

15 AÑOS DE COLABORACIÓN EN I+D DEL LAB. SSTU-CSIC CON IBEROAMÉRICA -SOBRE SISTEMAS ULTRASONICOS- PARA DIAGNÓSTICO MÉDICO E INSPECCIÓN INDUSTRIAL

A Ramos¹, L Leija², E Moreno³, C Negreira⁵, WCA Pereira⁶, MA Rodríguez⁴, JL San Emeterio¹, I Bazán^{2,8}, T Gómez¹, H Calas^{1,3}, J Prohías⁹, M Vázquez^{2,7}, F García⁷, MG Ruano¹⁰, I González¹

⁽¹⁾CSIC (Madrid), ⁽²⁾CINVESTAV (México), ⁽³⁾ICIMAF (Cuba), ⁽⁴⁾Univ. UPV (Valencia), ⁽⁵⁾LAU (Univ. de la Rep. Uruguay), ⁽⁶⁾Univ. UFRJ - COPPE (Río Janeiro), ⁽⁷⁾IMMAS-UNAM (México), ⁽⁸⁾ESIME-IPN (México), ⁽⁹⁾Hospital Hnos. Ameijeiras (Cuba), ⁽¹⁰⁾ Univ. de Faro (Portugal).

(1) - [Lab. "Ultrasonic Signals, Systems & Technologies" (CSIC). Madrid, Spain]. {aramos@ia.cetef.csic.es}

Resumen

Las aplicaciones ultrasónicas en el terreno de la ingeniería, del Laboratorio SSTU del CSIC, con una mayor incidencia tanto tecnológica como socioeconómica, se han registrado en los sectores biomédico e industrial. Ellas han estado basadas en resultados científicos previos de dicho laboratorio, obtenidos en proyectos y contratos de I+D. Se resumen algunas aplicaciones relativas a Detección y Radiación Ultrasónica en dichos sectores, desarrolladas por nuestro grupo Videus del CSIC y sus colaboradores, sobre inspección industrial y diagnóstico médico. Se resaltan ciertos aspectos comunes presentes en la detección ultrasónica de alta resolución para: a) tejidos (mediante ecografía y flujometría), b) nuevos materiales para transporte y sector nuclear, y c) control de calidad industrial. Finalmente, se muestra como se han podido compartir o transferir nuestros resultados de investigación con numerosos grupos de I+D especializados en Iberoamérica, promoviendo redes y proyectos de cooperación desde 1997.

Keywords: sistemas ultrasónicos, I+D, diagnóstico médico, inspección industrial, colaboración con Iberoamérica

PACS no.: 43.10.Eq; 43.10.Ln; 43.35.Wa; 43.35.Yb; 43.35.Zc; 43.80.Ev

1 Introduction

En este artículo, se resumen algunas actividades en I+D del Lab. *Señales, Sistemas y Tecnologías Ultrasónicas* del CSIC, y en particular del grupo *Videus*, sobre tecnologías ultrasónicas ideadas para Diagnóstico médico y Terapia de tipo no-invasivo, así como algunos precedentes en dicho grupo sobre investigaciones para Inspección y END industrial, desarrolladas en las décadas anteriores.

El origen de esta actividad investigadora se deriva de la planificación y desarrollo del Dpto. Señales, Sistemas y Tecnologías Ultrasónicas (SSTU) del Insto. Acústica de Madrid (CSIC, España), con una intensa dedicación en proyectos y contratos que se ha reflejado en más de mil publicaciones y 60

patentes, grupo hoy en plena actividad, aunque, por motivos organizativos, se encuentre en proceso de re-ubicación en un nuevo Instituto CSIC en el área de las Tecnologías Físicas y la Información. Las aplicaciones ultrasónicas prácticas acometidas por este grupo, con una mayor incidencia tecnológica y socioeconómica, se registran principalmente en el sector biomédico y en medios industriales.

Concretamente, en este trabajo de análisis de colaboraciones iberoamericanas para detección e imagen ultrasónicas, se describen muy sucintamente algunas aplicaciones prácticas de los resultados obtenidos a lo largo de 30 años de investigación en el organismo estatal español CSIC sobre soluciones para mejorar la *Detección y Radiación Ultrasónicas*, y que también fueron incluso implantadas en algunos casos en las instalaciones y laboratorios de empresas y hospitales, por el mismo grupo SSTU-CSIC. Abarcan la solución de necesidades planteadas, tanto en el ámbito del Control de Calidad Industrial como para un Diagnóstico Médico Precoz. Se describen la forma y las vías usadas para la adaptación de resultados de I+D, ideados para solucionar problemas planteados inicialmente en ciertos sectores industriales, y que también encontraron después aplicaciones ante nuevas demandas surgidas dentro del campo médico, y muy especialmente a través de vínculos establecidos entre grupos investigadores multidisciplinares ubicados en distintos centros europeos e iberoamericanos, lo que se ha canalizado, primero, a través de redes, y posteriormente mediante proyectos de cooperación europeos y de Cyted.

Finalmente, se resaltan y comentan ciertos aspectos de interés que resultan comunes para distintas aplicaciones de Detección Ultrasónica muy dispares (a través de tres ejemplos significativos), pero que necesitan de un requerimiento común: el disponer de una muy Alta Resolución en la detección:

- i) Análisis preciso de propiedades internas en Tejidos Biológicos (Ecografía, Flujometría).
- ii) Caracterización de Nuevos Materiales complejos en los sectores del transporte y nuclear.
- iii) Control de Calidad industrial “on line” durante la Producción Siderúrgica.

2. Lab. Señales, Sistemas y Tecnologías Ultrasónicas (CSIC). Grupo Videus

Este colectivo investigador español radicado en Madrid, que se formó ya hace décadas, como el Dpto. SSTU, está constituido actualmente por los grupos de investigación siguientes:

- Grupo **VIDEUS**: Detección / Imagen / Actuadores Ultrasónicos (US) de AF
Rango AF trabajado: (50 KHz - 50 MHz) - en Régimen *Pulsado*
Potencia media: baja-moderada (hasta 30 W)
(Potencias *instantáneas*: decenas de Kilo-watios)
Aplicaciones: Inspección industrial / diagnóstico médico / Terapia (hipertermia)
- Grupo **GUP** : Actuadores Ultrasónicos de Baja Frecuencia
Rango trabajado (20 - 40 KHz) - en Régimen *Continuo* (CW)
Potencia media: alta (100 W - 1 Kilo-watio)
Aplicaciones Industriales: des-espumación, descontaminación de humos, limpieza US, secado de vegetales, extracción de fluidos, etc..
- Línea de **Análisis** Ultrasónico de Materiales (próxima a Videus)
Rango trabajado (50 KHz - 10 MHz) - Régimen: *ambos* (pulsos y CW)
. Transductores acoplados por aire para detección eficiente.
. Detección y eliminación de células tumorales en sangre

Este artículo está centrado principalmente en algunas actividades y colaboraciones sobre I+D del grupo Videus, con algunas aportaciones desde la línea de Análisis ultrasónico de materiales.

2.1. GRUPO “VIDEUS”

Este grupo se formó como tal dentro del Dpto. “Señales, Sistemas y Tecnologías Ultrasónicas”, del entonces denominado Instituto de Acústica (Centro de Tecnologías Físicas) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C / Serrano 144, Madrid)

Personal investigador

Antonio Ramos Fernández:	Dr. en Ciencias Físicas (Investigador Científico del CSIC)
José Luis San Emeterio Prieto:	Dr. en Ciencias Físicas e Ingen. Industrial. (Investigador Científico del CSIC)
Tomas Gómez A-Arenas:	Dr. en Ciencias Físicas (Científico Titular del CSIC)
Héctor Calas del Casillo:	Dr. en Ciencias Físicas (Investigador Contratado Post-doctoral)
Pedro Tomás Sanz Sánchez:	Ingeniero Sup. Telecomunicaciones (Titulado Superior Espec. del CSIC)
Ivonne Bazán Trujillo:	Dra en Ingeniería Electrónica (actualmente, en el IPN - México)
Mónica Vázquez	Dra. En Ingeniería Eléctrica (actualmente, en la UNAM - México)

Colaboradores próximos en el grupo Videus, del Lab. ultrasónico (SSTU): Dr. Abelardo Ruiz, Dra. Itziar González, Dra. Cleofé Campos, Dr. Luis Castellanos, Dr. Halim Azbaiz, D. Luis Diez.

3. Instrumentación Especifica del grupo VIDEUS para I+D Ultrasónica

- 5 Generadores de señal hasta 100 MHz - 100 V, marca Hw Pck - Agilent.
- 3 Analizadores (FFT) tipo multicanal, para señales en tiempo real (Tektronix 1-3 GHz en F_{muestreo}), para estudios espectrales en el dominio de la frecuencia.
- 3 Analizadores Ultrasónicos comerciales de bajas y altas energías de pulso: modelos Panametrics PR5052-UA, PR5058, Y PR5055.
- 2 Placas Pulser-Receiver PC-compatibles, para transductores ultrasónicos.
- Placa de adquisición y conversión A/D a 100 MHz, para señales ultrasónicas de AF (PC-compatible).
- 2 Equipos Multi-Pulser de Alta Tensión y AF, para la excitación simultanea de transductores y arrays ultrasónicos (de Diseño y Desarrollo propio).
- Equipo de 32 canales, y 4 placas PC-compatibles de 8 canales, para el MUX / DMUX secuencial de pulsos de AT. (Diseño y Desarrollo propio, bajo patente internacional).
- PCIAD1650-Ultratek, Tarjeta PCI, A/D converter, 16 canales simultáneos-50MHz.
- PHA16-Ultratek, Tarjeta phased-array para alimentar transductores multi-elemento de 16 canales.
- Pulser / Receiver: PCIUT 3100(T) - Ultratek.

- Tanque de inmersión con barridos 3D automatizados, para medir campos US con scanning de alta precisión, y también para generación de imágenes. Control 3-D Velmex, Excitación Matec TB 1000, Adquisición Tektronix 744, y placa DSPUT5000.
- Sistema de análisis automático con alta precisión, para evaluación de impedancias complejas y de funciones de transferencia. HP4194 A (respuestas en frecuencia: rango 13 Hz - 100 MHz).
- Sistemas para generación de pulsos y señales especiales, con amplitudes y rangos de frecuencia AF para detección pulsada y control ultrasónico: (0-50 MHz), (0-500 V); comerciales y diseño propio.
- 3 Equipos Krautkramer para inspección y END: Equipo portátil USN 52R, Unidad USM 23, y Sistema multicanal USPC2100 de altas prestaciones (200 Mega-muestras, 3 gates).
- Sistemas de laboratorio para Control digital y Focalización arbitraria programable de haces ultrasónicos de banda ancha con arrays (desarrollados por el equipo investigador).
- Numerosos palpadores del tipo END; transductores ultrasónicos de frecuencias convencionales; y arrays lineales & anulares (0.2 - 10 MHz), de diversos fabricantes, aperturas y bandas.
- 20 transductores ultrasónicos de Alta Frecuencia para Detección de Alta-Resolución, con frecuencias nominales entre 15 y 125 MHz (Panametrics - Olympus).
- Módulo Bode 1000, para Análisis de impedancia (para caracterización eléctrica básica).
- Equipo multicanal SITAU para E/R ultrasónica pulsada en 32 canales.
- Equipo de inspección ultrasónica Phasor XS (General Electric) mediante arrays ultrasónicos.
- Laboratorio de fabricación de transductores US (algoritmos de simulación, sistema de mecanizado 3-D y corte, balanza de precisión, lijadora-pulidora, etc.).
- 4 Amplificadores de potencia para pulsos de banda ancha: E&I 2200L, E&I 325LA, E&I 403LA, AR 75A250A (en el rango frecuencial 10 KHz-300 MHz), con distintos niveles de potencia (10-250 W).
- Módulos para micro-flujometría ultrasónica de banda ancha con alta resolución (de diseño propio).

4. Algunos resultados previos en I+D del grupo Videus-CSIC, obtenidos en contratos industriales y proyectos del Plan Nacional español

En este resumen, se incluye una selección de resultados de I+D obtenidos por el grupo Videus, a través de proyectos europeos y otros contratos con la industria, acerca de la temática global:

“HF ultrasonic systems for non-invasive detection and measurements of internal properties inside opaque structures”.

A continuación, se muestran las principales aplicaciones implantadas en la industria (1990-2000), a partir de resultados de investigación generados previamente en ese grupo. Se refieren principalmente a Transceptores Multi-canal diseñados para “Detección e Imagen Ultrasónicas”. Durante la década de los '90, varios resultados obtenidos por el grupo, en los años previos, fueron transferidos a la industria para aplicaciones acerca de Control de Calidad de productos manufacturados, mediante la inspección no invasiva de su interior, tanto durante su fabricación como posteriormente “en servicio”.

Los sectores industriales con mayores necesidades de inspección, y por tanto con mayor demanda de ello, han sido estos tres: 1) ♦ Energía Nuclear. 2) ♦ Industria del Acero. 3) ♦ Sector Aeronautico.



Fig. 1. Tres ejemplos de aplicación de la investigación en grupo Videus, para desarrollo de tecnologías multicanal de inspección por imagen ultrasónica en los sectores: nuclear, siderúrgico y aeronáutico.

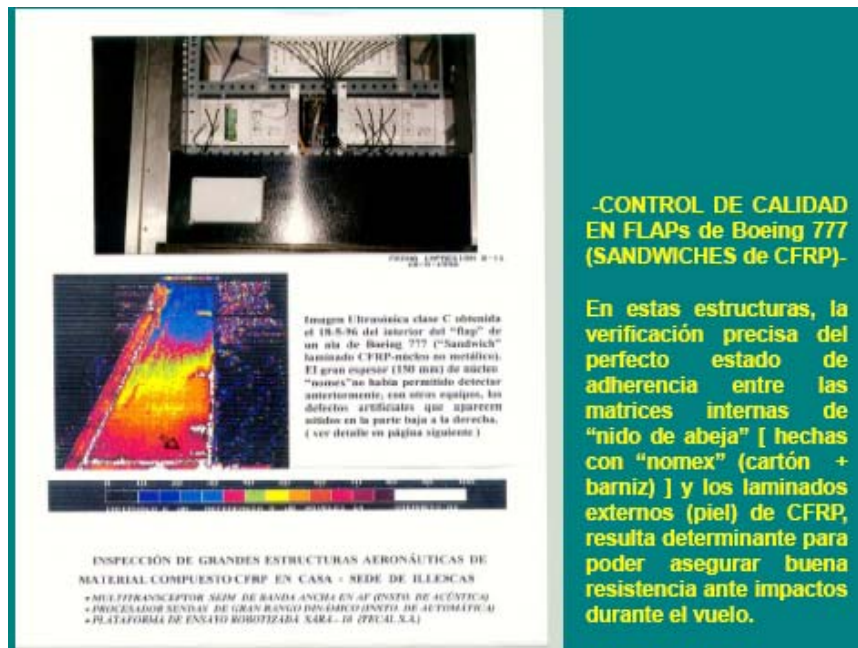


Fig. 2. Detalle de la aplicación para inspección ultrasónica de "flaps" de aterrizaje en aviones, (sandwiches de "composite" CFRP con nucleos "nomex"), superando atenuaciones de más de 80 dB)

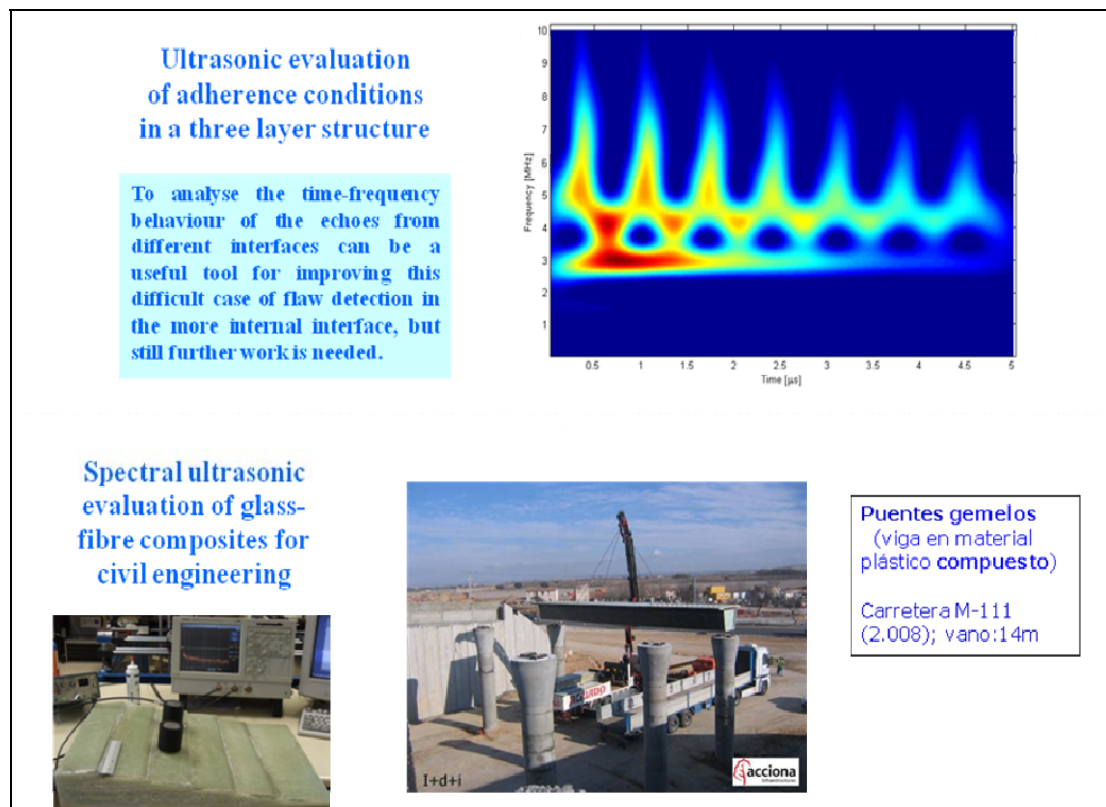


Fig. 3. Una aplicación para control de calidad ultrasónica en piezas construidas con material "composite" reforzado con fibra de vidrio, para estructuras ligeras en puentes de autopista.

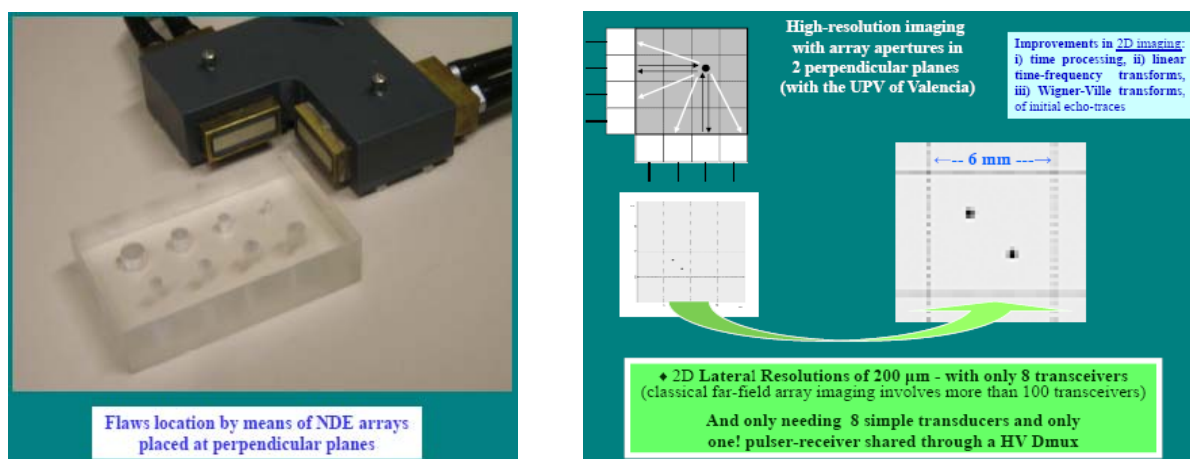


Fig. 4. Inspección ultrasónica de muy alta resolución (2 décimas de mm) y muy bajo coste, usando tan solo 8 transeptores ultrasónicos desde 2 planos externos.

CONTRATO DE INVESTIGACIÓN CSIC – TECNATOM S.A.

Título del Proyecto de I+D+i: “MEJORA DE LA INSTRUMENTACIÓN Y LA AUTOMATIZACIÓN DE LA INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DE NUEVOS MATERIALES Y COMPONENTES DE GRAN ESPESOR Y/O ATENUACIÓN ”

Duración: (2007 - 2010)

Financiación: TECNATOM

Participantes: Antonio Ramos, J. Luis San Emeterio, Pedro T. Sanz, Tomas Gómez, Abelardo Ruiz

Breve Reseña de Actividades

Compromisos CSIC: investigación, diseño, desarrollo de prototipos pre-competitivos, transferencia de tecnología, cursos de formación y asesoramiento científico.

Resultados en Tecnología:

a) Diseño y Desarrollo de un Multi-pulser de Alta Eficiencia para Inspecciones en AF y BF aún no viables de Materiales Compuestos Avanzados muy atenuantes.

b) Desarrollo de nuevos De-Multiplexores de Alta Tensión [Patentes: USA 5592031, Francia/UK EP0 651508B1, Alemana DE-69317426T2, Española 9300154], para mejorar la productividad en “Control de Calidad” industrial. Con formación de personal para Transferencia de Tecnología CSIC.

Se han entregado esquemas e informes técnicos a la empresa junto a un Mux-Dmux AT de 8 canales para exploración de muy baja frecuencia (ancho de banda de 20 MHz hasta 70 KHz).



Fig. 5. Algunos desarrollos para de-multiplexado de pulsos AT, basados en patentes internacionales

5. Extensión de resultados Videus en I+D para aplicaciones biomédicas

A continuación, se citan algunas tendencias actuales en I+D y también resultados de laboratorio relativos a sistemas ultrasónicos radiantes, para la colaboración y la cooperación sobre investigación ultrasónica, en el ámbito ibero-americano, y que serían aplicables en medicina:

- a) Varias líneas de I+D actualmente en desarrollo, entre grupos iberoamericanos, que están orientadas a mejorar la capacidad de detección y de resolución para imagen diagnóstica en el interior de tejidos (con posibles aplicaciones también en rehabilitación preventiva).
- b) Nuevas técnicas para medición no invasiva con alta definición, dentro de tejidos, de temperatura y de elasticidad internas, para la detección precoz de enfermedades y eventos graves, como: cáncer, infartos o aneurismas, o de niveles letales en micro-flujos sanguíneos (por ejemplo, en intervenciones de by-pass coronario o de trasplante de hígado).
- c) Resultados precisos de campo acústico, obtenidos en laboratorio, donde se muestran radiaciones anómalas observadas en aplicadores comerciales típicos para terapia ultrasónica (aún cumpliendo la normativa vigente), cuyo uso podría entrañar algún riesgo para el paciente y para el propio terapeuta.

La perspectiva de aplicación médica aquí abordada, se limita únicamente a un entorno de uso tecnológico de la I+D, donde han venido colaborado varios grupos de Iberoamérica desde 1998.

5.1 Principales marcos de colaboración con Iberoamérica para aplicación médica.

Las actividades de cooperación multilateral con instituciones iberoamericanas han estado relacionadas principalmente con la redes y proyectos siguientes:

(1) CYTED Program:

- a) Red (**RITUL**): *Ibero-American Network of "Ultrasonic Technologies"*.
- b) Proyecto "**PULSETS**": *Determinación de patrones ultrasónicos eficaces para terapia segura mediante control de radiación pulsada distribuida*.
- c) Proyecto de I+D Consorciado, financiado por Cyted (**SUCODIC**): *Development of ultrasonic & computer systems to cardiovascular diagnosis*.

(2) European Union - ALPHA-Projects:

- a) **PETRA**: *PiezoElectric Transducers and their Applications (I and II)*
- b) **BIOSENINTG**. *Methods of Advanced Processing and Artificial Intelligence in Sensors and Biosensors Systems*

(3) AECID

International project for inter-university cooperation and scientific research: *Aplicación de la inteligencia artificial a los sensores y biosensores - 2*

Estas actividades fueron planificadas desde 2000, colaborando con otros grupos, principalmente en el marco latino-americano, y en este trabajo nos centraremos en dos de las temáticas mas productivas:

- ♦ Estimación Ultrasónica de Temperaturas internas, en phantoms biológicos y tejidos.
- ♦ Estimación Ultrasónica de Micro-flujos en by-passes coronarios y de elasticidad arterial.

Fueron desarrollados diferentes proyectos conjuntos, buscando posibles soluciones innovadoras a algunas necesidades biomédicas, los cuales han implicado investigaciones conjuntas, principalmente en el campo de los sistemas ultrasónicos de alta frecuencia. Ello incluyó desarrollos tecnológicos en: electrónica, ingeniería de sistemas, procesamiento computacional de señales, e instrumentación avanzada. En la figura 6, se muestra un esquema de nuestras relaciones iberoamericanas, mantenidas desde 1997. Como se ve, ello ha incluido contactos y trabajos comunes con numerosos grupos de I-D americanos y

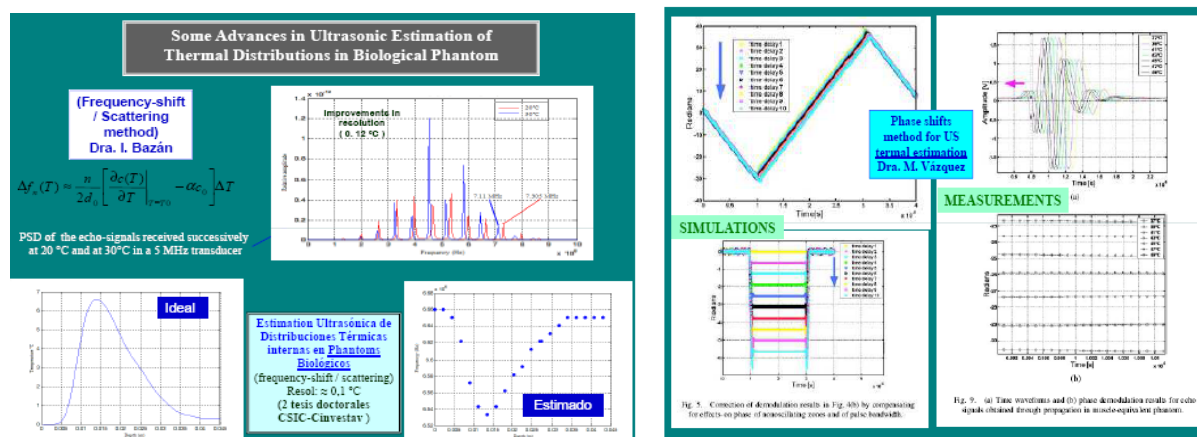
europeos (de universidades y centros de investigación), durante 15 años. Y generó incluso una curiosa *reorientación selectiva* de las actividades investigadoras en ambo grupos (europeos y americanos).



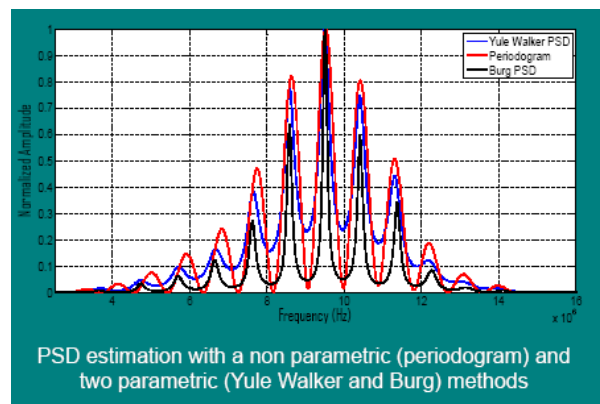
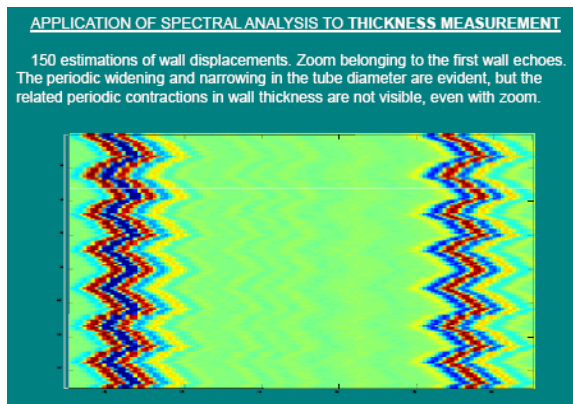
Fig. 6. Marco iberoamericano establecido desde 1998, para los trabajos de cooperación en I+D.

5.1. Algunos trabajos de Investigación reciente en CSIC, con otros grupos. Primeros Resultados.

♦ En cuanto a Estimación Ultrasónica de Temperaturas internas en phantoms biológicos y tejidos, se han codirigido dos tesis doctorales (CSIC – CINVESTAV), con publicaciones conjuntas [1, 5-6]:



♦ Sobre Estimación Ultrasónica de Micro-flujos en *by-passes* coronarios y de elasticidad arterial: hay varios artículos en revistas [1-2] con resultados conjuntos CSIC, LRU - Univ. Rep. Uruguay, e IPN.



Y también se desarrolló recientemente un proyecto consorciado CYTED con resultados tecnológicos confirmados experimentalmente y ya ensayados con éxito “in vivo”, e incluso durante intervenciones quirúrgicas en quirófanos iberoamericanos; y se originaron algunas publicaciones [3,9].

PROYECTO CONSORCIADO “CYTED” P506PIC0295 - SUCODIC (I)

Título del proyecto: DESARROLLO DE SISTEMAS ULTRASÓNICOS Y COMPUTACIONALES PARA DIAGNÓSTICO CARDIOVASCULAR

Proyecto de Investigación Consorciado de CYTED.
(Progr. “Tecnologías de la Información y las Comunicaciones”. 10 Grupos de I+D)

Duración: 2007 - 2010
Financiación: 707. 000 Dólares para 10 grupos / 3 años

Grupos iberoamericanos participantes:
Univ. UNAM (IIMAS) & C. Inv. Est. Avanz. IPN (México). ICIMAF & Hospital H. Ameijeiras (Cuba).
Fac. Ciencias Montevideo; Lab. Acústica Ultrasonora (Uruguay). Univ. Fer. Rio de Janeiro & Univers.
Sao Carlos (Brasil). Inst. Aplic. TICs Avanzadas - UPV (España). Univers. Algarve. (Portugal).
-Se cuenta con el acceso a Dptos. de Cardiología de otros dos hospitales en Méjico y Uruguay-

Participantes - CSIC: A Ramos, PT Sanz, H. Calas, JL San Emeterio, A. Ruiz.

Labor desarrollada (desarrollos tecnológicos y aplicación *directa en vasos*):

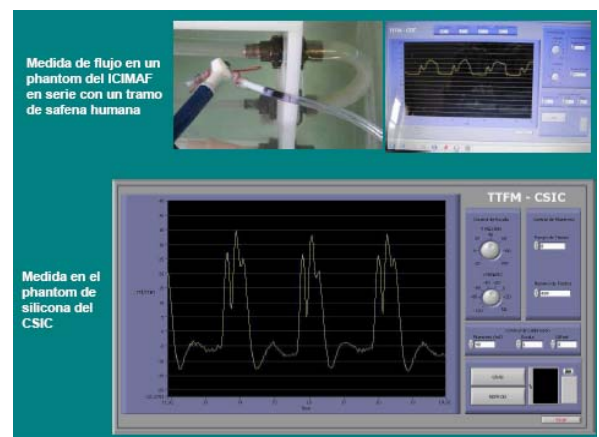
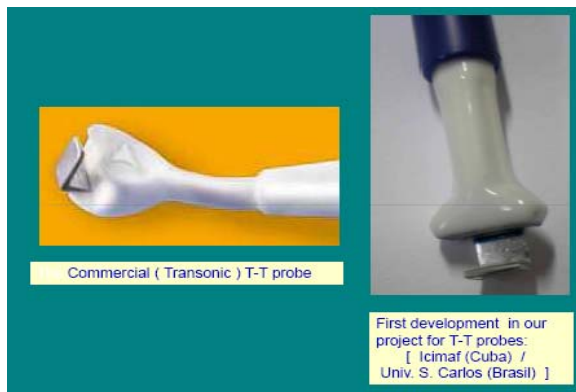
- Sistema Doppler pulsado para medida frecuencial de velocidad de la sangre en vasos.
- Sistemas “Transit-Time” para estimación de micro-flujos en implantes y arterias coronarios.
- Sistema Elastográfico para evaluación preventiva de calidad en tramos arteriales y venosos empleados para implantes y *by-passes* cardiacos.

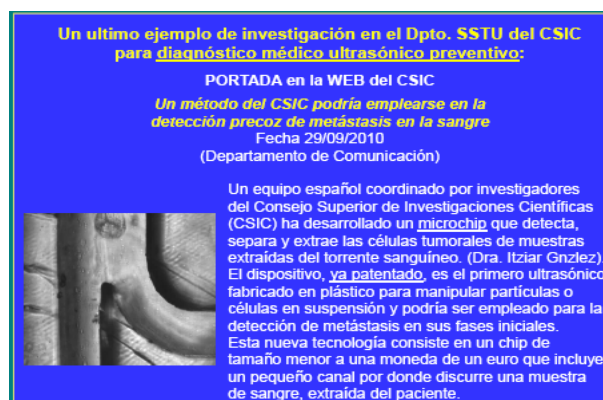
Hubo numerosas reuniones de trabajo en La Habana, Brasil, México, Montevideo y Madrid, entre los socios, e incluyendo cirujanos, sobre aspectos técnicos y con ensayos reales en hospitales y bioterios.

- Patentes CSIC aplicadas en este proyecto:

- *Fast bidirectional analog switching system for HF pulses of high instantaneous power.* United States Patent, Number 5, 592,031, (USPO). 1997.
- *Schneller bidirektionaler analoger schalter für hf-impulse mit hoher momentaner leistung.* Germany Patent No DE 693 17 426 T2. 1999.
- *Fast bidirectional analog switching system for electrical signals of high-instantaneous power.* U.K. Patent No GB 651508 & France Patent FR651508 (EPO).

A continuación, se muestran fotos descriptivas de resultados en este proyecto consorciado Cyted.





6. Conclusiones

Mediante extensión de resultados industriales previos del grupo Videus, sobre I+D ultrasónica, se abordaron retos pendientes en investigación para resolver aspectos, en principio algo alejados de aquello, sobre aplicaciones médicas, en cooperación con Iberoamérica [1-9]. Ello incluyó soluciones eficaces para diagnóstico, optimizando la transferencia energética entre los subsistemas ultrasónicos & electrónicos involucrados, y mejorando la resolución espacial para propósitos de detección e imagen. Y ello sería aplicable también, allá donde se supone una acción terapéutica eficaz de los ultrasonidos (p.e. en terapia), aún a falta de una cuantificación rigurosa de su real actuación curativa [7] y de posibles efectos colaterales en los pacientes y hasta en el propio operario que aplica la terapia.

En cualquier caso, resulta aún necesario profundizar en la investigación multidisciplinar sobre la incidencia real de los ultrasonidos, a diferentes frecuencias. La cooperación multinacional entre grupos de I+D complementarios constituye una opción interesante y eficaz para alcanzar este objetivo.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a los Proyectos actuales: PN español (DPI2011-22438) y Conacyt-Fomix (No. 128572), Veracruz-México; e instituciones: IPN (México), CSIC (España), URU (Uruguay) y Cyted.

Referencias

- [1] I. Bazan, A. Ramos, H. Calas, A. Ramirez, R. Pintle, T. E. Gómez, C. Negreira, F. J. Gallegos, and A. J. Rosales. *Possible Patient Early Diagnosis by Ultrasonic Noninvasive Estimation of Thermal Gradients into Tissues Based on Spectral Changes Modeling. Computational and Mathematical Methods in Medicine*, Volume 2012, Article ID 275405, 14 pages. 2012.
- [2] J. Brum, G. Balay, D. Bia, N. Benech, A. Ramos, R. Armentano, C. Negreira. *Improvement of young modulus estimation by ultrasound using static pressure step. Physics Procedia (Elsevier)*, Vol. 3, issue 1, pp. 1087-1094. 2010.
- [3] A. Jiménez, E. Carrillo, E. Moreno, D. Torres, A. Ramos, H. Calas, P.T. Sanz, M.A. Kruger, WCA Pereira. *System to measure blood flow in vessels using the ultrasonic "transit time technique". Pahce-IEEE. 2010. Confer. Proc. IEEE Catalog n. cfp1018g-prt. pp. 149-154. 2010.*
- [4] L. Castellanos, H. Calás, and A. Ramos. *Limited-diffraction wave generation by approaching theoretical X-wave electrical driving signals with rectangular pulses. Ultrasonics*, Vol. 50. pp. 116-121. 2010.
- [5] I. Bazán, M. Vázquez, A. Ramos, A. Vera, L. Leija. *A performance analysis of echographic ultrasonic techniques for non-invasive temperature estimation in hyperthermia range using phantoms with scatterers. Ultrasonics*, Vol. 49, 358-376. 2009.
- [6] M. Vázquez, A. Ramos, L. Leija, A. Vera. "Non-invasive temperature estimation in oncology hyperthermia by using phase changes in pulse-echo ultrasonic signals". *Jp. Journal Applied Physics*, october, pp. 7991-7998. 2006.
- [7] A. Azbaid, A. Ramos, R. Perez-Valladares, H. Calas, L. Leija. *Preliminary analysis and simulation of the influence of radiations from the rim of therapeutic transducers in the irradiated acoustic field. Confer. Proc. Pahce-IEEE, IEEE Catalog n. cfp1018g-prt. 121-125. 2010.*
- [8] A. Ramos, J. L. San Emeterio and P. T. Sanz. Improvement in transient piezoelectric responses of NDE transceivers using selective damping and tuning networks. *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Cont.*, Vol. 47, n° 4, pp. 826-835, 2000.
- [9] A. Ramos, L. Leija, E. Moreno, C. Negreira, W. Coelho, MA Rodríguez, JL San Emeterio, A. Ruiz, A. Vera, I. Bazán, T. Gómez, H. Calas, JA Eiras, J. Prohías, M. Vázquez, F. García, MG Ruano. Key-note (invited): *Cooperative linkages between european union and latin america: applied research in ultrasonic systems for biomedical applications. a VIDEUS-CSIC spanish perspective. Conf. proc. IEEE Catalog n. cfp1018g-prt. 2010.*