (Milardi et al., 2019).

### **Otros biomarcadores emergentes**

Es importante tener en cuenta a la proteómica la cuál es un área que permite analizar el perfil completo de proteínas en tejidos, células, así como en fluidos biológicos. En el caso específico del cáncer testicular, se han identificado grupos de proteínas diferenciales mediante técnicas proteómicas que podrían servir como marcadores diagnósticos y así mismos pronósticos, aunque también se enfrentan a la falta de investigación para su validación clínica en la medicina moderna. Esta área también ayuda a comprender los mecanismos moleculares y a identificar las posibles dianas terapéuticas (Ghosh et al., 2024).

Por otro lado, los exosomas que consisten en vesículas extracelulares presentes en sangre, orina y otros fluidos, transportan proteínas, ácidos nucleicos y metabolitos que reflejan el estado tumoral. La proteómica y otras técnicas también permiten su

análisis y se ha mostrado que representan un gran potencial para poder obtener un diagnóstico temprano, oportuno y a su vez el monitoreo de diversos cánceres que incluyen tumores urológicos (Wang et al., 2020). Sin embargo, la mayoría de los avances clínicos se han centrado en cáncer de próstata y vejiga y la aplicación específica en cáncer testicular aún es poco suficiente (Salciccia et al., 2021).

Finalmente, la metabolómica a pesar de ser aún menos estudiada en cáncer testicular,

ha permitido identificar perfiles metabólicos alterados en otros tumores urológicos. Su integración con exosomas y proteómica podría conllevar a una mejora en la sensibilidad y especificidad diagnóstica, pero faltan estudios específicos y validaciones clínicas en cáncer de testículo (Fontoura et al., 2022).

En la tabla 3 se resumen las características de los principales biomarcadores utilizados en la práctica clínica actual, así como los de mayor interés investigativo para su validación por la medicina moderna.

### **Tabla 3.**

#### *Marcadores Moleculares y Séricos para el Cáncer Testicular*

<b>Marcador Biológico</b>	<b>Tipo de Marcador</b>	<b>Cáncer (Subtipo afectado)</b>		<b>Uso Principal</b>	<b>Clínico</b>	<b>Sensibilidad</b>	<b>Especificidad</b>
miR-371a-3p	Molecular (MicroRNA Sérico)	Tumores de Células Germinales (TCG) (Seminoma y No Seminoma)		Diagnóstico, Evaluación de Respuesta, Monitoreo de Recurrencia.		89 - 96	>90 - 95
Alfa-fetoproteína (AFP)	Sérica (Glucoproteína)	Tumores Seminoma	No	Diagnóstico, Estadificación, Seguimiento.		50 - 90	95 - 100
Gonadotropina Coriónica Humana (β-hCG)	Sérica (Hormona)	Coriocarcinoma, Seminoma, Seminoma	No	Diagnóstico, Estadificación, Seguimiento.		50 - 80	95 - 100
Lactato Deshidrogenasa (LDH)	Sérica (Enzima)	Enfermedad Avanzada/Gran Volumen		Pronóstico.		30 - 80	Baja (Inespecífico)
isocromosoma 12p (i(12p))	Molecular (Genético)	Tumores Células Germinales	de	Confirmación diagnóstica (en tejido o metástasis).		90 - 100	90 - 100

### **Técnicas de imagen en el diagnóstico del cáncer testicular**

Las técnicas de obtención de imágenes desempeñan un papel crucial en el diagnóstico y la gestión del cáncer testicular. En la actualidad se pueden emplear dentro de la práctica clínica cotidiana varias modalidades con el objetivo de visualizar la extensión de la enfermedad y evaluar la respon-

ta al tratamiento (Thomas et al., 2020). En la tabla 4 se resumen las características de las principales técnicas de imagen utilizadas en el diagnóstico de cáncer testicular.

**Tabla 4.**

*Sensibilidad y especificidad de las principales modalidades de imagen utilizadas en el diagnóstico de cáncer testicular*

Técnica de Imagen	Uso Principal	Clínico	Sensibilidad	Especificidad	Función
Ultrasonido (US) Doppler Color	Diagnóstico Primario de masa escrotal		~98 – 100%	~98 – 100%	Técnica de elección para confirmar la presencia de una lesión sólida intratesticular (altamente sospechosa de malignidad). Excelente para diferenciar lesiones intra vs. extratesticulares.
Tomografía Computarizada (TC)	Estadificación (Abdomen, Pelvis y Tórax)		65 – 96%	81 – 100%	Principal herramienta para detectar linfadenopatías retroperitoneales (metástasis ganglionares) y metástasis pulmonares. Su precisión disminuye en enfermedad limitada (ganglios pequeños).
Resonancia Magnética (RM)	Estadificación / Casos de Duda	Comparable a la TC	Comparable a la TC		Se utiliza principalmente en casos de resultados de TC poco claros, para evaluar tumores pequeños o para determinar la viabilidad tumoral residual después de la quimioterapia (especialmente RM testicular).
PET/TC con FDG	Reestadificación (principalmente Seminoma)	88% (Seminoma Residual)	~95% (Seminoma Residual)		Útil para evaluar masas residuales retroperitoneales después de la quimioterapia, sobre todo en el Seminoma (donde es más preciso que la TC para diferenciar tumor viable de necrosis/fibrosis). Menos útil en tumores No Seminoma.

### **Ultrasonido**

La ecografía ha demostrado tener una sensibilidad y especificidad superiores al 90 % para la detección de malignidad testicular en el contexto clínico adecuado. Estos no solo permite localizar aquellas masas palpables ya sean intratesticular o extratesticular, sino que también tiene otros beneficios como diferenciar las lesiones quísticas de las masas sólidas (Pang et al., 2025). La ecografía también es útil para evaluar lesiones que se encuentran ocultas a la exploración clínica sobre todo en pacientes con

enfermedad metastásica y para evaluar el testículo contralateral con el fin de descartar tumores bilaterales sincrónicos que, aunque son raros y se presentan en el 2% de los casos de seminoma (Bainomugisa et al., 2025). Esta técnica se caracteriza por utilizar ondas sonoras para producir imágenes del interior del cuerpo y puede ayudar a diferenciar entre condiciones benignas, como hidrocele o varicocele, y tumores sólidos que pueden indicar cáncer. En los casos en que se detecta una masa sólida se pueden estar justificadas más pruebas o inclusive cirugía (Thomas et al., 2020).

Dentro de esta técnica el ultrasonido Doppler es de gran importancia ya que puede complementar el estudio para evaluar el flujo sanguíneo en el testículo afectado ayudando a diferenciar entre tumores malignos y otras condiciones como torsión testicular. Aunque es muy efectivo para detectar la masa, el ultrasonido por sí solo no es concluyente para el diagnóstico definitivo de cáncer pudiendo ser necesario hacer pruebas adicionales las cuales incluyen análisis de marcadores tumorales en sangre o biopsias (Thomas et al., 2020).

De manera específica es típico que el seminoma testicular se presenta como una masa unilateral homogénea e hipoecoica en relación con el parénquima testicular circundante. Los espacios quísticos y las calcificaciones son características poco comunes, observándose solo en el 10-30 % de los seminomas. Por el contrario, los tumores de células germinales no seminomatosos (NSGCT) son más propensos a ser heterogéneos en ecogenicidad (Pierorazio et al., 2020).

Por otro lado, la calcificación y los componentes quísticos son frecuentes ya que se están presentando hasta en un 40 % de los pacientes y en algunos casos de tumor de células germinales solo se observa una pequeña lesión o calcificación y puede que no haya ninguna masa visible (Altunkurek & Altunkurek, 2020).

### **Tomografía computarizada (TC)**

Las tomografías computarizadas se utilizan con frecuencia para determinar la estadificación del cáncer testicular al identificar si se ha diseminado a los ganglios linfáticos, pulmones, hígado u otros órganos, además, se utiliza también para monitorear la respuesta al tratamiento y detectar recurrencias tumorales después de cirugía o quimioterapia (Magbanua et al., 2024).

Las guías de la Red Nacional Integral del Cáncer (NCCN) recomiendan la estadificación inicial tanto para los seminomas como para los tumores de células germinales no

seminomatosos (TCGNS) mediante una tomografía computarizada (TC) con contraste del abdomen y la pelvis (Pierorazio et al., 2020). Debido a las vías de drenaje linfático y venoso de estas estructuras se conoce que los cánceres testiculares suelen llegar a diseminarse a los ganglios linfáticos retroperitoneales, por lo que los ganglios linfáticos periaórticos suelen ser los primeros en presentar metástasis (Stephenson et al., 2024). De esta forma es como los tumores testiculares del lado derecho suelen metastatizar a los ganglios linfáticos aortocavos mientras que los tumores del lado izquierdo suelen presentar adenopatía periaórtica izquierda debido a que la vena gonadal derecha drena en la vena cava inferior y la vena gonadal izquierda drena en la vena renal izquierda (De Perrot et al., 2022).

### **Resonancia magnética**

Se prefiere la TC para visualizar el abdomen y la pelvis pero pueden complementarse con RM en algunos casos principalmente para los casos de pacientes en los que se necesita evitar la exposición a la radiación alta que genera la tomografía computarizada. La resonancia magnética es especialmente beneficiosa para examinar el cerebro o la columna cuando se sospecha metástasis y de esta forma se utiliza ocasionalmente para caracterizar de manera más exacta las lesiones cuando los resultados del ultrasonido no son considerados esclarecedores o para evaluar áreas mucho más específicas como el retroperitoneo sin radiación ionizante (De Perrot et al., 2022). La ventaja de la RM radica en su capacidad única para evaluar tumores según sus características en T1 y T2 lo que permite la diferenciación entre tejido blando, grasa y líquido. Además, el realce tumoral puede evaluarse mediante secuencias ponderadas en T1 pre y post contraste. La RM tiene la capacidad única de evaluar lesiones a un nivel más molecular mediante imágenes de difusión (Stephenson et al., 2024). Además, la RM puede ayudar a diferenciar masas intratesticulares de extratesticulares cuando

no se ha podido determinar la ubicación precisa del tumor mediante ecografía (Thomas et al., 2020)

### Técnicas avanzadas de obtención de imágenes

El diagnóstico mucho más preciso del cáncer testicular ha podido ver avanzado gracias a las técnicas de imagen como la resonancia magnética multiparamétrica (mpMRI), que integra secuencias funcionales tales como DWI, ADC, DCE) e incluso más recientemente se incluyen análisis radiomics e inteligencia artificial (IA). Estas herramientas optimizan el manejo clínico mejorando la diferenciación entre lesiones benignas y malignas y evitando cirugías innecesarias.

Estas nuevas técnicas de resonancia magnética con ponderación de difusión (DWI) han demostrado ser prometedoras para distinguir las masas testiculares malignas de las benignas, inclusive DWI MRI se evalúa mediante el cálculo de mapas del coeficiente de difusión aparente (ADC) que han podido proporcionar mayor información sobre la estructura celular y la densidad, con valores más bajos de ADC típicamente indicando tejidos cancerosos (Egan & Salari, 2023). Todas estas imágenes de difusión evalúan el movimiento aleatorio del agua en los tejidos biológicos y la señal está determinada por el movimiento del agua en el espacio extracelular, intracelular e intravascular (Törzsök et al., 2024). Existe una restricción de agua en el tejido la cual es inversamente proporcional a la celularidad del tejido y a la resistencia de las membranas celulares de tal forma que los tumores celulares sólidos muestran una alta intensidad de señal en las secuencias de difusión ponderada (Thomas et al., 2020).

Por otro lado, DCE (Dynamic Contrast-Enhanced MRI) analiza la perfusión tumoral mediante parámetros como Ktrans, Kep, iAUC y patrones de realce lo que la hace especialmente útil para caracterizar tumores pequeños y diferenciar lesiones benignas de malignas, aunque su valor diagnós-

tico mejora al combinarse con DWI (Jian et al., 2025).

Finalmente, recientemente se ha implementado tecnologías como Radiomics e Inteligencia Artificial. Radiomics extrae características cuantitativas de imágenes (DWI, ADC, DCE, T2) y combinadas con modelos de machine learning logran reflejar una mejora en la predicción de malignidad. Los modelos combinados clínico-radiomics han mostrado una alta precisión diagnóstica (AUC hasta 0.93) en la diferenciación de lesiones testiculares (Zafar et al., 2025). Mientras que, en cuanto a la inteligencia artificial, el uso de algoritmos de aprendizaje automático sobre datos radiomics permite construir modelos predictivos robustos, facilitando la toma de decisiones clínicas y la personalización del tratamiento (Törzsök et al., 2024; Zafar et al., 2025)..

### Tomografía por emisión de positrones (PET)

La PET/TC con F18-FDG tiene una sensibilidad similar o ligeramente superior a la de la TC para la estadificación del cáncer testicular. En algunos casos se ha demostrado que la PET/TC con F18-FDG modifica la estadificación inicial del paciente basada en la TC en ocasiones aumentando el estadio y en otras disminuyendo (Egan & Salari, 2023).

Las exploraciones PET son útiles para identificar pequeñas colecciones de células cancerosas especialmente después de los procedimientos de quimioterapia para determinar si los ganglios linfáticos incrementados de volumen contienen cáncer o tejido cicatricial. Las exploraciones PET tienden a ser más eficaces para los seminomas en comparación con los no seminomas y algunas instalaciones ofrecen exploraciones PET/CT combinadas lo que permite a los médicos comparar las áreas de radioactividad aumentada con imágenes anatómicas detalladas de la exploración CT (Thomas et al., 2020).

Sin embargo, las guías clínicas publicadas actualmente no recomiendan el uso de la PET/TC con F18-FDG en el estudio diagnóstico de masas escrotales ni en la estadiificación inicial de pacientes diagnosticados con cáncer testicular (Thomas et al., 2020).

### Pruebas de marcadores tumorales

Junto con las imágenes, los análisis de sangre para detectar marcadores tumorales como la alfa-fetoproteína (AFP) y la gonadotropina coriónica humana (hCG) pueden indicar la presencia de tumores testiculares (Stephenson et al., 2024). Las células tumorales circulantes (CTC) pueden encontrarse en el suero de pacientes con tumores sólidos y así mismo tienen el potencial de generar metástasis, inclusive un estudio detectó CTC en el 11,5 % al 17,5 % de los pacientes con tumores de células germinales (TCG), sin embargo, una proporción mayor de pacientes con cáncer metastásico presentaba CTC detectables (Altunkurek & Altunkurek, 2020). Por este motivo, la dificultad con las CTC radica en su identificación. Así mismo, se han estudiado diversos marcadores proteicos para identificarlas, pero han mostrado una sensibilidad generalmente baja ya que es inferior al 60 % y cuando se detecan, las CTC no siempre se asocian con la carga tumoral por lo que estos problemas en conjunto con las dificultades en la detección y el aislamiento de las CTC limitan su utilidad clínica como biomarcador de TCG (Stephenson et al., 2024).

### Integración de biomarcadores e imágenes

La integración de biomarcadores y técnicas avanzadas de imagen desempeña un papel crucial en el mejoramiento del diagnóstico precoz del cáncer testicular lo que conduce a mejores resultados para los pacientes y enfoques de tratamiento adaptados. Al aprovechar las fortalezas de los biomarcadores y la imagen, los médicos pueden desarrollar vías diagnósticas más precisas que vayan más allá de los métodos tradicionales unidimensionales (Chuluunbaatar et al., 2023).

### Papel de los biomarcadores en el diagnóstico

Los biomarcadores sirven como indicadores esenciales de la presencia y de la progresión del cáncer, permitiendo la detección temprana y el manejo del cáncer testicular. Estas moléculas biológicas se pueden encontrar no solo en la sangre, sino que también en la orina y en los tejidos proporcionando información valiosa sobre las características moleculares de los tumores (Cicatiello et al., 2025). Los biomarcadores notables en el cáncer testicular incluyen la gonadotropina coriónica humana (hCG) y la alfa-fetoproteína (AFP) que son instrumentales en la estimación del riesgo, el cribado y el monitoreo de la situación de la enfermedad (Singla et al., 2025). El uso de estos marcadores no solo ayuda en el diagnóstico temprano, sino que también ayuda a determinar opciones terapéuticas apropiadas basadas en los resultados clínicos previstos (Cicatiello et al., 2025)

### Avances en técnicas de obtención de imágenes

Los recientes avances en la tecnología de imágenes médicas, como las imágenes digitales y la tomografía multimodal han mejorado significativamente el proceso de diagnóstico del cáncer testicular (Singla et al., 2025). Estas tecnologías facilitan la estandarización de la ejecución del diagnóstico y permiten evaluaciones integrales a través de protocolos y hardware innovadores (Cicatiello et al., 2025). La obtención de imágenes desempeña un papel vital en la evaluación del alcance de la enfermedad y en la orientación de las decisiones de tratamiento, así como también en el seguimiento de las respuestas a la terapia (Stephenson et al., 2024). A medida que las técnicas de obtención de imágenes sigan evolucionando su integración con los datos de los biomarcadores mejorará la precisión y la eficiencia del diagnóstico del cáncer (Thomas et al., 2020).

## **Combinación clínica de biomarcadores tradicionales y técnicas de imagen**

La investigación en curso sobre la combinación de perfiles de biomarcadores con imágenes avanzadas e inteligencia artificial está transformando el panorama del diagnóstico del cáncer testicular (Singla et al., 2025). Mediante la integración de estas dos áreas diagnósticas los estudios clínicos buscan la creación de algoritmos de diagnóstico personalizados que faciliten una detección temprana y estrategias de tratamiento más precisas. Así mismo, se aspira que la aplicación de enfoques multiómicos impulsados por IA perfeccione aún más las vías diagnósticas, aunque siguen existiendo desafíos en la validación de estas herramientas a través de ensayos clínicos a gran escala (Cicatiello et al., 2025). El uso simultáneo y combinado de biomarcadores con imágenes no solo representa una gran mejora la precisión del diagnóstico, sino que también apoya el desarrollo de intervenciones terapéuticas menos invasivas y más eficaces que es lo que se busca en la atención médica (Chuluunbaatar et al., 2023).

### **Biomarcadores tradicionales con ecografía**

El diagnóstico preciso y efectivo del cáncer testicular es un proceso que se ha optimizado gracias a la combinación estratégica de los biomarcadores tumorales tradicionales y la ecografía o ultrasonido que como ya se mencionó con anterioridad no solo mejora la exactitud diagnóstica, sino que también orienta la estrategia terapéutica.

Por un lado, los biomarcadores tumorales tradicionales ofrecen una evidencia bioquímica invaluable. Los principales utilizados son la alfafetoproteína (AFP), la beta gonadotropina coriónica humana ( $\beta$ -HCG) y el lactato deshidrogenasa (LDH) (Marroncelli et al., 2025). La elevación de AFP y  $\beta$ -HCG es fundamental ya que permite la diferenciación principalmente entre los tipos tumorales: los seminomas suelen elevar el  $\beta$ -HCG sin afectar significativamente la AFP mientras que los tumores no seminomas a

menudo muestran elevaciones de ambos. La LDH por su parte a pesar de ser menos específica de igual manera es un marcador útil para evaluar la extensión o la actividad general del tumor por lo que estos marcadores ofrecen información sobre la presencia y el tipo de tumor, y son indispensables para monitorizar la respuesta al tratamiento y sobre todo la detección de recaídas.

Por otro lado, la ecografía es la herramienta de imagen de elección y la primera prueba recomendada ante la sospecha de una masa y es debido a su alta sensibilidad que le permite proporcionar imágenes detalladas del testículo, siendo capaz de distinguir lesiones sólidas que tienen un potencial maligno de lesiones quísticas o benignas sentando así la base anatómica de la sospecha (De Perrot et al., 2022).

La verdadera potencia diagnóstica reside en la combinación de ambas técnicas. La ecografía detecta la anomalía física con precisión y si a esta se le suma la evidencia bioquímica de la elevación de AFP o  $\beta$ -HCG la certeza diagnóstica de un tumor maligno se fortalece drásticamente (De Perrot et al., 2022). Esta integración es tan efectiva que a menudo permite evitar biopsias invasivas iniciales que podrían diseminar el cáncer (-Magbanua et al., 2024). En su lugar, la combinación permite proceder con un plan de tratamiento definitivo. Además, los biomarcadores no solo confirman la malignidad, sino que ayudan a clasificar el cáncer (seminoma frente a no seminoma), lo cual es determinante para definir el enfoque terapéutico (Pierorazio et al., 2020). Finalmente, esta doble aproximación es igualmente útil en el seguimiento post-tratamiento para la detección temprana y precisa de cualquier recurrencia de la enfermedad (Pang et al., 2025).

### **Combinación de $\beta$ -hCG y ecografía:** La combinación de la medición de la beta-hormona gonadotropina coriónica humana ( $\beta$ -hCG) y la ecografía escrotal constituye el estándar diagnóstico inicial en la evaluación de sospecha de cáncer testicular es-

pecialmente de tumores de células germinales (Marroncelli et al., 2025). La ecografía escrotal es altamente sensible y específica (>90%) para detectar lesiones testiculares malignas permitiendo distinguir entre aquellas masas que son benignas y aquellas masas que son malignas, así como caracterizar el tipo de tumor que incluye la diferenciación entre seminoma y no seminoma según sus patrones ecográficos que a su vez incluyen que los seminomas suelen ser homogéneos y pueden presentar calcificaciones o espacios quísticos mientras que los tumores no seminomatosos tienden a ser más heterogéneos y con componentes sólidos-quísticas (Chavarriaga et al., 2025).

La determinación sérica de  $\beta$ -hCG es fundamental como marcador tumoral. La  $\beta$ -hCG puede estar elevada tanto en seminomas como en tumores no seminomatosos pero su sensibilidad varía según el tipo histológico y el estadio (Marroncelli et al., 2025). En el caso de los seminomas la medición específica de la subunidad beta libre ( $\text{hCG}\beta$ ) es superior a la medición de hCG total ya que hasta el 40-83% de los pacientes con seminoma presentan elevación aislada de  $\text{hCG}\beta$  mientras que la hCG total puede ser negativa en una proporción significativa de estos casos. En tumores no seminomatosos ambos marcadores pueden estar elevados pero la combinación de hCG y  $\text{hCG}\beta$  mejora la sensibilidad diagnóstica y permite una mejor correlación con el estadio y el tamaño tumoral (Chavarriaga et al., 2025).

La utilidad clínica de estos marcadores radica no solo en el diagnóstico inicial, sino también en el seguimiento y la detección de recurrencias donde la medición simultánea de hCG y  $\text{hCG}\beta$  permite identificar recaídas tempranas que podrían pasar desapercibidas si solo se mide uno de los marcadores. En este punto es importante señalar que la elevación de  $\beta$ -hCG no es exclusiva de los tumores testiculares ya que puede observarse en otras condiciones por lo que siempre debe interpretarse en el contexto clínico y radiológico (Chavarriaga et al., 2025; Marroncelli et al., 2025).

Otros marcadores séricos en combinación con ecografía: La combinación de la medición de lactato deshidrogenasa (LDH) y alfafetoproteína (AFP) con la ecografía escrotal mejora la evaluación diagnóstica inicial del cáncer testicular especialmente en tumores de células germinales. La ecografía escrotal es altamente sensible y específica para detectar masas testiculares y diferenciar entre lesiones benignas y malignas, pero no permite la caracterización histológica ni la estadificación tumoral (Bobrowski et al., 2022).

La medición de AFP y LDH contribuye con valiosa información complementaria relevante ya que la AFP es un marcador específico para tumores no seminomatosos como el tumor del saco vitelino y el carcinoma embrionario, pero no se eleva en seminomas puros (De Perrot et al., 2022). Por lo tanto, la elevación de AFP en presencia de una masa testicular sugiere fuertemente un componente no seminomatoso. Sin embargo, la AFP puede elevarse en otras patologías hepáticas y gastrointestinales lo que limita su especificidad (Bobrowski et al., 2022).

Mientras que el LDH a pesar de ser menos específico y sensible que AFP y  $\beta$ -hCG se asocia con el volumen tumoral y la proliferación celular y puede estar elevado tanto en seminomas como en tumores no seminomatosos (Bobrowski et al., 2022).

Nuevos biomarcadores en combinación con ecografía: El uso de biomarcadores en el cáncer testicular es parte integral de la medicina personalizada ya que estos biomarcadores como los miARN circulantes han demostrado ser más específicos y constantes en tumores de células germinales testiculares, aunque su uso clínico aún está en evaluación y no está plenamente sistematizado (Magbanua et al., 2024).

De tal manera que, no solo ayudan en el diagnóstico precoz y la supervisión del tratamiento, sino que también mejoran la comprensión del comportamiento tumoral y

la respuesta a las terapias. A medida que avanza la investigación, la integración de estos biomarcadores emergentes con los métodos diagnósticos tradicionales, como el ultrasonido, podría mejorar significativamente los resultados para los pacientes con cáncer testicular (Ghosh et al., 2024).

### **Biomarcadores en combinación con técnicas de resonancia magnética**

En el diagnóstico de cáncer testicular la combinación de biomarcadores séricos y técnicas avanzadas de RM está mostrando un avance significativo. Los biomarcadores clásicos ya mencionados tienen sensibilidad limitada especialmente en seminomas y teratomas (Chuluunbaatar et al., 2023).

Los microARNs especialmente el miR-371a-3p han demostrado sensibilidad y especificidad superiores al 90% para la detección de tumores germinales testiculares superando de manera considerable y significativa a los marcadores tradicionales y correlacionando de manera óptima con estadio, volumen tumoral y respuesta al tratamiento e incluso otros microARNs como miR-21, miR-29a y miR-106b también han mostrado utilidad diagnóstica en enfermedad metástatica (Singla et al., 2025).

Por otro lado, la RM multiparamétrica, que incluye secuencias T2, difusión (DWI/ADC) y contraste dinámico permite diferenciar lesiones benignas de malignas y discriminar subtipos histológicos ya mencionados con alta precisión (Egan & Salari, 2023). El análisis radiómico de imágenes de RM mediante algoritmos de machine learning también ha alcanzado valores de sensibilidad y especificidad superiores encontrándose entre un rango de 85 a 90% para la diferenciación de tumores germinales y no germinales, así como entre seminomas y no seminomas. La integración de características radiómicas con variables clínicas mejora aún más la precisión diagnóstica ( $AUC > 0.93$ ) (Jian et al., 2025; Salciccia et al., 2021).

### **Consolidación de la ventaja clínica de combinación de técnicas diagnósticas**

La evolución del diagnóstico en el cáncer testicular se fundamenta en la integración de la evidencia bioquímica, radiológica y molecular ya que, aunque los marcadores séricos clásicos como AFP, bhCG y LDH siguen siendo esenciales para el diagnóstico su sensibilidad y especificidad son limitadas especialmente en seminomas puros (Feng et al., 2022).

La integración de estos biomarcadores con las técnicas de imagen axial es crucial logrando incrementar significativamente la sensibilidad diagnóstica del 38-41% al 59-60% en estadios tempranos por lo que la investigación de vanguardia refuerza esta multimodalidad con herramientas de alta precisión (Stephenson et al., 2024).

Los modelos de Radiomics e Inteligencia Artificial (IA) al integrar datos clínicos con características radiológicas mediante machine learning han demostrado una capacidad predictiva superior para metástasis ganglionares, superando los métodos convencionales. Además, la IA aplicada a la patología digital ha alcanzado una sensibilidad del 100% y una especificidad del 92% en la diferenciación de subtipos histológicos (Cicatiello et al., 2025).

Paralelamente, los biomarcadores moleculares como ofrecen una vía no invasiva con sensibilidad del 84-89% y especificidad de hasta el 99% superando consistentemente a los marcadores tradicionales para el diagnóstico, la monitorización de respuesta y la detección temprana de recaídas por lo que todos estos avances junto con las promesas de la proteómica y la genómica están sentando las bases de una nueva era diagnóstica (Chuluunbaatar et al., 2023).

Además, es importante mencionar que las recomendaciones de consenso y guías internacionales (AUA, ESMO) ya establecen la integración de la imagen axial y los mar-

cadadores séricos como el estándar para estadificación y seguimiento. No obstante, reconocen el valor de las técnicas avanzadas reservándolas para los casos seleccionados o entornos de investigación (De Perrot et al., 2022). En esencia, la combinación de métodos no solo mejora la estratificación del riesgo y optimiza la vigilancia, sino que permite evitar tratamientos innecesarios lo que resulta en un manejo más eficaz y menos tóxico especialmente en los estadios iniciales (Fontoura et al., 2022).

La integración de las técnicas más avanzadas no es solo una mejora de la sensibilidad o especificidad ya que representa un cambio hacia la toma de decisiones individualizada. Por ejemplo, el uso combinado de miR-371a-3p con el análisis radiómico de la mpMRI permite una monitorización post-orquiectomía más precisa en pacientes con tumores de bajo riesgo potencialmente reduciendo la necesidad de quimioterapia o radioterapia adyuvante (Ghosh et al., 2024).

A pesar de la promesa de los biomarcadores emergentes y la IA, la ecografía y los biomarcadores tradicionales siguen siendo la base de la práctica clínica estandarizada que se puede evidenciar según guías de organizaciones líderes (De Perrot et al., 2022). Los nuevos enfoques avanzados están actualmente recomendados solo en ensayos clínicos o centros especializados subrayando la necesidad de validación de nivel de evidencia 1 para su adopción generalizada (Ghosh et al., 2024).

La tabla 5 presenta una descripción jerárquica de las herramientas diagnósticas utilizadas en el cáncer testicular clasificándolas en cuatro niveles según su rol clínico y su estado de implementación.

El Nivel 1 corresponde al Estándar Básico que es la combinación de la Ecografía con la medición de AFP y  $\beta$ -HCG teniendo como propósito principal la Detección Inicial y la clasificación presuntiva del tumor siendo

fundamental para guiar la necesidad inmediata de intervención quirúrgica (Magbanua et al., 2024).

El Nivel 2 por su parte se centra en la estadificación, donde la Tomografía Computarizada (TC) es la herramienta clave en la que su objetivo es evaluar la extensión de la enfermedad (metástasis ganglionares o a distancia) para determinar la estrategia terapéutica que incluye vigilancia, quimioterapia o cirugía (Pierorazio et al., 2020).

Por otro lado, el Nivel 3 abarca las técnicas avanzadas y especializadas, incluyendo la RM Multiparamétrica (mpMRI) con Radiómica y el biomarcador miR-371a-3p las cuales se utilizan para la caracterización de lesiones ambiguas y la monitorización personalizada de casos de bajo riesgo permitiendo reducir tratamientos adyuvantes innecesarios (De Perrot et al., 2022).

Finalmente, el Nivel 4 representa la investigación y el futuro del diagnóstico englobando biomarcadores como el ctDNA y los modelos predictivos basados en IA. Su potencial se dirige hacia la detección de recidiva subclínica y la predicción de respuesta a terapia buscando personalizar aún más la vigilancia y el tratamiento (Ghosh et al., 2024; Wang et al., 2020).

**Tabla 5.**

*Jerarquía actual y valor clínico de las técnicas diagnósticas*

Niveles	Herramientas Clave	Propósito Clínico Principal	Impacto en la Decisión
<i>Nivel 1: Estándar Básico</i>	Ecografía y AFP / $\beta$ -hCG	Detección Inicial y Clasificación Presuntiva (Seminoma vs. No Seminoma).	Guía la necesidad inmediata de orquiectomía y el plan de tratamiento inicial.
<i>Nivel 2: Estadificación</i>	Tomografía Computarizada (TC)	Estadificación de la Enfermedad (evaluación de metástasis ganglionares y a distancia).	Determina la extensión del tumor y define la estrategia terapéutica (vigilancia, quimioterapia o cirugía).
<i>Nivel 3: Avanzado</i>	RM Multiparamétrica	Caracterización de Lesiones Ambiguas y Monitorización Personalizada de bajo riesgo.	Permite diferenciar lesiones ambiguas o reducir la necesidad de tratamiento adyuvante en casos seleccionados.
<i>Nivel 4: Investigación Futuro</i>	ctDNA más IA (Modelos Predictivos)	Detección de Recidiva Subclínica y Predicción de Respuesta a Terapia.	Potencial para sustituir pruebas invasivas o radiación en el futuro y personalizar la vigilancia.

**Desafíos y orientaciones futuras**

La integración de los biomarcadores y las técnicas de obtención de imágenes en el diagnóstico precoz del cáncer testicular se enfrenta a varios retos importantes que deben abordarse para optimizar los resultados clínicos (Stephenson et al., 2024).

Uno de los principales obstáculos es la "brecha traslacional" que principalmente hace referencia a aquella dificultad que ocurre al momento de llevar los prometedores descubrimientos desde los entornos de investigación a herramientas clínicas prácticas y esta laguna se genera o deriva sobre todo de la necesidad crítica de estudios prospectivos y multicéntricos más amplios para validar los resultados iniciales ya que la mayoría de los estudios existentes han sido retrospectivos y a menudo utilizan procesos internos de validación (Ditonno et al., 2023).

Existe una necesidad urgente de validación externa para comprender mejor el rendimiento real de estas herramientas de diag-

nóstico en escenarios clínicos diversos por lo que la comunidad científica debe enfocarse en generar evidencia proveniente de ensayos clínicos aleatorizados o revisiones sistemáticas de alta calidad para que las guías clínicas puedan adoptar formalmente los nuevos biomarcadores y métodos de imagen (Sykes et al., 2024).

Otro desafío significativo radica en la estandarización y la complejidad de los datos. La incorporación de enfoques multiómicos (que combinan diversos tipos de datos biológicos como genómica, proteómica, miR-RNAs e imágenes) se encuentra todavía en estapas demasiado iniciales como para poder ser consideradas (Chuluunbaatar et al., 2023).

Se requiere un trabajo considerable para desarrollar protocolos rigurosos y estandarizados que puedan integrar con fiabilidad estas diversas fuentes de datos para una identificación eficaz de los biomarcadores y que se encuentren adecuadamente validados por la medicina basada en evidencia

(Ditonno et al., 2023). Además, la complejidad de estas metodologías y los algoritmos de IA puede dificultar su adopción en la práctica médica cotidiana ya que las herramientas clínicas actuales a menudo no están equipadas con la infraestructura informática necesaria para manejar las enormes cantidades de datos generados por la Radiómica o la mpMRI (Pang et al., 2025).

Finalmente, un desafío crucial es la accesibilidad equitativa de las tecnologías avanzadas de diagnóstico especialmente en entornos con pocos recursos (Bainomugisa et al., 2025). Sobre todo, en países de bajos ingresos en los que los pacientes tienen menos probabilidades de recibir diagnósticos adecuados o acceder a técnicas sofisticadas como el miR-371a-3p o la mpMRI lo que afecta significativamente las tasas de supervivencia y los resultados generales.

Los esfuerzos para mejorar la alfabetización sanitaria entre la población y fortalecer las infraestructuras sanitarias básicas (incluyendo el acceso a ecografía y TC de calidad) por no mencionar técnicas más avanzadas como la resonancia magnética son esenciales para facilitar las estrategias de detección temprana y garantizar que los avances de la investigación beneficien a diversas poblaciones (Pang et al., 2025; Honecker et al., 2018).

## Discusión

Existe una marcada limitación de los biomarcadores tradicionales (AFP,  $\beta$ -HCG) en los seminomas puros y los teratomas, que a menudo arrojan resultados falsos negativos en estadios tempranos (Chavarriaga et al., 2025). El hallazgo de que el miR-371a-3p supera a estos marcadores, aunque con la excepción del teratoma que aún constituye el avance más significativo. Este miR-NA no solo ofrece un método de diagnóstico no invasivo, sino que en combinación con la imagen reduce la incertidumbre diagnóstica para los tumores NSGCT que son AFP/ $\beta$ -HCG negativos (Ghosh et al., 2024). Este hecho obliga a replantear el algoritmo diag-

nóstico y pensar que en el futuro un resultado de miR-371a-3p positivo en un paciente con masa testicular independientemente de la negatividad de AFP y  $\beta$ -HCG podría ser suficiente para indicar la cirugía (Singla et al., 2025).

A pesar de que la tomografía computarizada (TC) sigue siendo el estándar de oro para la estadificación de las metástasis retroperitoneales la revisión revela un contraste crucial ya que la Radiómica y la Inteligencia Artificial (IA) están demostrando ser superiores en la predicción de la afectación ganglionar con AUC de hasta 0.95 (Chuluunbaatar et al., 2023). Esto sugiere que la TC convencional ya no es suficiente como método de estadificación final, por lo que el análisis más profundo radica en que la combinación de IA y Radiómica sobre las imágenes de RM o TC busca cuantificar la microheterogeneidad tumoral no visible al ojo humano ofreciendo una estratificación de riesgo más precisa que podría justificar la omisión o escalada selectiva de la linfoadenectomía retroperitoneal (Chuluunbaatar et al., 2023; Cicatiello et al., 2025).

El análisis más profundo debe vincular la integración multimodal con el objetivo de la medicina personalizada. La combinación de mpMRI, miR-371a-3p y Radiómica tras la orquiektomía no solo sirve para el diagnóstico, sino que tiene un profundo impacto en la vigilancia activa. La alta especificidad de estos métodos puede permitir a los oncólogos diferenciar con mayor confianza entre tejido cicatricial posquimioterapia y tumor residual activo (un reto constante con el TC y PET) reduciendo la necesidad de procedimientos invasivos o tratamientos sistémicos adicionales innecesarios, lo que se traduce en una mejora significativa en la calidad de vida a largo plazo de los supervivientes.

## Conclusiones

La presente revisión bibliográfica confirma que el diagnóstico temprano y preciso del cáncer testicular (CT) ha evolucionado significativamente pasando de la dependencia

exclusiva de la clínica y la imagen hacia la estrategia diagnóstica de precisión basada en la integración de datos.

Se concluye que la combinación simultánea de la ecografía como herramienta de detección anatómica inicial con la medición de los biomarcadores séricos tradicionales que incluyen a la AFP, la  $\beta$ -HCG y la LDH constituye el pilar fundamental del diagnóstico actual siendo crítica para la clasificación presuntiva del tipo histológico antes de la cirugía y para disminuir el riesgo de biopsias invasivas innecesarias. Además, esta doble aproximación es indispensable para el seguimiento y la detección precoz de recurrencias, en donde la alteración bioquímica suele preceder a la evidencia radiológica.

Los avances en la investigación molecular y radiológica están redefiniendo el futuro del diagnóstico destacando que los biomarcadores emergentes particularmente el microRNA miR-371a-3p que demuestran una sensibilidad y especificidad superiores para los tumores de células germinales lo que indica gran capacidad y potencial para mejorar la detección en estadios tempranos. De igual manera, la aplicación de la Resonancia Magnética Multiparamétrica (mpMRI) y el análisis de Radiómica e Inteligencia Artificial (IA) están mejorando la capacidad para caracterizar y diferenciar lesiones con mayor precisión.

Finalmente, esta revisión identifica la validación externa como el principal obstáculo para la implementación generalizada de estas nuevas tecnologías surgiendo la priorización de la investigación prospectiva y aleatorizada para validar el rendimiento clínico de estos modelos integrados y garantizar su adopción segura y efectiva en la práctica clínica diaria.

## Bibliografía

Altunkurek, S. Z., & Altunkurek, S. Z. (2020). Testicular cancer and the importance of early diagnosis. En A. J. Wein (Ed.), *Male Reproductive Health*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.89234>

Bainomugisa, C. K., Dasgupta, P., Cameron, J. K., Tran, B., Cramb, S. M., & Baade, P. D. (2025). Spatial patterns of testicular cancer diagnosis in Australia, 2010–2019. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*, 55, Artículo 100745. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2025.100745>

Bobrowski, A., Anson-Cartwright, L., Kuhathaas, K., Jiang, D. M., Chung, P., Bedard, P., ... & Hamilton, R. J. (2022). Role of lactate dehydrogenase in identifying relapse for patients with stage I testicular cancer on surveillance. *Journal of Urology*, 208(6), 1250–1257. <https://doi.org/10.1097/JU.0000000000002931>

Chavarriaga, J., Nappi, L., Papachristofilou, A., Conduit, C., & Hamilton, R. J. (2025). Testicular cancer. *The Lancet*, 406(10498), 76–90. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(25\)00455-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(25)00455-6)

Chuluunbaatar, Y., Bansal, S., Brodie, A., Sharma, A., & Vasdev, N. (2023). The current use of artificial intelligence in testicular cancer: A systematic review. *Artificial Intelligence in Surgery*, 3(4), 195–206. <https://doi.org/10.20517/ais.2023.26>

Cicatiello, A. G., Musone, M., Imperatore, S., Giulioni, C., La Rocca, R., Cafarelli, A., ... & Cicatiello, A. G. (2025). Circulating miRNAs in genitourinary cancer: Pioneering advances in early detection and diagnosis. *The Journal of Liquid Biopsy*, 8, Artículo 100296. <https://doi.org/10.1016/j.jlb.2025.100296>

De Perrot, T., Zoua, C. S., Glessgen, C. G., Botsikas, D., Berchtold, L., Salomir, R., ... & De Perrot, T. (2022). Diffusion-weighted MRI in the genitourinary system. *Journal of Clinical Medicine*, 11(7), Artículo 1921. <https://doi.org/10.3390/jcm11071921>

Dittonno, F., Franco, A., Manfredi, C., Fasanella, D., Abate, M., La Rocca, R., ... & Dittonno, F. (2023). The role of miRNA in testicular cancer: Current insights and future perspectives. *Medicina*, 59(11), Artículo 2033. <https://doi.org/10.3390/medicina59112033>

Egan, J., & Salari, K. (2023). Biomarkers in testicular cancer: Classic tumor markers and beyond. *Urologic Clinics of North America*, 50(1), 133–143. <https://doi.org/10.1016/j.ucl.2022.09.011>

Feng, Z., Wu, J., Lu, Y., Chan, Y. T., Zhang, C., Wang, D., ... & Feng, Z. (2022). Circulating tumor cells in the early detection of human cancers. *International Journal of Biological Sciences*, 18(8), 3251–3265. <https://doi.org/10.7150/ijbs.71721>

- Fontoura, R. N., Santos, N. B., Franchini, M. S., Lima, F. F., Junior, A. O., Boden, R. T., ... & Fontoura, R. N. (2022). Screening pediatric testicular cancer: A literature review. *Archives of Community Medicine and Public Health*, 8(3), 099–102. <https://doi.org/10.17352/2455-5479.000181>
- Ghosh, S., Rajendran, R. L., Mahajan, A. A., Chowdhury, A., Bera, A., Guha, S., ... & Ghosh, S. (2024). Harnessing exosomes as cancer biomarkers in clinical oncology. *Cancer Cell International*, 24(1), 1–26. <https://doi.org/10.1186/s12935-024-03464-5>
- Honecker, F., Aparicio, J., Berney, D., Beyer, J., Bokemeyer, C., Cathomas, R., ... & Honecker, F. (2018). ESMO Consensus Conference on testicular germ cell cancer: Diagnosis, treatment and follow-up. *Annals of Oncology*, 29(8), 1658–1686. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdy217>
- Jian, Y., Yang, S., Liu, R., Tan, X., Zhao, Q., Wu, J., ... & Jian, Y. (2025). Radiomics analysis of different machine learning models based on multiparametric MRI to identify benign and malignant testicular lesions. *Academic Radiology*, 32(7), 4061–4081. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2025.01.006>
- Lobo, J., Acosta, A. M., & Netto, G. J. (2023). Molecular biomarkers with potential clinical application in testicular cancer. *Modern Pathology*, 36(10), Artículo 100307. <https://doi.org/10.1016/j.modpat.2023.100307>
- Magbanua, M. J., Li, W., & van 't Veer, L. J. (2024). Integrating imaging and circulating tumor DNA features for predicting patient outcomes. *Cancers*, 16(10), Artículo 1879. <https://doi.org/10.3390/cancers16101879>
- Malik, M. M., Alqahtani, M. M., Hadadi, I., Kanbayti, I., Alawaji, Z., & Aloufi, B. A. (2024). Molecular imaging biomarkers for early cancer detection: A systematic review of emerging technologies and clinical applications. *Diagnostics*, 14(21), Artículo 2459. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14212459>
- Marroncelli, N., Ambrosini, G., Errico, A., Vinco, S., Dalla Pozza, E., Cogo, G., ... & Marroncelli, N. (2025). Is human chorionic gonadotropin a reliable marker for testicular germ cell tumor? New perspectives for a more accurate diagnosis. *Cancers*, 17(14), Artículo 2409. <https://doi.org/10.3390/cancers17142409>
- Mehr, F. K., Emtiaz, N., & Zolfi, E. (2026). Advances in cell therapy for testicular cancer: A comprehensive overview of immunotherapy and stem cell therapy. *Tissue and Cell*, 98, Artículo 103169. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2025.103169>
- Milardi, D., Grande, G., Vincenzoni, F., Pierconti, F., & Pontecorvi, A. (2019). Proteomics for the identification of biomarkers in testicular cancer—review. *Frontiers in Endocrinology*, 10, Artículo 457. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00457>
- Pang, K. H., Alnajjar, H. M., & Muneer, A. (2025). Diagnosis, treatment and survival from testicular cancer: Real-world data from the National Health Service England between 2013 and 2020. *Clinical Genitourinary Cancer*, 23(4), Artículo 102367. <https://doi.org/10.1016/j.clgc.2025.102367>
- Pierorazio, P. M., Cheaib, J. G., Tema, G., Patel, H. D., Gupta, M., Sharma, R., ... & Pierorazio, P. M. (2020). Performance characteristics of clinical staging modalities for early stage testicular germ cell tumors: A systematic review. *Journal of Urology*, 203(5), 894–901. <https://doi.org/10.1097/JU.0000000000000594>
- Saliccia, S., Capriotti, A. L., Laganà, A., Fais, S., Lo-gozzi, M., De Berardinis, E., ... & Saliccia, S. (2021). Biomarkers in prostate cancer diagnosis: From current knowledge to the role of metabolomics and exosomes. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), Artículo 4367. <https://doi.org/10.3390/ijms22094367>
- Singla, N., Bagrodia, A., Baraban, E., Fankhauser, C. D., & Ged, Y. M. (2025). Testicular germ cell tumors: A review. *JAMA*, 333(9), 793–803. <https://doi.org/10.1001/jama.2025.0448>
- Stephenson, A., Bass, E. B., Bixler, B. R., Daneshmand, S., Kirkby, E., Marianaes, A., ... & Stephenson, A. (2024). Diagnosis and treatment of early-stage testicular cancer: AUA guideline amendment 2023. *Journal of Urology*, 211(1), 20–25. <https://doi.org/10.1097/JU.0000000000003694>
- Sykes, J., Kaldany, A., & Jang, T. L. (2024). Current and evolving biomarkers in the diagnosis and management of testicular germ cell tumors. *Journal of Clinical Medicine*, 13(23), Artículo 7448. <https://doi.org/10.3390/jcm13237448>
- Thomas, K. L., Jeong, D., Montilla-Soler, J., & Feuerlein, S. (2020). The role of diagnostic imaging in the primary testicular cancer: Initial staging, response assessment and surveillance. *Translational Andrology and Urology*, 9(Suppl 1), S3–S13. <https://doi.org/10.21037/tau.2019.11.05>
- Törzsök, P., Deininger, S., Abenhardt, M., Oswald, D., Lusuardi, L., Deininger, C., ... & Törzsök, P. (2024). Discriminating malignant from benign testicular masses using multiparametric magnetic resonance imaging—A prospective single-center study. *Journal of Clinical Medicine*, 13(15), Artículo 4390. <https://doi.org/10.3390/jcm13154390>

- Ujfaludi, Z., Fazekas, F., Biró, K., Oláh-Németh, O., Buzogany, I., Sükösd, F., ... & Ujfaludi, Z. (2024). miR-21, miR-29a, and miR-106b: Serum and tissue biomarkers with diagnostic potential in metastatic testicular cancer. *Scientific Reports*, 14(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70552-x>
- Wang, Y. T., Shi, T., Srivastava, S., Kagan, J., Liu, T., & Rodland, K. D. (2020). Proteomic analysis of exosomes for discovery of protein biomarkers for prostate and bladder cancer. *Cancers*, 12(9), Artículo 2335. <https://doi.org/10.3390/cancers12092335>
- Zafar, S., Hafeez, A., Shah, H., Mutiullah, I., Ali, A., Khan, K., ... & Zafar, S. (2025). Emerging biomarkers for early cancer detection and diagnosis: Challenges, innovations, and clinical perspectives. *European Journal of Medical Research*, 30(1), 1–34. <https://doi.org/10.1186/s40001-025-03003-6>

**Cómo citar:** Mera Chica, J. N. ., Campozano Pin , S. N. ., Barreiro Vera, S. A. ., & Indio Zambrano, J. C. . (2026). Avances en diagnóstico temprano de cáncer testicular: integración de biomarcadores y técnicas de imagen. *UNESUM - Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 10(1), 167–185. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v10.n1.2026.167-185>