

ABLACIÓN PERCUTÁNEA TÉRMICA Y QUÍMICA EN EL CARCINOMA DIFERENCIADO DE TIROIDES EN LA ERA DE LA MEDICINA PERSONALIZADA

Reverter Calatayud, Jordi L 

Servicio de Endocrinología y Nutrición. Hospital Universitario e Instituto de Investigación Germans Trias i Pujol. Badalona. España.

INFO ARTÍCULO

Palabras clave:

carcinoma diferenciado de tiroides, ablación por radiofrecuencia, ablación por microondas, ablación con etanol, microcarcinoma papilar, medicina personalizada.

RESUMEN

El manejo del carcinoma diferenciado de tiroides ha evolucionado hacia un enfoque personalizado basado en la estratificación del riesgo, impulsado por el sobrediagnóstico de tumores de bajo riesgo. Esto ha favorecido estrategias menos agresivas que la cirugía, como la vigilancia activa. En este contexto, la ablación percutánea guiada por ecografía ha emergido como una alternativa intermedia entre la observación y la cirugía. Las técnicas de ablación incluyen modalidades químicas, como la inyección de etanol, y térmicas, como la radiofrecuencia, microondas, láser y ultrasonidos focalizados. Todas inducen necrosis tisular con control ecográfico en tiempo real, permitiendo preservar estructuras críticas. La radiofrecuencia es la técnica más estudiada y presenta altas tasas de reducción tumoral y bajo riesgo de complicaciones, mientras que las microondas ofrecen mayor rapidez y volumen de ablación. El láser se destaca por su precisión y el etanol, por su utilidad en lesiones quísticas o recidivas ganglionares. En microcarcinomas papilares de bajo riesgo, la ablación muestra resultados prometedores, con elevado control local, comparables a los de la cirugía y menor morbilidad. Frente a la vigilancia activa, proporciona tratamiento definitivo con mínima invasividad. Su principal indicación consolidada es la recurrencia locorregional, especialmente en pacientes con alto riesgo quirúrgico. La selección adecuada del paciente es clave, considerando tamaño tumoral, localización y características biológicas. Aunque las complicaciones son poco frecuentes y generalmente leves, la evidencia disponible es aún limitada, basada en estudios retrospectivos. En conclusión, la ablación constituye una opción terapéutica relevante dentro de un modelo de medicina personalizada, complementaria de la cirugía y la vigilancia activa.

Recibido: 5 de abril de 2026

Aceptado: 2 de mayo de 2026

Autor de correspondencia: Jordi L Reverter Calatayud. Correo electrónico: reverter.germanstrias@gencat.cat
Doi: 10.65640/ed2xnh81 • Copyright © 2026 FASEN - CC-BY-NC 4.0

PERCUTANEOUS THERMAL AND CHEMICAL ABLATION IN DIFFERENTIATED THYROID CARCINOMA IN THE ERA OF PERSONALIZED MEDICINE

ARTICLE INFO

Keywords:

differentiated thyroid carcinoma, radiofrequency ablation, microwave ablation, ethanol ablation, papillary microcarcinoma, personalized medicine.

Received: April 5, 2026

Accepted: May 2, 2026

ABSTRACT

The management of differentiated thyroid carcinoma has evolved toward a personalized approach based on risk stratification, driven by the overdiagnosis of low-risk tumors. This has favored less aggressive strategies than surgery, such as active surveillance. In this context, ultrasound-guided percutaneous ablation has emerged as an intermediate alternative between observation and surgery. Ablation techniques include chemical modalities, such as ethanol injection, and thermal modalities, such as radiofrequency, microwave, laser, and focused ultrasound. All induce tissue necrosis with real-time ultrasound guidance, allowing for the preservation of critical structures. Radiofrequency is the most studied technique and offers high tumor reduction rates and a low risk of complications, while microwave offers greater speed and ablation volume. Laser is notable for its precision, and ethanol for its usefulness in cystic lesions or lymph node recurrences. In low-risk papillary microcarcinomas, ablation shows promising results, with high local control comparable to surgery and lower morbidity. Compared to active surveillance, it provides definitive treatment with minimal invasiveness. Its main established indication is locoregional recurrence, especially in patients at high surgical risk. Appropriate patient selection is key, considering tumor size, location, and biological characteristics. Although complications are infrequent and generally mild, the available evidence is still limited, based on retrospective studies. In conclusion, ablation is a relevant therapeutic option within a personalized medicine model, complementary to surgery and active surveillance.

INTRODUCCIÓN

El manejo del carcinoma diferenciado de tiroides (CDT) ha experimentado una transformación profunda durante las últimas décadas, evolucionando desde un enfoque quirúrgico uniforme y predominantemente radical hacia un modelo más dinámico y personalizado basado en la estratificación del riesgo. Este cambio ha sido impulsado por avances en las técnicas de imagen, la biología molecular y la cirugía endocrina, que han permitido adaptar la intensidad del tratamiento a las características biológicas de la enfermedad y al

perfil individual de cada paciente. Como consecuencia, conceptos como la desescalada terapéutica han adquirido un papel central en la práctica clínica contemporánea [1]. La base de esta evolución ha sido la modificación del perfil epidemiológico del CDT. Aunque su incidencia global ha aumentado de forma notable, pasando de 4,4 a 15,3 casos por 100 000 habitantes entre 1980 y 2020, este incremento se atribuye fundamentalmente al diagnóstico de tumores pequeños e incidentales, especialmente microcarcinomas papilares (MCP), más que a un aumento real de neoplasias con

comportamiento biológico agresivo [1,2]. En la actualidad, aproximadamente el 70-80% de los nuevos diagnósticos corresponden a tumores de bajo riesgo, caracterizados por una supervivencia superior al 95% a los 20 años [3]. Este contexto ha favorecido una reconsideración progresiva de estrategias terapéuticas históricamente orientadas a la máxima erradicación tumoral. La creciente comprensión de la historia natural del carcinoma papilar de bajo riesgo ha reforzado esta tendencia. Diversos estudios con cohortes amplias y seguimientos superiores a una década han demostrado que una proporción significativa de los MCP presenta un comportamiento clínico indolente, con progresión observada únicamente en el 5-8% de los pacientes sometidos a vigilancia activa y desarrollo de metástasis ganglionares en menos del 2% de los casos [1,4]. Estos resultados han consolidado la vigilancia activa como una alternativa segura y validada para pacientes cuidadosamente seleccionados, convirtiéndose en uno de los ejemplos más representativos del cambio de paradigma hacia tratamientos menos agresivos. Paralelamente, una valoración más crítica de la morbilidad asociada a los tratamientos convencionales ha contribuido a redefinir los objetivos terapéuticos. Aunque la cirugía continúa siendo el tratamiento de referencia para la mayoría de los pacientes con CDT, no está exenta de complicaciones potencialmente relevantes, especialmente en el contexto de reintervenciones cervicales. Entre las más importantes se incluyen la lesión del nervio laríngeo recurrente, observada en el 1-5% de los casos, el hipoparatiroidismo permanente, con incidencias descritas entre el 2 y el 15%, así como la disfunción deglutoria, la fibrosis cervical y la necesidad de tratamiento hormonal sustitutivo a largo plazo, factores que pueden afectar de forma significativa la calidad de vida [5-7]. Del mismo modo, la administración de yodo radiactivo en dosis elevadas puede asociarse a efectos adversos como sialoadenitis (30-40%), xerostomía (15-20%) y un incremento modesto pero significativo del riesgo de segundos tumores, con

riesgos relativos estimados entre 1,2 y 1,5 [5-7]. En conjunto, estos hallazgos han reforzado la necesidad de desarrollar alternativas terapéuticas a la radicalidad quirúrgica que sean eficaces y reduzcan la morbilidad asociada al tratamiento sin comprometer los resultados oncológicos.

En este escenario han emergido las técnicas de ablación percutánea guiadas por ecografía, que ocupan una posición intermedia entre la vigilancia activa y la cirugía. Inicialmente desarrolladas para el tratamiento de nódulos tiroideos benignos sintomáticos, donde han demostrado en un elevado número de procedimientos una reducción significativa del volumen nodular con bajas tasas de complicaciones [8-10], estas técnicas han ampliado progresivamente sus indicaciones hacia el tratamiento de recurrencias locorregionales del CDT y, más recientemente, hacia el manejo primario del MCP de bajo riesgo en pacientes seleccionados [11-14].

La incorporación de la ablación se enmarca plenamente en la tendencia contemporánea hacia la desescalada terapéutica, junto con la expansión de la vigilancia activa, la preferencia por procedimientos quirúrgicos menos extensos y una utilización más selectiva del yodo radiactivo [15,16]. Sin embargo, a diferencia de estas estrategias, la evidencia que respalda la ablación continúa siendo más limitada y procede en gran medida de estudios retrospectivos realizados en centros de alta experiencia [17,18]. Por ello, definir con precisión su papel dentro del algoritmo terapéutico del CDT constituye actualmente una de las cuestiones más relevantes y dinámicas en la evolución del manejo moderno del cáncer tiroideo.

MÉTODOS

Se realizó una revisión narrativa de la literatura mediante una búsqueda bibliográfica no sistemática en las bases de datos PubMed/MEDLINE, Scopus y Google Scholar. La búsqueda abarcó principalmente el periodo comprendido entre enero de 2000 y marzo de 2026 e incluyó publicaciones en inglés y

español. La estrategia de búsqueda combinó términos MeSH y palabras clave mediante operadores booleanos, incluyendo, entre otros, los términos: *differentiated thyroid cancer*, *papillary thyroid microcarcinoma*, *radio-frequency ablation*, *microwave ablation*, *laser ablation*, *ethanol ablation*, *thermal ablation*, *locoregional recurrence* y *minimally invasive therapy* y su equivalente en castellano. La selección bibliográfica se orientó a identificar la evidencia más relevante sobre el papel de las técnicas ablativas en el carcinoma diferenciado de tiroides. Se priorizaron guías clínicas y documentos de consenso internacionales, revisiones sistemáticas, metanálisis, estudios comparativos frente a cirugía o vigilancia activa y series clínicas con seguimiento prolongado o tamaño muestral significativo. Asimismo, se prestó especial atención a los estudios que aportaban información sobre eficacia, seguridad, selección de pacientes, recurrencia locoregional, calidad de vida, costo-efectividad y posicionamiento en las recomendaciones clínicas actuales. Se excluyeron comunicaciones aisladas, estudios con limitada aplicabilidad clínica, publicaciones con insuficiente descripción metodológica y trabajos redundantes cuando existían revisiones sistemáticas o metanálisis más recientes que integraban sus resultados. La revisión final se sustentó en 60 publicaciones seleccionadas por su relevancia científica, calidad metodológica y contribución al conocimiento actual sobre la ablación percutánea en el cáncer tiroideo.

Fundamentos biológicos y modalidades de ablación guiada por ecografía

Las técnicas de ablación percutánea aplicadas a la tiroides constituyen un grupo de procedimientos mínimamente invasivos cuyo objetivo es inducir destrucción tisular localizada preservando las estructuras anatómicas adyacentes. Aunque difieren en la fuente de energía utilizada, todas persiguen el mismo efecto biológico final: la generación de necrosis tumoral mediante mecanismos térmicos o químicos. La monitorización ecográfica en tiempo real representa un elemento esencial de estas técnicas,

ya que permite delimitar la lesión, controlar la extensión del tratamiento y minimizar el riesgo de lesión de estructuras críticas como el nervio laríngeo recurrente (presente a menos de 1 mm en el 5-10% de los casos), la tráquea o los vasos cervicales [19,20].

Desde un punto de vista biológico, las modalidades ablativas pueden dividirse en dos grandes grupos. La ablación química, representada fundamentalmente por la ablación con etanol (AE), produce necrosis mediante deshidratación celular, precipitación proteica y trombosis microvascular. Por su parte, las técnicas de ablación térmica utilizando radiofrecuencia (ARF), microondas (AMO), láser (AL) o ultrasonidos focalizados de alta intensidad (HIFU) inducen necrosis coagulativa a través de un incremento controlado de la temperatura del tejido. La desnaturalización proteica y la destrucción de membranas celulares se producen habitualmente por encima de los 60 °C, mientras que temperaturas superiores a 100 °C pueden ocasionar vaporización y carbonización, fenómenos que reducen la transmisión energética y limitan la extensión efectiva de la ablación [23].

La eficacia de las técnicas térmicas depende no solo de la energía administrada, sino también de factores anatómicos y fisiológicos locales. Entre ellos se destaca el denominado efecto *heat sink*, que consiste en la disipación del calor por el flujo sanguíneo de estructuras vasculares adyacentes, lo que puede reducir en un 10-20% la eficacia ablativa en lesiones hipervasculares y favorecer áreas de necrosis incompleta [24]. Del mismo modo, la proximidad de estructuras críticas condiciona la planificación del procedimiento y ha impulsado el desarrollo de estrategias de protección como la hidrodissección, técnica que crea una barrera líquida de 15-10 mm entre la lesión y los tejidos vecinos, reduciendo el riesgo de daño térmico del 5-8% menos del 1% [25].

Ablación con etanol

La AE fue una de las primeras técnicas ablativas introducidas en la práctica clínica tiroidea. El etanol absoluto (95-99%) produce

una necrosis inmediata tras su inyección intralesional con una difusión tisular de 2-5 mm que permite ampliar el efecto ablativo más allá del punto de administración. La técnica requiere volúmenes inyectados adaptados al tamaño de la lesión, generalmente 0,5-2 mL. Aunque su desarrollo inicial estuvo dirigido al tratamiento de nódulos quísticos benignos, donde alcanza tasas de éxito del 85-98% y recurrencias inferiores al 5% [21], su principal aplicación actual en el CDT se centra en recurrencias ganglionares de pequeño volumen, especialmente aquellas con componente quístico predominante y en pacientes con elevado riesgo quirúrgico [22].

Las principales ventajas de la AE son su bajo costo, la sencillez técnica y la ausencia de lesión térmica sobre estructuras vecinas. Estas características la convierten en una opción especialmente atractiva cuando la lesión se encuentra próxima a nervios, tráquea o esófago. Sin embargo, su eficacia disminuye de forma significativa en lesiones sólidas, circunstancia que limita su utilización frente a las técnicas térmicas en la mayoría de los tumores primarios.

Ablación por radiofrecuencia

La ARF es actualmente la modalidad de ablación térmica con mayor experiencia acumulada y respaldo científico en patología tiroidea. Su mecanismo se basa en la generación de calor mediante corriente alterna de alta frecuencia (350-500 kHz), que produce agitación iónica y calentamiento tisular. La introducción de la técnica *moving-shot* ha permitido adaptar la ablación a la morfología de la lesión mediante tratamientos secuenciales de pequeñas unidades tisulares, mejorando la precisión y la seguridad del procedimiento con tiempos de tratamiento de menos de 30 minutos.

La amplia experiencia clínica disponible, incluyendo series con más de 2000 pacientes, ha demostrado reducciones volumétricas del 70-95% al año, mejoría sintomática en la mayoría de los casos y una incidencia de complicaciones mayores inferior al 3% [26]. Esta combinación de eficacia, versatilidad y experiencia acumulada explica que la radiofre-

cuencia se considere actualmente la técnica de referencia para la mayoría de las indicaciones tiroideas.

Ablación por microondas

La AMO genera calor mediante la rotación de moléculas de agua sometidas a un campo electromagnético de alta frecuencia. Desde un punto de vista físico presenta algunas ventajas potenciales con respecto a la radiofrecuencia, incluyendo una mayor velocidad de calentamiento, una menor susceptibilidad al efecto *heat sink* y la capacidad de generar zonas de ablación un 20-30% más amplias.

Estas características pueden resultar especialmente útiles en lesiones de mayor tamaño o con una vascularización significativa. Los estudios disponibles muestran reducciones volumétricas comparables a las observadas con radiofrecuencia, alcanzando disminuciones superiores al 90% en algunas series [27-29]. Aunque las diferencias clínicas entre ambas modalidades son limitadas, las microondas han despertado un interés creciente por su potencial eficacia técnica y por la reducción del tiempo de tratamiento.

Ablación por láser

La AL utiliza energía luminosa (800-1064 nm) transmitida a través de fibras ópticas de pequeño calibre que se transforma en calor dentro del tejido tratado. Su principal característica diferencial es la elevada precisión, que permite generar volúmenes de ablación relativamente pequeños (0,5-2 cm²) y controlados, especialmente útiles en lesiones de reducido tamaño o localizadas en regiones anatómicamente complejas [30].

Las series disponibles muestran reducciones volumétricas cercanas al 70% durante el primer año de seguimiento y resultados sostenidos a largo plazo [31]. Aunque la experiencia acumulada es menor que la existente con radiofrecuencia, la ablación por láser continúa representando una alternativa válida en centros con experiencia específica y en escenarios donde la precisión anatómica constituye una prioridad.

Ultrasonidos focalizados de alta intensidad

Los HIFU constituyen la única modalidad completamente no invasiva. La energía ultrasónica se concentra en un punto determinado del tejido, donde se transforma en calor y genera necrosis térmica localizada. Desde un punto de vista conceptual, esta aproximación resulta especialmente atractiva al eliminar la necesidad de punción percutánea.

Sin embargo, su implantación clínica en patología tiroidea ha sido limitada. Los prolongados tiempos de tratamiento (45-90 minutos), la movilidad cervical y las dificultades para mantener una focalización estable reducen su aplicabilidad práctica. Además, los resultados disponibles muestran reducciones volumétricas inferiores a las observadas con otras modalidades térmicas, situándose aproximadamente entre el 39 y el 50% durante el primer año de seguimiento [32].

Seguridad y posicionamiento actual

En conjunto, las técnicas de ablación presentan un perfil de seguridad favorable. Las complicaciones globales se describen en aproximadamente el 3,3% de los procedimientos y la mayoría son leves y autolimitadas. Entre las complicaciones mayores se destacan la disfonía persistente, la lesión del plexo braquial, la rotura nodular y el hipotiroidismo permanente, mientras que hematomas, quemaduras cutáneas y síntomas vagales representan los eventos menores más frecuentes [33,34].

La evidencia comparativa disponible sugiere que las principales modalidades térmicas ofrecen resultados globalmente similares en términos de eficacia y seguridad cuando se realizan en centros con experiencia [35-37]. Las diferencias observadas parecen relacionarse más con características técnicas y escenarios clínicos específicos que con una superioridad clara de una modalidad sobre otra.

Por ello, la elección de la técnica debe individualizarse considerando la anatomía tumoral, la relación con estructuras vecinas, el tamaño y composición de la lesión, así como la experiencia del equipo tratante. En la práctica

clínica, la AE mantiene un papel preferente en lesiones quísticas y recurrencias ganglionares con componente líquido predominante. La ARF continúa siendo la técnica más difundida y mejor estudiada, dispone de guías clínicas, consensos internacionales, estudios multicéntricos y experiencia acumulada tanto en patología benigna como maligna. La AMO ofrece ventajas potenciales en lesiones mayores o hipervasculares y la AL conserva un nicho específico en lesiones pequeñas o anatómicamente complejas [38].

La Tabla 1 resume las principales características, mecanismos de acción y aplicaciones clínicas de las distintas modalidades de ablación tiroidea guiada por ecografía.

Evidencia en enfermedad primaria: microcarcinoma papilar de bajo riesgo

La aplicación de la ablación percutánea como tratamiento primario del MCP de tiroides de bajo riesgo representa uno de los ámbitos de mayor desarrollo, debate y tensión conceptual dentro de la oncología tiroidea mínimamente invasiva. Su creciente interés responde a una necesidad clínica específica: aunque la vigilancia activa ha demostrado ser segura en una proporción importante de estos pacientes, no todos aceptan la incertidumbre psicológica de convivir con un diagnóstico de cáncer sin tratamiento, mientras que otros desean evitar la morbilidad potencial asociada a la cirugía [39,40]. En este contexto, la ablación se posiciona como una alternativa intermedia capaz de ofrecer tratamiento local con una agresión significativamente menor que la cirugía convencional.

La mayor parte de la evidencia disponible procede de estudios realizados con ARF y, en menor medida, con AMO. En conjunto, los resultados muestran un excelente control local, con desaparición o reducción casi completa de la lesión en la mayoría de los pacientes, tasas de progresión tumoral excepcionalmente bajas y una incidencia mínima de complicaciones mayores. Los metanálisis más recientes describen reducciones volumétricas cercanas al 98% al año y progresión local inferior al 1%,

Tabla 1. Modalidades de ablación tiroidea guiada por ecografía: fundamentos y características comparativas

Técnica	Mecanismo	Indicaciones principales	Eficacia	Limitaciones clave
Etanol	Necrosis química (deshidratación, trombosis)	Nódulos quísticos benignos; metástasis ganglionares quísticas	Éxito 85-98%; recidiva < 5%	Baja eficacia en lesiones sólidas
Radiofrecuencia	Calor por agitación iónica (350-500 kHz)	Técnica más utilizada en benigno y maligno	Reducción 70-95%	Dependiente del operador
Microondas	Rotación molecular (900-2500 MHz)	Lesiones mayores o hipervasculares	Similar a ARF Volumen ablativo mayor (20-30% vs. ARF)	Mayor energía, potencial riesgo térmico
Láser	Energía óptica (calor)	Lesiones pequeñas o complejas	Reducción ~70%	Menor difusión
HIFU	Ultrasonidos focalizados (no invasivo)	Uso limitado	Reducción 39-50%	Tiempo prolongado, limitaciones técnicas

resultados que se han reproducido de forma consistente en diferentes cohortes [41-45].

Los comparación entre ARF y AMO en seguimientos hasta tres años no ha demostrado diferencias clínicamente relevantes en eficacia oncológica o seguridad. Las principales ventajas potenciales de la AMO parecen relacionarse con aspectos técnicos, incluyendo una mayor velocidad de calentamiento, zonas de ablación más amplias y procedimientos potencialmente más breves. Sin embargo, estas diferencias no se han traducido hasta el momento en beneficios clínicos claramente superiores [41-45].

La experiencia con AL es más limitada, aunque los resultados disponibles son coherentes con los observados para otras modalidades térmicas, y muestran elevadas tasas de control local y un perfil de seguridad favorable [46-48]. La evidencia sobre ablación con etanol en enfermedad primaria continúa siendo escasa y, aunque se describe una reducción tumoral relevante y adecuado control local, la evidencia por el momento es inferior a la de las técnicas térmicas [49,50].

Comparación con cirugía y vigilancia activa

La cirugía continúa siendo el tratamiento de referencia para el carcinoma papilar de bajo riesgo, con tasas de control local superiores al 98-99% y recurrencias inferiores al 2-3% [16]. Sin embargo, los estudios comparativos disponibles sugieren que la ablación puede alcanzar resultados oncológicos similares en pacientes cuidadosamente seleccionados. En una cohorte de 283 pacientes con MCP de tiroides tratados mediante ARF o lobectomía, las tasas de progresión (4,4 vs. 3,6%), recurrencia (2,2 vs. 1,6%) y supervivencia libre de enfermedad (95 vs. 96%) fueron comparables entre ambas estrategias tras cuatro años de seguimiento [51]. Las diferencias más relevantes entre ambas modalidades se observan en la carga terapéutica. Los pacientes tratados mediante ablación presentan menor estancia hospitalaria, menor duración del procedimiento, menor sangrado y una reducción significativa de las complicaciones relacionadas con el tratamiento (0% vs. 6,3%) [51].

La comparación con la vigilancia activa plantea una cuestión diferente. Esta estrategia

ha demostrado tasas muy bajas de progresión estructural (3-5% a 10 años) y de aparición de metástasis ganglionares (< 2%), sin impacto sobre la mortalidad específica [3]. Sin embargo, entre un 20 y un 30% de los pacientes pueden requerir tratamiento diferido o experimentar ansiedad significativa relacionada con el seguimiento prolongado [3,40]. En este escenario, la ablación ofrece una alternativa singular al proporcionar tratamiento local definitivo manteniendo un perfil mínimamente invasivo.

En conjunto, la ablación térmica puede considerarse una estrategia intermedia entre la vigilancia activa y la cirugía. Frente a la primera, aporta tratamiento local; frente a la segunda, reduce significativamente la morbilidad. No obstante, la evidencia disponible continúa siendo menos robusta que la existente para ambas estrategias convencionales, ya que procede fundamentalmente de estudios retrospectivos realizados en centros de alta experiencia y con criterios de selección muy estrictos.

Evidencia en enfermedad recurrente locoregional y metástasis a distancia

La recurrencia locoregional constituye actualmente el escenario clínico con mayor respaldo para la utilización de técnicas de ablación en el carcinoma diferenciado de tiroides. La principal razón es que la cirugía de rescate en un cuello previamente intervenido se asocia a un incremento significativo del riesgo de lesión del nervio laríngeo recurrente, hipoparatiroidismo, fibrosis cervical y complicaciones relacionadas con la cicatrización [6,11]. En este contexto, cualquier estrategia capaz de controlar focos estructurales limitados evitando nuevas intervenciones adquiere un valor clínico considerable.

La AE ha demostrado buenos resultados en cuanto a recurrencias ganglionares de pequeño volumen con componente quístico predominante. Los estudios comparativos sugieren resultados similares a los obtenidos mediante cirugía de rescate en términos de control estructural y bioquímico, con una menor carga de complicaciones asociadas al tratamiento [17,22].

La ARF es la modalidad térmica con mayor respaldo científico en este escenario. Los estudios observacionales y los metanálisis disponibles muestran de forma consistente reducciones significativas del volumen tumoral y de las concentraciones de tiroglobulina, acompañadas de elevadas tasas de control local y una frecuencia muy baja de recurrencia posterior [51-53]. Los mejores resultados se observan en pacientes con un número limitado de lesiones y tumores de tamaño pequeño.

La consistencia de estos hallazgos ha sido confirmada en metanálisis que incluyen conjuntamente más de 450 pacientes y cerca de 700 lesiones tratadas. Estos estudios muestran reducciones significativas del volumen tumoral y una respuesta bioquímica favorable, con tasas de reducción superiores al 50% en prácticamente todos los pacientes tratados y una frecuencia muy baja de recurrencia posterior [52,53]. Aunque los resultados son prometedores, la evidencia continúa dependiendo principalmente de estudios observacionales y requiere confirmación mediante seguimientos más prolongados y estudios prospectivos comparativos.

Se puede valorar la ablación percutánea como una alternativa a la disección quirúrgica del cuello en pacientes con recidivas cervicales refractarias al yodo radiactivo que se encuentran en riesgo quirúrgico o rechazan una cirugía adicional o para reducir el número de reintervenciones.

Se considerará la ablación en casos de enfermedad oligometastásica o progresiva para control del dolor o tumoral local especialmente en metástasis óseas dolorosas [9,58].

La experiencia en otros tipos histológicos continúa siendo limitada. En el carcinoma medular de tiroides, la cirugía radical sigue siendo el tratamiento de elección y la evidencia disponible sobre ablación se restringe a pequeñas series y comunicaciones de casos en pacientes no candidatos a cirugía [54]. De forma similar, en tumores poco diferenciados o anaplásicos irresecables, el papel de la ablación permanece esencialmente paliativo.

Selección de pacientes e indicaciones actuales

La selección adecuada del paciente constituye probablemente el factor más importante para el éxito de la ablación en cáncer tiroideo. Más allá del tamaño tumoral, la indicación debe sustentarse en una evaluación integrada de factores anatómicos, biológicos y clínicos.

En enfermedad primaria, los candidatos ideales son pacientes con carcinoma papilar de bajo riesgo, definido como un tumor intratiroideo ≤ 2 cm (T1N0M0), sin extensión extratiroidea, metástasis ganglionares o a distancia y sin variantes histológicas agresivas [16]. La indicación mejor establecida corresponde al MCPT T1aN0M0 (≤ 1 cm), donde puede plantearse como alternativa a la cirugía o a la vigilancia activa. En pacientes cuidadosamente seleccionados, con al menos 2 mm de parénquima tiroideo sano alrededor de la lesión y tratados en centros con experiencia, puede incluso considerarse una opción terapéutica de primera línea.

La ablación también puede valorarse en tumores T1bN0M0 (1-2 cm) sin extensión extratiroidea cuando existe contraindicación quirúrgica o rechazo de la cirugía y de la vigilancia activa. Otras situaciones potencialmente candidatas incluyen la extensión extratiroidea mínima, la localización ístmica, la enfermedad multifocal limitada (≤ 3 focos) y la aparición de nuevos tumores contralaterales tras hemitiroidectomía, siempre tras una valoración individualizada.

Se considerara el tratamiento mínimamente invasivo (TMI) con fines paliativos preferiblemente en pacientes con cáncer de tiroides primario no reseccable.

Las principales contraindicaciones incluyen la extensión extratiroidea macroscópica con invasión de estructuras vecinas, la presencia de metástasis ganglionares evidentes, la proximidad crítica a estructuras nobles, las macrocalcificaciones que dificulten el procedimiento y los tumores con variantes histológicas agresivas o mutaciones asociadas a comportamiento desfavorable, como TERT o TP53. Asimismo, la evidencia continúa siendo insuficiente para recomendar la ablación en

tumores mayores de 2 cm o en otros tipos de cáncer tiroideo primario.

En la enfermedad recurrente, los mejores candidatos son pacientes con un número limitado de lesiones claramente identificables mediante ecografía, accesibles de forma segura y sin evidencia de enfermedad adicional que requiera un tratamiento más amplio [9,11].

La decisión terapéutica debe integrarse siempre dentro de un proceso de información compartida. La ablación no proporciona una evaluación anatomopatológica completa y dispone de una experiencia a largo plazo más limitada que la cirugía. Sin embargo, ofrece ventajas potenciales en términos de menor invasividad, recuperación rápida y preservación funcional, que deben valorarse junto con la posibilidad de tratamiento incompleto, la necesidad de seguimiento especializado y el eventual requerimiento de tratamientos adicionales [38,40,41,43].

Las indicaciones, contraindicaciones y niveles de evidencia resumidos se presentan en la Tabla 2.

Impacto clínico, calidad de vida y coste-efectividad

Seguridad y complicaciones: la principal justificación para la aplicación de la ablación es reducir la morbilidad manteniendo resultados oncológicos adecuados. En términos generales, la evidencia disponible respalda este objetivo, aunque los beneficios observados dependen de una correcta selección de pacientes y de la experiencia del centro.

Las complicaciones asociadas a la ablación tiroidea son poco frecuentes y, en la mayoría de los casos, transitorias. Entre los eventos menores se incluyen dolor, edema, hematoma, cambios pasajeros de la voz, fiebre leve o tirotoxicosis transitoria. Las complicaciones mayores, como la parálisis persistente del nervio laríngeo recurrente o la lesión térmica significativa de tráquea y esófago, son infrecuentes en centros con experiencia, aunque su potencial impacto funcional obliga a mantener una actitud prudente y a extremar las medidas de seguridad durante el procedimiento [33,34].

Tabla 2. Indicaciones, selección de pacientes y contraindicaciones de la ablación por radiofrecuencia (ARF) en cáncer tiroideo primario

		Especificación clínica	Nivel de evidencia
Indicaciones principales	CPT T1aN0M0 (≤ 1 cm)	Alternativa a cirugía o vigilancia activa Posible primera línea en pacientes seleccionados (margen ≥ 2 mm y operador experto)	Moderado
	CPT T1bN0M0 (1-2 cm)	Casos seleccionados con localización favorable Pacientes que rechazan o no son candidatos a cirugía/vigilancia activa	Moderado
Indicaciones ampliadas (individualizadas)	Extensión extratiroidea mínima	Evaluación caso a caso	Bajo
	Tumores del istmo (< 2 mm margen)	Selección estricta	Bajo
	Multifocalidad (≤ 3 focos)	Solo en pacientes de bajo riesgo cuidadosamente seleccionados	Bajo
	Tumor contralateral poshemitiroidectomía	Alternativa a tiroidectomía total	Bajo
Contraindicaciones ecográficas	Extensión extratiroidea macroscópica	Invasión de estructuras (músculos, tráquea, esófago, nervio laríngeo recurrente, vasos)	Alto
	Proximidad a estructuras críticas	Especialmente cápsula posterior o estructuras nobles	Moderado
	Macrocalcificaciones	Limitación técnica para inserción del electrodo	Bajo
	Metástasis ganglionares cervicales	Enfermedad regional evidente	Alto
Contraindicaciones biológicas	Mutaciones de alto riesgo (TERT, TP53)	Asociadas a comportamiento agresivo; ARF no recomendada	Bajo
Limitaciones de evidencia	Tumores > 2 cm	Evidencia insuficiente de seguridad/eficacia	Bajo
	Otros cánceres tiroideos	Falta de evidencia	Bajo
Contraindicaciones clínicas	Embarazo	Generalmente contraindicada (uso excepcional de electrodo bipolar)	Bajo
	Coagulopatía/ anticoagulación no reversible	Riesgo hemorrágico elevado	Moderado
	Dispositivos cardíacos implantables	Precaución; considerar electrodo bipolar	Bajo
	Parálisis contralateral de cuerdas vocales	Alto riesgo funcional	Moderado

Abreviatura: CPT: cáncer papilar de tiroides

Las diferencias de seguridad entre modalidades parecen limitadas. Algunos estudios sugieren una incidencia ligeramente superior de eventos adversos con la AMO en comparación con la ARF, posiblemente relacionada con un mayor volumen energético y con el calibre del aplicador, aunque estas diferencias dependen en gran medida de factores anatómicos y técnicos [35-37]. La AL también muestra un perfil de seguridad favorable, si bien la menor experiencia acumulada limita la solidez de las comparaciones directas [46].

Calidad de vida y resultados percibidos por el paciente: más allá de la seguridad, uno de los aspectos de mayor interés es el impacto sobre la calidad de vida. Los estudios disponibles muestran mejoras significativas en los síntomas locales, la percepción estética y la satisfacción global de los pacientes, acompañadas de una rápida reincorporación a la actividad habitual [55]. Estos resultados adquieren especial relevancia en una enfermedad caracterizada por una supervivencia prolongada y en la cual los resultados percibidos por el paciente constituyen un objetivo cada vez más importante. Costo-efectividad y sostenibilidad: la evaluación económica también forma parte del debate actual. Aunque una técnica mínimamente invasiva no es necesariamente costo-efectiva por definición, la ablación presenta características que favorecen su sostenibilidad, incluyendo la realización ambulatoria o con estancias muy cortas, la ausencia de anestesia general en la mayoría de los procedimientos, una recuperación más rápida y una menor incidencia de complicaciones asociadas a reintervenciones [56].

Los análisis disponibles, especialmente para la ARF, sugieren que la ablación puede resultar económicamente atractiva frente a la cirugía en determinados escenarios clínicos [57]. Sin embargo, la costo-efectividad depende de múltiples factores, entre ellos el sistema sanitario, la disponibilidad tecnológica, el costo del material fungible y el volumen de procedimientos realizados por cada institución. Por ello, la extrapolación de los resul-

tados económicos entre diferentes entornos asistenciales debe realizarse con cautela.

Guías clínicas, posicionamiento actual y direcciones futuras

La incorporación de la ablación percutánea a las recomendaciones clínicas refleja la transición progresiva desde una técnica emergente hacia una herramienta terapéutica con indicaciones cada vez mejor definidas. Las guías de la *American Thyroid Association* (ATA) de 2015 apenas contemplaban la ablación como una alternativa formal en el manejo del carcinoma diferenciado de tiroides [15]. En cambio, las recomendaciones de 2025 le reconocen ya un papel más explícito en escenarios seleccionados de enfermedad recurrente, aunque continúan sin respaldarla como tratamiento estándar de primera línea para la enfermedad primaria resecable [16].

El documento conjunto publicado en 2021 por la *European Thyroid Association* (ETA) y la *Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe* (CIRSE) supuso un punto de inflexión en la estandarización de estas técnicas en lesiones tiroideas malignas [9]. Basándose en un enfoque estructurado de la evidencia, este Consenso estableció que la ablación térmica guiada por ecografía puede considerarse una alternativa frente a la vigilancia activa en pacientes con MCP de bajo riesgo que no son candidatos a cirugía o no desean someterse a ella, con una fuerza de recomendación 1 y acuerdo completo entre los expertos participantes (11/11; 100%). Además, el documento contempló el uso selectivo de tratamientos mínimamente invasivos en otros escenarios, incluyendo determinados casos de carcinoma papilar de tiroides, cáncer tiroideo irresecable, recurrencias ganglionares cervicales del CDT y metástasis a distancia.

De forma complementaria, la Sección de Cirugía Endocrina de la *American Head and Neck Society* ha publicado un Consenso colaborativo internacional sobre tecnologías de ablación guiadas por ecografía, con especial atención en el manejo del microcarcinoma

papilar de tiroides [20]. La relevancia de este documento no radica únicamente en sus recomendaciones clínicas, sino también en su potencial para reducir la variabilidad asistencial. Dado que estos procedimientos son realizados por cirujanos, endocrinólogos y radiólogos intervencionistas, la existencia de estándares compartidos resulta esencial para favorecer una difusión responsable y homogénea de las técnicas mínimamente invasivas.

En conjunto, estos consensos internacionales han contribuido a definir un marco clínico más preciso para la ablación en el carcinoma diferenciado de tiroides T1N0M0. En el estado actual de la evidencia, su papel debe entenderse como complementario y no sustitutivo dentro del manejo personalizado del CDT. Su indicación más consolidada se encuentra en la recurrencia locorregional seleccionada, mientras que su utilización como tratamiento primario del MCP de bajo riesgo continúa siendo prometedora, pero dependiente del contexto clínico, la experiencia del centro y una selección extremadamente cuidadosa de los pacientes.

Seguimiento posablación e implementación práctica

El seguimiento tras la ablación constituye un componente esencial del tratamiento y debe considerarse parte integral de la estrategia terapéutica. En la recurrencia locorregional, la ecografía continúa siendo la herramienta principal para evaluar la respuesta local, mediante la disminución progresiva del tamaño de la lesión, la desaparición de la vascularización intralesional y, eventualmente, la desaparición completa del foco tratado. La tiroglobulina puede aportar información complementaria, aunque su interpretación depende del contexto quirúrgico previo, la presencia de anticuerpos antitiroglobulina y la carga global de enfermedad [58].

En el MCP tratado primariamente mediante ablación, el seguimiento debe ser especialmente protocolizado. Los consensos recientes recomiendan controles ecográficos tempranos para confirmar la adecuada extensión

de la zona de ablación y descartar complicaciones iniciales, seguidos de evaluaciones seriadas dirigidas a identificar persistencia periférica, recidiva local o enfermedad ganglionar no reconocida en el estudio inicial [43]. Esta necesidad de vigilancia estructurada subraya que la ablación no debe interpretarse como un procedimiento aislado, sino como parte de un programa asistencial especializado.

Desde una perspectiva organizativa, la implementación de un programa de ablación en cáncer tiroideo requiere condiciones mínimas de calidad. Entre ellas se incluyen la selección multidisciplinaria de casos, la existencia de protocolos escritos de técnica y seguimiento, el registro sistemático de complicaciones, el acceso rápido a laringoscopia o valoración otorrinolaringológica en caso de disfonía y la auditoría periódica de resultados [59]. Estos elementos son especialmente relevantes para garantizar la reproducibilidad de los resultados obtenidos en centros expertos.

Limitaciones de la evidencia

A pesar del crecimiento rápido de la literatura sobre ablación en el carcinoma diferenciado de tiroides, la evidencia disponible continúa presentando limitaciones relevantes. Predominan los estudios retrospectivos, con frecuencia monocéntricos, sujetos a sesgo de selección y fuertemente influenciados por la experiencia de centros especializados. Además, existen diferencias entre poblaciones asiáticas y occidentales que pueden limitar la extrapolación directa de algunos resultados.

La heterogeneidad metodológica constituye otra limitación importante. No todos los estudios informan de manera uniforme las complicaciones, los retratamientos o los criterios de respuesta, y la duración del seguimiento sigue siendo inferior a la que idealmente se requeriría en una enfermedad caracterizada por una excelente supervivencia a largo plazo. En la enfermedad primaria, la ausencia de ensayos aleatorizados impide afirmar una equivalencia definitiva frente a la cirugía.

Persisten, además, interrogantes clínicamente relevantes: cómo confirmar de forma

fiable la ablación completa del tumor, cuál será el riesgo de complicaciones si la técnica se expande a centros con menor experiencia, cuál es su impacto real sobre la calidad de vida y cómo garantizar un acceso equitativo a un tratamiento actualmente concentrado en centros de excelencia [60]. Estos aspectos deberán abordarse en estudios prospectivos, con protocolos homogéneos, seguimiento prolongado y evaluación sistemática de resultados clínicos y centrados en el paciente.

CONCLUSIONES

La ablación térmica y química ha dejado de ser una curiosidad técnica para convertirse en una opción terapéutica clínicamente relevante dentro del manejo contemporáneo del carcinoma diferenciado de tiroides. Su valor principal no reside en reemplazar a la cirugía ni a la vigilancia activa, sino en ampliar el espectro terapéutico disponible para pacientes en los que las estrategias convencionales no responden plenamente a las necesidades clínicas o preferencias individuales.

La ARF es actualmente la modalidad con mayor respaldo global, mientras que la AMO ofrece ventajas físicas potenciales y resultados prometedores. La AL conserva un papel específico en lesiones pequeñas o anatómicamente complejas en centros con experiencia, y la AE sigue siendo especialmente útil en metástasis ganglionares quísticas seleccionadas.

El escenario clínico más consolidado es la recurrencia locorregional tratable mediante

ecografía, donde la ablación permite controlar focos limitados de enfermedad evitando reintervenciones cervicales potencialmente complejas. En la enfermedad primaria de bajo riesgo, especialmente en el MCP, los resultados son prometedores, pero su utilización debe mantenerse dentro de una aproximación cauta, selectiva y centrada en el paciente.

En última instancia, la relevancia de la ablación no radica únicamente en su menor invasividad, sino en su capacidad para integrarse en un modelo de medicina personalizada que adapta la intensidad terapéutica al riesgo biológico, la anatomía tumoral, la experiencia del centro y las preferencias del paciente. Desde esta perspectiva, la ablación representa uno de los ejemplos más claros de la transición del carcinoma diferenciado de tiroides desde una estrategia uniforme hacia un manejo verdaderamente individualizado.

Conflictos de intereses

El autor declara no presentar conflictos de intereses.

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiación específica de organismos públicos, entidades comerciales ni organizaciones sin fines de lucro.

Contribución del autor

El autor realizó la concepción del trabajo, la búsqueda y selección bibliográfica, el análisis crítico de la evidencia, la elaboración de tablas y figuras, y la redacción y revisión final del manuscrito.

REFERENCIAS

1. Ito Y, Miyauchi A, Oda H. Low-risk papillary microcarcinoma of the thyroid: a review of active surveillance trials. *Eur J Surg Oncol*. 2018; 44(3):307-15. doi: 10.1016/j.ejso.2017.03.004.
2. Davies L, Welch HG. Increasing incidence of thyroid cancer in the United States, 1973-2002. *JAMA*. 2006; 295(18):2164-7. doi: 10.1001/jama.295.18.2164.
3. Vaccarella S, Franceschi S, Bray F, Wild CP, Plummer M, Dal Maso L. Worldwide thyroid-cancer epidemic? The increasing impact of overdiagnosis. *N Engl J Med*. 2016; 375(7):614-7. doi: 10.1056/NEJMp1604412.
4. Shaha AR, Tuttle RM. Active surveillance for micropapillary thyroid carcinoma. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*. 2024; 38(2):101827. doi: 10.1016/j.beem.2024.101827.

5. Jeon MJ, Kim WG, Chung KW, Kim EY, Kim TY, Kim WB, et al. Quality of life in patients with papillary thyroid microcarcinoma managed by active surveillance or lobectomy. *Thyroid*. 2019; 29(7):956-62. doi: 10.1089/thy.2018.0571.
6. Rosato L, Avenia N, Bernante P, De Palma M, Gulino G, Nasi PG, et al. Complications of thyroid surgery: analysis of a multicentric study on 14,934 patients. *World J Surg*. 2004; 28(3):271-6. doi: 10.1007/s00268-003-6903-1.
7. Stack BC Jr, Ferris RL, Goldenberg D, Haymart M, Shaha A, Sheahan P, et al. American Thyroid Association consensus review and statement regarding the anatomy, terminology, and rationale for lateral neck dissection in differentiated thyroid cancer. *Thyroid*. 2012; 22(8):765-78. doi: 10.1089/thy.2012.0043.
8. Papini E, Monpeyssen H, Frasoldati A, Hegedüs L. 2020 European Thyroid Association clinical practice guideline for the use of image-guided ablation in benign thyroid nodules. *Eur Thyroid J*. 2020; 9(4):172-85. doi: 10.1159/000508484.
9. Mauri G, Hegedüs L, Bandula S, Cazzato RL, Czarniecka A, Dudeck O, et al. European Thyroid Association and Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe 2021 clinical practice guideline for the use of minimally invasive treatments in malignant thyroid lesions. *Eur Thyroid J*. 2021; 10(3):185-97. doi: 10.1159/000516469.
10. Durante C, Hegedüs L, Czarniecka A, Paschke R, Russ G, Schmid KW, et al. 2023 European Thyroid Association clinical practice guidelines for thyroid nodule management. *Eur Thyroid J*. 2023; 12(5):e230067. doi: 10.1530/ETJ-23-0067.
11. Goldberg SN, Gazelle GS, Mueller PR. Thermal ablation therapy for focal malignancy. *Radiology*. 2000; 215(3):629-44. doi: 10.1148/radiology.215.3.r00jn15629.
12. Pace-Asciak P, Higgins K, Schwam ZG, Russell JO. The treatment of thyroid cancer with radiofrequency ablation: a review. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*. 2022; 148(9):871-7. doi: 10.1001/jamaoto.2022.2225.
13. Chung SR, Baek JH, Choi YJ, Lee JH. Longer-term outcomes of radiofrequency ablation for locally recurrent papillary thyroid cancer. *Eur Radiol*. 2019; 29(9):4897-903. doi: 10.1007/s00330-019-06054-4.
14. Lim HK, Baek JH, Lee JH, Kim JK, Lee JH, Ha EJ, et al. Efficacy and safety of radiofrequency ablation for treating locoregional recurrence from papillary thyroid cancer. *Eur Radiol*. 2015; 25(1):163-70. doi: 10.1007/s00330-014-3395-5.
15. Haugen BR, Alexander EK, Bible KC, Doherty GM, Mandel SJ, Nikiforov YE, et al. 2015 American Thyroid Association management guidelines for adult patients with thyroid nodules and differentiated thyroid cancer. *Thyroid*. 2016; 26(1):1-133. doi: 10.1089/thy.2015.0020.
16. Ringel MD, Sosa JA, Baloch Z, Bischoff L, Bloom G, Brent GA, et al. 2025 American Thyroid Association management guidelines for adult patients with differentiated thyroid cancer. *Thyroid*. 2025; 35(8):841-985. doi: 10.1177/10507256251363120.
17. Lund S, Schmitz JJ, Foster T, Dy B, McKenzie T, Castro MR, et al. Ethanol ablation of papillary thyroid carcinoma nodal metastases: long-term outcomes. *Surgery*. 2024; 175(4):1034-9. doi: 10.1016/j.surg.2023.10.012.
18. Jeong SY, Baek SM, Shin S, Son JM, Kim H, Baek JH. Radiofrequency ablation of low-risk papillary thyroid microcarcinoma: a retrospective cohort study including patients with more than 10 years of follow-up. *Thyroid*. 2025; 35(2):143-52. doi: 10.1089/thy.2024.0535.
19. De Vita E, Lo Presti D, Massaroni C, Iadicicco A, Schena E, Campopiano S. A review on radiofrequency, laser, and microwave ablations and their thermal monitoring through fiber Bragg gratings. *iScience*. 2023; 26(11):108260. doi: 10.1016/j.isci.2023.108260.
20. Orloff LA, Noel JE, Stack BC Jr, Russell MD, Angelos P, Baek JH, et al. Radiofrequency ablation and related ultrasound-guided ablation technologies for treatment of benign and malignant thyroid disease: an international multidisciplinary consensus statement. *Head Neck*. 2022; 44(3):633-60. doi: 10.1002/hed.26960.
21. Reverter JL, Vázquez F, Puig-Jové C,

- Oca AP, Puig-Domingo M. Long-term efficacy evaluation of a protocol for the management of symptomatic thyroid cysts with ultrasound-guided percutaneous ethanol injection. *Endocrinol Diabetes Nutr (Engl Ed)*. 2021; 68(4):236-42. doi: 10.1016/j.endien.2020.06.014.
22. Tofé S, Argüelles I, Álvarez C, Tofé Á, Repetto A, Barceló A, et al. Ultrasound-guided ethanol percutaneous ablation versus rescue surgery in patients with locoregional recurrence of papillary thyroid cancer. *Korean J Radiol*. 2024; 25(1):64-74. doi: 10.3348/kjr.2023.0315.
23. Ahmed M, Brace CL, Lee FT Jr, Goldberg SN. Principles of and advances in percutaneous ablation. *Radiology*. 2011; 258(2):351-69. doi: 10.1148/radiol.10081634.
24. Kim JH, Baek JH, Lim HK, Ahn HS, Baek SM, Choi YJ, et al. 2017 thyroid radiofrequency ablation guideline: Korean Society of Thyroid Radiology. *Korean J Radiol*. 2018; 19(4):632-55. doi: 10.3348/kjr.2018.19.4.632.
25. Lee JH, Baek JH. Hydrodissection technique for thyroid radiofrequency ablation: a review of the literature. *Ultrasonography*. 2021; 40(2):193-200. doi: 10.14366/usg.20094.
26. Cesareo R, Egiddi S, Naciu AM, Tabacco G, Leoncini A, Napoli N, et al. Efficacy of radiofrequency and laser thermal ablation in solving thyroid nodule-related symptoms and cosmetic concerns: a systematic review and meta-analysis. *Rev Endocr Metab Disord*. 2022; 23(5):1051-61. doi: 10.1007/s11154-022-09728-7.
27. Luo X, Kandil E. Microwave ablation: a technical and clinical comparison to other thermal ablation modalities to treat benign and malignant thyroid nodules. *Gland Surg*. 2024; 13(10):1805-13. doi: 10.21037/gs-24-221.
28. Wu W, Gong X, Zhou Q, Chen X, Chen X, Shi B. US-guided percutaneous microwave ablation for the treatment of benign thyroid nodules. *Endocr J*. 2017; 64(11):1079-85. doi: 10.1507/endocrj.EJ17-0123.
29. Li Z, Nie W, Liu Q, Lin M, Li X, Zhang J, et al. A prognostic model for thermal ablation of benign thyroid nodules based on interpretable machine learning. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2024;15:1433192. doi: 10.3389/fendo.2024.1433192.
30. Achille G, Zizzi S, Di Stasio E, et al. Ultrasound-guided percutaneous laser ablation in treating symptomatic solid benign thyroid nodules: our experience in 45 patients. *Head Neck*. 2016; 38(5):677-82. doi: 10.1002/hed.24335.
31. Gambelunghe G, Del Sindaco P, Morettini F, Ristagno S, De Feo P. Percutaneous laser ablation for thyroid nodules: efficacy and safety in 1492 patients with median follow-up of 10 years or more. *J Clin Endocrinol Metab*. 2026; 111(4):e1023-8. doi: 10.1210/clinem/dgaf581.
32. Fan KY, Loh EW, Tam KW. Efficacy of HIFU for the treatment of benign thyroid nodules: a systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol*. 2024; 34(4):2310-22. doi: 10.1007/s00330-023-10253-7.
33. Yuan W, Di L, Yu X, Li J. Comparison of efficacy and safety of different minimally invasive therapies for thyroid nodules: a network meta-analysis. *Endocrine*. 2024; 85(3):979-87. doi: 10.1007/s12020-024-03782-8.
34. Baek JH, Lee JH, Sung JY, Bae JI, Kim KT, Sim J, et al. Complications encountered in the treatment of benign thyroid nodules with US-guided radiofrequency ablation: a multicenter study. *Radiology*. 2012; 262(1):335-42. doi: 10.1148/radiol.11110416.
35. Zhao X, Xue J, Yu W, Dong R, Liu S, Wang P, et al. The long-term effects of thermal ablation for benign thyroid nodules: a systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol*. 2025; 35(10):6089-100. doi: 10.1007/s00330-025-11543-y.
36. Guo D, Chen Z, Zhai Y, Su H. Comparison of radiofrequency ablation and microwave ablation for benign thyroid nodules: a systematic review and meta-analysis. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 2021; 95(1):187-96. doi: 10.1111/cen.14476.
37. Chen S, Dou J, Cang Y, Che Y, Dong G, Zhang C, et al. Microwave versus radiofrequency ablation in treating predominantly solid benign thyroid nodules: a randomized controlled trial. *Radiology*. 2024; 313(1):e232162. doi: 10.1148/radiol.232162.
38. Cao SL, Wang SR, Kim JH, Randolph GW, Yu SY, Mauri G, et al. International expert

- consensus on thermal ablation for benign thyroid nodules: 2025 edition. *Int J Surg*. 2026. doi:10.1097/JS9.0000000000004824. Online ahead of print.
39. Miyauchi A, Ito Y, Oda H. Insights into the management of papillary microcarcinoma of the thyroid. *Thyroid*. 2018; 28(1):23-31. doi: 10.1089/thy.2017.0272.
40. Sawka AM, Ghai S, Rotstein L, Irish JC, Pasternak JD, Lajkosz K, et al. Patient-reported outcomes three years after deciding on surgery or active surveillance for small, low-risk papillary thyroid cancer: results of a prospective cohort study. *Thyroid*. 2026; 36(4):385-96. doi: 10.1177/10507256251408857.
41. Chatzisouleiman I, Kolovou V, Tolley N, Mochloulis G, Katotomichelakis M, Chaidas K. Radiofrequency and microwave ablation as promising minimally invasive treatment options for papillary thyroid microcarcinoma: a systematic review. *Ann R Coll Surg Engl*. 2026; 108(2):85-93. doi: 10.1308/rcsann.2025.0048.
42. Lim H, Kim MJ. Long-term outcomes of radiofrequency ablation in patients with low-risk papillary thyroid microcarcinoma. *Endocrinol Metab (Seoul)*. 2025; 40(3):385-7. doi: 10.3803/EnM.2025.2432.
43. Zhao ZL, Wang SR, Kuo J, Çekiç B, Liang L, Ghazi HA, et al. 2024 international expert consensus on US-guided thermal ablation for T1N0M0 papillary thyroid cancer. *Radiology*. 2025; 315(1):e240347. doi: 10.1148/radiol.240347.
44. Yan L, Yang Z, Jing H, Xiao J, Li Y, Li X, et al. Comparative outcomes of ultrasound-guided radiofrequency ablation versus microwave ablation for patients with T1N0M0 papillary thyroid carcinoma: a retrospective cohort study. *Eur Radiol*. 2025; 35(7):3697-706. doi: 10.1007/s00330-024-11286-2.
45. Teng DK, Li WH, Du JR, Wang H, Yang DY, Wu XL. Effects of microwave ablation on papillary thyroid microcarcinoma: a five-year follow-up report. *Thyroid*. 2020; 30(12):1752-8. doi: 10.1089/thy.2020.0049.
46. Huang Y, Zhao X, Yang Y, Qiu L, Zhao J, Qian L, et al. Efficacy and safety of laser ablation and microwave ablation to treat papillary thyroid microcarcinoma: a retrospective study. *Am J Otolaryngol*. 2024; 45(6):104496. doi: 10.1016/j.amjoto.2024.104496.
47. Ji L, Wu Q, Gu J, Deng X, Zhou W, Fan X, Zhou F. Ultrasound-guided percutaneous laser ablation for papillary thyroid microcarcinoma: a retrospective analysis of 37 patients. *Cancer Imaging*. 2019;19(1):16. doi: 10.1186/s40644-019-0204-x
48. Zhou W, Ni X, Xu S, Zhang L, Chen Y, Zhan W. Ultrasound-guided laser ablation versus microwave ablation for patients with unifocal papillary thyroid microcarcinoma: a retrospective study. *Lasers Surg Med*. 2020; 52(9):855-62. doi: 10.1002/lsm.23238.
49. Lewis BD, Hay ID, Charboneau JW, McIver B, Reading CC, Goellner JR. Percutaneous ethanol injection for treatment of cervical lymph node metastases in patients with papillary thyroid carcinoma. *AJR Am J Roentgenol*. 2002; 178(3):699-704. doi: 10.2214/ajr.178.3.1780699.
50. Hay ID, Lee RA, Kaggal S, Morris JC, Stan MN, Castro MR, et al. Long-term results of treating with ethanol ablation 15 adult patients with cT1aN0 papillary thyroid microcarcinoma. *J Endocr Soc*. 2020; 4(11):bvaa135. doi: 10.1210/jendso/bvaa135.
51. Yan L, Li X, Li Y, Xiao J, Zhang M, Luo Y. Comparison of ultrasound-guided radiofrequency ablation versus thyroid lobectomy for T1bN0M0 papillary thyroid carcinoma. *Eur Radiol*. 2023; 33(1):730-40. doi: 10.1007/s00330-022-08963-5.
52. Zhao Q, Tian G, Kong D, Jiang T. Meta-analysis of radiofrequency ablation for treating the local recurrence of thyroid cancers. *J Endocrinol Invest*. 2016; 39(8):909-16. doi: 10.1007/s40618-016-0450-8.
53. Suh CH, Baek JH, Choi YJ, Lee JH. Efficacy and safety of radiofrequency and ethanol ablation for treating locally recurrent thyroid cancer: a systematic review and meta-analysis. *Thyroid*. 2016; 26(3):420-8. doi: 10.1089/thy.2015.0545.
54. Cam I, Shatat A, Köksalan D, Atış S, Yalnız A, Çakır Ö, et al. Ultrasound-guided percutaneous microwave ablation for locoregional recurrence of medullary thyroid carcinoma.

- Int J Hyperthermia. 2025; 42(1):2533305. doi: 10.1080/02656736.2025.2533305.
55. Zhou Z, Xue Y, Yao Y, Liang L, Yang D, Li Y, et al. Comparison of health-related quality of life between radiofrequency ablation and surgery for unifocal T1N0M0 papillary thyroid carcinoma: follow-up study with up to 5 years of observation. *Sci Rep*. 2026; 16(1):8568. doi: 10.1038/s41598-026-40119-z.
 56. Miller JR, Tanavde V, Razavi CR, Saraswathula A, Russell JO, Tufano RP. Cost comparison between open thyroid lobectomy and radiofrequency ablation for management of thyroid nodules. *Head Neck*. 2023; 45(1):59-63. doi: 10.1002/hed.27178.
 57. Kong X, Wang L, Sun Y, Zhu D, Yang C. Comparison of radiofrequency ablation and surgery for thyroid papillary microcarcinoma: efficacy, safety and life quality. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2024; 15:1352503. doi: 10.3389/fendo.2024.1352503.
 58. Ha EJ, Baek JH, Lim HK, Sim JS, Yoon JH, Baek SM, et al. Radiofrequency ablation for recurrent thyroid cancers: 2025 Korean Society of Thyroid Radiology guideline. *Korean J Radiol*. 2025; 26(2):148-69. doi: 10.3348/kjr.2024.0963.
 59. Hussain I. Radiofrequency ablation for primary thyroid cancer. *Endocr Pract*. 2026. doi: 10.1016/j.eprac.2026.01.023.
 60. Papini E, Guglielmi R, Novizio R, Pontecorvi A, Durante C. Management of low-risk papillary thyroid cancer: minimally invasive treatments dictate a further paradigm shift? *Endocrine*. 2024; 85(2):584-92. doi: 10.1007/s12020-024-03864-7.