



ACTAS Dermo-Sifiliográficas

www.actasdermo.org



Principios físicos y generalidades

F. Alfageme Roldán^{a,*}, J. Mollet Sánchez^b y E. Cerezo López^{c,d}

^aServicio de Dermatología, Hospital Universitario Puerta de Hierro Majadahonda, Madrid, España

^bServicio de Dermatología, Hospital Universitari Vall d'Hebron, Barcelona, España

^cCentro de Ecografías América, Madrid, España

^dPresidente de la Sociedad Española de Ecografía (SEECO)

PALABRAS CLAVE

Ecografía dermatológica;
Principios físicos de ecografía;
Doppler;
Doppler cutáneo;
Ecografía del pelo;
Ecografía de la uña

KEYWORDS

Dermatologic ultrasound;
Physical principles of ultrasound;
Doppler;
Skin Doppler;
Hair ultrasound;
Nail ultrasound

Resumen La ecografía cutánea consiste en aplicar los conceptos y principios físicos generales de la ecografía a la piel y los anejos. La semiología, los artefactos y la aplicación de la exploración Doppler permiten valorar los fenómenos biológicos y patológicos en la piel y sus anejos.

© 2015 Elsevier España, S.L.U. y AEDV. Todos los derechos reservados.

Physical principles and general considerations

Abstract Cutaneous ultrasound is based on the application of the physical properties of ultrasound to the skin and cutaneous adnexae. Knowledge of ultrasound semiology, artifacts and the application of Doppler examination allows deeper study of the biology and diseases of the skin and its adnexae.

© 2015 Elsevier España, S.L.U. and AEDV. All rights reserved.

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: feralfarol@yahoo.es (F. Alfageme Roldán).

Principios físicos e instrumentos

El eco es un fenómeno acústico muy conocido popularmente. Es el sonido reflejado por una superficie o interfase reflectante. Una interfase reflectante es una superficie que separa 2 medios físicos y que es capaz de reflejar sonido en forma de eco. Las interfases reflectantes¹ son superficies que separan 2 medios físicos de diferente impedancia acústica; como la impedancia acústica depende de la densidad del medio, las interfases reflectantes son las que separan 2 medios de distinta densidad.

Un ultrasonido es una onda acústica de muy alta frecuencia, del orden de megahercios (1 Hz equivale a 1 ciclo por segundo, 1 MHz es 1 millón de Hz). En ecografía o ultrasonografía se utilizan ondas acústicas de muy alta frecuencia (MHz).

Cuando un sonido choca con una interfase reflectante, parte se refleja en forma de eco y parte pasa al medio situado al otro lado de la interfase reflectante (fig. 1).

Hay una relación entre la intensidad del eco y las densidades de los medios que separan la interfase reflectante. Cuanto mayor es la diferencia de densidades, mayor es la intensidad del eco y menor la intensidad del sonido que atraviesa la interfase reflectante y se continúa propagando por ella (fig. 2).

Un ecógrafo es una máquina capaz de representar los ecos de las interfases reflectantes de los órganos del cuerpo humano. Consta de una o varias sondas, que emiten ultrasonidos y captan los ecos, una unidad de procesamiento, que procesa la información que proviene de las sondas, y un monitor donde se expone la información (fig. 3).

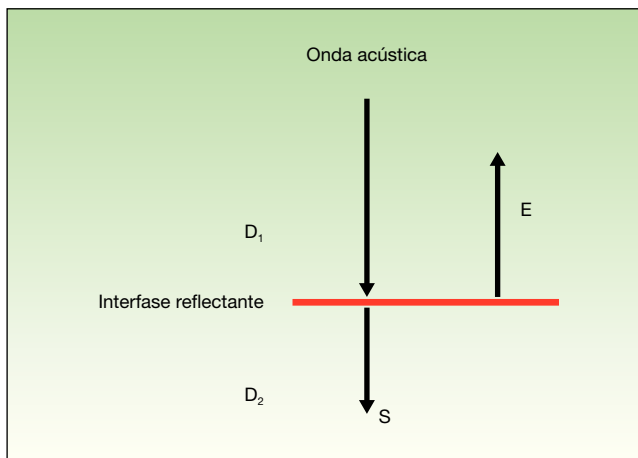


Figura 1 La onda acústica encuentra una interfase reflectante que separa 2 medios de densidad, D_1 y D_2 ; parte se refleja en forma de eco y parte pasa al otro medio en forma de sonido.

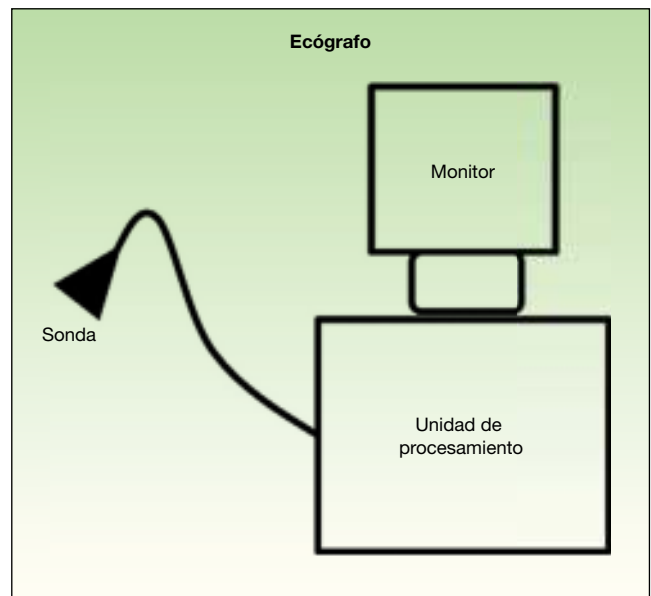


Figura 3 Un ecógrafo consta de una o varias sondas, una unidad de procesamiento y un monitor.

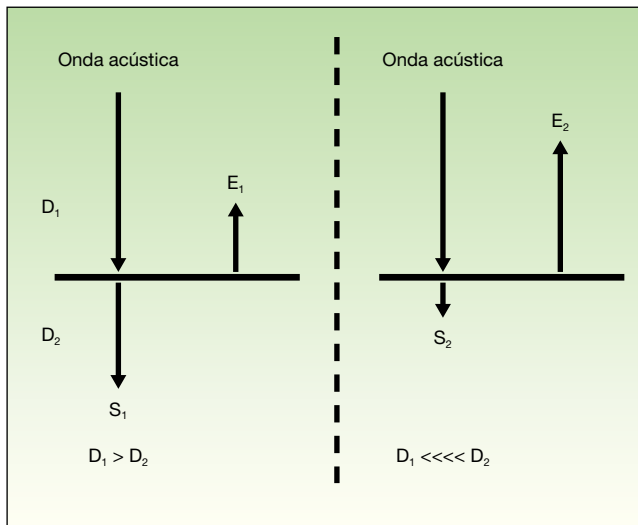


Figura 2 Cuanto mayor es la diferencia de densidades (D_1 y D_2), mayor es la intensidad del eco (E_1 y E_2) y menor la intensidad del sonido (S_1 y S_2) que atraviesa la interfase reflectante y continúa propagándose por el otro medio.

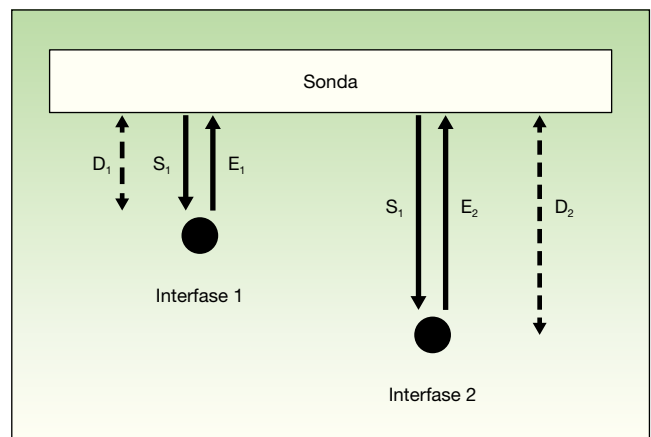


Figura 4 La sonda emite un ultrasonido (S_1) que se propaga por el medio y encuentra una interfase 1 a una distancia D_1 y genera un eco (E_1). También emite un sonido (S_2) que encuentra una interfase 2 a una distancia D_2 y que genera un eco (E_2).

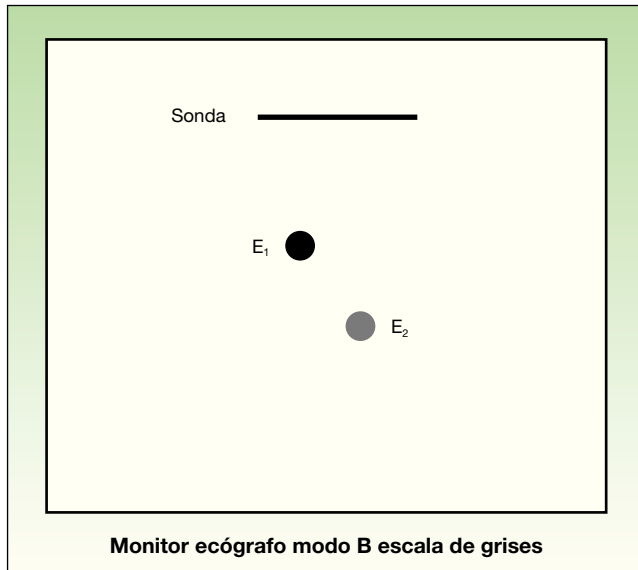


Figura 5 En el monitor se sitúan los ecos (E_1 y E_2) con un gris diferente, más claro, blanco cuanto más intenso es el eco y más oscuro cuanto más débil es el eco, y a una distancia proporcional a la distancia de las interfases respecto de la sonda en el cuerpo.

La sonda emite un ultrasonido que cuando encuentra una interfase reflectante refleja un eco que es captado también por la sonda y tras ser procesado es situado en el monitor con un brillo según su intensidad (figs. 4 y 5).

Los ultrasonidos se atenúan, pierden intensidad al propagarse por los medios. La atenuación es mayor cuanto mayor es la frecuencia (los hercios) del ultrasonido. Por lo tanto, para estudiar interfases próximas a la sonda se pueden usar ultrasonidos de muy alta frecuencia, hoy en día y para estructuras cutáneas de hasta 22 MHz, y para estudiar estructuras lejanas a la sonda se han de usar los de menor frecuencia.

La capacidad de diferencia de 2 interfases muy próximas se llama *resolución*. Las sondas de alta frecuencia tienen mayor resolución que las de baja frecuencia.

Para compensar² la pérdida de intensidad del sonido por la atenuación se puede aumentar la intensidad de los ecos que viene de las zonas más profundas añadiendo una intensidad diferente a los ecos, según procedan de distintas profundidades. Este añadido, en función de la profundidad, se denomina *compensación en el tiempo*, porque el ecógrafo maneja tiempos, que transforma en profundidades a razón de 1.540 m/s de velocidad de propagación general.

Para compensar la atenuación en función del grado de la grasa que ha de atravesar el sonido antes de llegar al órgano se usa la *ganancia global*, mediante la cual se agrandan todos los ecos independientemente de la profundidad a la que se generan. Al aumentar los ecos de forma indiscriminada se aumenta el ruido de fondo.

Semiología

Las estructuras en ecografía se definen por su ecogenicidad y la relación que tiene esa ecogenicidad con las estructuras circundantes.

Tabla 1 Ecogenicidad de las estructuras cutáneas

Estructuras hiperecoicas	Estructuras hipoecoicas
Hueso-calcificación	Lobulillos grasos
Epidermis	Folículo pilosebáceo
Dermis	Cartilago
Fascia	Fibras musculares
Septos interlobulillares	
Tabla ungueal	
Tallo piloso	
Cuerpos extraños	

Según su ecogenicidad pueden ser *hiperecoicas* en el caso de que choquen con una interfase acústica capaz de reflejar casi todo el ultrasonido. En el caso de que la interfase acústica deje pasar parte del ultrasonido será más *hipoecoica*.

Cuando 2 estructuras tienen la misma ecogenicidad se denominan *isoecoicas*.

Las distintas estructuras cutáneas presentan ecogenicidades diferentes que nos permiten distinguirlas (tabla 1).

Artefactos fundamentales en ecografía cutánea

Los artefactos son comunes al resto de la ecografía general y habitualmente evitan la visualización adecuada de las estructuras cutáneas².

Por otra parte aportan información sobre la composición de la estructura cutánea, ya que las propiedades físicas del ultrasonido quedan alteradas en función de la composición de las estructuras.

A continuación se describirá cada uno de los artefactos y su aplicación a la ecografía cutánea.

Reverberación

La onda acústica choca entre 2 interfases de impedancia acústica muy diferente generando múltiples ecos (fig. 6).

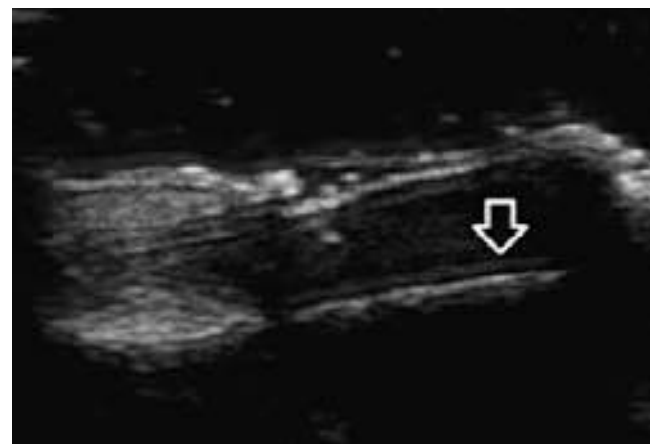


Figura 6 Flecha: reverberación entre la tabla ósea y la tabla ungueal.

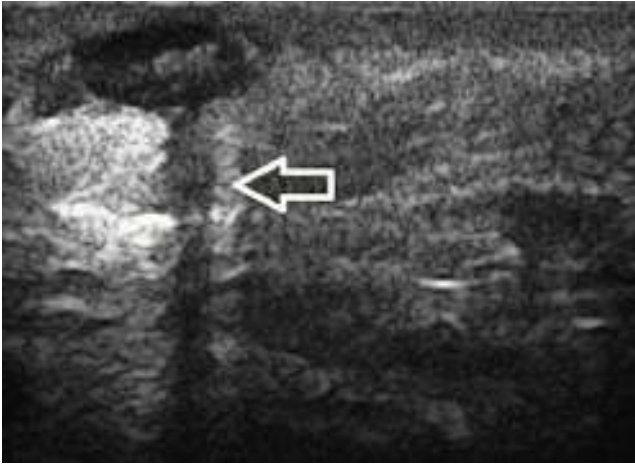


Figura 7 Cuerpo extraño mineral (mina de lápiz). Flecha: sombra acústica posterior.

En ecografía cutánea podemos encontrar reverberación cuando hay aire en la piel (enfisema subcutáneo, fascitis necrosante) y en la uña entre la interfase de la tabla ungueal y la falange distal.

Sombra acústica posterior

Cuando el ultrasonido encuentra una estructura que refleja totalmente la onda sonora se genera un área anecoica que impide visualizar claramente las estructuras posteriores (fig. 7). Este artefacto es típico de las calcificaciones y los cuerpos extraños.

Refuerzo acústico posterior

Cuando el ultrasonido atraviesa estructuras que contienen líquidos homogéneos o tejidos con poblaciones celulares muy homogéneas, el ultrasonido que atraviesa esa estructura se atenúa menos que el ultrasonido circundante (fig. 8).

Este fenómeno, en el caso de estructuras delimitadas por cápsulas o pseudocápsulas, genera una mayor ecogenicidad de la pared posterior (salida del ultrasonido).

Este artefacto es frecuente en quistes, adenopatías y vesículas de implantes de ácido hialurónico.

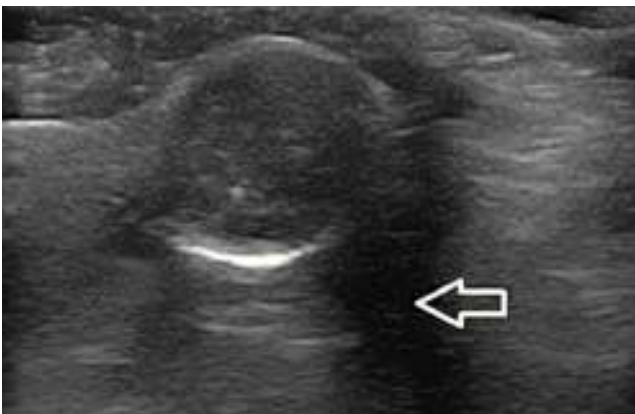


Figura 8 Refuerzo posterior en granuloma piógeno. Nótese la mayor ecogenicidad de la pared posterior de este.

Sombra acústica lateral

Cuando el ultrasonido alcanza superficies curvas de manera tangencial genera una sombra acústica lateral tangencial a esta superficie. Este fenómeno se puede encontrar en estructuras con cápsulas ovoides, como quistes y adenopatías (fig. 9).

Imagen en espejo

Sucede cuando el eco del ultrasonido se refleja sobre una superficie curva. Es poco frecuente en ecografía cutánea y se puede ver en superficies como la calota craneal dando falsas imágenes intracraneales (fig. 10).

Doppler en ecografía dermatológica

Aunque la exploración en modo B (escala de grises) en dermatología aporta una información útil sobre las lesiones cutáneas, la ecografía Doppler permite evidenciar fenómenos fisiopatológicos como la inflamación³ y la neovascularización, que son de gran interés en biología y en patología cutánea.

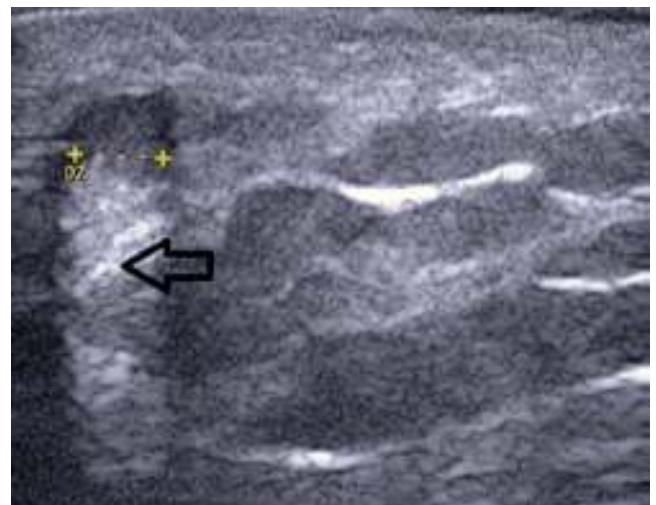


Figura 9 Flecha negra: sombra acústica lateral en un quiste infundibular.

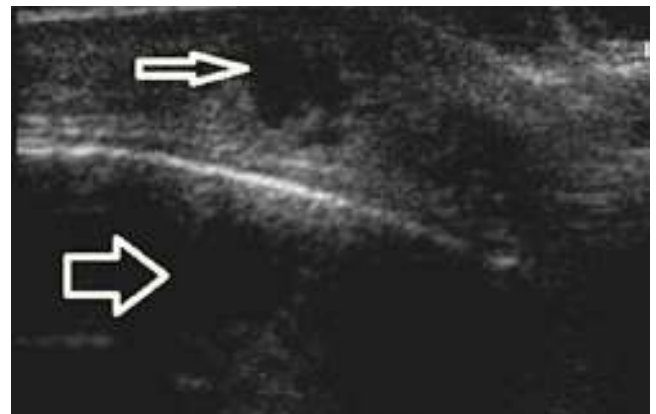


Figura 10 Imagen en espejo. Quiste en cuero cabelludo flecha superior e imagen en espejo.

Concepto de frecuencia Doppler

Imaginemos que con nuestro equipo emitimos una onda sonora con una determinada frecuencia (F_1) sobre la sangre de un vaso sanguíneo de la dermis.

El sonido reflejado por la sangre, que se mueve con una velocidad (V_f) tendrá otra frecuencia distinta a la emitida. Este cambio de frecuencia (DF) es lo que denominamos *frecuencia Doppler*, que está influida por la velocidad del fluido (V), la velocidad de transmisión del sonido por el medio (c) y el coseno del ángulo de insonación (\cos):

$$DF = \frac{2 \times F_1 \times V \times \cos}{c}$$

La información sobre las velocidades y flujos sanguíneos que realiza la unidad de procesamiento se representa por medio de colores o curvas, en lo que denominamos modos. A continuación se referencian los 3 modos de Doppler útiles en ecografía cutánea:

Doppler color

Las velocidades y direcciones de los flujos se codifican con colores e intensidades de estos colores (habitualmente azul y rojo), en función de si se alejan o se acercan a la sonda, de tal manera que podemos tener una imagen de las velocidades medias en un plano.

Power Doppler o Doppler de intensidad

Se basa en el cambio de intensidad de la frecuencia Doppler, por lo que no se influye tanto por el ángulo de insonación.

Se representa con un único color (habitualmente amarillo naranja) y tiene una escala visual de tonos de este color.

El power Doppler clásico no aporta información sobre la dirección del flujo y se utiliza sobre todo para detectar flujos muy lentos. Recientemente se ha introducido un power Doppler direccional.

Actualmente ha perdido uso por la mejora en los sistemas Doppler color, que son capaces de detectar flujos muy lentos al mismo nivel que el power Doppler.

Tanto en el Doppler color como en el power Doppler se trabaja en modo B con una ventana o muestra, que es un rectángulo habitualmente de color verde dentro de la imagen en modo B (v. imágenes previas). El tamaño de la muestra se debe ajustar a la estructura a estudio.

Doppler pulsado o espectral

Representa las velocidades del flujo en forma de una curva frente al tiempo. En este modo podemos medir las velocidades máxima y mínima del flujo sanguíneo, así como otros relacionados con la aceleración de los flujos.

Las distintas formas de curva también informan sobre las características hemodinámicas de los vasos.

Aplicaciones de la ecografía Doppler cutánea

Tanto los procesos de neovascularización como los procesos de inflamación conllevan una alteración de los plexos vasculares cutáneos. Estas modificaciones nos pueden ayudar a

realizar un seguimiento de estos procesos, tanto en patología inflamatoria³ como en patología tumoral⁴ (fig. 11).

Patología inflamatoria cutánea

En general, cuando la piel y los anejos se inflaman hay un aumento de flujo sanguíneo en la zona donde se produce la inflamación. Habitualmente, el aumento de flujo sanguíneo se correlaciona con el grado de inflamación⁴.

Patología tumoral cutánea

Los tumores cutáneos asocian habitualmente fenómenos de neovascularización⁵. Los vasos neoformados pueden ser intratumorales o extratumorales y suelen tener conexión con los vasos vecinos de los que derivan⁶.

Ecografía cutánea de la piel normal

En el aprendizaje de la ecografía cutánea es esencial el amplio conocimiento de la piel normal y de sus variantes, ya sea para familiarizarse con la técnica, ya sea para poder compararla con sus alteraciones⁷.

Sin lugar a dudas, el poseer una formación en histología va a ser de gran ayuda para entender la ecografía cutánea. Vamos a visualizar en diferentes grises imágenes a las que ya estamos habituados a través del microscopio.

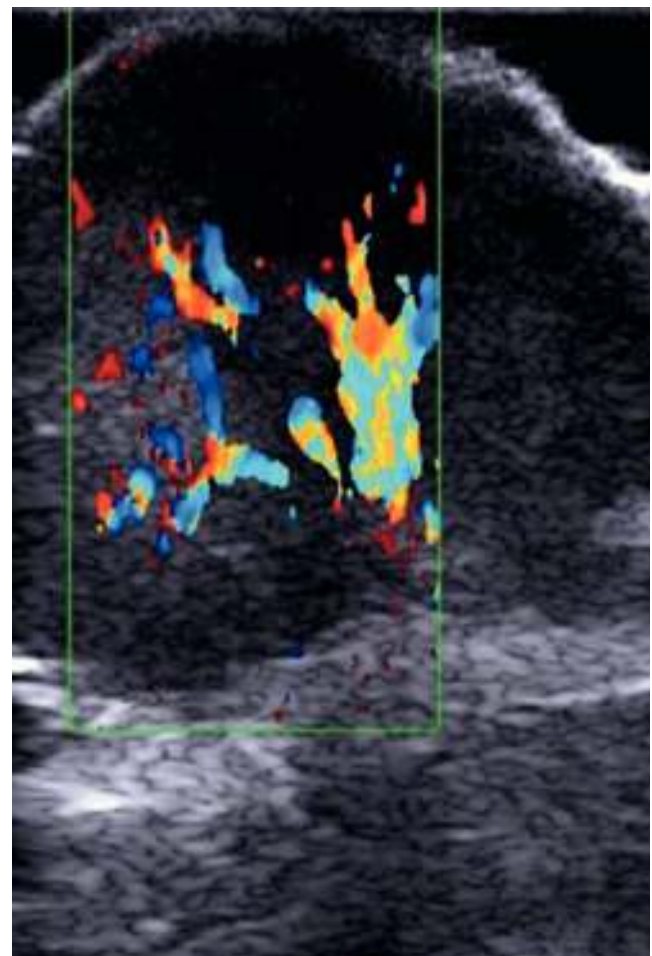


Figura 11 Neovascularización en carcinoma epidermoide.

La piel normal está dividida en 3 partes, que de superficie a profundidad son la epidermis, la dermis y el tejido celular subcutáneo. En ellas vamos a encontrar diferentes estructuras que también podemos ver mediante el estudio ultrasonográfico.

El espesor de la piel es variable, es más fina en los párpados, pene, zona flexora de las articulaciones y en el fondo de los grandes pliegues (axilas, ingles, etc.) y más gruesa en la cara extensora de las articulaciones y en palmas y plantas, que son zonas expuestas a un mayor roce¹⁻³.

Ecografía de la epidermis

La epidermis es la primera línea o eco de entrada que vamos a encontrar por debajo del gel. Su ecoestructura es lineal y es de carácter hiperecogénico. Normalmente solo es una línea, que puede ser doble con una zona menos ecogénica en su interior en las zonas acrales (fig. 12). El grosor de esta línea también va a depender de fenómenos de hiperqueratosis y atrofia cutánea².

Ecografía de la dermis

La dermis puede mostrar 2 niveles bien diferenciados: una zona hipoecoica superficial y otra más hiperecoica de localización más profunda, que se correlacionan a nivel histológico con dermis papilar y reticular, respectivamente.

En la dermis papilar se objetivarán los procesos inflamatorios y de elastosis o envejecimiento cutáneo. En la dermis reticular, más rica en fibras de colágeno, se apreciarán mejor todos los fenómenos relacionados con alteraciones en la cicatrización y atrofias cutáneas.

A nivel de la dermis hay 2 parámetros métricos interesantes para el estudio de la patología inflamatoria (fig. 13)^{7,8}:

- *Subepidermic low echogenic band*/elastosis cutánea: distancia perpendicular desde la epidermis hasta el final de la banda hipoecoica subepidérmica.
- Grosor total: distancia perpendicular desde la epidermis (incluida) hasta el punto más profundo de la banda dérmica de la dermis (epidermis más dermis).

Ecografía del tejido celular subcutáneo

La hipodermis se caracteriza por presentar tabiques y lobulillos adiposos. Los tabiques no tienen una estructura bien definida y se visualizan como líneas perpendiculares y transversales hiperecoicas mal definidas, que se extienden entre la dermis y la fascia muscular. Los lobulillos son los espacios hipoecoicos que quedan entre estos septos.

Las paniculitis alterarán estas estructuras dando una u otra morfología dependiendo de que sean de predominio septal o lobulillar⁹.

Otras estructuras cutáneas en la piel normal

Glándulas sebáceas. Forman parte de la unidad pilosebácea y por su tamaño no se visualizan en ecografía convencional salvo las que se identifican como parte de esta unidad.

Glándulas ecrinas. Al igual que las sebáceas, no se visualizan con los equipos convencionales.

Glándulas apocrinas. Tampoco se visualizan, a excepción de la glándula mamaria, que se ve como tejido fibroglan-



Figura 12 Diferencia ecográfica entre la piel no acral (antebrazo) y la piel acral palmar. Nótese la doble línea epidérmica en la piel acral.

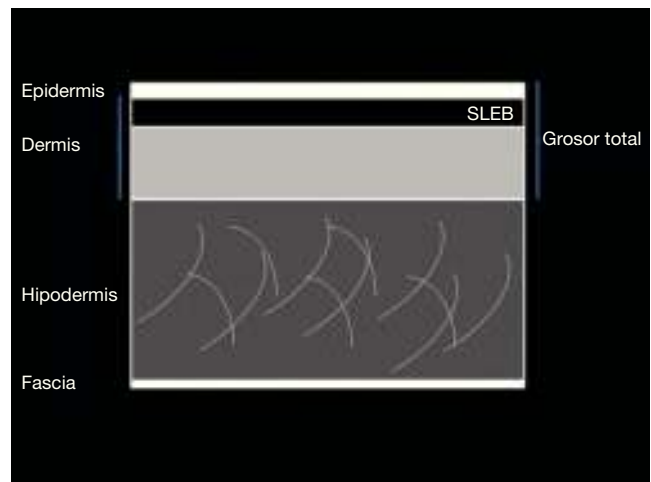


Figura 13 Esquema de las distintas estructuras cutáneas ecográficas en modo B.

dular hiperecoico intercalado con lóbulos de grasa hipoecoicos.

Arterias y venas. Los vasos sanguíneos son estructuras hipoecoicas localizadas normalmente en dermis profunda e hipodermis. Las venas son totalmente compresibles, a menos que estén trombosadas. Las arterias son más difícilmente compresibles.

En algunos casos podemos ver zonas hiperecoicas en su pared, que corresponden a calcificaciones.

Para su correcto estudio es imprescindible realizar un Doppler color o power Doppler, que nos indica la presencia de flujo y su direccionalidad.

Nervios. Igual que los músculos y los tendones presentan una apariencia con alternancia de capas hiper e hipoecoicas. En los cortes transversales su apariencia es ovoide. Lógicamente, su tamaño es mucho menor que el de un músculo y solo en algunos casos se puede confundir con algún tendón¹⁰.

Músculos. Poseen 3 partes claramente diferenciadas: a) una parte externa, que corresponde a la fascia y que es muy hiperecogénica; b) las fibras musculares, que son hipocogénicas, y c) el tejido conectivo que las rodea, que es hiperecogénico.

Según la posición de la sonda, esta estructura se observa de diferente manera:

- En cortes longitudinales se alternan bandas hiperecoicas e hipocogicas dispuestas de manera paralela.
- En cortes transversales, las fibras hipocogicas están rodeadas por los tabiques fibrosos hiperecoicos.

Tendones. Su rica composición en colágeno hace que se vean como un conjunto de fibras lineales paralelas hiperecoicas. En alguna ocasión pueden parecerse a los nervios, pero estos suelen estar peor definidos.

Cartilagos. Imagen hipocogica localizada en pabellones auriculares o zona nasal. En algunas ocasiones se aprecia un artefacto de refuerzo posterior en su cara inferior.

Huesos. Se ven como una estructura lineal, hiperecogénica, continua, que produce un artefacto de sombra acústica posterior. La discontinuidad de esta línea debe hacer sospechar una fractura o afectación ósea por un tumor cutáneo o de partes blandas.

Ganglios linfáticos. El hallazgo de ganglios linfáticos alterados representa un reto para el dermatólogo, especialmente en el paciente oncológico.

Un ganglio normal suele tener forma elíptica (longitud/anchura > 2), tamaño < 10 mm, bordes regulares, corteza homogénea hipocogica y una zona central (médula) hiperecogénica también homogénea. Mediante Doppler se visualiza vascularización a través de un hilio. Cualquier cambio en estas características ecográficas debe hacer sospechar que estamos ante una adenopatía¹¹.

Ecografía del pelo y de la uña. Se explicará en los artículos correspondientes a estas estructuras¹²⁻¹⁴.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Wortsman, Jemec G, editors. Dermatologic ultrasound with clinical and histological correlations. Berlin: Springer Verlag; 2013.
2. Alfageme F, Cerezo E, Aguiló R. Manual de ecografía cutánea. Charleston: Createspace Independent Platform Publisher; 2013.
3. Wortsman X. Common applications of dermatologic sonography. J Ultrasound Med. 2012;31:97-111.
4. Kleinerman R, Whang TB, Bard RL, Marmur ES. Ultrasound in dermatology: principles and applications. J Am Acad Dermatol. 2012;67:478-87.
5. Wortsman X, Wortsman J. Clinical usefulness of variable frequency ultrasound in localized lesions of the skin. J Am Acad Dermatol. 2010;62:247-56.
6. Bobadilla F, Wortsman X, Muñoz C, Segovia L, Espinoza M, Jemec GB. Pre-surgical high resolution ultrasound of facial basal cell carcinoma: correlation with histology. Cancer Imaging. 2008;8:163-72.
7. Alfageme F, Tresguerres Fernández A, Buron I, Villegas C. Métodos ecográficos de evaluación del envejecimiento cutáneo y su tratamiento. Piel. 2011;26:517-22.
8. Crisan D, Lupsor M, Boca A, Crisan M, Badea R. Ultrasonographic assesment of skin structure according to age. Indian J Dermatol Venereol Leprol 2012;78: 519.
9. Wortsman X. Ultrasound in dermatology: why, how, and when? Semin Ultrasound CTMR. 2013;34:177-95.
10. Alfageme F. Ultrasound skin imaging. Actas Dermosifiliogr. 2014; 105:891-9.
11. Echeverría-García B, Borbujo J, Alfageme F. The use of ultrasound imaging in dermatology. Actas Dermosifiliogr. 2014;105:887-90.
12. Wortsman X, Wortsman J, Soto R, Saavedra T, Honeyman J, Sazunic I, et al. Benign tumors and pseudotumors of the nail: a novel application of sonography. J Ultrasound Med. 2010;29:803-16.
13. Wortsman X, Wortsman J, Matsuoka L, Saavedra T, Mardones F, Saavedra D, et al. Sonography in pathologies of scalp and hair. Br J Radiol. 2012;85:647-55.
14. Alfageme F, Cerezo E. Ecografía en patología folicular. Actual Med. 2014;99 Supl:42-68.