



REAL ACADEMIA DE MEDICINA Y CIRUGÍA DE LA REGIÓN DE MURCIA

SESIÓN EXTRAORDINARIA Y SOLEMNE DE RECEPCIÓN
COMO ACADÉMICO CORRESPONDIENTE

DISCURSO DE INGRESO

PASADO Y PRESENTE DE LA ULTRASONOGRAFÍA.
REFLEXIONES SOBRE SU FUTURO

POR

Dr. D. Manuel Reus Pintado



DISCURSO DE PRESENTACIÓN

POR EL

Ilmo. Sr. D. Ginés Madrid García



3 de abril de 2025

MURCIA



DISCURSOS

LEÍDOS EN LA SESIÓN EXTRAORDINARIA Y SOLEMNE
DE RECEPCIÓN COMO ACADÉMICO CORRESPONDIENTE,
CELEBRADA POR LA

REAL ACADEMIA DE MEDICINA Y CIRUGÍA
DE LA REGIÓN DE MURCIA

el día 3 de abril de 2025

Discurso de ingreso

por

Dr. D. Manuel Reus Pintado

**‘Pasado y presente de la ultrasonografía.
Reflexiones sobre su futuro’**

Discurso de presentación

por el

Ilmo. Sr. D. Ginés Madrid García

Académico de Número. Real Academia de Medicina y Cirugía
de la Región de Murcia

Edita:



*Real Academia de Medicina y Cirugía
de la Región de Murcia*

Realización y producción:

Juana Alegría (juanialeagriagarcia@gmail.com)

Depósito Legal:

MU 395-2025

Índice

• Discurso de presentación.....	7
Orígenes	9
Estudios primarios	9
Estudios universitarios	10
Formación profesional	10
Trayectoria profesional.....	12
Familia	15
• Discurso de ingreso:	
<i>Pasado y presente de la ultrasonografía. Reflexiones sobre su futuro</i>	17
1. Introducción	26
2. Orígenes.....	26
3. Primeras aplicaciones en medicina	29
3.1. Método de transmisión directa.....	29
3.2. Método Pulso-Eco.....	30
4. Ultrasonografía Doppler.....	41
5. Nuevas aplicaciones de la ultrasonografía	46
5.1. Elastosonografía	46
5.2. Ultrasonidos de mano/bolsillo: criterios para su uso apropiado.	49
5.3. Visión general de la inteligencia artificial en ultrasonografía ...	51
6. Reflexiones sobre el futuro de la ultrasonografía.....	54
7. Conclusiones.....	55
Bibliografía.....	56

Discurso de presentación

por el

Ilmo. Sr. D. Ginés Madrid García

Académico de Número de la Real Academia de Medicina y Cirugía
de la Región de Murcia

Excmo. Sr. Presidente de la Real Academia de Medicina y Cirugía de la Región de Murcia,
Excelentísimos e Ilustrísimos Académicos y Académicas,
Autoridades,
Sras. y Sres.

Me presento ante Vds. con el honroso y satisfactorio encargo de nuestra Junta de Gobierno para glosar la rica y fructífera trayectoria del Dr. Manuel Reus Pintado

Orígenes

El Dr. Manuel Reus nació en Murcia, en el año 47, en el seno de una familia de clase media. Su padre, D. Manuel tenía un establecimiento de relojería en el centro neurálgico de la ciudad, en la Calle Platería. Su madre, D^a María, como así lo hacían la gran mayoría de nuestras madres, ejercía como ama de casa. Fue el tercero de 3 hermanos, primero fueron Esperanza y María Encarna y, finalmente el tan deseado niño varón.

Estudios primarios

Sus estudios primarios estuvieron siempre vinculados a los Hermanos Maristas de Murcia. He de confesarles que hasta que conocí esta circunstancia me

preguntaba de donde procedería su actitud llamativamente laboriosa. La respuesta estaba bien clara, puesto que como antiguo alumno marista yo también participé de los valores del fundador de la Congregación, el entonces Beato y posteriormente Santo Marcelino Champagnat, que nos inculcaban hasta la extenuación. Recuerdo, que recitábamos como papagayos y como si de una jaculatoria se tratase, aquello de “trabajar es ley divina, es castigo y redención, quien trabaja no rebaja su nobleza y dignidad, trabajemos y seremos honra de la sociedad”, ahí es nada, y, por si acaso no tenía suficiente impacto el mensaje, añadíamos la coletilla “quien al trabajo le teme y no se alía con él, es vergüenza de los hombres, a Dios y a la Patria infiel” Que tiempos aquellos.

Durante ese periodo, empezó a desarrollar su pasión por el deporte. Siempre fue un deportista activo y variado, tocaba todos los palos, desde el fútbol al básquet, pasando por el patinaje y otras disciplinas.

Pero no solo de pan vive el hombre, al cuerpo sano hay que complementarlo con la mente sana y divertida. Y eso lo supo conjugar Manuel Reus a la perfección, entre otros, con su entrañable amigo Paco Gutiérrez Palazón, con quien disfrutó de una juventud pletórica en la Murcia festera de aquellos años y también con los conciertos de la época, sobre todo de Paco Ibáñez, Raimond y Joan Manuel Serrat cuya asistencia, para quien no vivió aquella época, suponía cierto riesgo.

Estudios universitarios

Estudió en Valencia, uno de los destinos habituales de los jóvenes murcianos para la Licenciatura en Medicina, ante la ausencia de Facultad en nuestra Comunidad, coincidiendo en su promoción con conocidos galenos murcianos, entre otros, con los Dres. Carlos Clavel y Manuel Molina Boix.

-

Formación profesional

Al finalizar sus estudios en el año 72 y tras un periodo de duda y reflexión respecto a la especialidad a elegir, se decanta por la Radiología, y acepta la invitación del Dr. López Marcos a la sazón Jefe de Servicio de Radiología, para

formar parte de la segunda promoción de médicos residentes en el Hospital de la Arrixaca. Es obligado recordar, que durante los inicios del sistema MIR, no existía prueba de acceso nacional, sino que los residentes eran seleccionados y elegidos desde los propios Servicios docentes.

Desde el inicio de su especialización, acometió con fruición su formación, buscando las fuentes, tanto en su medio cercano como allá donde se encontrasen. Cuenta el Dr. Reus, con indisimulada nostalgia, su asistencia a los recordados y añorados Sábados Radiológicos de Madrid.

Y para comprender qué fue aquello de los sábados radiológicos, permítanme que les cuente una pequeña historia que ayudará a entender, sobre todo a los más jóvenes, el recorrido de la formación médica especializada hasta nuestros días.

En primer lugar, el contexto: hay que remontarse a la década de los 60 del pasado siglo. Era una época difícil, incluso de penuria, sin una sanidad estructurada como hoy, con hospitales provinciales, de beneficencia, empezando las primeras Residencias de la Seguridad Social y, por supuesto, sin internet ni asomo de cualesquiera otros adelantos hoy rutinarios, en resumen, en una sociedad y un país en blanco y negro, en donde la formación suponía un auténtico peregrinaje además de un enorme esfuerzo adicional.

Acontecía el año 1961 y a mucha distancia de aquí, en el Principado de Asturias, concretamente en la ciudad de Oviedo, sucedió un hecho insólito, casi mágico añadiría yo, y que cambió radicalmente la formación médica en España.

Por aquel entonces el Presidente de la Diputación Provincial de Oviedo, D. José López Muñiz que, por cierto, nada tenía que ver con la Medicina, tuvo la magnífica idea de acometer la construcción del mítico Hospital General de Asturias. Y lo hizo, no solo pensando en la arquitectura, que quizás hubiese sido lo esperado, sino, sobre todo, en los profesionales que deberían ocuparlo. Para ello inició una campaña, tan pionera como complicada, de recuperación de médicos españoles que se habían formado y se encontraban trabajando en los mejores hospitales del mundo, fundamentalmente de EEUU. Aprovechando una serie de peripecias administrativas los reclutó y propició su retorno, y en muy poco tiempo convirtió el HGA en un centro de referencia europeo. Entre esos profesionales se encontraban nombres míticos, Alonso Lej, Capde-

villa, Pedrosa, entre otros, que organizaron la formación médica especializada a imagen y semejanza de los hospitales norteamericanos, con las primeras promociones de Médicos Internos que, por cierto, vivían en el propio hospital y que más adelante ocuparon, en un número considerable, puestos de jefatura de Servicio en las antiguas Residencias de la Seguridad Social cuando aún no se había promulgado la Ley General de Sanidad y, con ella, en el año 1986, el Sistema Nacional de Salud.

Posteriormente y bajo el liderazgo del Prof. Segovia de Arana, surgió el gran y admirado proyecto docente MIR español hasta nuestros días.

En el año 70, el Dr. Pedrosa, merecidamente señalado como el padre de la moderna Radiología española, recaló en el Hospital Clínico de San Carlos como Jefe de Servicio y, posteriormente, como el primer catedrático de Radiodiagnóstico de la Universidad española. Una de sus primeras iniciativas con el entusiasta y altruista objetivo de difundir y estimular el conocimiento de la Radiología moderna, fue organizar unas sesiones semanales que se celebraban los sábados, con un enorme impacto, y a las que asistían radiólogos de toda España.

También desde Murcia había radiólogos que acudían regularmente a la cita. El Dr. Leal organizaba la expedición y ponía el vehículo, a ella se apuntaba un intrépido grupo de jóvenes residentes, entre ellos el Dr. Reus. El punto de encuentro era la plaza circular, partiendo de madrugada para estar en Madrid a las 9 de la mañana. Todo ello, por cierto, con aquellos coches, por aquellas carreteras y con el frío inmisericorde de la madrugada manchega. Y por supuesto con la vuelta a casa al finalizar la sesión. Es evidente que las ansias por aprender eran infinitas. Eso sí que era afición.

Trayectoria profesional

Manuel Reus realizó la especialidad entre los años 75 y 78 y comenzó su actividad profesional como médico adjunto, en la Unidad de Radiología Vascular e intervencionista del H.U.V.A., en donde permaneció durante 17 años, trabajando y formándose con el Dr. Rafael Leal. A lo largo de este periodo puso de manifiesto su espíritu innovador, iniciando una de las técnicas más compro-

metidas del intervencionismo torácico del momento, entre ellas el diagnóstico percutáneo de los nódulos pulmonares, mostrando su pericia para escudriñar los territorios más recónditos. Es posible, y desde luego nada descabellado, que ese niño que durante su infancia observaba a su padre escrutar y reparar las piezas más ocultas y delicadas de las máquinas del tiempo, despertara su afición hacia las manualidades técnicas más depuradas y adquiriese esa habilidad para manejarse por los recovecos de la circulación cerebral o para colocar certeramente el extremo de una aguja de punción biopsia en destinos aparentemente inaccesibles.

En el año 1988 atraído por la novedad de nuevos horizontes profesionales, decide cambiar la orientación de su actividad y comienza una nueva etapa en la Unidad de Ecografía, ostentando, a partir del año 2000 la jefatura de sección y formando un tándem perfecto con su entrañable amigo y compañero el Dr. José Abellán, con quien le une no solo la actividad profesional sino también su gran afición por el ciclismo. Ambos, proporcionaron un notable prestigio a la ecografía en nuestra Comunidad y de cuyo conocimiento tantas promociones de Residentes se beneficiaron. Allí, siguió mostrando su inquietud innovadora, buscando siempre llegar al límite de lo habitual y rutinario para explorar lo desconocido con el único fin de poner la tecnología y el conocimiento al servicio de los enfermos. Algunas de las técnicas que desarrolló, alcanzaron repercusión más allá de nuestras fronteras, cual es el caso del tratamiento percutáneo guiado por ecografía en pacientes con síndrome piramidal. Todavía recuerda el Dr. Reus, con sorpresa y cierto pudor, aquel día en el que recibió una inesperada llamada desde EEUU y en la que un colega norteamericano le solicitaba instrucciones para la realización de dicho procedimiento en un caso de mialgia incoercible del músculo piramidal.

He de reconocer que cuando decidió que iba a desarrollar su discurso doctrinal sobre el ámbito de la ecografía, me produjo una íntima satisfacción. Los que ya peinamos canas y es obvio que el Dr. Reus y yo pertenecemos a esa misma cofradía, hemos conocido en vivo y en directo la implantación y desarrollo de los diferentes procedimientos que engloban el diagnóstico por la imagen en nuestro país. Creo que la ecografía merece, sin duda alguna, un reconocimiento muy especial que, quizás, no hemos sabido rendirle. Es el claro ejemplo de

procedimiento de imagen todo terreno, eficaz, efectivo y eficiente y, por si fuese poco, sin efectos adversos conocidos. Fue, además, la técnica que transportó a los radiólogos a otra dimensión en cuanto a la restitución de la imagen. La ecografía, en cierta medida, nos llevó al descubrimiento de la imagen multiplanar. En un mismo acto y con un breve movimiento de la muñeca, por supuesto cuando la realiza un experto, podemos escrutar cualquier órgano, sea macizo o hueco, en múltiples planos del espacio. Esto, además de una auténtica revolución, supuso el entrenamiento necesario y el cambio imprescindible en el concepto clásico de la imagen radiológica; el paso del biplano al multiplano, para enfrentarnos, en las mejores condiciones, al resto de procedimientos que fueron apareciendo posteriormente.

A lo largo de toda su vida profesional, el Dr. Reus ha cuidado con esmero su formación, como queda acreditado por su excelente currículum profesional que someramente les relato:

Se doctoró en el año 1997 con la tesis “Utilidad de la ecografía de alta resolución en el screening de la patología tiroidea”, precisamente uno de los campos que más desarrolló.

Ocupó los diferentes escalones jerárquicos, hasta ostentar la Jefatura de Servicio de Radiología del Hospital de la Arrixaca entre los años 2009 y 2012.

Tuvo una intensa actividad docente como tutor de médicos residentes, colaborador honorífico y profesor asociado del Departamento de Radiología y Medicina Física, además de su intervención en 13 cursos de la especialidad.

Entre sus méritos científicos y a modo de resumen, ha participado en la publicación de 72 trabajos de investigación, en revistas nacionales y extranjeras. Ha presentado 63 comunicaciones y ha colaborado en 8 proyectos editoriales y de investigación. Asimismo, ha intervenido como director y presidente de tribunal de tesis en 22 ocasiones.

Pero el Dr. Reus no se conformó solo con investigar para aprender e innovar, sino que se ocupó con auténtica complacencia a transmitir sus conocimientos. Ha sido siempre referente y maestro para los jóvenes residentes. Todavía lo recuerdan circulando por los pasillos de la Arrixaca, con ese caminar sosegado, con semblante enjuto, derecho como un junco y pelo blanco cual tribuno romano y siempre con su carpeta bajo el brazo, plena de artículos por revisar y, en

definitiva, para mejorar en su ámbito de conocimiento. Una radióloga cercana me contaba en cierta ocasión “todo lo que he publicado durante mi actividad profesional se lo debo al Dr. Reus y a su insistencia sobre la necesidad y la importancia de la investigación”. Siempre ha mostrado un sentido kantiano de la vida y, por tanto, un acentuado sentido del deber.

Sentido que fue certeramente representado en el ensayo “Un mensaje a García” escrito por el autor norteamericano Elbert Hubbard en 1899 y que formaba parte de los textos de lectura recomendados en nuestra época de formación especializada.

A modo de resumen, el corolario del texto refiere que existen tres grupos de profesionales, los que cumplen perfectamente sus obligaciones sin necesidad de que se les diga, son maestros; aquellos otros que lo hacen luego de haberseles recordado alguna vez, son competentes y, finalmente, los que requieren permanentemente que se les recuerden sus tareas, son molestos.

Manuel Reus pertenece, sin duda, al primer grupo. Ha sido un profesional que allá donde ha trabajado siempre ha transmitido consenso, sosiego y rigor, y ante el enfermo siempre ha sabido distinguir entre lo ideal, lo posible y lo indispensable. Además, ha gozado de la infrecuente y meritoria condición de no haber generado anticuerpos a lo largo de su vida profesional. Cumplidor y responsable por encima de todo culminó, en el año 2012, una trayectoria admirable de buen radiólogo, pero también de radiólogo bueno.

Sus compañeros quisieron, a modo de entrañable homenaje, nominar a la sala de sesiones del Servicio de Radiología como Sala de los Dres. Reus y Abellán.

Familia

Pero como bien reconoce y presume Manuel Reus, todo lo anterior ha sido la consecuencia virtuosa de haber tenido siempre como soporte indispensable una familia extraordinaria: Carmina, su mujer y compañera que, desde aquel encuentro casual y afortunado en el verano del año 69, en Santiago de la Ribera, le ha acompañado a lo largo de los últimos 55 años, tanto en los buenos como en los menos buenos momentos.

Sus hijos, Patricia, arquitecta y profesora de la UPCT que dejó hace tiempo de ser una promesa para convertirse en una realidad y un referente de la nueva arquitectura española. Y Manu, su hijo, con un futuro prometedor como médico psiquiatra, querido y admirado por todos lo que le conocieron, cuya injusta y prematura muerte, le impide estar hoy entre nosotros gozando del reconocimiento colectivo y solemne que esta Real Academia de Medicina, le rinde a su padre. También, por supuesto, sus respectivas parejas, Juame y Tiziana. Y cómo no, sus nietos, Yulia, Manu, Sofía, Sara y Alejandro, orgullosos siempre de su abuelo, pero especialmente en este momento que jamás van a olvidar, solo hay que fijarse en sus caras.

Querido Dr. Reus nuestra más cordial enhorabuena por su merecida incorporación a esta Institución en la que cabe recordar, por si alguien no lo conociera, que en su excelente nómina académica se encuentran apellidos míticos de la ciencia española, como, Severo Ochoa, Francisco Grande Covián, Ramón Castroviejo, José Ignacio Barraquer, Rafael Méndez, Ciril Rozman, o Federico Mayor Zaragoza, entre otros muchos, que han engrandecido nuestra Institución al ir incorporándose a ella a lo largo de su bicentenaria trayectoria.

Excmo. Sr. Presidente, Sras. y Sres., gracias por su atención. He dicho

Discurso de ingreso

**‘Pasado y presente de la ultrasonografía.
Reflexiones sobre su futuro’**

por

Dr. D. Manuel Reus Pintado

*Excelentísimo Señor Presidente de la Real Academia de Medicina y Cirugía
de la Región de Murcia,
Excelentísimos e Ilustrísimos Señoras y Señores Académicos,
Excelentísimas e Ilustrísimas Autoridades,
Familiares y amigos,
Señoras y Señores.*

Deseo manifestar, en primer lugar, mi más profundo agradecimiento a los miembros de esta Real Academia de Medicina y Cirugía de Murcia. Gracias a vuestros votos, hoy tengo el honor de pronunciar mi discurso de ingreso en esta ilustre institución, con más de 200 años de historia. Asimismo, quiero expresar mi especial gratitud a los académicos D. Gumersindo González Díaz y D. Eduardo Osuna Carrillo de Albornoz, quienes avalaron mi candidatura.



Figura 1. Toma de posesión Jefe de Sección.

Es de justicia declarar un agradecimiento particular por las palabras de presentación del académico D. Ginés Madrid García, cuyo apoyo y consejo han sido fundamentales para la elaboración de este discurso de ingreso. Gracias, Ginés, por tus valiosas recomendaciones y ayuda.

Mi más sincero reconocimiento al Dr. D. Rafael Leal Adán (Fig. 1) por haber guiado mis primeros pasos en la formación de la especialidad de Radiodiagnóstico y, posteriormente, por ofrecerme la oportunidad de trabajar junto a él en la sección vascular-intervencionista del Hospital Virgen de la Arrixaca.

Tras 17 años vinculado a la sección de vascular-intervencionista, pasé 1988 a la sección de Ultrasonografía, más comúnmente conocida como sección de Ecografía, donde el Dr. D. José Abellán Atenza (Fig. 2), primer radiólogo ecografista de la región de Murcia, trabajaba en solitario.

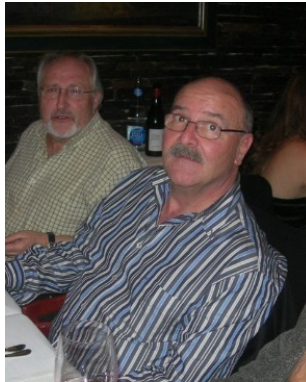


Figura 2. Comida del Servicio de Radiología.
Dr. Abellán Atenza junto al Dr. D. Vicente Climent.

Después de 24 años juntos en la sección, Pepe, solo puedo expresar mi infinita gratitud hacia ti. Haber compartido todos esos años a tu lado ha sido una enorme fortuna, pues, como el gran maestro que eres, me permitiste fortalecer tanto mi formación profesional como humana.

A principios de los años 90, la Sección de Ultrasonografía se equipó con un ecógrafo intravascular de la empresa Dasonics (Fig. 3), dotado con un transductor lineal de 10 MHz. Se trataba de una auténtica innovación para la época, ya que permitió el estudio de las partes blandas superficiales como, tendo-



Figura 3. Diasonics intravasvular.



Figura 4. Power Vision 6000.

nes, músculos, tiroides, testículos, nervios y vasos, con una resolución espacial notable. La alta calidad del transductor lineal me permitió desarrollar mi tesis sobre el tiroides, en la que concluí la superioridad de la ultrasonografía sobre la palpación en el cribado de los nódulos tiroideos. Fue la primera tesis realizada en la Sección de Ultrasonografía.

En 1999, se implementó en la sección el equipo Doppler color de Toshiba, el Power Vision 6000 (Fig. 4). Este nuevo aparato nos permitió seguir avanzando en la investigación ultrasonográfica, lo que llevó a la realización de la segunda tesis doctoral de la Unidad, titulada “*Sellado de los pseudoaneurismas iatrogénicos con trombina humana*”, presentada por la Dra. D^a. Victoria Vázquez Sáez y publicada en la revista *American Journal of Radiology* en 2005.



Figura 5. Acuson 2000. Siemens. Junto a la Dra. D^a Carmen María Hernández R1.

Tras múltiples vicisitudes en los años siguientes, en 2007, gracias al apoyo de la gerencia del Servicio Murciano de Salud, obtuvimos un equipo de ultrasonografía de Siemens, el Acuson 2000, dotado de la novedosa técnica de elastosonografía (Fig. 5). Este nuevo dispositivo nos permitió presentar numerosas comunicaciones en congresos y publicar múltiples trabajos en revistas nacionales e internacionales, además de facilitar la realización de la tercera tesis doctoral de la Sección de Ultrasonografía, defendida por la Dra. D^a. Florentina Guzmán Aroca, sobre las aplicaciones clínicas de la elastosonografía que fue publicada en *European Radiology*.



Figura 6. Profesor D. Juan de Dios Berna Serna. Defensa de la tesis de la Dra. D^a Regina Sánchez Jiménez. 2016.

Tras mi jubilación en 2012, el espíritu investigador en el Servicio se mantuvo vivo, gracias, en gran medida, a la labor del Profesor D. Juan de Dios Berna Serna (Fig. 6), quien asumió la jefatura del Servicio de Radiología. Debido a su impulso todavía se presentaron once tesis doctorales basadas en la técnica de la elastosonografía.

Es de justicia dedicar un especial recuerdo al Dr. D. Antonio López Marcos (Fig. 7), primer jefe de Servicio de Radiología del Hospital Virgen de la Arrixaca. De él aprendí la importancia de las sesiones radiológicas diarias para proporcionar una formación continuada al Servicio.



Figura 7. Dr. D. Antonio López Marcos

Tampoco puedo dejar de recordar al Dr. D. Antonio Gómez Yelo, jefe de la Sección de Urgencias y Digestivo, quien desempeñó un papel clave en nuestra formación como tutor en radiología digestiva. Además, implementó la colonoscopia virtual en el Servicio de Radiología. Del mismo modo, quiero destacar al Dr. D. Antonio Espinosa Hernández (Fig. 8), por su amabilidad y respeto a todos sus compañeros. Ha sido un auténtico privilegio haber convivido con todos ellos.



Figura 8. Dr. D. Antonio Espinosa Hernández.

Y, finalmente, a todo el Servicio de Radiología del Hospital Virgen de la Arrixaca (Fig. 9), a sus médicos, personal sanitario, y no sanitario, por su amistad, ayuda y consideración que me brindaron a lo largo de toda mi vida profesional y, especialmente, durante mis años como jefe de Servicio.



Figura 9. Foto del día de mi nombramiento de jefe del Servicio de Radiología Hospital Virgen de la Arrixaca.

Una vez retirado de la medicina pública, quiero expresar mi agradecimiento a la familia Mesa del Castillo, así como a mi compañero y amigo Dr. D. Jesús Cano Yepes, por la oportunidad que me dieron de poder seguir ejerciendo mi profesión tanto en el Hospital Mesa del Castillo, como en la clínica radiológica Affidea, donde trabajé con equipos de ecografía de alta gama y estuve acompañado por personal de excepcional calidad humana y profesional.

La pregunta que uno se plantea en estos momentos tan destacados es: ¿Cómo y por qué he llegado hasta aquí?

Cuando estudiaba el último año de bachiller, como insaciable lector de todo lo que caía en mis manos, mi deseo de adolescente era dedicarme a la literatura. Mi padre siempre deseó que estudiara medicina, a pesar de no ser su profesión. Encontramos la solución ¡estudiar medicina para ser psiquiatra! Fueron necesarias dos generaciones para que se cumpliera el deseo de mi padre, su nieto se hizo médico psiquiatra. De mi madre, que tanto cuidó de mí, nunca olvidaré su eterna sonrisa.

Estudie en la Facultad de medicina de Valencia. Mi pretensión era ser psiquiatra motivo por el cual una vez en los últimos cursos de la carrera, solicité ser admitido como alumno interno en el Servicio de Psiquiatría del Hospital Clínico de Valencia. Allí conocí a la Dra. D^a María Teresa Fuster, psiquiatra Infantil. Fue ella quien me descubrió otra forma de comprender la medicina pues me aconsejó que, antes de especializarme en psiquiatría, debería conocer la medicina general e interna, para formarme mejor como médico.

Este consejo motivó, junto a los excelentes seminarios sobre radiodiagnóstico impartidos en el Hospital Clínico de Valencia, me hicieran cambiar radicalmente mi visión a otra nueva perspectiva de la medicina. Deseando, a partir de entonces, alcanzar diagnosticar las diversas patologías médicas mediante la imagen radiológica.

Si hay alguien a quien le debo estar hoy aquí pronunciando este discurso, es sin duda a mi mujer, Carmina, el gran pilar de mi vida. Sin tu apoyo incondicional y tu cariño, este camino habría sido impensable. Por eso, quiero expresarte mi más profundo agradecimiento por estos 55 años juntos, por tu amor, tu paciencia y por hacerme tan feliz. Sin ti, mi existencia no tendría sentido.

A mi hija Patricia y a mi hijo Manuel, quien sigue vivo en mí corazón y nos llenó de luz con su presencia, así como a mis cinco nietos, expresaros que os quiero profundamente y me siento enormemente orgulloso de todos vosotros.

No puedo concluir este discurso sin expresar mi más profundo agradecimiento a mi hermana María Encarna, cuyo afecto y ternura permanecen vivos en mí. También a Susan y Dori, a quienes considero mis hermanas. Vuestro apoyo y cariño incondicional han sido un refugio en los momentos más difíciles de mi vida.

Podría seguir mis múltiples agradecimientos a todas las personas que me han ayudado en mi vida, sobre todo a mi familia y amigos, que han colaborado siempre conmigo, y mucho de ellos hoy me acompañan.

He dicho

DISCURSO DOCTRINAL

PASADO Y PRESENTE DE LA ULTRASONOGRAFÍA. REFLEXIONES SOBRE SU FUTURO

1. Introducción

El propósito de este discurso es, en primer lugar, realizar una revisión histórica de la ultrasonografía, comenzando con las investigaciones iniciales que crearon los fundamentos básicos de la ultrasonografía. A continuación, expondré los avances tecnológicos desarrollados por los primeros científicos, para obtener imágenes de ultrasonido con valor diagnóstico, seguidos de las nuevas aplicaciones de la ultrasonografía. Finalmente, concluiré con una reflexión sobre las perspectivas futuras de la ultrasonografía en los Servicios de Radiología.

2. Orígenes

Desde los tiempos de Galeno y Leonardo da Vinci, médicos y anatomistas se han preguntado: ¿Qué hay debajo de la piel? Algunas respuestas a esta pregunta comenzaron a contestarse tras el descubrimiento de los rayos X, por el físico alemán Röntgen en 1895, y su utilización en forma de imágenes de sombras, que fueron llamadas radiografías (1).

Esta misma idea se extendió a otros fenómenos físicos, como fueron las ondas sonoras, y su uso en la imagen diagnóstica médica, llegando a ser la ultrasonografía en la actualidad, la técnica de imagen más empleada por todo el mundo (2).

La historia de los ultrasonidos se inició con el italiano Lazzaro Spallanzani (Fig. 1) naturalista y sacerdote jesuita, quien en 1795 intentó explicar cómo los murciélagos vuelan en la oscuridad. Para ello soltó un grupo de murciélagos que había cegado, en una habitación oscura llena de cables, observó que todavía podían volar con seguridad. Sin embargo, cuando los murciélagos quedaban sordos, incluso de un sólo oído, tropezaban con los obstáculos situados



Figura 1. Spallanzani 1729-1799

dentro de la habitación. Sobre la base de estos hallazgos, Spallanzani planteó la hipótesis de que los murciélagos dependían del sonido para volar, no de su visión (3).

El efecto Doppler fue postulado por primera vez en 1842, por el físico y matemático austriaco Christian Doppler (Fig. 2). Observó a dos estrellas gemelas que cambiaban de espectro de color dependiendo de su situación con relación a la tierra. Según se acercaban, emitían un espectro de color en azul, que indicaba una mayor frecuencia, y en rojo si se alejaban, lo que suponía una menor frecuencia (4).



Figura 2. Christian Doppler (1805-1853)

En 1845 el físico, matemático, y almirante de los Países Bajos, Christoph Hendrik Ballot, aplicó esta idea a las ondas sonoras. Para su experimento utilizó una estación de tren de la línea Utrech-Amstendan. A un grupo de músicos trompetistas los colocó en un vagón sin paredes. En la estación también situó a 14 músicos trompetistas. Cuando el tren se acercaba a la estación, y a una distancia determinada, emitían una nota de música de forma continua, que era reproducida por los músicos situados en la estación. Cuando se alejaban de la estación, y a la misma distancia, volvían a emitir la nota, que era otra vez repetida por los músicos de la estación (Fig. 3). De esta forma, demostró que, cuando un objeto en movimiento emite un sonido, su frecuencia era mayor (más aguda), cuando se acercaba al observador que cuando se alejaba, aunque estuviera a la misma distancia (4).

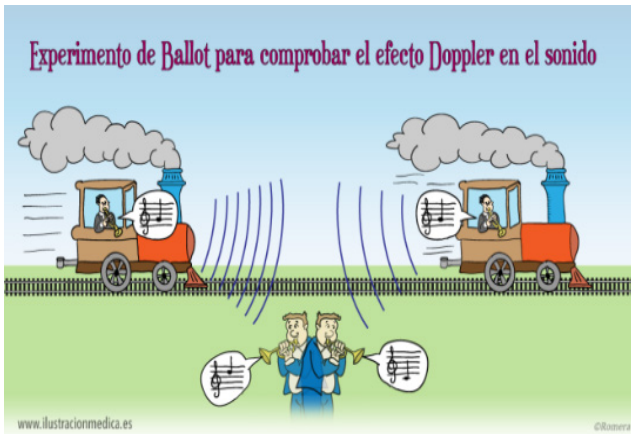


Figura 3. Efecto Doppler.

Los hermanos Jacques y Pierre Curie en 1881 (Fig. 4), fueron los primeros en definir el efecto piezoeléctrico. Ellos comprobaron que los cristales de cuarzo, turmalina, topacio, azúcar de caña, o sal de la Rochelle, podían cargarse eléctricamente bajo presión. De la misma manera si se le aplicaba una tensión eléctrica se creaban ondas de ultrasonidos. La capacidad de estos cristales, tanto para generar como para recibir ondas de ultrasonidos, permitió el desarrollo de los transductores, que son empleados en la actualidad (5).



Figura 4. Jacques Curie (1855-1941) y Pierre Curie (1857-1906)

3. Primeras aplicaciones en medicina

3.1. Método de transmisión directa

El primero en utilizar los ultrasonidos en el diagnóstico médico será el neurólogo y psiquiatra austriaco Karl Dussik en 1942. Intentó visualizar los cambios en la superficie y el tamaño de los ventrículos cerebrales, producido por el crecimiento de los tumores intracraneales. Junto a su hermano Friedrich, que era físico, construyeron un aparato que llamaron “**reflectoscopio**” (Fig. 5) (6). Los transductores eran colocados, una a cada lado del cráneo, en la región temporal, sumergidos en agua. La cabeza del paciente también estaba sumergida parcialmente en agua. Las ondas del sonido se transmitían de un transductor al otro **mediante la técnica de transmisión directa**. Un traductor emitía

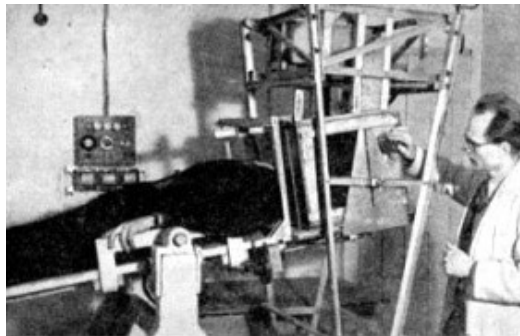


Figura 5. Dussik (1908-1968) junto a su reflectoscopio

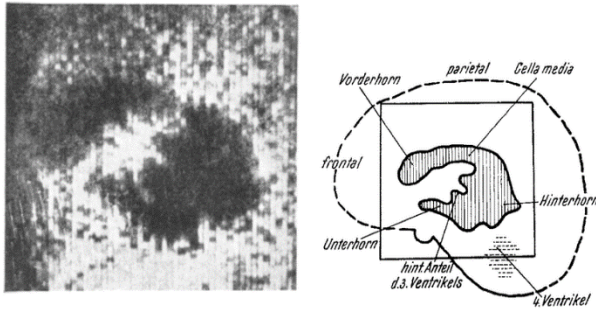


Figura 6. Ventriculograma

un pulso de ondas sónicas y el otro las recibía. Los cambios en las ondas del sonido eran recogidos en un papel termo-sensible, creando una imagen en dos dimensiones, a la que llamó “**ventriculograma**” (Fig. 6). Dussik interpretó que los ventrículos, al contener líquido, no producían ecos; luego eran negros, y los ecos producidos a su alrededor correspondían al parénquima cerebral (7,8). Investigaciones posteriores demostraron que muchos de estos ecos eran artefactos, producidos por las reflexiones y atenuaciones del propio cráneo (9). A pesar de todo, Dussik está considerado como uno de los primeros investigadores en representar un órgano en vivo (10).

Debido a las limitaciones que presentaba esta técnica de transmisión directa, fue abandonada en los años 50. Será reemplazada por el método más tradicional de pulso-eco, en el que un único transductor produce y recibe las ondas emitidas junto a sus ecos reflejados.

3.2. Método Pulso-Eco

Este método de imagen pulso-eco es utilizado en tres modalidades: modo A, modo B, y modo M.

3.2.1. Ultrasonografía en modo A

Antes de que llegara el diagnóstico ultrasonográfico de imágenes anatómicas, se usó el modo A o modo amplitud. Esta técnica representa, en una sola línea

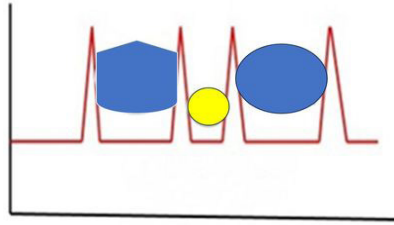


Figura 7. Ultrasonografía en modo A

de una pantalla de un osciloscopio, la altura máxima que conseguían las ondas reflejadas de las emitidas previamente por el transductor (Fig. 7). La amplitud (la altura) del eco reflejado es trazada en el eje vertical, y el tiempo necesario para el retorno del eco es dibujado en el eje horizontal, creando un gráfico de distintas alturas en una sola línea, a modo de dientes de sierra.

En la década de los 40, George Ludwig (Fig. 8), teniente médico del Instituto de Investigación Médica Naval de Estados Unidos, fue el primero en utilizar el ultrasonido en modo A en el diagnóstico médico. Para ello, empleó un transductor que se utilizaba para detectar defectos en el metal. Ludwig implantó litiasis biliares en los músculos de la espalda de un perro y dentro de la vesícula de tres perros. Posteriormente fue capaz de mostrar los ecos producidos por los cálculos biliares implantados (11).



Figura 8. G. Ludwig 1922-1973

Esta investigación es la primera evidencia de la presencia de cálculos biliares humanos en un modelo animal. Una parte importante del trabajo de Ludwig se consideró información clasificada por la Armada de Estados Unidos hasta 1949 y, por tal motivo, no fue publicada nunca en revistas médicas.

La modalidad de ultrasonografía en modo A se ha quedado relativamente en desuso, pero, debido a su propiedad de evaluar la distancia en que se encuentran los objetos, esta técnica todavía se utiliza en oftalmología para medir la longitud del globo ocular (2,12).

3.2.2. Ultrasonografía Modo B

A pesar de que la ultrasonografía en modo A tenía su utilidad clínica, presentaba sus limitaciones para los médicos acostumbrados a imágenes anatómicas. La solución se encontró en una forma diferente de mostrar los ecos en la pantalla del osciloscopio. En lugar de representar los ecos de retorno como líneas verticales, estos fueron expuestos simplemente como puntos brillantes. Los ecos más fuertes eran representados como puntos más brillantes.

Esta línea de pensamiento llevó a los ingenieros a hacer uso de pantallas de visualización, que habían sido desarrolladas para radar y que son “biestables”, en el sentido de que se iluminaban con ecos fuertes, pero eliminaban cualquier eco menor. Esta técnica de visualización de los ecos se llamó, por tanto, modo-B, que significa modalidad de brillo (13).

El cirujano John J. Wild, junto al ingeniero John M. Reid, desarrollaron en 1954 el primer equipo capaz de producir imágenes en dos dimensiones, que utilizaron para la investigación de la mama y el recto. Al mismo tiempo crearon un transductor de mano que llamaron “**ecoscopio**” (Fig. 10). El transductor consistió en un pequeño recipiente cilíndrico de 9 mm de diámetro, lleno de agua, con un cristal piezoeléctrico en un extremo y una delgada membrana de goma de un preservativo en el otro extremo, que lo situaban en contacto directo sobre la piel del paciente, como si fuera un fonendoscopio (14).

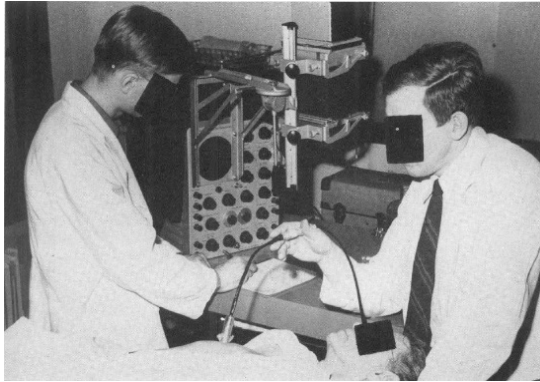


Figura 10. John J Wild y John M Reid estudiando la mama de una paciente con el “Ecoscopio”(14).

Este método se aplicó clínicamente a 21 pacientes con tumores mamarios, y demostraron que era útil para diferenciar tumores benignos de malignos (Fig. 11). Se especula que, esta diferencia, se debía a una mayor densidad de los núcleos en los tumores malignos (15,16).

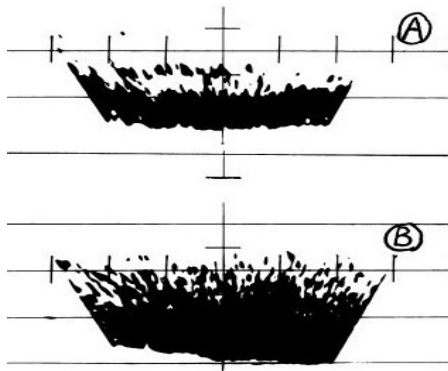


Figura 11. Imagen A: Tumor benigno. Imagen B: Tumor maligno. (15)

Aunque este tipo de ultrasonografía diagnóstica no se utilizó en la práctica clínica, fue considerado desde entonces un estudio importante, ya que sugirió por primera vez la posibilidad de un diagnóstico clínico por ultrasonido.

En otra línea de investigación más dirigida a la imagen anatómica, el radiólogo Douglas Howry, en 1949, junto a su esposa Dorothy y dos ingenieros, Roderick Bliss y Gerald Posakony, construyó en el sótano de su casa un sistema de bañera de agua, donde había que sumergir al paciente. A este equipo lo llamaron **“Somascopio”**. El primer **“Somascopio”** se construyó en una torreta de ametralladora de un avión B-29 de la II Guerra Mundial (Fig. 12), donde un transductor motorizado, sumergido en el agua, giraba horizontalmente en un raíl de madera situado en el borde del tanque de agua, alrededor del paciente, formando la imagen del cuello mediante la superposición de múltiples imágenes obtenidas desde distintos ángulos (17-19).

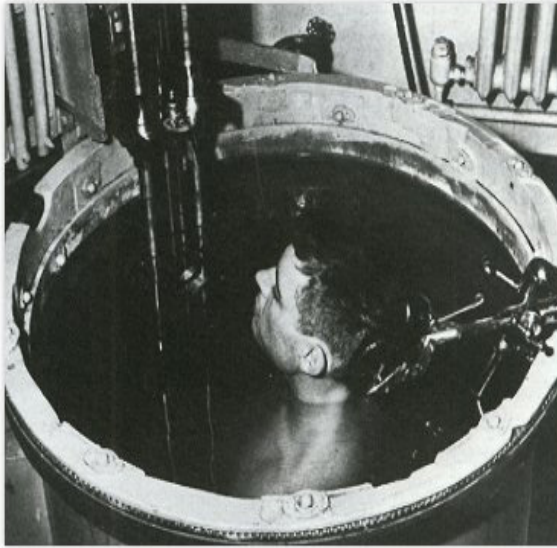


Figura 12. “Somascopio”

El solapamiento de múltiples imágenes dio lugar a imágenes diagnósticas aceptables, que fueron denominadas **“somagramas”** (Fig. 34). Si bien las imágenes logradas con esta técnica eran superiores a las obtenidas con la modalidad de contacto directo, el inconveniente de este sistema en su aplicación hizo que cayera en desuso.



Figura 13. Somagrama transversal del cuello

El progreso tecnológico pronto permitió sacar el transductor del baño de agua y colocarlo en el extremo de un brazo articulado, eliminando de esta forma la necesidad de sumergir al paciente en una bañera con agua. Y, para conseguir el contacto del transductor con la piel del paciente, se utilizó un gel acústico, como el empleado actualmente (13) (Figs. 14 y 15).



Figura 14. Imagen equipo de brazo con tres barras. Transductor (flecha negra). Gel acústico (flecha blanca)

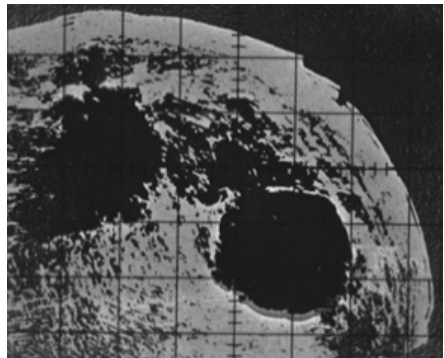


Figura 15. Corte transversal. Masa quística renal en Modo-B. Imagen biestable en blanco y negro.

Para la obtención de imágenes ecográficas, en estos primeros aparatos, era necesario un gran esfuerzo y habilidad por parte del radiólogo (18).

Durante los años 50, el mayor uso de la ultrasonografía fue en la obstetricia y ginecología. El liderazgo lo inició el ginecólogo Ian Donald en Glasgow, quien junto al ingeniero Tom Brown y el joven diseñador industrial Dugald Cameron desarrollaron con gran éxito comercial, el **Diasonógrafo** en 1963 (Fig. 16). Cameron jugó un importante papel como proyectista al abordar los aspectos de diseño estéticos y ergonómicos de estos primeros prototipos (20).



Figura 16. Dugald Cameron presentado el Diasonographo

Asimismo, Ian Donald hizo una contribución significativa a la expansión de las indicaciones de la ecografía en el campo de la obstetricia y ginecología, como la medición, por primera vez, del diámetro biparietal de la cabeza fetal y el uso de la vejiga llena durante el examen ultrasonográfico de la pelvis menor, para obtener una buena ventana acústica, que permitiera la visión del útero y ovarios al separar las asas intestinales (21).

Los ginecólogos alemanes Hans-Jürgen Holländer y Manfred Hansmann, en 1965 emplearon el aparato Vidoson 635 de Siemens (Fig. 17), en la clínica de obstetricia y ginecología (22). Fue el primer aparato comercial que utilizó multidetectores, permitiendo la rápida elaboración de imágenes en tiempo real y en escala de grises.



Figura 17. Vidoson 635

En 1972, Hansmann utilizó la capacidad en tiempo real del Vidoson para ser pionero en las transfusiones de sangre intrauterina mediante la guía del ultrasonido, para casos graves de la enfermedad de Rhesus (23) (Fig. 18).

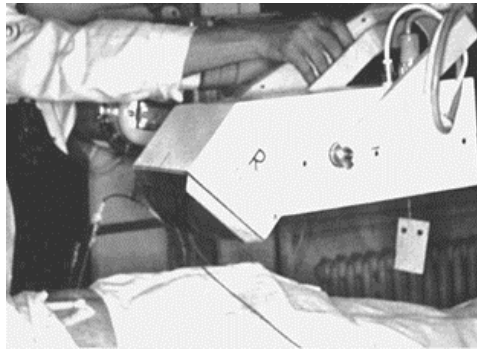


Figura 18. Hansmann realizando una transfusión intrauterina eco-guiada con el Vidoson.

El hepatólogo Gerhard Rettenmaier (Fig. 19), de la Universidad de Erlangen, introdujo en 1969 el Vidoson en el diagnóstico abdominal. Como hepatólogo, pudo ver las ventajas de esta tecnología para el estudio de órganos sólidos, lo que le permitió detectar enfermedades difusas como el hígado graso o la cirrosis (24).



Figura 19. Gerhard Rettenmaier 1929-2015

En 1973, el pediatra Dieter Weitzel (Figura 20), del Hospital Infantil de Maguncia, desarrolló el Vidoson dentro del campo de la pediatría. Weitzel estableció el examen de la cadera del bebé en el cribado neonatal para la detección de la luxación congénita de cadera (25).



Figura 20. Dieter Weitzel explorando las caderas de un niño.



Figura. 21. Combison 100 con sonda de gran tamaño, mecánica y sectorial. Imagen sectorial longitudinal de la cabeza del bebé.

El ingeniero austriaco Paul Krezt, junto a su tío Carl Krezt, en 1978, fabricó el Combison 100 para el estudio del abdomen y otras partes del cuerpo, mediante un transductor sectorial mecánico (Fig. 19). El equipo tenía una sonda única de gran tamaño, que contenía en su interior cinco transductores rotando sobre el eje axial de la sonda (26).

La empresa de Estados Unidos ADR introdujo en 1975 el transductor electrónico lineal matricial con 64 cristales, el 2130 (Fig. 22). Fue un gran éxito comercial en los EE UU. Posteriormente, en 1978, también Toshiba incorporó los transductores matriciales en el equipo portable SAL-20 (26).



Figura 22. Transductor ADR 2130. Fuente: Joseph Woo. 1975 (26).

3.2.3. Ultrasonografía en modo M

La ultrasonografía en modo M o modo movimiento, es utilizada generalmente por los cardiólogos, con el fin de valorar el movimiento cardíaco. A finales de la década de los 40, los médicos comenzaron a realizar cirugías para dilatar las válvulas mitrales estenosadas, un procedimiento que ayudó a muchos pacientes, pero comprobaron que no estaba indicada en todos ellos. Debido a esta respuesta incierta, los pacientes se sometieron a exámenes preoperatorios con cateterismo cardíaco para evaluar otras patologías, como la insuficiencia mitral y, de este modo, permitir seleccionar a los pacientes antes de la cirugía.

El cardiólogo sueco Inge Edler, descontento con la naturaleza invasiva del cateterismo cardíaco, junto con el físico alemán Carl Hertz (Fig. 23), ambos profesores en la Universidad de Lund, comenzaron a trabajar con un **reflektoscopio** de ultrasonidos de la empresa Siemens, que era utilizado para la inspección de la calidad de las soldaduras en el puerto de Malmö (27).



Figura 23. Inge Edler (1911-2001) y Carl Hertz (1920-1990)

La primera publicación aparece en 1954 y, a pesar de que el aparato era algo primitivo, Edler y Hertz grabaron las primeras imágenes en movimiento del corazón (Fig. 24), iniciando así el campo de la ultrasonografía cardíaca (28). Al principio, pensaron que estos ecos provenían de la pared posterior de la aurícula izquierda. Pero investigaciones posteriores aclararon que los ecos se originaban en la valva anterior de la válvula mitral, así como en la pared de la aurícula izquierda.

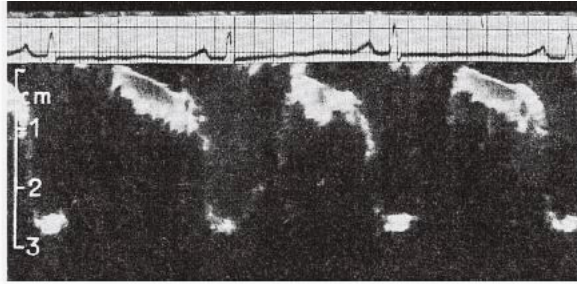


Figura 24. Imágenes originales en modo M obtenidas en el reflectoscopio del movimiento de la pared cardíaca. Fuente: Edler I. 1954 (32).

La manera en que Edler descubrió el verdadero origen de los ecos es llamativa. Él realizó exámenes de ultrasonidos a pacientes que estaban moribundos. Marcó en la piel la localización de la entrada y el ángulo del haz de ultrasonidos. Cuando los pacientes fallecían, les clavaba un picahielos en el pecho en la dirección y ángulo del haz de ultrasonidos. En la autopsia, averiguó que el picahielos atravesaba la valva anterior de la válvula mitral y no necesariamente la pared posterior de la aurícula izquierda. Demostró, de esta forma tan “peculiar”, el origen de los ecos detectados por el **reflectoscopio** (29).

4. Ultrasonografía Doppler

El físico japonés Shigeo Satomura (Fig. 25), profesor de la Universidad de Osaka, visualizó en 1956 las señales Doppler que se obtenían del latido del corazón y también del movimiento de las válvulas cardíacas, con un transductor de 3 MHz de frecuencia (30).



Figura 25, Shigeo Satomura (1919-1960)

Inicialmente, Satomura consideró que las señales Doppler obtenidas se debían a un flujo turbulento de la sangre. También, en 1959, demostró que la técnica era lo suficientemente sensible para detectar el movimiento de la sangre en los vasos arteriales periféricos (31).

En reconocimiento a su interés por la medicina y su dedicación total al desarrollo de herramientas de ingeniería para aplicaciones médicas, Satomura recibió el título de Doctor en Medicina en 1960 (32). Desafortunadamente, murió en 1960, a la edad de 41 años, debido a una hemorragia subaracnoidea.

En 1962, Kanemasa Kato, físico de la Universidad de Osaka, quien continuó con la investigación Doppler de Satomura, intuyó que las señales Doppler no eran generadas por un flujo turbulento de la sangre, como afirmaba Satomura, sino que se debían al reflejo del eco en los hematíes de la sangre, pues se podían obtener señales Doppler de pequeñas arterias en la punta de los dedos, donde era bastante raro que se produjeran turbulencias a una velocidad de flujo sanguíneo tan lenta. Para demostrarlo, creó un modelo con una solución de almidón y sangre bovina, comprobando que la intensidad de la señal Doppler reflejada era proporcional al número de glóbulos rojos y a la velocidad del flujo sanguíneo (33).

En la década de los 70, se producen importantes mejoras en la ultrasonografía Doppler, como fue el **Doppler continuo** y el **Doppler pulsado**.

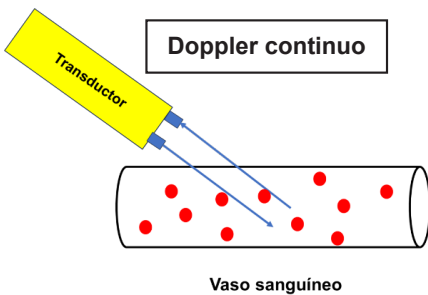


Figura 26. Esquema del Doppler continuo. Transductor con dos cristales piezoeléctricos, uno envía ondas acústicas y el otro recoge el sonido reflejado por los elementos en movimiento (hematíes). Fuente: propia.

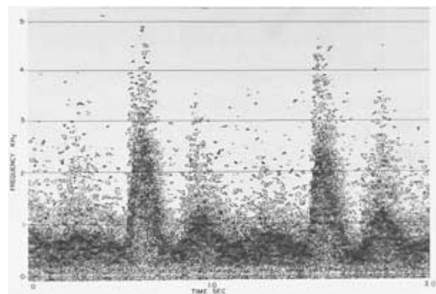


Figura 27. Imagen del primer análisis espectral de una señal de flujo Doppler de onda continua. Fuente: Kaproth-Joslin et al. 2015 (2).

El Doppler de onda continua, o Doppler continuo, consta de un transductor con dos cristales piezoeléctricos: uno envía ondas acústicas y el otro recoge el sonido reflejado por los elementos en movimiento (Fig. 26). Los transductores empleados, con frecuencias de hasta 10 MHz, permitieron registrar ondas del flujo sanguíneo en las arterias periféricas (34), pero sin visualización de la imagen anatómica de los vasos. Utilizando analizadores del espectro de la voz, inventados para el estudio del lenguaje, los investigadores pudieron presentar imágenes que mostraban el cambio del espectro Doppler durante el ciclo cardíaco (2,35) (Fig. 27).

Aunque el sistema del Doppler continuo era simple y fácil de utilizar, presentaba varios inconvenientes: los flujos de baja velocidad no podían ser detectados; los obstáculos anatómicos limitaban su uso solo las arterias del cuello, ilíacas y extremidades, y no se podía valorar la velocidad del flujo sanguíneo.

El **desarrollo del sistema Doppler de onda pulsada** permitió superar la mayoría de estas dificultades. Los mismos elementos piezoeléctricos del transductor son utilizados como transmisores de breves pulsos de ondas ultrasónicas, y receptores del sonido reflejado. La “puerta de rango” se utiliza para aceptar solo los ecos que regresan de una profundidad específica, situándola normalmente en el centro de la luz del vaso, para evitar cambios de velocidad por el roce de los hematíes con la pared del vaso. El haz de ondas debe formar un ángulo de 60° con el eje longitudinal del vaso, con el fin de obtener una velocidad del flujo correcta. (Fig. 28). Esta técnica consiguió eliminar cualquier

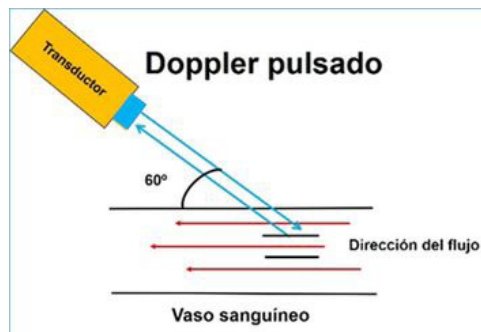


Fig. 28. Esquema del Doppler pulsado. Pulsos de ondas y recepción del sonido reflejado (flechas azules). “Puerta de rango” (líneas negras cortas paralelas en el centro del vaso). Flujo (flechas rojas). Ángulo de 60° del haz de ondas con el eje longitudinal del vaso. Fuente: propia

interferencia de otros vasos, así como acceder a la detección de flujos en arterias situadas en planos más profundos del abdomen (36,37).

En 1981, el ingeniero de la Universidad de Seattle, Marco Brandestini, y sus colaboradores informaron sobre un método **Doppler en color** que representaba la señal Doppler como una imagen en color de acuerdo con la dirección y la velocidad del flujo sanguíneo (38). Sin embargo, la técnica diseñada por Brandestini tenía un inconveniente: ya que era necesario, después de mostrar una imagen en modo M o en modo B, era necesario cambiar la configuración del equipo al modo Doppler.

El grupo de investigación de la compañía japonesa Aloka, dirigido por Koroku Namekawa, presentó en el 3er Congreso Mundial de Ultrasonido en Medicina de 1982, el primer dispositivo para la aplicación clínica de la ecocardiografía Doppler color en tiempo real (39). La nueva técnica se difundió rápidamente por todo el mundo gracias a los trabajos publicados en 1983, por el cirujano cardiovascular Ryozo Omoto de la Universidad de Saitama (40) (Fig. 29).

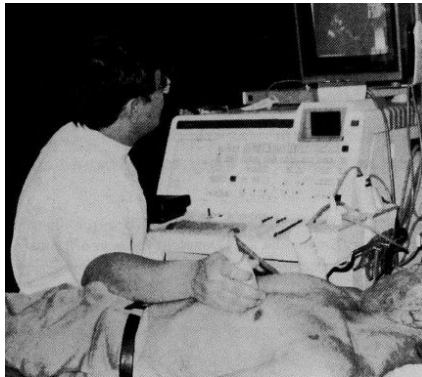


Figura 29. Omoto realizando una ecocardiografía con un equipo Aloka Doppler color. 1983.

En el informe de Brandestini, el flujo que se acercaba al transductor se representaba en azul, mientras que el flujo que se alejaba se mostraba en rojo. Desde el punto de vista físico, esta elección era adecuada, ya que las ondas reflejadas de un objeto alejándose del observador disminuyen su frecuencia y, por tanto, se desplazan hacia el color rojo. Sin embargo, los equipos de Aloka, ampliamente utilizados en Japón y en el resto del mundo, representaban los

flujos que se acercaban al transductor en rojo (Fig. 30). En la década de los 90, se inició un movimiento para unificar criterios sobre el color Doppler en congresos internacionales. No obstante Aloka no cedió, y se siguió manteniendo su criterio hasta la actualidad (41).

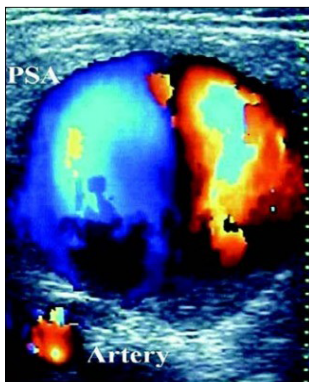


Figura 30. Pseudoaneurisma femoral. Rojo, la sangre se acerca al transductor, azul se aleja. (V. Vázquez. AJR 2005)

El Doppler energía, también conocido como Doppler power, es otra modalidad de Doppler color que surgió en 1993 gracias al trabajo de los radiólogos Jonathan Rubin y Ronald Adler (42).

Esta modalidad de Doppler color se valora la energía, la fuerza o amplitud de la onda (la altura), en lugar de la velocidad y dirección del flujo. El Doppler energía demostró mejorar la sensibilidad en la detección de flujos lentos, y proporciona una mejor visualización de vasos tortuosos (Fig. 31) (43,44).

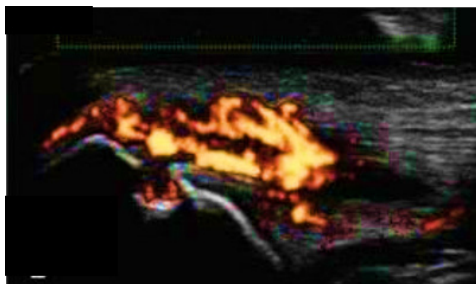


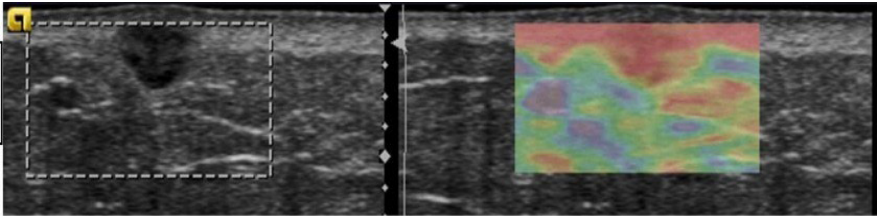
Figura 31. Doppler energía. Entesitis del tendón de Aquiles (43).

5. Nuevas aplicaciones de la ultrasonografía

Una revisión completa de los numerosos avances actuales de la ultrasonografía es demasiado extensa para abordarla en este discurso. Sin embargo, considero que algunas de los más prometedoras son: **la elastosonografía**, los **ecógrafos de mano o bolsillo** y, por último, la **inteligencia artificial aplicada a la ultrasonografía**.

5.1. Elastosonografía

La elastosonografía es una técnica relativamente reciente, que permite evaluar la elasticidad o rigidez de los tejidos y cómo estas propiedades se modifican en presencia de patologías. Su principal objetivo es proporcionar al médico una herramienta de “palpación” objetiva y cuantificable.



Metástasis cutáneas (Melanoma)

Figura 32. Elastograma por compresión en color. Nódulo hipoeecogénico en dermis/hipodermis. La elastosonografía por compresión muestra un área roja (dura), que ocupa todo el nódulo. Dr. Santa-Olalla González. HCU Virgen de la Arrixaca.

5.1.1. Técnicas de elastosonografía

Se han desarrollado diversos métodos para obtener imágenes de la rigidez de los tejidos, pero actualmente predominan dos enfoques principales: la **elastosonografía cualitativa**, que genera imágenes a partir de la deformación tisular, y la **elastosonografía cuantitativa**, que utiliza ondas de corte para representar la rigidez en velocidades (**m/s**), o en unidades de presión (**kPa**).

A. Elastosonografía Cualitativa

Esta técnica, conocida como elastografía por deformación, elastografía estática o de compresión, evalúa el cambio en los tejidos antes y después de aplicar una presión con el transductor de ultrasonido (45). Las imágenes resultantes, denominadas elastogramas, pueden representarse en escala de grises o en un mapa de colores (del azul al rojo) para indicar distintos grados de elasticidad o rigidez (Fig. 32).

B. Elastosonografía Cuantitativa

También conocida como elastografía por onda de corte o elastografía dinámica. En 1998, Sarvazyan y colaboradores (46) demostraron que era posible generar la deformación del tejido sin necesidad de aplicar presión directa, utilizando impulsos sónicos de alta energía emitidos por el propio ecógrafo. Esta técnica, denominada **‘fuerza de radiación acústica’ o método ARFI** (por sus siglas en inglés), consiste en la emisión de un pulso sónico de alta energía sobre una región de interés del tejido en estudio. Este pulso provoca la deformación del tejido y la generación de ondas de corte (cizalla) transversales que se propagan a través de él. Las ondas de corte transversales se propagan perpendicularmente a la dirección del impulso sónico (Fig. 33), y su velocidad puede ser

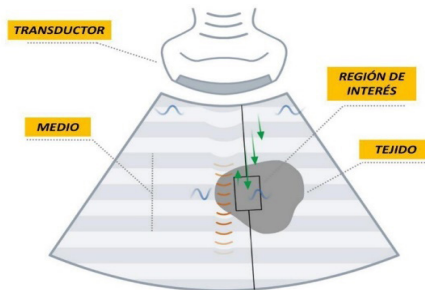


Figura 33. Técnica ARFI. El transductor emite un impulso sónico de alta energía (ondas naranjas), sobre una región de interés del tejido a estudio, que provoca la deformidad del tejido. Esta deformación genera ondas de corte o cizallamiento transversales (ondas azules). Posteriormente, pulsos de sonido de baja intensidad (flechas verdes), medirán la velocidad a la que se propagan las ondas de corte transversales. (Ben Hassen. 2012).

medida. La velocidad de propagación de estas ondas transversales es directamente proporcional a la rigidez del tejido, es decir, a mayor rigidez, mayor será la velocidad de las ondas de corte.

Dentro de la elastosonografía dinámica podemos distinguir tres subgrupos de imágenes o elastogramas (47):

- **Técnica ARFI cualitativa:** El transductor emite un impulso sónico, que genera un mapa de colores de la lesión en relación con el tejido de su alrededor, sin necesidad de realizar compresión (Fig. 32).

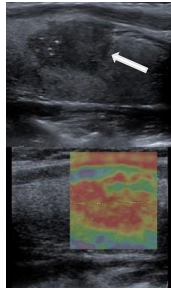


Figura 32: Nódulo hipoeocogénico (flecha blanca), en el lóbulo derecho del tiroides, que se muestra con ARFI cualitativo rígido (rojo), en relación con el tejido tiroideo de su alrededor.

Dra. Guzmán-Aroca (47).

- **Técnica ARFI cuantitativa:** Permite obtener valores numéricos de la rigidez tisular, expresados en kilopascales (kPa) o metros por segundo (m/s), dentro de una región de interés seleccionada por el usuario (Fig. 33).



Figura 33: El nódulo del tiroides con ARFI cuantitativo, muestra una velocidad de 3,1 m/s, en la región de interés (flecha blanca), superior a la del tejido adyacente. Dra. Guzmán Aroca (47).

- **La técnica 2D-Elastografía por ondas de corte SWE (Shear Wave Elastography)**, que combina en una sola imagen los beneficios de las dos técnicas anteriores. Proporciona un mapa cualitativo de colores que representa la elasticidad del tejido y, al mismo tiempo, permite realizar mediciones cuantitativas de la dureza en múltiples regiones de interés dentro de la misma imagen (Fig. 34).

Esto facilita una evaluación más precisa y detallada de la rigidez tisular, mejorando la capacidad diagnóstica en diversas aplicaciones clínicas.

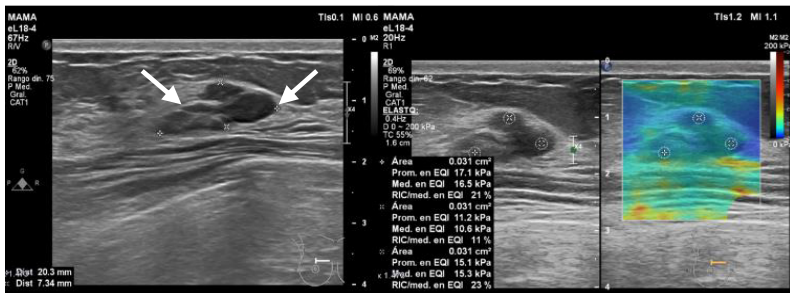


Figura 34. Nódulo heterogéneo de márgenes lobulados (flechas blancas). Elastografía 2D-SWE: elastogramas blandos con ondas de corte sugestivos de benignidad; AP: Fibroadenoma. Cortesía Dra. Guzman Aroca. HCU Arrixaca.

Como dice el Dr. García González (48), “*en nuestras manos está encontrar la utilidad y función de esta nueva técnica. Pensemos en el ejemplo de la rueda, cuyo descubrimiento fue un hito fundamental en el avance de las culturas euroasiáticas mientras en la América precolombina, aunque también se conocía, al no encontrarle utilidad concreta se empleaba únicamente como juguete para los niños*”.

5.2. Ultrasonidos de mano/bolsillo: criterios para su uso apropiado

El uso de dispositivos de ultrasonido de bolsillo ha aumentado en los últimos años. El ultrasonido se ha trasladado a la sala de atención del paciente, lo que los ingleses denominan “**ecografía en el punto de atención**”, POCUS, por sus siglas en inglés.

En la actualidad los ultrasonidos de mano o bolsillo son utilizados principalmente por unidades no radiológicas como son: Unidades de Urgencia, UCI, o en entornos extrahospitalario: traslados en helicóptero, UCI móviles o conflictos bélicos, permitiendo complementar el examen clínico con imágenes ecográficas, que confirmen los hallazgos clínicos (49). Estos pequeños aparatos son capaces de realizar estudios con una calidad de imagen “similar” a la conseguida con equipos convencionales (50).

En la actualidad la empresa Butterfly Network ha creado un equipo de mano de tercera generación el iQ3 (Fig. 35), que utiliza un chip de silicio para inducir ondas ultrasónicas en lugar de usar los clásicos cristales piezoeléctricos. Esta técnica permite que un solo traductor sirva de dos traductores: lineal y sectorial. Su sistema operativo es iOS o Android. Se puede conectar con los archivos de imagen hospitalarios para registro de las imágenes o guardarlas en la “nube”. Su precio está por debajo de los 2000 \$.



Figura 35. Imagen Butterfly iQ3 conectado a una tableta.

La proliferación de estas unidades conlleva un peligro cada vez mayor de “ultrasonografía fantasma” (ecografías que nunca se registran ni se informan), lo que deja a los usuarios de estos equipos expuestos a la responsabilidad médico-legal, especialmente si se comete un error diagnóstico.

El almacenamiento de las imágenes es más esencial que nunca. El almacenamiento en los propios dispositivos no es el modo ideal dadas las limitaciones de espacio en su memoria, y la posibilidad de robo. Ni en la “nube”, porque pue-

den ser visualizadas por terceros con fines comerciales. Las imágenes se pueden configurar para descargarlas en los servidores de los hospitales y de esta forma archivarlas junto a su historia clínica para su posterior consulta (51,52).

Se debe mantener un alto nivel de higiene en estos aparatos. El 99,2% de los teléfonos móviles que se analizaron en un entorno hospitalario estaban contaminados con bacterias resistentes, y solo un 13% del personal sanitario desinfectaban con regularidad sus móviles (53).

El avance tecnológico de los ultrasonidos de bolsillo probablemente revolucionará la accesibilidad a las imágenes médicas, tanto en la atención al paciente como en la educación sobre ultrasonidos. Sin embargo, al igual que los equipos estándares actuales, su uso debe estar supervisado y limitado a profesionales de la salud cualificados y autorizados.

5.3. Visión general de la inteligencia artificial en ultrasonografía

“La cuestión de si las máquinas pueden pensar es tan importante como la cuestión de si los submarinos pueden nadar”.

Edsger Dijkstra Países Bajos, científico informático. 1984

El término de inteligencia artificial (IA) fue acuñado por John McCarthy, científico informático (Fig. 36) en 1955, durante la conferencia de Dartmouth,



Figura 36. Jhon McCarthy (1927-2011)

un evento histórico que reunió a algunos de los mejores científicos de la época para discutir la posibilidad de crear una máquina que pudiera pensar como un ser humano (54). También estableció el término de “servicio en la nube”, conocida simplemente como “la nube”.

La IA puede tener sus raíces en la invención de los robots, cuya primera mención se remonta al siglo III en China. Más de un milenio después fue Leonardo da Vinci, hizo un estudio detallado de la anatomía humana, y diseñó su robot humanoide. Sus bocetos, descubiertos en la década de los 50, fueron de hecho una fuente de inspiración. Incluso llevó a la invención del sistema quirúrgico que lleva el nombre de da Vinci, que facilita la cirugía compleja con un enfoque mínimamente invasivo y puede ser controlado por un cirujano desde una consola remota (55).

En el campo de la medicina, la IA ya se ha utilizado en el descubrimiento y diseño de fármacos, en las comprobaciones de la interacción farmacológica, y en la obtención de imágenes médicas (Fig. 37).



Figura 37. Imagen hiperrealista 5D antes y después del tratamiento con IA.

Una de las primeras aplicaciones de la inteligencia artificial en ultrasonografía ha sido en el tiroides. La presencia de nódulos en el tiroides es un problema muy común en la clínica diaria. Mediante la palpación son detectados nódulos en el tiroides en el 5-7% de la población; sin embargo, debido a la alta calidad de los equipos de ultrasonidos actuales los nódulos son ahora diagnosticados entre el 50-70% de la población en general. Se requiere, por tanto, un método fiable y seguro, para poder diferenciar con exactitud y precisión diagnóstica, los nódulos malignos de los benignos (56).

Peng, en el 2021, publicó en la revista Lancet digital, un trabajo multicéntrico realizado con la participaron de 7 hospitales, sobre el nódulo tiroideo (57). Utilizaron un programa de IA denominado ThyNet, entrenado con un gran conjunto de datos de 18.049 imágenes de nódulos tiroideos. Posteriormente un conjunto de 2.185 imágenes de 1.424 pacientes, fueron valoradas por separado por la IA y 12 radiólogos. La IA demostró ser la mejor según cada parámetro de rendimiento diagnóstico: sensibilidad, especificidad, y seguridad diagnóstica, consiguiendo que el número de aspiraciones con aguja fina descendiera del 61,9% al 35,2%.

El cáncer de mama se ha convertido en la neoplasia maligna más frecuentemente diagnosticada en las mujeres de todo el mundo. En 2022, se diagnosticaron 2,3 millones de casos de cáncer de mama en mujeres y se registraron 670 000 defunciones relacionadas con esta enfermedad, lo que indica que se necesitan urgentemente estrategias clínicas eficaces para tratar a pacientes con cáncer de mama.

Recientemente, múltiples estudios han explorado el potencial de la IA aplicada a la ultrasonografía para ayudar en la detección y diferenciación de lesiones de mama. Fujioka y colaboradores (58), comenzaron a emplear el modelo de aprendizaje automático profundo, basado en redes neuronales artificiales, para analizar imágenes de ultrasonografía, con el objetivo de diferenciar entre lesiones benignas de malignas. Este estudio confirmó que el modelo IA de aprendizaje profundo, tenía un rendimiento diagnóstico mejor en comparación con los radiólogos. Se analizaron 120 lesiones de mama y se valoró el área bajo la curva (ABC), herramienta estadística que se utiliza para evaluar el rendimiento diagnóstico de una prueba, la IA obtuvo un resultado de 0.913 frente al 0.728-0.845 de los radiólogos. Un ABC de 0.913, sería un rendimiento diagnóstico de la prueba muy bueno, frente al de los radiólogos que sería de bueno.

Diversos estudios han demostrado que la IA en ultrasonografía puede utilizarse para identificar con precisión los subtipos moleculares de lesiones mamarias (HER2+, triple negativo, Luminal A y Luminal B) en pacientes con cáncer de mama. Zhou y colaboradores (59) desarrollaron un modelo de IA profunda multimodal, entrenado con imágenes combinadas de ultrasonografía, Doppler color y elastosonografía. Sorprendentemente, informaron que el modelo de la IA superaba a la biopsia preoperatoria con aguja gruesa. Obt-

vieron un ABC de 0.89-0.99, lo que indica un rendimiento excelente de la IA, frente al 0.69-0.82 de la biopsia.

En resumen, la radiómica basada en IA es una ciencia que estudia, de manera no invasiva, características de las imágenes médicas imperceptibles al ojo humano mediante algoritmos automatizados. Su objetivo es mejorar la atención al paciente y tiene el potencial de transformar la medicina diagnóstica y personalizada (60).

“¿Reemplazará la IA a los radiólogos?”, es la pregunta equivocada. La respuesta correcta es: Radiólogos que utilicen la IA reemplazará a los radiólogos que no lo hagan.

Dr. Langlotz. Profesor de Radiología y Ciencia de Datos Biomédicos en la Universidad de Stanford, California.

6. Reflexiones sobre el futuro de la ultrasonografía

En 2009, se publicó un artículo en la revista *European Radiology* por dos eminentes radiólogos, Derchi y Claudon, en el que lamentaban la falta de interés y consideración dada a la ultrasonografía por parte de los radiólogos. Lockhart, en Estados Unidos, difundió en el *American Journal of Radiology* una opinión similar. En sus artículos, auguraban la pérdida de esta “forma de arte” dentro de la “caja de herramientas del radiólogo” y su transición hacia otras especialidades médicas (61,62). Dieciséis años después, los servicios de radiología siguen teniendo la ultrasonografía como parte de su catálogo de exploraciones.

Desafortunadamente, las nuevas generaciones de radiólogos jóvenes prefieren aprender otras técnicas de imagen, como la TAC o la Resonancia Magnética. La ultrasonografía es percibida como una modalidad de “imagen madura”, con escasas posibilidades de avance y pocas oportunidades para publicar o presentar estudios innovadores en congresos. Además, a menudo se considera una actividad físicamente más exigente que cualquier otro examen radiológico, debido a la constante presencia del radiólogo en la sala de exploración, la carga de trabajo continuada y el contacto directo y permanente con el paciente (63).

7. Conclusiones

A mi modo de ver, si los radiólogos quieren mantener un papel clave en la ultrasonografía, debemos considerar las siguientes cuestiones:

1. Los servicios de radiología deberían mantener las secciones de ultrasonografía general, gestionadas por radiólogos expertos en ultrasonografía, capaces de realizar exámenes de alta calidad de manera eficaz, y avanzar en la investigación clínica de las nuevas aplicaciones. Asimismo, encargarse de valorar los nuevos equipos de ultrasonografía como especialista de imagen.
2. Incentivar la investigación en ultrasonografía dentro de los servicios de radiología, promoviendo estudios sobre nuevas aplicaciones, metodologías, y avances técnicos que mejoren la eficacia y calidad de los exámenes ecográficos.
3. Los Residentes actuales de radiología estarían obligados aprender en estas secciones generales de ultrasonografía la importancia de la ultrasonografía como una componente “holística” de la imagen y del paciente.
4. Los residentes, posteriormente, finalizarán su formación ecográfica dentro de las subespecialidades de mama, musculo-esquelético, pediatría y cuello, para de esta manera entender profundamente los problemas clínicos y, a su vez, puedan relacionarse adecuadamente con los médicos especialistas.
5. Realizar informes bien estructurados y protocolizados, con una respuesta rápida a las peticiones de ecografía. Hay que responder a las largas listas de espera de exploraciones de ultrasonografía. Como sugiere la Sociedad Española de Radiología Médica, el acceso de técnicos superiores de imagen para la realización de determinados estudios ecográficos sencillos y de bajo rendimiento, revisados e informados por radiólogos, podría ayudar a reducir las largas listas de espera.
6. En un futuro próximo, será fundamental introducir la IA en las secciones de ultrasonografía, creando unidades multidisciplinarias de radiómica en ultrasonografía. Estas unidades estarán compuestas, probablemente, por radiofísicos, informáticos y radiólogos, trabajando en conjunto para desarrollar e implementar herramientas avanzadas de análisis de imágenes, optimizar los flujos de trabajo y mejorar la precisión diagnóstica.

Como dice el Dr. Mark Lockhart, profesor de radiología en la Universidad de Alabama.

“Espero, que estemos montando la ola en ese momento del futuro, y no parados en la playa mirando”.

He dicho

Bibliografía

- Dietrich CF, Bolondi L, Duck F, et al. History of Ultrasound in Medicine from its birth to date (2022), on occasion of the 50 Years Anniversary of EFSUMB. Med Ultrason. 2022 Dec 21;24(4):434-450.
- Katherine A. Kaproth-Joslin, Refky Nicola, et al. The History of US: From Bats and Boats to the Bedside and Beyond. Radiographic. 2015 May-June;35(3):960-970.
- Kane D, Grassi W, Sturrock R, Balint PV. A brief history of musculoskeletal ultrasound: ‘from bats and ships to babies and hips.’ Rheumatology (Oxford) 2004;43(7):931-933.
- Coman IM. Christian Andreas Doppler: the man and his legacy. Eur J Echocardiogr 2005;6(1):7-10.
- Manbachi A, Cobbold RS. Development and application of piezoelectric materials for ultrasound generation and detection. Ultrasound 2011;19(4):187-196.
- Güttner W, Fiedler G, Patzold J. Über Ultraschallabbildungen am menschlichen Schädel. Acta Acustica 1952;2(4):148-156.
- Dussik KT. Über die Möglichkeit, hochfrequente mechanische Schwingungen als diagnostische Mittel zu verwerten. Zeitschrift gesamte Neurologie und Psychiatrie 174:153-168, 1942.
- Dussik KT, Dussik F. Auf dem Wege zur Hyperphonographie des Gehirns. Wien Med Wochenschr 97:425-9, 1947.
- Guettner W. Über Ultraschallabbildungen am menschlichen Schädel. 2:148-56, 1952.
- Sudoł-Szopińska I, Martinoli C. History Page: Leaders in MSK Radiology Karl Dussik, 1908-1968: Pioneer of MSK Ultrasonography. Semin Musculoskelet Radiol 2021;25:184-185.

- dwig GD, Struthers FW. Considerations underlying the use of ultrasound to detect gallstones and foreign bodies in tissue: project MN 004-001. Report no. 4. Bethesda, Md: Naval Medical Research Institute, 1949; 1-23.
- Ademola-Popoola DS, Nzeh DA, Saka SE, Olokoba LB, Obajolowo TS. Comparison of ocular biometry measurements by applanation and immersion A-scan techniques. *J Curr Ophthalmol*. 2016 Feb 9;27(3-4):110-4.
- Leopold G. R. A Sound Perspective. *AJR Am J Roentgenol*. 2000 Jan;174(1):9-15.
- Wild JJ. The use of ultrasonic pulses for the measurement of biologic tissues and the detection of tissue density changes. *Surgery*. 1950;27:183-188.
- Wild JJ, Reid JM. Further pilot echographic studies on the histologic structure of tumors of the living intact human breast. *Am J Pathol*. 1952 Sep-Oct;28(5):839-61.
- Wild JJ, Reid JM. Echographic visualization of lesions of the living intact human breast. *Cancer Research*, 01 May 1954, 14(4):277-282.
- Howry DH. The ultrasonic visualization of soft tissue structures and disease processes. *J Lab Clin Med* 1952;40: 812–813.
- Howry DH, Stott DA, Bliss WR. The ultrasonic visualization of carcinoma of the breast and other soft-tissue structures. *Cancer* 1954;7(2):354-358.
- Posakony G. Historical Notes from Mr Gerald Posakony. In [1]. www.ob-ultrasound.net/posakony_notes.html.
- Macdonald AS. From first concepts to Diasonograph: The role of product design in the first medical obstetric ultrasound machines in 1960s Glasgow. *Ultrasound* 2020, Vol. 28(3) 187-195.
- M. de Vlieger et al. Ultrasound for two-dimensional echo-encephalography. *Ultrasonics*. 1963;1:148-51.
- Hofmann D, Holländer H, Weiser P. New possibilities of ultrasound diagnostics in gynecology and obstetrics. *Progr Med* 1966;84:689.
- S. Campbell. A Short History of Sonography in Obstetrics and Gynaecology. *ObGyn*, 2013;5 (3): 213-229.
- Rettenmaier G. Differentiation between normal and pathological ultrasound reflections in the liver. In: Böck J, Ossoinig K: *Ultrasonographia Medica* 1971;III: 31-3.

- Weitzel D, Dinkel M, Dittrich E, Peters H. Pediatric Ultrasound Diagnostics. Springer, Heidelberg 1984.
- Joseph Woo. A short History of the development of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology. <http://www.ob-ultrasound.net/history2.html>.
- Lunds University: Available at <http://www.ob-ultrasound.net/ingehertz.html>. Accessed April 13, 2001.
- Edler I, Hertz CH. The use of ultrasonic reflectoscope for the continuous recording of the movements of heart walls. *Kungl Fysiogr Sallsk i Lund Forhandl* 24 1-19, 1954.
- Feigenbaum H. Evolution of Echocardiography. *Circulation*. 1996; 93(7): 1321-1327.
- Satomura S, Matsubara S, Yoshioka M. A new method of mechanical vibration measurement and its application. *Memoirs Inst Sci Indust Res Osaka Univ* 1956;13:125-133.
- Satomura S. Study of the flow patterns in peripheral arteries by ultrasonics. *J Acoust Soc Jap* 1959;15:151.
- Coman IM, Popescu BA. Shigeo Satomura: 60 years of Doppler ultrasound in medicine. *Cardiovascular Ultrasound* 2015;13:48.
- Kato K, Kido Y, Motomiya M, Kaneko Z, Kotani H. On the mechanism of generation of detected sound in ultrasonic flowmeter. *Memoirs. Inst. Scient. Indust. Res. Osaka Univ*. 1962;19:51-7.
- Rushmer RF, Baker DW, Stegall HF. Transcutaneous Doppler flow detection as a nondestructive technique. *J Appl Physiol* 1966;21:554-566.
- Strandness DE, Jr., Schultz RD, Sumner DS, Rushmer RF. Ultrasonic flow detection. A useful technic in the evaluation of peripheral vascular disease. *Am J Surg* 1967;113:311-320.
- Baker D. Pulsed ultrasonic Doppler blood flow sensing. *IEEE Trans Son Ultrason* 1970;SU-173:170-185.
- Wells PN. A range-gated ultrasonic Doppler system. *Med Biol Eng* 1969;7:641-652.
- M.K. Eyer, M.A. Brandestini, D.J. Phillips, D.W. Baker. Color digital echo/doppler image presentation. *Ultrasonido Med Biol* 1981;7(1):21-31.
- K Namekawa, C Kasai, M Tsukamoto, A Koyano. Realtime bloodflow imaging system utilizing auto-correlation techniques. *Ultrasound Med Biol* 1983;Suppl 2:203-8.

- Omoto R, Yokote Y, Takamoto S, et al. The development of real-time two-dimensional Doppler echocardiography and its clinical significance in acquired valvular diseases. With special reference to the evaluation of valvular regurgitation. *Jpn Heart J*. 1984 May;25(3):325-40.
- Yoshihiro Yoshikawa, Japón, 2005. <https://radiology-history.online/history-us.html>.
- Rubin JM, Adler RS. Power Doppler expands standard color capability. *Diagn Imaging* 1993;12:66–9.
- Martinoli C, Pretolesi F, Crespi G, et al. Power Doppler sonography: clinical applications. *Eur J Radiol*. 1998 May;27 Suppl 2:S133-40.
- Iagnocco A, Epis O, Delle Sedie A, et al. Ultrasound imaging for the rheumatologist XVII. Role of colour Doppler and power Doppler. *Clin Exp Rheumatol* 2008; 26: 759-762.
- Ophir J, Céspedes I, Ponnekanti H, Yazdi Y, Li X. Elastography: a quantitative method for imaging the elasticity of biological tissues. *Ultrason Imaging* 1991;13(2):111–134.
- Sarvazyan AP, Rudenko OV, Swanson SD, Fowlkes JB, Emelianov SY. Shear wave elasticity imaging: a new ultrasonic technology of medical diagnostics. *Ultrasound Med Biol* 1998;24:1419-35.
- Guzmán-Aroca F, Abellán Rivera D, Reus Pintado M. La elastografía: una nueva aplicación de la ecografía. ¿Cuál es su utilidad clínica? *Radiología*. 2014;56(4):290-294.
- González, P. G., Menéndez, S. E., & Morís, A. M. Elastografía en musculoesquelético. ¿Herramienta juguete? *Radiología* 2022;64(6), 566-572.
- Busch M (2006) Portable ultrasound in pre-hospital emergencies: a feasibility study. *Acta Anaesthesiol Scand* 50(6):754-758.
- Stock KF, Klein B, Steubl D, et al (2015) Comparison of a pocket-size ultrasound device with a premium ultrasound machine: diagnostic value and time required in bedside ultrasound examination. *Abdom Imaging* 40(7):2861-2866.
- American College of Emergency Physicians. Ultrasound guidelines: emergency, point-of-care and clinical ultrasound guidelines in medicine. *Ann Emerg Med*. 2017;69:e27-e54.

- European Society of Radiology (ESR). ESR statement on portable ultrasound devices. *Insights Imaging*. 2019;10(1):89.
- Simmonds R, Lee D, Hayhurst E. Mobile phones as fomites for potential pathogens in hospitals: microbiome analysis reveals hidden contaminants. *Journal of Hospital Infection*, 2020;104(2): 207-213.
- Nilsson, N., *The Quest for Artificial Intelligence*, Cambridge University Press, 2010.
- Beam AL, Kohane IS. Big Data and Machine Learning in Health Care. *JAMA* 2018; 319: 1317-1318.
- Alexander EK, Kennedy GC, Baloch ZW, et al. Preoperative diagnosis of benign thyroid nodules with indeterminate cytology. *N Engl J Med* 2012; 367: 705-15.
- Peng, S.; Liu, Y.; Zhou, Q.M.; Wang MPH, H.; Lai, F.M.; Zheng, Q.; Li, Y.; Xiao, H.; Liu, U.Y.; Liang, J.; et al. Deep Learning-Based Artificial Intelligence Model to Assist Thyroid Nodule Diagnosis and Management: A Multicentre Diagnostic Study. *Lancet Digit. Health* 2021; 3, e250-e259.
- Fujioka T, Kubota K, Mori M, Kikuchi Y, Katsuta L, Kasahara M, et al. Distinction between benign and malignant breast masses at breast ultrasound using deep learning method with convolutional neural network. *Jpn J Radiol* 2019;37(6):466-72.
- Zhou BY, Wang LF, Yin HH, Wu TF, Ren TT, Peng C, et al. Decoding the molecular subtypes of breast cancer seen on multimodal ultrasound images using an assembled convolutional neural network model: a prospective and multicentre study. *EBioMedicine* 2021;74:103684.
- H Zhang, Z Meng, J Ru, Y Meng, K Wang. Application and prospects of AI-based radiomics in ultrasound diagnosis. *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art*, 2023. <https://doi.org/10.1186/s42492-023-00147-2>
- Derchi L, Claudon M. Ultrasound: a strategic issue for radiology? *Eur Radiol* 2009;19:1-6.
- Lockhart ME. The role of radiology in the future of sonography. *AJR Am J Roentgenol* 2008;190:841-842.
- A. Frieria. Ecografía: estado actual y postura de la SERAM. *Radiología* 2022;64:1-2.

