

# Curriculum Vitae

## Javier BRUM NUÑEZ

Actualizado: 05/07/2017



Publicado: 20/07/2017

**Sistema Nacional de Investigadores**

Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas

Categorización actual: Nivel I

Ingreso al SNI: Activo(01/03/2010)

## Datos generales

### Información de contacto

E-mail: [jbrum@fisica.edu.uy](mailto:jbrum@fisica.edu.uy)

### Institución principal

Instituto de Física / Facultad de Ciencias - UDeLaR / Universidad de la República / Uruguay

### Dirección institucional

Dirección: Facultad de Ciencias - UDeLaR / Instituto de Física/ Iguá 4225 / 11 400 / Montevideo / Montevideo / Uruguay

Teléfono: (+598 2) 525 86 18

Fax: 525 05 80

E-mail/Web: [jbrum@fisica.edu.uy](mailto:jbrum@fisica.edu.uy) / [www.fisica.edu.uy](http://www.fisica.edu.uy)

## Formación

### Formación concluida

#### Formación académica/Titulación

##### Posgrado

2009 - 2012

Doctorado

Doctorado en Física (UDELAR-PEDECIBA)

Facultad de Ciencias - UDeLaR, Universidad de la República , Uruguay

Título: Elastography and Time Reversal of Shear Waves: Application to the Elasticity Imaging of Soft Solids

Tutor/es: Carlos Negreira

Obtención del título: 2012

Palabras clave: elastografía; viscoelasticidad; retorno temporal

Áreas del conocimiento: Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

2009 - 2012

Doctorado

Doctorat en Physique Appliquee

Universite de Grenoble I (Scientifique Et Medicale - Joseph Fourier) , Francia

Título: Elastography and Time Reversal of Shear Waves: Application to the Elasticity Imaging of Soft Solids

Tutor/es: Dr. Stefan Catheline

Obtención del título: 2012

Becario de: Agencia Nacional de Investigación e Innovación , Uruguay

Palabras clave: elastography; time reversal

Áreas del conocimiento: Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

2007 - 2009

Maestría

Maestría en Física (UDELAR-PEDECIBA)

Facultad de Ciencias - UDeLaR, Universidad de la República , Uruguay

*Título:* Métodos para la evaluación de la elasticidad del tejido arterial

*Tutor/es:* Carlos Negreira

*Obtención del título:* 2009

*Becario de:* Agencia Nacional de Investigación e Innovación , Uruguay

*Palabras clave:* ultrasonido; elastografía; retorno temporal; propiedades biomecánicas de vasos sanguíneos

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía Impulsional, Retorno Temporal, Elasticidad en Arterias

## Grado

2002 - 2007

Grado

Licenciatura en Física

Facultad de Ciencias - UDeLaR, Universidad de la República , Uruguay

*Obtención del título:* 2007

*Palabras clave:* acústica

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía Impulsional, Retorno Temporal, Acústica Ultrasonora

## Formación complementaria

### Postdoctorado

01 / 2013 - 01 / 2014

Ultrasonic Shear Wave Imaging

Ecole Superieure de Physique et de Chimie Industrielle , Francia

*Becario de:* Centre National de la Recherche Scientifique , Francia

*Palabras clave:* elastography; ultrasound; mechanical properties of tissue

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

### Cursos corta duración

1 / 2011 - 1 / 2011

Introduction to Data Assimilation

Universite de Grenoble I (Scientifique Et Medicale - Joseph Fourier) , Francia

*Palabras clave:* multi-variable modelling; variational methods; stochastic modelling

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Matemáticas / Estadística y Probabilidad

03 / 2011 - 03 / 2011

Ingeniería y Tecnología / Ingeniería de los Materiales / Ingeniería de los Materiales

Winter School on Therapeutic Ultrasound / Ecole de Physique de Les Houches

Universite de Grenoble I (Scientifique Et Medicale - Joseph Fourier) , Francia

*Palabras clave:* high intensity focused ultrasound; elastography; magnetic resonance thermometry; ultrasound thermometry

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

4 / 2010 - 4 / 2010

Ingeniería y Tecnología / Ingeniería Médica / Ingeniería Médica  
Ciencias Médicas y de la Salud / Biotecnología de la Salud / Tecnologías

que involucran la manipulación de células, tejidos, órganos o todo el org  
Aspectos moleculares, celulares y macroscópicos del músculo liso vascular y su relación con procesos de Salud- Enfermedad

Facultad de Medicina - UDeLaR, Universidad de la República , Uruguay

*Palabras clave:* musculo liso vascular

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Biológicas / Biofísica

12 / 2010 - 12 / 2010

Óptica de Fourier

Facultad de Ingeniería - UDeLaR, Universidad de la República , Uruguay

*Palabras clave:* optica de fourier

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / óptica

**Otras instancias**

2014	<p>Congresos</p> <p><i>Nombre del evento:</i> IEEE International Ultrasonic Symposium</p> <p><i>Institución organizadora:</i> IEEE UFFC Society , Estados Unidos</p> <p><i>Palabras clave:</i> ultrasonido</p> <p><i>Areas del conocimiento:</i> Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica</p>
2013	<p>Congresos</p> <p><i>Nombre del evento:</i> IEEE International Ultrasonic Symposium</p> <p><i>Institución organizadora:</i> IEEE UFFC Society , República Checa</p> <p><i>Areas del conocimiento:</i> Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica</p>
2013	<p>Congresos</p> <p><i>Nombre del evento:</i> 12th International Tissue Elasticity Conference (ITEC)</p> <p><i>Institución organizadora:</i> Inglaterra</p> <p><i>Palabras clave:</i> elastografía</p> <p><i>Areas del conocimiento:</i> Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica</p>
2011	<p>Congresos</p> <p><i>Nombre del evento:</i> IEEE International Ultrasonics Symposium</p> <p><i>Institución organizadora:</i> IEEE UFFC Society , Estados Unidos</p> <p><i>Palabras clave:</i> ultrasound</p> <p><i>Areas del conocimiento:</i> Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica Ingeniería y Tecnología / Ingeniería Médica / Ingeniería Médica</p>
2010	<p>Congresos</p> <p><i>Nombre del evento:</i> IEEE International Ultrasonics Symposium</p> <p><i>Institución organizadora:</i> IEEE UFFC , Estados Unidos</p> <p><i>Palabras clave:</i> ultrasound</p> <p><i>Areas del conocimiento:</i> Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Ultrasonido</p>
2010	<p>Congresos</p> <p><i>Nombre del evento:</i> EMBC Buenos Aires 2010</p> <p><i>Institución organizadora:</i> IEEE EMBS , Argentina</p>
2009	<p>Congresos</p> <p><i>Nombre del evento:</i> International Congress on Ultrasonics</p> <p><i>Institución organizadora:</i> Universidad de Santiago de Chile , Chile</p> <p><i>Areas del conocimiento:</i> Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica</p>
2009	<p>Congresos</p> <p><i>Nombre del evento:</i> 2009 IEEE International Ultrasonics Symposium - Roma</p> <p><i>Institución organizadora:</i> IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics, &amp; Frequency Control Society , Italia</p>
2009	<p>Talleres</p> <p><i>Nombre del evento:</i> Elasticity Imaging: Dynamic Approaches - 2009 IEEE International Ultrasonics Symposium - Roma</p> <p><i>Institución organizadora:</i> IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics, &amp; Frequency Control Society , Italia</p> <p><i>Palabras clave:</i> elastografía; presion de radiacion</p> <p><i>Areas del conocimiento:</i> Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía dinamica por presion de radiacion</p>
2008	<p>Talleres</p> <p><i>Nombre del evento:</i> Ninth Workshop on Three Dimensional Modelling of Seismic Waves Generation, Propagation and their Inversion</p> <p><i>Institución organizadora:</i> The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics , Italia</p> <p><i>Areas del conocimiento:</i> Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Sismología</p>

2007

Otros

*Nombre del evento:* Pasantía en el Laboratoire Ondes et Acoustique, Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielles de la Ville de Paris

*Institución organizadora:* Francia

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía Impulsional, Acústica Ultrasonora

## Construcción institucional

## Idiomas

Alemán

Entiende (Muy Bien) / Habla (Muy Bien) / Lee (Muy Bien) / Escribe (Muy Bien)

Francés

Entiende (Bien) / Habla (Bien) / Lee (Bien) / Escribe (Regular)

Inglés

Entiende (Muy Bien) / Habla (Muy Bien) / Lee (Muy Bien) / Escribe (Muy Bien)

## Áreas de actuación

Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía Impulsional, Retorno Temporal, Acústica Ultrasonora

## Actuación Profesional

### Cargos desempeñados actualmente

*Desde:* 01/2014

(Docente Grado 3 Titular, 30 horas semanales / Dedicación total) , Facultad de Ciencias - UDeLaR , Uruguay

*Desde:* 05/2013

Investigador Grado 3 , (30 horas semanales) , Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas , Uruguay

### Universidad de la República , Facultad de Medicina - UDeLaR , Uruguay

#### Vínculos con la institución

02/2005 - 04/2007, *Vínculo:* Ayudante de Clase, Docente Grado 1 Titular, (20 horas semanales)

#### Actividades

02/2005 - 04/2007

Docencia , Grado

Metodos Cuantitativos , Asistente , Medicina

02/2005 - 04/2007

Proyectos de Investigación y Desarrollo , Facultad de Medicina , Unidad de Metodos Cuantitativos

Trombofilia y Gestacion , Integrante del Equipo

### Universidad de la República , Facultad de Ciencias - UDeLaR , Uruguay

#### Vínculos con la institución

03/2006 - 06/2009, *Vínculo:* Ayudante de Clase, Docente Grado 1 Titular, (20 horas semanales)

06/2009 - 12/2012, *Vínculo:* Asistente, Docente Grado 2 Interino, (30 horas semanales / Dedicación total)

12/2012 - 02/2013, *Vínculo:* , Docente Grado 2 Titular, (30 horas semanales)

02/2013 - 01/2014, *Vínculo:* , Docente Grado 2 Titular, (30 horas semanales / Dedicación total)

01/2014 - Actual, *Vínculo:* , Docente Grado 3 Titular, (30 horas semanales / Dedicación total)

#### Actividades

10/2014 - Actual

Dirección y Administración , Instituto de Física

Miembro de la Comisión Directiva del Instituto de Física

03/2007 - Actual

Líneas de Investigación , Instituto de Física, Facultad de Ciencias , Laboratorio de Acústica Ultrasonora

Métodos Ultrasónicos para la evaluación no invasiva de las propiedades mecánicas de vasos sanguíneos , Integrante del Equipo

03/2006 - Actual

Líneas de Investigación , Instituto de Física, Facultad de Ciencias , Laboratorio de Acústica Ultrasonora

Elastografía transitoria, elastografía por retorno temporal , Integrante del Equipo

03/2006 - Actual

Docencia , Grado

Laboratorio I para Bioquímica , Asistente , Licenciatura en Física

03/2006 - Actual

Docencia , Grado

Taller II , Asistente , Licenciatura en Física

03/2006 - Actual

Docencia , Grado

Física de la Materia I , Asistente , Licenciatura en Física

03/2006 - Actual

Docencia , Grado

Ondas , Asistente , Licenciatura en Física

03/2006 - Actual

Docencia , Grado

Laboratorio I , Asistente , Licenciatura en Física

03/2006 - Actual

Docencia , Grado

Laboratorio II , Asistente , Licenciatura en Física

03/2006 - Actual

Docencia , Grado

Mecánica Estadística , Asistente , Licenciatura en Física

03/2014 - 8/2016

Docencia , Grado

Ondas , Responsable , Licenciatura en Física

04/2010 - 04/2010

Docencia , Doctorado

Aspectos Moleculares, celulares, y macroscópicos del músculo liso vascular y su relación con procesos de salud-enfermedad , Asistente , PEDECIBA

09/2014 - 09/2014

Extensión

Responsable y Preparador del stand del Instituto de Física de la Facultad de Ciencias para la feria de ciencias 'Latitud Ciencias 2014' llevada a cabo en el atrio de la Intendencia Municipal de Montevideo del 16 al 21 de setiembre del 2014

01/2017 - Actual

Proyectos de Investigación y Desarrollo , Facultad de Ciencias , Instituto de Física

ESTUDIO DE LA DINÁMICA DE UN FLUJO PULSÁTIL Y SUS IMPLICANCIAS EN HEMODINÁMICA VASCULAR , Coordinador o Responsable

01/2015 - Actual

Proyectos de Investigación y Desarrollo , Facultad de Ciencias , Instituto de Física

Medida de las propiedades viscoelásticas de sangre en fase de coagulación y las interacciones entre flujo sanguíneo, coágulo y arteria , Coordinador o Responsable

01/2015 - Actual

Proyectos de Investigación y Desarrollo , Instituto de Física/Facultad de Ciencias , Laboratorio de Acústica Ultrasonora  
Ultrasonido aplicado a procesos agroindustriales , Integrante del Equipo

02/2013 - 02/2015

Proyectos de Investigación y Desarrollo , Instituto de Física , Facultad de Ciencias  
Dinámica de la interfase sangre-pared arterial , Integrante del Equipo

01/2013 - 01/2014

Proyectos de Investigación y Desarrollo , Institut Langevin , Ecole Superieure de Physique et Chemie Industrielles - ParisTech

Ultrasonic Shear Wave Imaging for Tendon Therapy (UltraSWIFT) , Otros/Post-Doctorado

01/2011 - 01/2014

Proyectos de Investigación y Desarrollo , Instituto de Física , Facultad de Ciencias  
Laboratorio de Acustica Ultrasonora , Integrante del Equipo

01/2010 - 12/2012

Proyectos de Investigación y Desarrollo , Instituto de Física , Facultad de Ciencias  
Elastographie acoustique de milieux viscoélastiques , Integrante del Equipo

11/2009 - 05/2011

Proyectos de Investigación y Desarrollo , Instituto de Física , Facultad de Ciencias  
Applications en imagerie medicale par retournement temporel et elastographie ultrasonore , Integrante del Equipo

05/2009 - 05/2011

Proyectos de Investigación y Desarrollo , Facultad de Ciencias , Instituto de Fisica  
Creación del 'Servicio hospitalario y ambulatorio, de exploración vascular no-invasiva para la detección precoz de enfermedades cardiovasculares' , Integrante del Equipo

02/2009 - 02/2011

Proyectos de Investigación y Desarrollo , Facultad de Ciencias , Instituto de Fisica  
Aplicación de ultrasonografía de alta resolución para la evaluación de la estructura y función arterial , Integrante del Equipo

07/2007 - 02/2010

Proyectos de Investigación y Desarrollo , Instituto de Física , Laboratorio de Acústica Ultrasonora  
Desarrollo de sistemas ultrasónicos y computacionales para diagnóstico cardiovascular , Integrante del Equipo

03/2006 - 07/2008

Proyectos de Investigación y Desarrollo , Instituto de Física , Laboratorio de Acústica Ultrasonora  
Mejora del control del proceso de fabricación y de la calidad de queso por aplicacion de técnicas ultrasónicas , Integrante del Equipo

## **Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas , Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas , Uruguay**

[Vínculos con la institución](#)

*05/2013 - Actual, Vínculo: [Investigador Grado 3, \(30 horas semanales\)](#)*

### **Lineas de investigación**

*Título:* Elastografía transitoria, elastografía por retorno temporal

*Tipo de participación:* Integrante del Equipo

*Equipos:* Carlos Negreira(Integrante); Stefan Catheline(Integrante); Nicolas Benech(Integrante)

*Palabras clave:* elastografía; retorno temporal; ondas de corte

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía Impulsional, Retorno Temporal, Acústica Ultrasonora

*Título:* Métodos Ultrasónicos para la evaluación no invasiva de las propiedades mecánicas de vasos sanguíneos

*Tipo de participación:* Integrante del Equipo

*Equipos:* Carlos Negreira(Integrante); Guillermo Balay(Integrante); Daniel Bia(Integrante); Ricardo Armentano(Integrante); Diego Suarez(Integrante)

*Palabras clave:* vasos sanguíneos; propiedades biomecánicas

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

Ciencias Médicas y de la Salud / Medicina Básica / Fisiología

## Proyectos

2017 - Actual

*Título:* ESTUDIO DE LA DINÁMICA DE UN FLUJO PULSÁTIL Y SUS IMPLICANCIAS EN HEMODINÁMICA VASCULAR, *Tipo de participación:* Coordinador o Responsable, *Descripción:* Este proyecto plantea estudiar la dinámica de un flujo pulsátil en canales de paredes elásticas de diferentes topologías, por ejemplo, que contengan bifurcaciones o cuya sección transversal se encuentra modificada, ya sea parcialmente obstruida o dilatada. Se abordará el problema tanto desde un punto de vista fundamental como desde sus potenciales aplicaciones en hemodinámica de vasos sanguíneos morfológicamente alterados, ya sea debido a la presencia de una estenosis o una dilatación de la pared vascular. La comprensión de la interacción entre el flujo sanguíneo y los cambios que se suceden a nivel vascular, por ejemplo en la morfología del vaso o en las propiedades mecánicas del mismo, es un problema muy complejo para el cual se necesita un enfoque interdisciplinario que involucre a la física, la medicina, la fisiología y la biología. El estudio de la física involucrada en la transición laminar-turbulento es mucho lo que puede aportar en la comprensión de este fenómeno, complementando así la visión que se tiene desde el área médica, biológica o fisiológica. En particular algunas de las preguntas que se pueden responder son: ¿qué tipos de regímenes atraviesa el fluido a lo largo de la transición? ¿qué parámetros controlan dichos regímenes? ¿cómo son los procesos de mezcla y transporte a lo largo de toda la transición? ¿cómo es el esfuerzo de corte en la pared? ¿cuál es la distancia para la cual el flujo vuelve a ser laminar? ¿qué sucede con la onda de flujo y presión? Algunas de las respuestas a estas preguntas ya se conocen fenomenológicamente desde la medicina. Por ejemplo, es bien conocido que la amplitud del flujo se modifica tanto en la zona proximal como distal a la obstrucción. Sin embargo, en la clínica, la posibilidad de caracterizar completamente el flujo sanguíneo se ve limitada por las herramientas utilizadas. Para una completa caracterización de la dinámica de un fluido es necesario conocer en cada punto el campo vectorial de velocidades asociado al mismo. Para esto será necesario el desarrollo de una nueva herramienta ultrasónica denominada US-PIV (UltraSonic-Particle Image Velocimetry).

*Tipo:* Investigación

## Sistema Nacional de Investigadores

*Alumnos:* 1(Pregrado), 1(Doctorado)

*Equipo:* Carlos Negreira(Integrante); Cecilia Cabeza(Responsable); Nicasio Barrere(Integrante); Liliana Servente(Integrante); Alejandro Crisci(Integrante); Gustavo Sarasúa(Integrante)

*Financiadores:* Comisión Sectorial de Investigación Científica - UDeLaR / Apoyo financiero

*Palabras clave:* flujo pulsátil; ultrasonido; hemodinámica

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Física de los Fluidos y Plasma

2015 - Actual

*Título:* Medida de las propiedades viscoelásticas de sangre en fase de coagulación y las interacciones entre flujo sanguíneo, coágulo y arteria, *Tipo de participación:* Coordinador o Responsable, *Descripción:* Durante los últimos 20 años la importancia de la caracterización de las propiedades mecánicas (elasticidad y viscosidad) de la sangre en fase de coagulación fue reconocida y correlacionada con diferentes patologías cardiovasculares, como por ejemplo la artero-trombosis coronaria, el infarto del miocardio, la hipo-fibrinólisis o la trombosis venosa profunda (TVP) (Collet 2006, Fatah 1996). En particular, la TVP es un problema de salud mayor ya que afecta a millones de personas en el mundo (2 millones en EEUU y casi medio millón en Europa) (Hirsh y Hoak 1996, Cohen 2007). El mayor riesgo de la TVP se produce cuando el coágulo o una parte de él se desprende y termina por bloquear las venas pulmonares (embolia pulmonar). La edad del coágulo es un parámetro clínico crítico que permite a los médicos no solo diagnosticar y clasificar el nivel de riesgo de la TVP sino planificar su tratamiento. Numerosos estudios mostraron que las propiedades viscoelásticas del coágulo están fuertemente relacionadas con su edad (Emelianov 2002, Rubin 2006). Por esta razón, la evaluación de la elasticidad del coágulo así como la caracterización viscoelástica de la sangre en fase de coagulación y la comprensión de las interacciones mecánicas entre el coágulo, el flujo sanguíneo y la pared arterial cobran una importancia mayor ya que pueden ayudar a prevenir el desprendimiento del coágulo y de esta manera evitar una embolia pulmonar. El objetivo principal de este proyecto de colaboración es el de profundizar tanto en la comprensión de la mecánica de la coagulación sanguínea como de las interacciones flujo-coágulo-venas/arteria. Para lograr este objetivo, en este proyecto, proponemos seguir in vitro en un simulador cardiovascular el proceso de la coagulación sanguínea bajo diferentes condiciones hemodinámicas controladas (variaciones de flujo, presión o frecuencia cardíaca) y geométricas (por ejemplo en bifurcaciones arteriales o en arterias/venas parcialmente obstruidas ya sea por un coágulo o una placa de ateroma). Las propiedades viscoelásticas así como la dinámica del flujo sanguíneo serán estudiadas mediante diferentes técnicas ultrasónicas y ópticas.

*Tipo:* Investigación

*Alumnos:* 3(Doctorado)

*Equipo:* Carlos Negreira(Integrante); Nicolas Benech(Integrante); Guillermo Balay(Integrante); Mickaël Tanter(Integrante); Jean Luc Gennisson(Responsable); Mathieu Pernot(Integrante); Cecilia Cabeza(Integrante); Eliana Budelli(Integrante); Nicasio Barrere(Integrante)

*Financiadores:* Evaluation-orientation de la Coopération scientifique / Cooperación

*Palabras clave:* elastografía; ultrasonido; mecánica de fluidos; reología

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Física de los Fluidos y Plasma

Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica



2015 - Actual

*Título:* Ultrasonido aplicado a procesos agroindustriales, *Tipo de participación:* Integrante del Equipo,

*Tipo:* Desarrollo

*Alumnos:*

*Equipo:* Carlos Negreira(Responsable); Patricia Lema(Responsable); Eliana Budelli(Integrante); Nicolás Pere(Integrante)

*Financiadores:* Espacio Interdisciplinario / Apoyo financiero

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía  
Ingeniería y Tecnología / Otras Ingenierías y Tecnologías / Alimentos y Bebidas

2005 - 2007

*Título:* Trombofilia y Gestación, *Tipo de participación:* Integrante del Equipo,

*Tipo:* Investigación

*Alumnos:* 3(Pregrado),

*Equipo:* Ines Servini(Responsable); Ricardo Robaina(Integrante); Sergio Mele(Integrante)

*Financiadores:* Otra institución nacional / Fundación Manuel Pérez / Apoyo financiero

2006 - 2008

*Título:* Mejora del control del proceso de fabricación y de la calidad de queso por aplicación de técnicas ultrasónicas, *Tipo de participación:* Integrante del Equipo,

*Tipo:* Desarrollo

*Alumnos:* 1(Maestría/Magister),

*Equipo:* Carlos Negreira(Responsable); Nicolás Pérez(Integrante); Rafael Canetti(Integrante); Patricia Lema(Integrante); Sofía Barrios(Integrante); Gastón Ares(Integrante)

*Financiadores:* Otra institución nacional / Proyecto de Desarrollo Tecnológico / Apoyo financiero

*Palabras clave:* queso; proceso de maduración; proceso de coagulación; textura

2007 - 2010

*Título:* Desarrollo de sistemas ultrasónicos y computacionales para diagnóstico cardiovascular, *Tipo de participación:* Integrante del Equipo, *Descripción:* The ischemic cardiopathy is the main cause of death in developing and developed countries. The coronary revascularization (surgical technique for implants and bypasses) is one of the most important therapeutic alternatives to reduce morbid-mortality and improve patient's life quality. This technique tries to guarantee the blood flow towards the myocardium, which is normally done by the coronary system. Quantifying the blood flow through these implants/bypasses is an important task to ensure the surgical process, thus, reducing both the post-surgical and death risks. On the other hand, quantifying the vessels elastic properties through ultrasonic elastography techniques raises the accuracy for the diagnostic as well as for blood flow control. This project proposes the development and manufacture of low-cost ultrasound-based instruments (Doppler, Transit-Time and Elastography) to measure vessel elastic properties and blood flow in coronary implants and bypasses.

*Tipo:* Desarrollo

*Alumnos:* 1(Maestría/Magister), 1(Doctorado)

*Equipo:* Carlos Negreira(Responsable); Nicolás Benech(Integrante); Guillermo Balay(Integrante)

*Financiadores:* Institución del exterior / Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo / Apoyo financiero

*Palabras clave:* vasos sanguíneos; módulo de Young

2009 - 2011

*Título:* Aplicación de ultrasonografía de alta resolución para la evaluación de la estructura y función arterial, *Tipo de participación:* Integrante del Equipo, *Descripción:* Las enfermedades arteriales son la principal causa de muerte en el Uruguay y en el Mundo. Detectar cambios estructurales y biomecánicos en estadios precoces de la enfermedad arterial permitiría realizar acciones para detener su progresión, o incluso revertir la alteración. Lamentablemente, los métodos disponibles para el diagnóstico de alteraciones estructurales y biomecánicas, solo detectan la enfermedad cuando se encuentra extendida en el sistema vascular (alteraciones regionales). Consecuentemente, existe urgente necesidad de generar herramientas diagnósticas que permitan detectar la alteración en sus estadios iniciales, es decir, cuando solo han causado alteraciones de sitios puntuales del sistema arterial. El objetivo general del presente proyecto es avanzar en el desarrollo de técnicas que permitan, aplicando ultrasonografía de alta resolución, caracterizar localmente la estructura y función arterial. Específicamente, el objetivo es desarrollar herramientas que permitan caracterizar (a) el espesor íntima-media y la estructura arterial mediante ondas elásticas, y (b) la función arterial local, mediante la cuantificación de la velocidad de onda del pulso en distancias reducidas. El proyecto involucra el desarrollo teórico y la validación experimental de las técnicas propuestas, y el análisis de su capacidad para detectar alteraciones arteriales locales. Consecuentemente, las técnicas propuestas serán utilizadas para caracterizar el comportamiento biomecánico y la estructura de arterias ovinas, sanas y patológicas, estudiadas in vitro e in vivo, y los resultados obtenidos se contrastarán con los obtenidos utilizando metodologías invasivas consideradas estándar oro en experimentación arterial.

*Tipo:* Investigación

*Alumnos:* 1(Maestría/Magister prof.), 2(Doctorado)

*Equipo:* Carlos Negreira(Integrante); Nicolás Benech(Integrante); Guillermo Balay(Integrante); Daniel Bia(Integrante); Ricardo Armentano(Responsable); Yanina Zocalo(Integrante)

*Financiadores:* Agencia Nacional de Investigación e Innovación / Apoyo financiero



2009 - 2011

*Título:* Applications en imagerie medicale par retournement temporel et elastographie ultrasonore, *Tipo de participación:* Integrante del Equipo,

*Tipo:* Desarrollo

*Alumnos:* 1(Doctorado)

*Equipo:* Carlos Negreira(Responsable); Nicolas Benech(Integrante); Jean-Luc Gennisson(Responsable)

*Financiadores:* Institución del exterior / Centre National de la Recherche Scientifique / Apoyo financiero

*Palabras clave:* elastography

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

2009 - 2011

*Título:* Creación del 'Servicio hospitalario y ambulatorio, de exploración vascular no-invasiva para la detección precoz de enfermedades cardiovasculares', *Tipo de participación:* Integrante del Equipo, *Descripción:* Considerando la elevada morbi-mortalidad cardiovascular en nuestro país y los costos económicos que conlleva, la Facultad de Medicina (UDELAR), con apoyo del Ministerio de Salud Pública, resolvió recientemente crear el "Centro Cardiovascular" (CCV) en el ámbito del Hospital de Clínicas, como una unidad integrada en el plano asistencial, docente, de investigación y extensión en la temática cardiovascular. El CCV, integrado por los servicios de Cardiología, Cirugía Cardíaca, Cirugía Vascular, y Unidad de Stroke de Neurología, y todas las áreas que deban integrarse en el futuro, tiene como objetivos: constituirse en centro de referencia nacional en el área cardiovascular asistencial y de investigación, y desarrollar la enseñanza cardiovascular de grado, postgrado y educación médica continua. El objetivo general es crear un servicio científico-tecnológico, que funcionando en el marco del CCV e interrelacionadamente con el Departamento de Fisiología (Facultad de Medicina, UdeLaR), Instituto de Física (Facultad de ciencias, UdeLaR) y la Comisión Honoraria de Salud Cardiovascular, se constituya en referencia nacional en prevención, diagnóstico y tratamiento de alteraciones vasculares. El servicio a crear, contará inicialmente con dos unidades de evaluación vascular no invasiva (UEV): a) Hospitalaria (Hospital de Clínicas); destinada a usuarios del Sistema Nacional de Salud y b) Ambulatoria (Departamento de Fisiología), destinada a la evaluación descentralizada de poblaciones, con el objetivo de promocionar la salud cardiovascular y detectar precozmente alteraciones vasculares. Estimativamente 2000-3000 usuarios/año se beneficiarán directamente del servicio. Cada UEV contará con equipamiento para cuantificar parámetros "estándar oro" para la evaluación estructural y funcional de arterias periféricas: velocidad de onda del pulso, complacencia, espesor intima-media, función endotelial, y detección y caracterización de placas de ateroma. Asimismo, el proyecto permitirá constituir un equipo clínico-básico, abocado al desarrollo tecnológico para la evaluación vascular no-invasiva que mediante aplicación de ultrasonido de alta resolución, permita superar limitaciones reconocidas de las actuales técnicas.

*Tipo:* Desarrollo

*Alumnos:* 2(Pregado), 1(Maestria/Magister prof.), 2(Doctorado)

*Equipo:* Carlos Negreira(Integrante); Nicolas Benech(Integrante); Guillermo Balay(Integrante); Daniel Bia(Integrante); Ricardo Armentano(Integrante); Yanina Zocalo(Integrante); Ricardo Lluberas(Responsable); Lucia Florio(Integrante); Ana Vanerio(Integrante); Manuel Gorin(Integrante); Oscar Bazzino(Integrante); Natalia Lluberas(Integrante); Sebastian Lluberas(Integrante); Juan Torrado(Integrante); Gabriela Valls(Integrante)

*Financiadores:* Agencia Nacional de Investigación e Innovación / Apoyo financiero

2010 - 2012

*Título:* Elastographie acoustique de milieux viscoélastiques, *Tipo de participación:* Integrante del Equipo,

*Tipo:* Investigación

*Alumnos:* 2(Doctorado)

*Equipo:* Carlos Negreira(Responsable); Stefan Catheline(Responsable); Nicolas Benech(Integrante); Thomas Gallot(Integrante); Philippe Roux(Integrante)

*Financiadores:* Evaluation-orientation de la Coopération scientifique / Apoyo financiero

*Palabras clave:* elastografía; retorno temporal

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

2011 - 2014

*Título:* Laboratorio de Acustica Ultrasonora, *Tipo de participación:* Integrante del Equipo,

*Tipo:* Investigación

*Alumnos:* 3(Doctorado)

*Equipo:* Carlos Negreira(Responsable); Nicolas Benech(Integrante); Guillermo Balay(Integrante); Diego Suarez(Integrante); Guillermo Cortela(Integrante); Ariel Moreno(Integrante); Stelio Haniotis(Integrante)

*Financiadores:* Comisión Sectorial de Investigación Científica - UDeLaR / Apoyo financiero

*Palabras clave:* ultrasonido; ondas elásticas

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

2013 - 2014

*Título:* Ultrasonic Shear Wave Imaging for Tendon Therapy (UltraSWIFT), *Tipo de participación:* Otros/Post-Doctorado,

*Tipo:* Desarrollo

*Alumnos:*

*Equipo:* Mickaël Tanter(Responsable); Jean Luc Gennisson(Integrante)

*Financiadores:* Agence Nationale de la Recherche / Apoyo financiero

*Palabras clave:* elastography; tendon; therapy

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

2013 - 2015

*Título:* Dinámica de la interfase sangre-pared arterial, *Tipo de participación:* Integrante del Equipo,

*Tipo:* Desarrollo

*Alumnos:*

*Equipo:* Carlos Negreira(Integrante); Guillermo Balay(Integrante); Ricardo Armentano(Responsable); Diego Suarez(Integrante)

*Financiadores:* Agencia Nacional de Investigación e Innovación / Apoyo financiero

*Palabras clave:* dinámica aretrial

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

*Ciencias Médicas y de la Salud / Medicina Básica / Fisiología*

## Producción científica/tecnológica

Mi principal área de actuación se puede definir como la interacción de ondas elásticas y ultrasónicas con medios complejos (ejemplo: tejidos biológicos) para la evaluación no invasiva de sus propiedades biomecánicas (elasticidad, viscosidad). Particularmente se centra en el estudio de la técnica de elastografía por retorno temporal (TRE), así como de nuevas técnicas elastográficas, tanto desde el punto de vista básico como desde sus potenciales aplicaciones (ejemplo: evaluación de la elasticidad del tejido arterial, terneza de carne y evaluación de procesos en agroalimentos).

### Producción bibliográfica

#### Artículos publicados

#### Arbitrados

Completo

E. BUDELLI; J. BRUM; M. BERNAL; T. DEFFIEUX; M. TANTER; P. LEMA; C. NEGREIRA

A diffraction correction for storage and loss moduli imaging using radiation force based elastography. *Physics in Medicine and Biology*, v.: 62 1, p.: 91 - 107, 2017

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* Papel ; ISSN: 00319155



SCOPUS

## Sistema Nacional de Investigadores

Completo

C HELFENSTEIN-DIDIER; RJ ANDRADE; J. BRUM; F. HUG; M. TANTER; A. NORDEZ; J.L. GENNISSON

In vivo quantification of the shear modulus of the human Achilles tendon during passive loading using shear wave dispersion analysis. *Physics in Medicine and Biology*, v.: 61 6, p.: 2485 - 2491, 2016

*Palabras clave:* achilles tendon

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

ISSN: 00319155



SCOPUS

Completo

C-L YEY; P-L KUO; J.L. GENNISSON; J. BRUM; M. TANTER; P.C. LI

Shear Wave Measurements for Evaluation of Tendon Diseases. IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control, v.: 63 11, p.: 1906 - 1921, 2016

Areas del conocimiento: Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

Medio de divulgación: Papel ; ISSN: 08853010



Completo

J. BRUM; S. CATHELIN; N. BENECH; C. NEGREIRA

Quantitative shear elasticity imaging from a complex elastic wavefield in soft solids with application to passive elastography. IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control, v.: 62 4, p.: 673 - 685, 2015

Palabras clave: ultrasound; passive elastography

Areas del conocimiento: Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

Medio de divulgación: Papel ; ISSN: 08853010



Completo

## Sistema Nacional de Investigadores

J. BRUM; A. RAMOS; I. BAZAN; C. NEGREIRA; A. RAMIREZ; L. DIEZ

Non-invasive ultrasonic measurements of small mechanical alterations in sub-millimeter walls of arteries and phantoms. Physics Procedia, v.: 63, p.: 147 - 151, 2015

Palabras clave: ultrasound; arteries

Areas del conocimiento: Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Ultrasonido

ISSN: 18753892

Completo

J. BRUM; M. BERNAL; J.L. GENNISSON; M. TANTER

In vivo evaluation of the elastic anisotropy of the human Achilles tendon using shear wave dispersion analysis. Physics in Medicine and Biology, v.: 59, p.: 505 - 523, 2014

Palabras clave: achilles tendon; Lamb waves

Areas del conocimiento: Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

Medio de divulgación: Internet ; ISSN: 00319155



Completo

N. BENECH; J. BRUM; S. CATHELIN; T. GALLOT; C. NEGREIRA

Near-field effects in Green's function retrieval from cross-correlation of elastic fields: Experimental study with application to elastography. Journal of the Acoustical Society of America, v.: 133 5, p.: 2755 - 2766, 2013

Palabras clave: correlacion cruzada

Areas del conocimiento: Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

Medio de divulgación: Internet ; ISSN: 00014966

<http://dx.doi.org/10.1121/1.4795771>

In a lossless system, the causal and acausal Green's function for elastic waves can be retrieved by cross-correlating the elastic field at two positions. This field, composed of converging and diverging waves, is interpreted in the frame of a time-reversal process. In this work, the near-field effects on the spatio-temporal focusing of elastic waves are analyzed through the elastodynamic Green's function. Contrary to the scalar field case, the spatial focusing is not symmetric preserving the directivity pattern of a simple source. One important feature of the spatial asymmetry is its dependency on the Poisson ratio of the solid. Additionally, it is shown that the retrieval of the bulk wave speed values is affected by diffraction. The correction factor depends on the relative direction between the source and the observed field. Experimental verification of the analysis is carried out on the volume of a soft-solid. A low-frequency diffuse-like field is generated by random impacts at the sample's free surface. The displacement field is imaged using ultrasound by a standard speckle tracking technique. One important application of this work is in the estimation of the shear elastic modulus in soft biological tissues, whose quantification can be useful in non-invasive diagnosis of various diseases.



Completo

S. CATHELIN; R. SOUCHON; M. RUPPIN; J. BRUM; A. H. DINH; J. Y. CHAPELON

Tomography from diffuse waves: passive shear wave imaging using low frame rate scanners. *Applied Physics Letters*, v.: 100 014101, 2013

*Palabras clave:* time reversal ; elastography

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

*Medio de divulgación:* Internet ; ISSN: 00036951



Completo

I. BAZAN; C. NEGREIRA; A. RAMOS; J. BRUM; A. RAMIREZ

A New High-Resolution Spectral Approach to Noninvasively Evaluate Wall Deformations in Arteries. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, v.: 606202, 2013

*Palabras clave:* arterias; metodo espectral

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

*Medio de divulgación:* Internet ; ISSN: 1748670X



## Sistema Nacional de Investigadores

Completo

J. BRUM; J.L. GENNISSON; T.-M. NGUYEN; N. BENECH; M. FINK; M. TANTER; C. NEGREIRA

*Application of 1D Transient Elastography for the shear modulus assessment of thin layered soft tissue: comparison with Supersonic Shear Imaging technique. IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control*, v.: 59 4, p.: 703 - 714, 2012

*Palabras clave:* transient elastography

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* Internet ; ISSN: 08853010

<http://ieeexplore.ieee.org>

*Elasticity estimation of thin layered soft tissues has gained increasing interest propelled by medical applications like skin, cornea or arterial wall shear modulus assessment. In this work the authors propose one dimensional transient elastography (1DTE) for the shear modulus assessment of thin layered soft tissue. Experiments on three phantoms with different elasticities and plate thicknesses were performed. Firstly, using 1DTE the shear wave speed dispersion curve inside the plate was obtained and validated with finite difference simulation. No dispersive effects were observed and the shear wave speed was directly retrieved from time-of-flight measurements. Secondly, the Supersonic Shear Imaging (SSI) technique (considered as a gold-standard) was performed. For the SSI technique, the propagating wave inside the plate is guided as a Lamb wave. Experimental SSI dispersion curves were compared with finite difference simulation and fitted using a generalized Lamb model to retrieve the plate bulk shear wave speed. Although they are based on totally different mechanical sources and induce completely different diffraction patterns for the shear wave propagation, both 1DTE and SSI techniques resulted in similar shear wave speed estimations. The main advantage of 1DTE technique is that bulk shear wave speed can be directly retrieved without requiring a dispersion model.*



Completo

A. RAMOS; I. BAZAN; C. NEGREIRA; J. BRUM; T. GOMEZ; H. CALAS; A. RUIZ; J. M. DE LA ROSA

Estimation of PSD Shifts in Piezoelectric Transducer Systems for High-Resolution Metrology of Thickness Micro-Changes in Blood Vessel Walls and of Membrane Inflammations. *Sensor*, v.: 12, p.: 15394 - 15423, 2012

*Palabras clave:* spectral metrology; transducer system; systems integration; high resolution; non-invasive estimation; wall & membranes thickness

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

*Medio de divulgación:* Internet ; ISSN: 14248220

[http://www.mdpi.com/journal/sensors/special\\_issues/transducer\\_systems](http://www.mdpi.com/journal/sensors/special_issues/transducer_systems)

Achieving accurate measurements from outside human body, of inflammation levels in tissues or thickness changes in biological membranes (e.g., amniotic sac, parietal pleura) and thin biological walls (e.g. blood vessels), is a promising research line in the medical area. It would provide a technical basis to study the possibilities for early diagnosis of some serious diseases such as hypertension, atherosclerosis or tuberculosis. Nevertheless, to attain the aim of non-invasive measuring those scarcely-accessible parameters on patient internal tissues, currently presents many difficulties. The use of high-frequency ultrasonic transducer systems appears to offer a possible solution. Previous studies using conventional ultrasonic imaging have shown this, but the spatial resolution is not sufficient so as to permit a thickness evaluation with clinical significance, which requires an accuracy of few microns. In this paper a broadband ultrasonic technique, that recently was developed by authors for other non-invasive medical detections (by integrating a piezoelectric transducer into a spectral measuring system), is extended to our new objective; the aim is its application to the thickness measurement of sub-millimeter membranes or layers made of materials similar to some biological tissues (phantoms). The modeling and design rules of such a transducer system are described, and various methods of estimating the power

spectral density (PSD) are quantitatively assessed with transducer signals acquired using piezoelectric systems and also those generated from a multi-echo model. Their effects on the potential resolution of the proposed thickness measuring tool, and their capability to provide accuracies around the micron are studied in detail. Comparisons are made with typical tools for extracting spatial parameters in laminar samples, from ultrasonic echoes acquired with ultrasonic transducers. Results of this advanced measurement spectral tool are found to improve the performance of typical cross-correlation methods and provide reliable and high-resolution estimations.



Completo

T. GALLOT; S. CATHELIN; P. ROUX; J. BRUM; N. BENECH; C. NEGREIRA

Passive Elastography: Shear-Wave Tomography from Physiological-Noise Correlation in Soft Tissues. IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control, v.: 58 6, p.: 1122 - 1126, 2011

*Palabras clave:* passive elastography; time reversal

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía por retorno temporal

*Medio de divulgación:* Papel ; ISSN: 08853010 ; DOI: 10.1109/TUFFC.2011.1920

Inspired by seismic noise correlation and Time Reversal, a shear wave tomography is presented. Using an ultrasonic ultrafast scanner, the cross-correlation of a homogeneous distribution of noise-induced shear waves provides shear elasticity imaging soft solids. The results in hydrogels indicate that this tomography technique is compatible with low frame rates used by conventional echographic or magnetic resonance imaging devices. Further, in-vivo experiments in the liver suggest the feasibility of a passive elastography that takes advantage of the physiological noise permanently present in the human body.



Sistema Nacional de Investigadores

Completo

D. BIA; Y. ZOCALO; I. FARRO; J. TORRADO; F. FARRO; L. FLORIO; A. OLASCOAGA; J. BRUM; W. ALALLON; C. NEGREIRA; R. LLUBERAS; R. ARMENTANO

Integrated evaluation of age-related changes in structural and functional vascular parameters used to assess arterial aging, sub-clinical atherosclerosis and cardiovascular risk in uruguayan adults: CUIIDARTE Project. International Journal of Hypertension, v.: 2011, 2011

*Palabras clave:* arterial aging; atherosclerosis markers in Uruguay

*Areas del conocimiento:* Ciencias Médicas y de la Salud / Ciencias de la Salud / Ciencias y Servicios de Cuidado de la Salud

*Medio de divulgación:* Internet ; ISSN: 20900392 ; DOI: 10.4061/2011/587303

<http://www.hindawi.com/journals/ijht/2011/587303/>

This work was carried out in a Uruguayan (South American) population. Vascular parameters that associate age-related changes and markers of sub-clinical atherosclerosis were evaluated. Traditional cardiovascular risk factors were assessed. Subjects (n=388) were submitted to non-invasive vascular studies (gold-standard techniques), to evaluate: (1) Common (CCA), Internal and External carotid plaque prevalence, (2) CCA intima-media thickness and diameter waveforms, (3) CCA stiffness (Percentual pulsatility, Compliance, Distensibility and Stiffness-index), (4) aortic stiffness (carotid-femoral pulse wave velocity) and (5) peripheral and central (aortic) pressure pulse wave derived parameters. Age groups: <20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-60, 61-70 and 71-80 years-old. Age-related structural and functional vascular parameters profiles were obtained and analyzed considering available data from other populations. The work has the strength of being the first that uses, in Latin-America an integrative approach to characterize vascular aging-related changes. Obtained data could be used to define vascular aging and abnormal or disease-related vascular changes.



Sistema Nacional de Investigadores

Completo

J. BRUM; D. BIA; N. BENECH; G. BALAY; R. ARMENTANO; C. NEGREIRA

Set up of a cardiovascular simulator: application to the evaluation of the dynamical behavior of atheroma plaques in human arteries.

Physics Procedia, v.: 3 1, p.: 1095 - 1101, 2010

*Palabras clave:* artery; atheroma plaque; biomechanical behavior; cardiovascular simulator; ultrasound

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Biomecánica arterial

*Medio de divulgación:* Internet ; ISSN: 18753892 ; DOI: 10.1016/j.phpro.2010.01.142

[www.elsevier.com/locate/procedia](http://www.elsevier.com/locate/procedia)

In this work a circulating loop capable of mimicking the physiological pressure and flow conditions inside a vessel is set up. The circulating loop consists of an artificial heart coupled to a perfusion line made of polyethylene and silicon. The artificial heart is driven by a pneumatic pump which provides the desired heart rate, pressure values and length of the systolic and diastolic period of each cycle. To measure the changes in diameter of the segment under study, an ultrasonic probe in pulse eco mode is used. For pressure monitoring a pressure sensor is positioned inside the sample. Pressure-diameter loops were obtained for characterization of the dynamical properties of the arterial wall. In vitro measurements were made on three different conduits: 1) Calibrated tubes made of latex: these phantoms were characterized by the presented method, 2) Non-atherosclerotic human carotid arteries obtained from donors and 3) Atherosclerotic human carotid arteries with atheroma plaques. In the three cases, under physiological simulated conditions, the mechanical properties of the conduit were obtained. We conclude that atheroma plaques were successfully detected and its dynamical properties characterized. This method could be used in the experimental and

clinical field to characterize the effects of atheroma plaques on the arterial wall biomechanics.

SCOPUS



Completo

J. BRUM; G. BALAY; A. ARZÚA; I. NÚÑEZ; C. NEGREIRA

Estimation of viscoelastic surface wave parameters using a low cost optical deflection method. *Physics Procedia*, v.: 3 1, p.: 755 - 760, 2010

*Palabras clave:* optic surface sensor; surface wave; elastic parameters; soft solid

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

*Medio de divulgación:* Internet ; ISSN: 18753892 ; DOI: 10.1016/j.phpro.2010.01.096

[www.elsevier.com/locate/procedia](http://www.elsevier.com/locate/procedia)

In this work an optical deflection method was used to study surface vibrations created by a low frequency source placed on the sample's surface. The optical method consists in placing a laser beam perpendicularly the sample's surface (gelatine based phantom). A beam-splitter is placed between the laser and the sample to project the reflected beam into a screen. As the surface moves due to the action of the low frequency source the laser beam on the screen also moves. Recording this movement with a digital camera allow us to reconstruct de surface motion using the light reflection law. If the scattering of the surface is very strong (such the one in biological tissue) a lens is placed between the surface and the beam-splitter to collect the scattered light. As validation method the surface movement was measured using a 10 MHz ultrasonic transducer placed normal to the surface in pulse-eco mode. The optical measurements were in complete agreement with the acoustical measurements. The optical measurement has the following advantages over the acoustic: 2-dimensional motion could be recorded and it is low cost. Since the acquisition was synchronized and the source-laser beam distance is known, measuring the time of flight an estimation of the surface wave velocity is obtained in order to measure the elasticity of the sample. The authors conclude that a reliable optical, low cost method for obtaining surface wave parameters of biological tissue was developed and successfully validate.

SCOPUS



Completo

J. BRUM; G. BALAY; D. BIA; N. BENECH; A. RAMOS; R. ARMENTANO; C. NEGREIRA

Improvement of Young modulus estimation by ultrasound using static pressure steps. *Physics Procedia*, v.: 3 1, p.: 1087 - 1094, 2010

*Palabras clave:* artery; atheroma plaque; biomechanical behavior; Young modulus; ultrasound

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Biomecánica arterial

*Medio de divulgación:* Internet ; ISSN: 18753892 ; DOI: 10.1016/j.phpro.2010.01.141

[www.elsevier.com/locate/procedia](http://www.elsevier.com/locate/procedia)

In this work the radial displacement of the arterial wall is measured using a cross correlation algorithm. An elastic model for static pressure conditions is developed, fit to the boundary conditions of the physical problem. Measuring the wall displacements as pressure changes the biomechanical behavior of the arterial wall can be characterized. Validation measurements were performed in a calibrated latex tube. The obtained experimental results are in good agreement with the theoretical model. Human arteries were also characterized. The typical non linear pressure-diameter behavior due to the presence of elastine and collagen was observed. Human arteries with atheroma plaques were also studied presenting a different Young modulus than the healthy ones. From these results we conclude that this method could be used in the characterization of arterial mechanical alterations and/or in the post-implant biomechanical evaluation of vascular grafts.

SCOPUS Sistema Nacional de Investigadores doi logo

Completo

N. BENECH; S. CATHELINE; J. BRUM; T. GALLOT; C. NEGREIRA

1-D Elasticity assesment in soft solids from shear wave correlation: the time reversal approach. *IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control*, v.: 59 11, p.: 2400 - 2410, 2009

*Palabras clave:* time reversal ; elastography; soft solid

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Retorno temporal, elastografia

*Medio de divulgación:* Papel ; ISSN: 08853010 ; DOI: 10.1109/TUFFC.2009.1328

THOMSON  
ISI

SCOPUS





Completo

J. BRUM; S. BARRIOS; G. ARES; P. LEMA; R. CANETTI; C. NEGREIRA

Aplicación de elastografía por retorno temporal a la evaluación de textura en quesos. *INNOTEC*, v.: 4, p.: 37 - 40, 2009

*Palabras clave:* acoustic techniques; elastic parameters; non destructive evaluation

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Retorno temporal, elastografía

*Medio de divulgación:* Papel ; ISSN: 16883691

<http://issuu.com/innotec/docs/innotec-no4>

The aim of the present work was to study the application of the acoustic technique Time Reversal Elastography (TRE) for texture evaluation of different types of cheeses. Eight commercial cheese samples were evaluated using TRE and Texture Profile Analysis (TPA). Both methodologies were able to identify differences in the texture of the evaluated cheese samples, providing similar results. According to the partial least squares regression performed, the focalization width determined by TRE was positively correlated ( $R^2=0.89$ ) to hardness and stiffness. This indicates that TRE could be considered as an adequate method for the non destructive evaluation of cheese texture.



Completo

S. CATHELIN; N. BENECH; J. BRUM; C. NEGREIRA

*Time Reversal of Elastic Waves in Soft Solids. Physical Review Letters*, v.: 100, 2008

*Palabras clave:* time reversal elastography

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía Impulsional, Retorno Temporal

*Medio de divulgación:* Papel ; Lugar de publicación: xxxx ; ISSN: 00319007 ; Idioma/Pais: Inglés/Estados Unidos



Completo

J. BRUM; S. CATHELIN; N. BENECH; C. NEGREIRA

*Shear elasticity estimation from surface wave: the time reversal approach.. Journal of the Acoustical Society of America*, v.: 124 6, p.: 3377 - 3380, 2008

*Palabras clave:* time reversal elastography; surface wave

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Acustica

*Medio de divulgación:* Papel ; Lugar de publicación: Letter to the editor ; ISSN: 00014966



## Artículos aceptados

### Arbitrados

Completo

N. BENECH; J. BRUM; G. GRINSPAN; S. AGUIAR; C. NEGREIRA

Analysis of the transient surface wave propagation in soft-solid elastic plates. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2017

*Palabras clave:* Lamb waves; near field

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

*Medio de divulgación:* Papel ; ISSN: 00014966



## Trabajos en eventos



Completo

E. BUDELLI; M. BERNAL; J. BRUM; P. FLAUD; P. LEMA; M. TANTER; C. NEGREIRA; J.L. GENNISSON

Mapping of storage and loss moduli of blood during coagulation using supersonic shear imaging , 2016

*Evento:* Internacional , 2016 IEEE International Ultrasonic Symposium , Tours , 2016

*Anales/Proceedings:* 2016 IEEE International Ultrasonic Symposium Proceedings

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* Internet;

Completo

J. BRUM; M. BERNAL; N. BARRERE; A. TESIS; J.L. GENNISSON; M. PERNOT; M. TANTER; C. NEGREIRA; C. CABEZA

Pulsatile flow dynamics in stenotic aortic models using ultrasonic and optical particle imaging velocimetry , 2016

*Evento:* Internacional , IEEE International Ultrasonic Symposium , Tours , 2016

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Física de los Fluidos y Plasma

Resumen

E. BUDELLI; J. BRUM; M. BERNAL; T. DEFFIEUX; M. TANTER; P. LEMA; C. NEGREIRA; J.L. GENNISSON

Storage and Loss moduli imaging in soft solids using Supersonic Shear Imaging technique , 2015

*Evento:* Internacional , International Tissue Elasticity Conference ITEC , Verona , 2015

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* Papel;

Resumen

N. BENECH; G. GRINSPAN; S. AGUIAR; J. BRUM; C. NEGREIRA; M. TANTER; J.L. GENNISSON

Analysis of Rayleigh-Lamb modes in soft-solids with application to surface wave elastography , 2015

*Evento:* Internacional , International Congress on Ultrasonics , Met , 2015

*Palabras clave:* Lamb wave

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* Papel;

*Financiación/Cooperación:* Comisión Sectorial de Investigación Científica - UDeLaR / Apoyo financiero

Resumen

E. BUDELLI; J. BRUM; M. BERNAL; T. DEFFIEUX; M. TANTER; P. LEMA; C. NEGREIRA; J.L. GENNISSON

Storage and Loss moduli imaging in soft solids using Supersonic Shear Imaging technique , 2015

*Evento:* Internacional , IEEE International Ultrasonic Symposium , Taipei , 2015

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

Completo

I. Z. NENADIC; M. BERNAL; J. BRUM; J.L. GENNISSON; M. PERNOT; J.F. GREENLEAF; M. TANTER; M. URBAN

Recovering shear wave velocity in boundary sensitive media with two-dimensional motion tracking , 2014

*Evento:* Internacional , 2014 IEEE International Ultrasonic Symposium , Chicago , 2014

*Anales/Proceedings:* 2014 IEEE International Ultrasonic Symposium Proceedings , 1093 , 1096

*Palabras clave:* Lamb waves

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

*Medio de divulgación:* Internet;

*Financiación/Cooperación:* CNRS / Apoyo financiero

Resumen

J. BRUM; J.L. GENNISSON; M. FINK; M. TANTER; X. JIA

Non linear shear wave propagation in water-saturated granular media , 2014

*Evento:* Internacional , 2014 IEEE International Ultrasonic Symposium , Chicago , 2014

*Anales/Proceedings:* 2014 IEEE International Ultrasonic Symposium Proceedings

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

Resumen

J. BRUM; M. BERNAL; J.L. GENNISSON; M. TANTER

In vivo evaluation of the elastic anisotropy of human achilles tendon using shear wave spectroscopy , 2014

*Evento:* Internacional , International Tissue Elasticity Conference ITEC , Lingfield Park , 2013

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

Completo

A. RAMOS; I. BAZAN; C. NEGREIRA; J. BRUM; F. GALLEGOS

Analyzing wall thickness of artery phantoms in a noninvasive way , 2013

*Evento:* Internacional , 2013 Pan American Health Care Exchanges (PAHCE)

*Anales/Proceedings:* 2013 Pan American Health Care Exchanges (PAHCE) , 1 , 6

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

*Medio de divulgación:* Internet;

Completo

J. BRUM; J.L. GENNISSON; M. FINK; M. TANTER

In Vivo Achilles Tendon Elasticity Assessment using Supersonic Shear Imaging: a feasibility study , 2013

*Evento:* Internacional , 2013 IEEE International Ultrasonic Symposium , Praga , 2013

*Anales/Proceedings:* 2013 IEEE International Ultrasonic Symposium Proceedings , 1170 , 1173

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

*Medio de divulgación:* Internet;

Completo

T. J. HALL; ET AL; J. BRUM

RSNA/QIBA: Shear wave speed as a biomarker for liver fibrosis staging , 2013

*Evento:* Internacional , 2013 IEEE International Ultrasonic Symposium , Praga , 2013

*Anales/Proceedings:* 2013 IEEE International Ultrasonic Symposium Proceedings , 397 , 400

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

*Medio de divulgación:* Internet;

Completo

A. RAMOS; I. BAZAN; C. NEGREIRA; J. BRUM; F. GALLEGOS

Analyzing wall thickness of artery phantoms in a noninvasive way , 2013

*Evento:* Internacional , Pan American Health Care Exchanges (PAHCE)

*Palabras clave:* ultrasound

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Ultrasonido

*Financiación/Cooperación:* Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC, Espanha. / Cooperación

Completo

N. BENECH; S. AGUIAR; G. GRINSPAN; J. BRUM; C. NEGREIRA

In vivo Assessment of Muscle Mechanical Properties Using a Low-cost Surface Wave Method , 2012

*Evento:* Internacional , IEEE International Ultrasonic Symposium IUS , Dresden , 2012

*Palabras clave:* muscle mechanical properties

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* CD-Rom;

## Resumen

N. BENECH; J. BRUM; S. CATHELIN; C. NEGREIRA

Towards Quantitative Elasticity Estimation by Cross-Correlation of Shear Waves , 2012

*Evento:* Internacional , International Tissue Elasticity Conference ITEC , Deauville , 2012

*Palabras clave:* elasticity estimation; diffuse field

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

*Medio de divulgación:* Papel;

Comisión Sectorial de Investigación Científica - UDeLaR / Apoyo financiero; Agencia Nacional de Investigación e Innovación / Beca

<http://www.elasticityconference.org/>

## Resumen

J. BRUM; S. CATHELIN; N. BENECH; C. NEGREIRA

Passive Shear Wave Spectroscopy from Physiological Noise: an In Vivo Performance Test in the Human Liver , 2012

*Evento:* Internacional , IEEE International Ultrasonic Symposium IUS , Dresden , 2012

*Palabras clave:* shear wave spectroscopy; liver

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* Internet;

*Financiación/Cooperación:* Agencia Nacional de Investigación e Innovación / Beca

## Resumen

J. BRUM; S. CATHELIN; N. BENECH; T. GALLOT; C. NEGREIRA

Elastografía por retorno temporal de ondas de corte: una nueva modalidad de imagen médica , 2012

*Evento:* Nacional , XIII Reunion Sociedad Uruguaya de Física , Solis , 2012

*Palabras clave:* elastografía; imagen de elasticidad

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* Papel;

*Financiación/Cooperación:* Agencia Nacional de Investigación e Innovación / Beca

Las modificaciones en la elasticidad (módulo de Young) de tejidos biológicos muchas veces suele estar asociada a la presencia de algún tipo de patología. Con el fin de evaluar no invasivamente las propiedades elásticas de tejidos biológicos, se han desarrollado durante los últimos años un conjunto de técnicas bautizadas como Elastografía. Debido al gran contraste existente entre el módulo de compresión y el de corte en tejidos biológicos, el módulo de Young resulta ser proporcional al cuadrado de la velocidad de las ondas de corte. Las técnicas de Elastografía Dinámica tienen como objetivo el de medir la velocidad de las ondas de corte para así estimar el módulo de Young del tejido. Actualmente muchas de estas técnicas generan las ondas de corte mediante una fuente externa. Este trabajo propone un enfoque diferente: las ondas de corte naturalmente presentes en el cuerpo humano (debido a latidos cardíacos, actividad muscular, etc.) serán utilizadas para realizar una experiencia de elastografía pasiva. Para esto la técnica denominada Elastografía por Retorno Temporal, desarrollada en nuestro Laboratorio será utilizada. Dicha técnica consiste en recrear una experiencia de retorno temporal. En un campo acústico equiparticionado la correlación cruzada es equivalente a un proceso de retorno temporal perfecto. Correlacionando espacio-temporalmente el campo de desplazamientos, se focalizan virtualmente las ondas de corte en cualquier posición de la región de interés. A partir de la función de Green elasto-dinámica, se obtiene una relación entre el ancho focal y la velocidad de las ondas de corte. De esta manera, focalizando y midiendo localmente el tamaño del foco se obtiene una imagen elástica del medio. Se obtuvieron imágenes elásticas in vitro de fantomas formados por dos medios elásticamente diferentes. Por último, se obtuvo una imagen elastográfica in vivo del hígado y la pared abdominal donde claramente se distinguen ambos tipos de tejidos.

## Resumen

N. BENECH; J. BRUM; S. CATHELIN; T. GALLOT; C. NEGREIRA

Hacia la elastografía cuantitativa mediante correlación cruzada de campos difusos , 2012

*Evento:* Nacional , XIII Reunion Sociedad Uruguaya de Física , Solis , 2012

*Palabras clave:* campos difusos; retorno temporal

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

*Medio de divulgación:* Papel;

La extracción de la función de Green mediante la correlación cruzada de campos difusos ha sido ampliamente investigada en diferentes áreas de la física, incluyendo la elastografía. En un campo acústico equiparticionado el campo de correlación cruzada (CC) es equivalente a un proceso de retorno temporal (RT) perfecto. Bajo estas condiciones hemos desarrollado dos métodos para estimar el módulo elástico de corte en sólidos blandos conocidos como el método de la dimensión focal y el método de la fase. El primero está basado en que la dimensión de la focalización espacial en el proceso de RT está limitada por la longitud de onda. Por lo tanto si se conoce la relación entre la dimensión del foco y la

longitud de onda se puede estimar esta última. El segundo método está basado en estimar el tiempo de vuelo del campo de RT en torno al foco. Ambos métodos apuntan finalmente a estimar la velocidad de propagación de las ondas de corte que están directamente relacionadas al módulo de Young del sólido blando. Este trabajo está dedicado a obtener una expresión analítica que relacione la dimensión focal con la longitud de onda y la fase del campo de RT con la velocidad de las ondas de corte. Ambas expresiones se ven afectadas por efectos de campo cercano. Estas expresiones analíticas son contrastadas con experiencias realizadas en fantomas de PVA. El campo difuso se genera a partir de golpes aleatorios sobre la superficie externa del fantoma y se registra en el volumen del mismo mediante un método standard de interferometría speckle acústica. Los resultados muestran un buen acuerdo en un fantoma homogéneo. Sin embargo en medios heterogéneos la calidad de los resultados depende del contraste entre las inclusiones y el valor de elasticidad de fondo.

Completo

J. BRUM; D. BIA; N. BENECH; G. BALAY; R. ARMENTANO; C. NEGREIRA

Arterial diameter measurement using high resolution ultrasonography: In vitro validation , 2011

*Evento:* Internacional , 33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC '11) , Boston , 2011

*Anales/Proceedings:* Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2011 Annual International Conference of the IEEE Arbitrado: SI

*Palabras clave:* arterial diameter; ultrasound; sonomicrometry; biomechanical properties

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Ultrasonido

*Medio de divulgación:* Internet;

Agencia Nacional de Investigación e Innovación / Apoyo financiero; Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas / Apoyo financiero

<http://ieeexplore.ieee.org>

Simultaneous measurement of pressure and diameter in blood vessels or vascular prosthesis is of great importance in cardiovascular research. Knowledge of diameter changes as response to intravascular pressure is the basis to estimate the biomechanical properties of blood vessel. In this work a new method to quantify arterial diameter based in high resolution ultrasonography is proposed. Measurements on an arterial phantom placed on a cardiovascular simulator were performed. The results were compared to sonomicrometry measurements considered as gold standard technique. The obtained results indicate that the new method ensure an optimal diameter quantification. This method presents two main advantages respect to sonomicrometry: is noninvasive and the vessel wall strain can be measured directly.

Completo

J. BRUM; D. BIA; N. BENECH; G. BALAY; R. ARMENTANO; C. NEGREIRA

Medición de diámetros arteriales utilizando ultrasonido de alta resolución: validación in vitro , 2011

*Evento:* Internacional , V Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica (CLAIB2011) , La Habana , 2011

*Palabras clave:* diámetro arterial; ultrasonido; sonomicronometría; propiedades biomecánicas

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Ultrasonido

*Medio de divulgación:* CD-Rom;

Agencia Nacional de Investigación e Innovación / Apoyo financiero; Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas / Apoyo financiero

In this work a new method, based in ultrasonography, to quantify arterial diameter is discussed and compared with the gold standart method: sonomicrometry. The results indicated that the new method ensure an optimal diameter quantification.

Completo

J. BRUM; S. CATHELIN; N. BENECH; T. GALLOT; C. NEGREIRA

Quantitative imaging using Time Reversal Elastography: a feasibility study , 2011

*Evento:* Internacional , IEEE International Ultrasonics Symposium 2011 , Orlando , 2011

*Anales/Proceedings:* Proceedings on the IEEE International Ultrasonics Symposium 2011

*Palabras clave:* elastography; time reversal ; diffuse field; shear wavelength tomography

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* CD-Rom;

Agencia Nacional de Investigación e Innovación / Beca; Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas / Apoyo financiero

In previous works the authors developed a method for extracting the shear elasticity of soft tissues from a complex reverberated elastic field using spatiotemporal correlations interpreted in the frame of the time-reversal symmetry: Time Reversal Elastography (TRE). By measuring the shear wavelength from the focal width as the wave converges the shear elasticity can be obtained. The feasibility of TRE as an imaging technique has already been shown, in vivo, in bi-layer mediums (e.g. belly muscle - liver). In this work the authors take a step forward and demonstrate its feasibility as a quantitative imaging technique by detecting a 10 mm diameter inclusion embedded in a softer medium. As a result the inclusion is clearly detected using TRE despite the low contrast between background and inclusion. A general quantitative agreement within 10% in the shear wave speed estimation was found between TRE and independent transient elastography measurements.

## Resumen

S. CATHELIN; T. GALLOT; P. ROUX; J. BRUM; C. NEGREIRA

Passive Elastography from Complex Shear Wave Field in Soft Solids , 2011

*Evento:* Internacional , International Tissue Elasticity Conference , Arlington , 2011

*Anales/Proceedings:* Proceedings of the 10th International Conference on the Ultrasonic Measurement and Imaging of Tissue ElasticityArbitrado: SI

*Palabras clave:* passive elastography; tremor noise correlation

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* Internet;

<http://www.elasticityconference.org/>

## Resumen

N. BENECH; S. CATHELIN; J. BRUM; C. NEGREIRA

Viscoelastic Parameter for Monitoring Heat Induced Changes in Soft Tissues: A Feasibility Study , 2011

*Evento:* Internacional , International Congress on Ultrasonics , Gdansk , 2011

*Anales/Proceedings:* Proceedings on the International Congress on UltrasonicsArbitrado: SI

*Palabras clave:* elastography; viscoelastic parameters; Temperature dependence

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* CD-Rom;

The success of non-invasive ultrasound thermal therapy depends on a reliable feedback in order to monitor the efficacy of the treatment. Among various approaches to solve this problem, US-based elastography appears as a natural candidate. First because the mechanical properties of soft tissues are highly temperature-dependent. Second because both therapy and feedback can be easily combined without the need of special equipment like in MR-based methods. In recent years, attention was focused on the dependence of the shear elasticity with temperature. The results found in the literature agree in the existence of a critical temperature value above which elastic changes are irreversible. Well below this value elastic changes are reversible and shear wave imaging could be used even as non-invasive thermometry. However the dependence of shear viscosity with temperature has received little attention, largely due to the lack of a theoretical model capable of explain some experimental results. In this work we propose an experimental study of the temperature dependence of the viscoelastic parameters in agar-gelatine based phantoms and in homogeneous bovine skeletal muscle samples. By sending plane shear waves, the wave speed and attenuation were measured by elastographic techniques, while the whole sample was submitted to temperature changes. The experimental results show that, despite attenuation increases with increasing temperature, the relative variation of shear viscosity (computed from Voigt solid) is much lesser than that of the shear elasticity. Thus, with the aim of deeper understanding the viscoelastic behavior of soft tissues with temperature changes, another strategy is advised. With this goal in mind we study the feasibility of combine elastic and viscous behaviour in a single parameter. One useful parameter is the ratio between the shear wavelength and the characteristic attenuation distance. This dimensionless parameter takes into account both the elastic and viscous behaviour. From a rheological point of view, it represents the phase change between the stress and the strain. We tested its variation in a 20°C temperature range. Its relative variation is greater than that of shear wave speed alone. Thus, our preliminary results show that, introducing the viscous temperature-dependence (in addition to the elasticity dependence), could improve the tracking of heat-induced changes in soft tissues.

## Resumen

J. BRUM; S. CATHELIN; N. BENECH; C. NEGREIRA

Elastografía por retorno temporal de ondas de corte , 2011

*Evento:* Internacional , SEGUNDA REUNIÓN CONJUNTA SUF-AFA , Montevideo , 2011

*Palabras clave:* elastografía; retorno temporal

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* Papel;

Agencia Nacional de Investigación e Innovación / Beca; Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas /

## Apoyo financiero

El retorno temporal es la manera más eficiente de focalizar una onda hacia la fuente que le dio origen. Sus aplicaciones han sido investigadas en un vasto dominio de la física. En una lista no exhaustiva podemos mencionar la acústica física, la sismología, el electromagnetismo, la terapia médica y los ensayos no destructivos. El concepto de retorno temporal está basado en la invariancia de la ecuación de ondas en un medio sin pérdidas bajo la inversión temporal. En otras palabras, si se tiene una onda divergente como solución, la misma expresión pero con el tiempo invertido, es decir una onda convergente, es también solución. Una experiencia de retorno temporal incluye por tanto dos pasos. En el primer paso la onda directa se registra durante un tiempo T. En el segundo paso la onda registrada se invierte en el tiempo y se reemite al medio. Como consecuencia de la reciprocidad y de la invariancia de la ecuación de ondas, la energía focaliza en la posición original de la fuente en un tiempo T. El ancho de la focalización espacial del campo de retorno temporal está directamente relacionado a la longitud de onda del medio y depende por lo tanto de las propiedades mecánicas del mismo. La idea general de este trabajo es estimar dichas propiedades mecánicas en sólidos blandos basándonos en el concepto de retorno temporal. La experiencia propuesta es similar a la utilizada en elastografía transitoria ultrasonora.

Una fuente externa genera ondas mecánicas en el rango de frecuencias audibles. En estas condiciones, la mayor parte de la energía se propaga en forma de onda de corte. Una componente del campo vectorial así generado se mide en la región de interés mediante el método de interferometría speckle ultrasónico. El campo medido en un punto arbitrario A dentro del medio representa la onda directa. El segundo paso consiste en invertir dicha señal mediante un generador de funciones arbitrario y reenviarla al medio. La experiencia indica que la onda invertida focaliza en el punto A. Mediante un análisis basado en las funciones de Green para un medio elástico, se encuentra la relación entre el ancho focal y la longitud de onda. Como la frecuencia de la onda es conocida, se obtiene finalmente una estimación de la velocidad de las ondas de corte en el medio. Este valor está directamente relacionado con el módulo de Young del sólido blando, objetivo último en nuestras experiencias. En una segunda instancia a fin de evitar el uso del generador arbitrario, en este trabajo se utiliza la correlación cruzada del campo entre diferentes posiciones dentro del medio. El campo de correlación coincide con el campo de retorno temporal si la emisión de la fuente original es del tipo impulsional, condición cumplida en la práctica ya que las señales utilizadas son breves comparadas con el tiempo T de registro. En estas condiciones se genera un campo virtual de retorno temporal pudiendo focalizar en cualquier posición de la región de interés. De esta manera la longitud de onda es estimada localmente obteniendo como resultado final una imagen elástica del medio. Se obtuvieron imágenes elásticas de fantasmas formados por dos capas de diferente elasticidad. Por último, utilizando principalmente como fuente de ondas de corte los latidos del corazón, se obtuvo una imagen in vivo del hígado y la pared abdominal donde claramente se distinguen ambos tipos de tejidos.

## Resumen

J. BRUM; J.L. GENNISSON; T.-M. NGUYEN; N. BENECH; M. FINK; M. TANTER; C. NEGREIRA

Elastografía transitoria: aplicación a la medida de elasticidad en tejidos delgados , 2011

*Evento:* Internacional , SEGUNDA REUNIÓN CONJUNTA SUF-AFA , Montevideo , 2011

*Palabras clave:* elastografía; ondas de Lamb

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* Papel;

Agencia Nacional de Investigación e Innovación / Beca; Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas /

## Apoyo financiero

Las modificaciones en las propiedades viscoelásticas de tejidos biológicos u órganos muchas veces pueden estar asociadas a la presencia de algún tipo de patología. Como ejemplo se puede citar el hígado, en donde la cirrosis conlleva un endurecimiento del mismo o la pared arterial donde la presencia de hipertensión o aterosclerosis modifica sus propiedades viscoelásticas. Con el fin de evaluar no invasivamente dichas propiedades en tejidos biológicos blandos, se han desarrollado durante los últimos veinte años un conjunto de técnicas las cuales se conocen bajo el nombre de Elastografía. Dichas técnicas pueden ser divididas en dos grandes grupos: elastografía estática y dinámica. La Elastografía Estática consiste en aplicar una compresión al tejido bajo estudio y medir la deformación del mismo. Sin embargo mediante esta metodología no es posible obtener información cuantitativa del estado elástico del tejido debido a la falta de información sobre las tensiones a las cuales está sometida la muestra. Para superar dicha limitación surgieron un conjunto de técnicas que pueden ser resumidas bajo el nombre de Elastografía Dinámica. Las técnicas de Elastografía Dinámica consisten básicamente en tres pasos: primero el tejido es deformado localmente generando una onda de corte, segundo los desplazamientos inducidos por dicha deformación son registrados para finalmente a partir de estos obtener las propiedades elásticas del tejido. Gracias al uso de ondas de corte, cuya velocidad está relacionada con la elasticidad de la muestra, las técnicas de Elastografía Dinámica poseen la ventaja de ser cuantitativas. Existen diferentes maneras tanto de generar los desplazamientos como de registrarlos. En este trabajo nos centraremos en dos técnicas conocidas bajo los nombres de Elastografía Transitoria Unidimensional (1D TE) y Supersonic Shear Imaging (SSI). La diferencia entre ambas técnicas radica en que mientras 1D TE utiliza un vibrador mecánico para generar los desplazamientos, SSI utiliza un haz de ultrasonido focalizado (presión de radiación). En ambos casos la propagación de la onda de corte es registrada utilizando un ecógrafo ultrarrápido mediante un algoritmo de interferometría de speckle ultrasónico. Recientemente la estimación de la elasticidad en tejidos biológicos delgados como pueden ser la piel, la cornea o la pared arterial ha ganado importancia motivada por diferentes aplicaciones médicas. Con este fin, en este trabajo se propone la aplicación de 1D TE para la evaluación elástica de tejidos delgados. Para esto se realizaron experiencias en tres fantasmas diferentes formados por una capa elástica delgada inmersa en un gel de diferente elasticidad. Se estudiaron capas de distinto espesor (1 mm y 2.2 mm) y elasticidad. Para cada tipo de fantoma se midió la velocidad de la onda de corte en función de la frecuencia dentro de la capa (curva de dispersión). Para validar la aplicación de 1D TE se realizaron simulaciones numéricas por diferencia finita en capas de elasticidad y espesor conocidos. Las curvas de dispersión obtenidas experimentalmente están en buen acuerdo con las curvas calculadas numéricamente. Por otra parte la técnica Supersonic Shear Imaging (SSI) fue aplicada en cada muestra. Para SSI la onda de corte que se propaga dentro de la placa es guiada como un tipo de onda de Lamb. Las curvas de dispersión obtenidas experimentalmente fueron comparadas con las obtenidas mediante simulación por diferencia finita y resolviendo numéricamente la ecuación de propagación ondulatoria. Para la técnica 1D TE la polarización de la onda de corte es paralela a su dirección de propagación obteniendo la verdadera velocidad de la misma. En cambio para la técnica SSI la dispersión es debida a que el ancho de la capa es del orden de la longitud de onda. En este caso es necesario un modelo para obtener la verdadera velocidad de la onda de corte. Teniendo esto en cuenta, mediante ambas técnicas se obtiene la misma estimación de la velocidad, es decir la misma elasticidad. La principal ventaja de la técnica 1D TE es la no utilización de un modelo para obtener la medida de la elasticidad.

Completo

J. BRUM; G. BALAY; D. BIA; R. ARMENTANO; C. NEGREIRA

Feasibility of a Transient Elastography Technique for In Vitro Arterial Elasticity Assessment , 2010

*Evento:* Internacional , International Conference of the IEEE EMBS (EMBC) , Buenos Aires , 2010

*Anales/Proceedings:* Proceedings of the 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS , 37 , 40Arbitrado: SI

*Palabras clave:* arterial wall elasticity; transient elastography

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* CD-Rom;

Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas / Apoyo financiero; Agencia Nacional de Investigación e

Innovación / Beca

Completo

J. BRUM; J.L. GENNISSON; N. BENECH; M. TANTER; M. FINK; C. NEGREIRA

Comparison between 1D Transient Elastography and Supersonic Shear Imaging Technique: Application to the Arterial Wall Elasticity Assessment , 2010

*Evento:* Internacional , IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS) , San Diego, California , 2010

*Anales/Proceedings:* Proceedings on the 2010 IEEE International Ultrasonics Symposium

*Palabras clave:* supersonic shear wave imaging; transient elastography; arterial wall elasticity

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* CD-Rom;

Agencia Nacional de Investigación e Innovación / Beca; Institución del exterior / Centre National de la

Recherche Scientifique / Apoyo financiero

Early detection of biomechanical modifications in the arterial wall could be used as a predictor factor for various diseases, for example hypertension or atherosclerosis. In this work 1D transient elastography (TE) technique and Supersonic Shear Imaging (SSI) technique are used for the evaluation of the shear wave speed on a phantom consisting in 2.5 mm thickness viscoelastic layer and an arterial phantom embedded in gel. In the TE technique the polarization of the shear wave is parallel to its propagation and the true shear wave speed is retrieved. In that case the dispersion is mainly due to viscosity (Voigt's model). Regarding the SSI technique, the dispersion is due to the layer thickness being of the order of the shear wavelength: thus the shear wave is guided as a Lamb wave. In that case a model is needed in order to retrieve the shear wave speed from the dispersion curve. Finally through both techniques similar shear wave speed estimations are obtained.

Completo

D. BIA; J. BRUM; F. PESSANA; Y. ZOCALO; G. BALAY; C. NEGREIRA; R. ARMENTANO

Changes in wall viscosity and filtering as determinant of carotid and femoral atherosclerotic plaque vulnerability: theoretical analysis , 2010

*Evento:* Internacional , International Conference of the IEEE EMBS (EMBC) , Buenos Aires , 2010

*Anales/Proceedings:* Proceedings of the 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBSArbitrado: SI

*Palabras clave:* atherosclerotic plaque

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Ultrasonido

*Medio de divulgación:* CD-Rom;

Agencia Nacional de Investigación e Innovación / Apoyo financiero; Agencia Nacional de Investigación e

Innovación / Beca

Atherosclerotic plaque complication is a major cause of vascular accidents. Although a variety of factors have been proposed as key factors in these process, the mechanism that contribute to this problem remain to be characterized. Previously we demonstrated that changes in arterial wall viscous and elastic properties and/or in the filtering function (FF) could be part of the arterial wall alterations basis. If these properties are altered in arteries with atherosclerotic plaques remains to be analyzed. Our aims were 1) to analyze the arterial wall visco-elasticity and FF of carotid and femoral segments with atherosclerotic plaques, 2) to compare them with the mechanical behavior of segments without plaques (from the same artery) and of healthy arteries studied non-invasively. To this end, in each arterial segment, pressure and diameter signals were obtained, in vitro (circulation mock) and in vivo (non-invasive recordings). In atherosclerotic arteries recordings were performed on plaques and near regions without plaques. In each segment, the elasticity, the viscosity, and the wall FF were quantified. Atherosclerotic vessels, and particularly plaque regions, showed a reduced viscosity and FF. At the light of our results, hypothetical links between plaque events and changes in visco-elasticity and FF were discussed.



Completo

G. BALAY; J. BRUM; D. BIA; R. ARMENTANO; C. NEGREIRA

Improvement of Artery Radii Determination With Single Ultra Sound Channel Hardware & In Vitro Artificial Heart System , 2010

*Evento:* Internacional , International Conference of the IEEE EMBS (EMBC) , Buenos Aires , 2010

*Anales/Proceedings:* Proceedings of the 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS

*Palabras clave:* dual a scan

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Ultrasonido

*Medio de divulgación:* CD-Rom;

Agencia Nacional de Investigación e Innovación / Beca; Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas /

Apoyo financiero

In several clinical and experimental circumstances, it is widely necessary to characterize the biomechanical changes induced by atherosclerosis to the arterial wall. In this context, the purpose of this paper is twofold. Firstly, to propose a low cost ultrasound setup to improve artery radii determination in elasticity experiments, based on two transducers using a single channel ultrasound hardware. Secondly, to present an in vitro artificial heart system developed in our laboratory, which provides a wide range of hemodynamic parameters in arterial elasticity assesment experiments. It can be used in a liquid, stand alone mode or blowing air to a Jarvik device. This system will be integrated in future works with the proposed ultrasound setup to provide real time elasticity measurements.

Resumen

T. GALLOT; S. CATHELINE; P. ROUX; J. BRUM; C. NEGREIRA

Time reversal elastography: A correlation tomography of complex shear wave field in soft solids , 2010

*Evento:* Internacional , 159th Acoustical Society of America Meeting , Baltimore , 2010

*Anales/Proceedings:* Journal of the Acoustical Society of America , 127 , 1730 , 1730

*Palabras clave:* elastography; time reversal

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Retorno temporal, elastografía

*Medio de divulgación:* Internet;

Shear waves in a soft solid can be focalized using time-reversal (TR) methods. The shear velocity, directly related to the elasticity of the medium, can be evaluated from the TR field. This study proposes to perform quantitative imaging of the mechanical properties inside a soft solid. Shear waves are created by finger impacts all over the surface of the solid. One component of the vectorial field inside the solid is measured by ultrasonic techniques developed in elastography. Inspired from Green s function retrieval methods, the TR field is computed from cross correlation of this random like displacement signal. One point is chosen as a virtual source where the spatio-temporal refocusing is observed. Thus the method allows focalization of shear wave everywhere inside the solid without any source embedded in the solid. The local shear velocity is then deduced from the TR field. Finally, a two dimensional velocity map of a bi-layer medium is performed.

Resumen

S. CATHELINE; T. GALLOT; P. ROUX; J. BRUM; C. NEGREIRA

In-vivo time reversal elastography: A passive correlation tomography of complex shear wave field within in soft tissues , 2010

*Evento:* Internacional , 159th Acoustical Society of America Meeting , Baltimore , 2010

*Anales/Proceedings:* Journal of the Acoustical Society of America , 127 , 1730 , 1730Arbitrado: SI

*Editorial:* ASA

*Palabras clave:* elastography; time reversal

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Retorno temporal, elastografía

*Medio de divulgación:* Internet;

<http://scitation.aip.org/journals/doc/ASALIB-home/jrnls/top.jsp?key=JASMAN>

Heartbeats, breathing, and muscle activity: the human body presents natural sources of vibration creating a complex shear wave field. Such a noise is demonstrated in this work to be useful for quantitative elasticity imaging. Indeed, the shear wave noise inside soft tissues is measured by ultrasonic techniques developed in elastography. The particle motions estimated along lines or planes inside the medium can be used as artificial stars for time reversal experiments. In another language, Green s functions can be recovered from noise correlations which results in a totally passive imaging technique. The use of shear wavelength or phase speed to reconstruct an elasticity mapping will be discussed.

## Resumen

S. CATHELIN; T. GALLOT; P. ROUX; J. BRUM; C. NEGREIRA

A Correlation Tomography of Complex Shear Wave Field in Soft Solids , 2010

*Evento:* Internacional , Ninth International Conference on the Ultrasonic Measurement and Imaging of Tissue Elasticity , Snowbird, Utah , 2010

*Anales/Proceedings:* Proceedings of the Ninth International Conference on the Ultrasonic Measurement and Imaging of Tissue Elasticity , 53 , 53Arbitrado: SI

*Palabras clave:* elastography; shear wavespeed tomography

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* Internet;

[http://www.elasticityconference.org/prior\\_conf/2010/PDF/2010Proceedings.pdf](http://www.elasticityconference.org/prior_conf/2010/PDF/2010Proceedings.pdf)

## Resumen

T. GALLOT; S. CATHELIN; P. ROUX; J. BRUM; C. NEGREIRA

In-Vivo Time Reversal Elastography: A Passive Correlation Tomography , 2010

*Evento:* Internacional , Ninth International Conference on the Ultrasonic Measurement and Imaging of Tissue Elasticity , Snowbird, Utah , 2010

*Anales/Proceedings:* Proceedings of the Ninth International Conference on the Ultrasonic Measurement and Imaging of Tissue Elasticity , 54 , 54Arbitrado: SI

*Palabras clave:* passive elastography; shear wavelength tomography

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Medio de divulgación:* Internet;

[http://www.elasticityconference.org/prior\\_conf/2010/PDF/2010Proceedings.pdf](http://www.elasticityconference.org/prior_conf/2010/PDF/2010Proceedings.pdf)

## Completo

J. BRUM; N. BENECH; D. BIA; R. ARMENTANO; C. NEGREIRA

Application of a transient elastography technique to the characterization of the arterial wall elasticity , 2009

*Evento:* Internacional , IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS) , Roma , 2009

*Anales/Proceedings:* 2009 IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings , 2449 , 2452Arbitrado: SI

*Editorial:* IEEE

*Palabras clave:* transient elastography; shear modulus; arterial wall

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

*Medio de divulgación:* Internet;

Agencia Nacional de Investigación e Innovación / Beca; Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas /

Apoyo financiero

<http://ieeexplore.ieee.org/>

Modifications on the biomechanical properties of the arterial wall can be associated to various diseases, for example hypertension or atherosclerosis. The early detection of these modifications could be used as a predictor factor for these pathologies. Transient elastography has shown to be a very efficient way to determine non-invasive the mechanical parameters of living tissue. In this work a transient elastography technique is adapted for the in vitro evaluation of the shear elasticity of the arterial wall. Experiences on an arterial phantom made of PolyVinyl Alcohol (PVA) gel under pulsatile flow and pressure conditions were performed. The obtained results are in good agreement with the reported results for PVA-Gels and with previous elastographic characterization.

# Sistema Nacional de Investigadores

## Resumen

J. BRUM; S. BARRIOS; G. ARES; P. LEMA; R. CANETTI; C. NEGREIRA

Aplicación de la elastografía por retorno temporal a la evaluación de textura en quesos , 2009

*Evento:* Internacional , INNOVA 2009 - Cuarto simposio internacional de innovación y desarrollo de alimentos , Montevideo , 2009

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

*Medio de divulgación:* Papel;

*Financiación/Cooperación:* Otra institución nacional / Programa de desarrollo tecnológico / Apoyo financiero

#### Resumen

T. GALLOT; S. CATHELINE; N. BENECH; J. BRUM; C. NEGREIRA

Tissue shear elasticity assesment using time reversal. , 2009

*Evento:* Internacional , 157th Acoustical Society of America Meeting , Portland , 2009

*Palabras clave:* time reversal ; shear elasticity; soft solid

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Retorno temporal, elastografia

*Medio de divulgación:* Internet;

<http://asa.aip.org/web2/asa/abstracts/search.may09/asa134.html>

#### Resumen

J. BRUM; S. CATHELINE; N. BENECH; C. NEGREIRA; T. GALLOT

Time-reversal Rayleigh wave for soft solid characterization. , 2009

*Evento:* Internacional , 157th Acoustical Society of America Meeting , Portland , 2009

*Palabras clave:* surface wave; shear elasticity; time reversal

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Retorno temporal, elastografia

*Medio de divulgación:* Internet;

<http://asa.aip.org/web2/asa/abstracts/search.may09/asa135.html>

#### Resumen

S. CATHELINE; C. NEGREIRA; N. BENECH; J. BRUM

Time-reversed elastic waves within soft solids , 2008

*Evento:* Internacional , Acoustics'08 , Paris , 2008

*Anales/Proceedings:* The Journal of the Acoustical Society of America , 123 , 3420 , 3420

*Palabras clave:* elastografía; time reversal elastography

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografia por retorno temporal

*Medio de divulgación:* Papel; ISSN/ISBN: 0001-4966;

#### Resumen

T. GALLOT; S. CATHELINE; N. BENECH; J. BRUM; C. NEGREIRA

Time-reversal elastography in soft solids , 2008

*Evento:* Internacional , Acoustics'08 , Paris , 2008

*Anales/Proceedings:* Journal Acoustical Society of America , 123 , 3338

*Palabras clave:* elastography; time reversal

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografia por retorno temporal

*Medio de divulgación:* Papel; ISSN/ISBN: 0001-4966;

#### Completo

N. BENECH; S. CATHELINE; J. BRUM; C. NEGREIRA

Elasticity estimation by time reversal of shear waves , 2007

*Evento:* Internacional , 2007 IEEE Ultrasonics Symposium , Nueva York , 2007

*Anales/Proceedings:* Proceedings on the 2007 IEEE Ultrasonics Symposium , 2263 , 2266Arbitrado: SI

*Palabras clave:* time reversal ; elastography; soft solid

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Retorno temporal, elastografia

*Medio de divulgación:* CD-Rom;

## Resumen

J. BRUM; S. CATHELIN; N. BENECH; C. NEGREIRA

Caracterización de sólidos blandos utilizando retorno temporal acústico , 2007

*Evento:* Nacional , X Reunión de la Sociedad Uruguaya de Física , Carmelo , 2007

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía Impulsional, Retorno Temporal

*Medio de divulgación:* Papel; *Idioma/País:* Español/Uruguay;

Otra institución nacional / Proyecto de Desarrollo Tecnológico / Apoyo financiero; Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas / Apoyo financiero

## Resumen

J. BRUM; G. BALAY; D. BIA; R. ARMENTANO; C. NEGREIRA

Accuracy measurement of the arterial wall elasticity using an ultrasonic speckle correlation technique , 2007

*Evento:* Internacional , 6th International Conference of Biological Physics , Montevideo , 2007

*Palabras clave:* elastography; ultrasound; vessel

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía, Acústica Ultrasonora, Física Médica

*Medio de divulgación:* Papel; *Idioma/País:* Español/Uruguay;

Institución del exterior / Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo / Apoyo financiero; Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas / Apoyo financiero

## Completo

J. BRUM; N. BENECH; C. NEGREIRA

Una introducción a la elastografía impulsional , 2005

*Evento:* Regional , X Jornadas de Jóvenes Investigadores del Grupo Montevideo (AUGM) , Tucumán , 2005

*Anales/Proceedings:* Arbitrado: SI

*Palabras clave:* elastografía impulsional

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía Impulsional, Acústica Ultrasonora

*Medio de divulgación:* Papel; *Idioma/País:* Español/Argentina;

*Financiación/Cooperación:* Institución del exterior / Asociación de Universidades del Grupo Montevideo / Apoyo financiero

## Evaluaciones

Evaluación de Publicaciones

2017

*Nombre:* Ultrasonics,

*Cantidad:* Menos de 5

Evaluación de Publicaciones

2017

*Nombre:* Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering,

*Cantidad:* Menos de 5

Evaluación de Publicaciones

2016

*Nombre:* IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control,

*Cantidad:* Menos de 5

Evaluación de Publicaciones

2015 / 2017

*Nombre:* Journal of Applied Physics,

*Cantidad:* Menos de 5

Evaluación de Publicaciones

2014 / 2014

*Nombre:* Papers in Physics,

*Cantidad:* Menos de 5

## Formación de RRHH

### Tutorías concluidas

#### Otras

Iniciación a la investigación

Estudio de la dinámica del flujo sanguíneo en una vena/arteria parcialmente obstruida , 2015

*Tipo de orientación:* Cotutor en pie de igualdad

*Nombre del orientado:* Andreina Tesis

Facultad de Ciencias - UDeLaR , Uruguay

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Física de los Fluidos y Plasma

*Pais/Idioma:* Uruguay/Español

Otras tutorías/orientaciones

Manejo y análisis de datos de elastografía ultrasónica para medida de elasticidad en músculo , 2014

*Tipo de orientación:* Cotutor en pie de igualdad

*Nombre del orientado:* Kelly Mónica Lima

Facultad de Ciencias - UDeLaR , Uruguay

*Palabras clave:* ultrasonida

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

*Pais/Idioma:* Uruguay/Español

*Información adicional:* Orientación de la estudiante de Doctorado Kelly Mónica Lima del Programa de Engenharia Biomédica (PEB) de la Universidad Federal de Río de Janeiro en el manejo y análisis de datos de elastografía ultrasónica para medida de elasticidad en músculo durante una pasantía realizada de junio a diciembre de 2014 en el Laboratorio de Acústica Ultrasonora, Instituto de Física, Facultad de Ciencias en el marco del Programa CAPES-UdelaR.

### Tutorías en marcha

#### Posgrado

Tesis de doctorado

Estudio de la dinámica de un flujo pulsátil en canales parcialmente obstruidos y sus aplicaciones , 2015

*Tipo de orientación:* Cotutor en pie de igualdad

*Nombre del orientado:* Nicasio Barrere

Facultad de Ciencias - UDeLaR , Uruguay , Doctorado en Física (UDELAR-PEDECIBA)

*Palabras clave:* ultrasonido; dinamica de fluidos; PIV

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

*Pais/Idioma:* Uruguay/Español

## Otros datos relevantes

### Premios y títulos

2009 R.W.B Stephens Prize Elsevier

2009 Primer premio al trabajo científico presentado en INNOVA 2009 - Cuarto Simposio Internacional de Innovación y Desarrollo de Alimentos (Internacional) Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU)

### Jurado/Integrante de comisiones evaluadoras de trabajos académicos



palabras, si se tiene una onda divergente como solución, la misma expresión pero con el tiempo invertido, es decir una onda convergente, es también solución. Una experiencia de retorno temporal incluye por tanto dos pasos. En el primer paso la onda directa se registra durante un tiempo T. En el segundo paso la onda registrada se invierte en el tiempo y se reemite al medio. Como consecuencia de la reciprocidad y de la invariancia de la ecuación de ondas, la energía focaliza en la posición original de la fuente en un tiempo T. El ancho de la focalización espacial del campo de retorno temporal está directamente relacionado a la longitud de onda del medio y depende por lo tanto de las propiedades mecánicas del mismo. La idea general de este trabajo es estimar dichas propiedades mecánicas en sólidos blandos basándonos en el concepto de retorno temporal. La experiencia propuesta es similar a la utilizada en elastografía transitoria ultrasonora. Una fuente externa genera ondas mecánicas en el rango de frecuencias audibles. En estas condiciones, la mayor parte de la energía se propaga en forma de onda de corte. Una componente del campo vectorial así generado se mide en la región de interés mediante el método de interferometría speckle ultrasónico. El campo medido en un punto arbitrario A dentro del medio representa la onda directa. El segundo paso consiste en invertir dicha señal mediante un generador de funciones arbitrario y reenviarla al medio. La experiencia indica que la onda invertida focaliza en el punto A. Mediante un análisis basado en las funciones de Green para un medio elástico, se encuentra la relación entre el ancho focal y la longitud de onda. Como la frecuencia de la onda es conocida, se obtiene finalmente una estimación de la velocidad de las ondas de corte en el medio. Este valor está directamente relacionado con el módulo de Young del sólido blando, objetivo último en nuestras experiencias. En una segunda instancia a fin de evitar el uso del generador arbitrario, en este trabajo se utiliza la correlación cruzada del campo entre diferentes posiciones dentro del medio. El campo de correlación coincide con el campo de retorno temporal si la emisión de la fuente original es del tipo impulsional, condición cumplida en la práctica ya que las señales utilizadas son breves comparadas con el tiempo T de registro. En estas condiciones se genera un campo virtual de retorno temporal pudiendo focalizar en cualquier posición de la región de interés. De esta manera la longitud de onda es estimada localmente obteniendo como resultado final una imagen elástica del medio. Se obtuvieron imágenes elásticas de fantasmas formados por dos capas de diferente elasticidad. Por último, utilizando principalmente como fuente de ondas de corte los latidos del corazón, se obtuvo una imagen in vivo del hígado y la pared abdominal donde claramente se distinguen ambos tipos de tejidos.

## Sistema Nacional de Investigadores

Congreso

Feasibility of a Transient Elastography Technique for In Vitro Arterial Elasticity Assessment , 2010

*Tipo de participación:* Expositor oral,

*Referencias adicionales:* Argentina; *Nombre del evento:* EMBC Buenos Aires 2010; *Nombre de la institución promotora:* IEEE EMBS

*Palabras clave:* arterial wall elasticity; transient elastography

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

The early detection of biomechanical modifications in the arterial wall could be used as a predictor factor for various diseases, for example hypertension or atherosclerosis. In this work a transient elastography technique is used for the in vitro evaluation of the arterial wall elasticity. The obtained Young modulus is compared with the one obtained by a more classical approach: pressure-diameter relationships. As a sample an arterial phantom made of PolyVinyl Alcohol (PVA) gel was used. Diameter variation due to pressure variation inside the phantom was recorded by means of ultrasound. Through both techniques similar Young modulus estimations are obtained showing in this way the feasibility of applying transient elastography for the arterial wall elasticity assessment.

Congreso

Time Reversal Elastography: elasticity imaging using complex shear wave field in soft solids , 2010

*Tipo de participación:* Expositor oral,

*Referencias adicionales:* Estados Unidos; *Nombre del evento:* IEEE International Ultrasonics Symposium; *Nombre de la institución promotora:* IEEE UFFC

*Palabras clave:* time reversal elastography

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía, retorno temporal

The main idea in elastography is to construct a quantitative shear elasticity mapping of soft tissues. In previous works the authors developed a method for extracting the shear elasticity of soft tissues from a reverberated acoustic field based on a one channel time reversal experiment. An external source creates mechanical waves in the audible frequency range. One component of the vectorial field is measured along a line as function of time with signal processing developed in the field of 1-D elastography. The shear elasticity information is deduced from these mechanical waves using spatiotemporal correlations interpreted in the frame of the time-reversal symmetry. From the time reversal point of view, the shear elasticity can be obtained by two different ways: measuring the wave speed as the wave converges or measuring the focal width at -6 dB which is related to the shear wave length. In this work an elasticity map of a two layer phantom is obtained using a diffusive acoustic field as a source by measuring the focal width. Experiences in a by-layer phantom made of Alcohol Polyvinil Cryogel (PVA) were performed. The shear wave length and thus shear elasticity is extracted from a complex shear wave field. The experiment is the following: in a first step, a complex wave field due to reverberation and multiple impacts is created inside the sample by randomly tapping with the fingers during 10 seconds. The 2D displacement field is measured inside the soft solid using a 64 channel array through a speckle tracking technique. The resulting displacement field gives a complex reverberation of elastic waves. In a second step, one line of displacement at  $(x_0, z_0)$  is selected and correlated to the others, resulting in a 2D focus in  $(x_0, z_0)$ . By measuring the focal width at -6dB for each position an elastic map is obtained. Two images of by layered medium were obtained in good agreement with its sonogram on the left of the figure. One image (a) was obtained using a displacement sampling rate of 1 kHz and the other one (b) using a sampling rate of 50 Hz. The obtained results for a 50 Hz image cadence would allow a standard echo-graphic device to be used for elasticity assessment, reducing the costs of a highly dedicated electronics. This technique could also be used for passive in vivo elasticity assessment.



Congreso

Comparison between 1D Transient Elastography and Supersonic Shear Imaging Technique: Application to the Arterial Wall Elasticity Assessment , 2010

*Tipo de participación:* Poster,

*Referencias adicionales:* Estados Unidos; *Nombre del evento:* IEEE International Ultrasonics Symposium; *Nombre de la institución promotora:* IEEE UFFC

*Palabras clave:* supersonic shear wave imaging; transient elastography; arterial wall elasticity

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

Early detection of biomechanical modifications in the arterial wall could be used as a predictor factor for various diseases, for example hypertension or atherosclerosis. In this work 1D transient elastography (TE) technique and Supersonic Shear Imaging (SSI) technique are used for the evaluation of the shear wave speed on a phantom consisting in 2.5 mm thickness viscoelastic layer and an arterial phantom embedded in gel. In the TE technique the polarization of the shear wave is parallel to its propagation and the true shear wave speed is retrieved. In that case the dispersion is mainly due to viscosity (Voigt's model). Regarding the SSI technique, the dispersion is due to the layer thickness being of the order of the shear wavelength: thus the shear wave is guided as a Lamb wave. In that case a model is needed in order to retrieve the shear wave speed from the dispersion curve. Finally through both techniques similar shear wave speed estimations are obtained.

Congreso

Application of a transient elastography technique to the characterization of the arterial wall elasticity , 2009

*Tipo de participación:* Poster,

*Referencias adicionales:* Italia; *Nombre del evento:* IEEE International Ultrasonics Symposium; *Nombre de la institución promotora:* IEEE UFFC

*Palabras clave:* transient elastography; arterial wall elasticity

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

Modifications on the biomechanical properties of the arterial wall can be associated to various diseases, for example hypertension or atherosclerosis. The early detection of these modifications could be used as a predictor factor for these pathologies. Transient elastography has shown to be a very efficient way to determine non-invasive the mechanical parameters of living tissue. In this work a transient elastography technique is adapted for the in vitro evaluation of the shear elasticity of the arterial wall. Experiences on an arterial phantom made of PolyVinyl Alcohol (PVA) gel under pulsatile flow and pressure conditions were performed. The obtained results are in good agreement with the reported results for PVA-Gels and with previous elastographic characterization.

Congreso

Set up of a cardiovascular simulator: application to the evaluation of the dynamical behavior of atheroma plaques in human arteries , 2009

*Tipo de participación:* Poster,

*Referencias adicionales:* Chile; *Nombre del evento:* ICU; *Nombre de la institución promotora:* Universidad de Santiago de Chile

*Palabras clave:* atheroma plaque; artery; biomechanical behavior; cardiovascular simulator; ultrasound

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Ultrasonido

In this work a circulating loop capable of mimicking the physiological pressure and flow conditions inside a vessel is set up. The circulating loop consists of an artificial heart coupled to a perfusion line made of polyethylene and silicon. The artificial heart is driven by a pneumatic pump which provides the desired heart rate, pressure values and length of the systolic and diastolic period of each cycle. To measure the changes in diameter of the segment under study, an ultrasonic probe in pulse eco mode is used. For pressure monitoring a pressure sensor is positioned inside the sample. Pressure-diameter loops were obtained for characterization of the dynamical properties of the arterial wall. In vitro measurements were made on three different conduits: 1) Calibrated tubes made of latex: these phantoms were characterized by the presented method, 2) Non-atherosclerotic human carotid arteries obtained from donors and 3) Atherosclerotic human carotid arteries with atheroma plaques. In the three cases, under physiological simulated conditions, the mechanical properties of the conduit were obtained. We conclude that atheroma plaques were successfully detected and its dynamical properties characterized. This method could be used in the experimental and clinical field to characterize the effects of atheroma plaques on the arterial wall biomechanics.

Congreso

Improvement of Young modulus estimation by ultrasound using static pressure steps , 2009

*Tipo de participación:* Poster,

*Referencias adicionales:* Chile; *Nombre del evento:* ICU; *Nombre de la institución promotora:* Universidad de Santiago de Chile

*Palabras clave:* artery; atheroma plaque; biomechanical behavior; Young modulus; ultrasound

*Áreas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Ultrasonido

In this work the radial displacement of the arterial wall is measured using a cross correlation algorithm. An elastic model for static pressure conditions is developed, fit to the boundary conditions of the physical problem. Measuring the wall displacements as pressure changes the biomechanical behavior of the arterial wall can be characterized. Validation measurements were performed in a calibrated latex tube. The obtained experimental results are in good agreement with the theoretical model. Human arteries were also characterized. The typical non linear pressure-diameter behavior due to the presence of elastine and collagen was observed. Human arteries with atheroma plaques were also studied presenting a different Young modulus than the healthy ones. From these results we conclude that this method could be used in the characterization of arterial mechanical alterations and/or in the post-implant biomechanical evaluation of vascular grafts.

## Congreso

Estimation of viscoelastic surface wave parameters using a low cost optical deflection method , 2009

*Tipo de participación:* Poster,

*Referencias adicionales:* Chile; *Nombre del evento:* ICU; *Nombre de la institución promotora:* Universidad de Santiago de Chile

*Palabras clave:* optic surface sensor; surface wave; elastic parameters; soft solid

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica

In this work an optical deflection method was used to study surface vibrations created by a low frequency source placed on the sample's surface. The optical method consists in placing a laser beam perpendicularly the sample's surface (gelatine based phantom). A beam-splitter is placed between the laser and the sample to project the reflected beam into a screen. As the surface moves due to the action of the low frequency source the laser beam on the screen also moves. Recording this movement with a digital camera allow us to reconstruct de surface motion using the light reflection law. If the scattering of the surface is very strong (such the one in biological tissue) a lens is placed between the surface and the beam-splitter to collect the scattered light. As validation method the surface movement was measured using a 10 MHz ultrasonic transducer placed normal to the surface in pulse-eco mode. The optical measurements were in complete agreement with the acoustical measurements. The optical measurement has the following advantages over the acoustic: 2-dimensional motion could be recorded and it is low cost. Since the acquisition was synchronized and the source-laser beam distance is known, measuring the time of flight an estimation of the surface wave velocity is obtained in order to measure the elasticity of the sample. The authors conclude that a reliable optical, low cost method for obtaining surface wave parameters of biological tissue was developed and successfully validate.

## Taller

Seismic prospection of the human body; the time reversal approach , 2008

*Tipo de participación:* Otros, *Carga horaria:* 50

*Referencias adicionales:* Italia; *Nombre del evento:* 9th workshop on three dimensional modelling of seismic waves generation, propagation and their inversion; *Nombre de la institución promotora:* The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics

*Palabras clave:* time reversal ; elastografía

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Retorno temporal y Elastografía

## Encuentro

Elastografía por retorno temporal de ondas de corte: una nueva modalidad de imaginería médica , 2012

*Tipo de participación:* Expositor oral,

*Referencias adicionales:* Uruguay; *Nombre del evento:* XIII Reunion Sociedad Uruguaya de Fisica; *Nombre de la institución promotora:* Sociedad Uruguaya de Fisica

*Palabras clave:* imagen de elasticidad

*Areas del conocimiento:* Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Físicas / Óptica, Acústica / Elastografía

Las modificación en la elasticidad (modulo de Young) de tejidos biológicos muchas veces suele estar asociada a la presencia de algún tipo de patología. Con el fin de evaluar no invasivamente las propiedades elásticas de tejidos biológicos, se han desarrollado durante los últimos años un conjunto de técnicas bautizadas como Elastografía. Debido al gran contraste existente entre el modulo de compresión y el de corte en tejidos biológicos, el modulo de Young resulta ser proporcional al cuadrado de la velocidad de las ondas de corte. Las técnicas de Elastografía Dinámica tienen como objetivo el de medir la velocidad de las ondas de corte para así estimar el modulo de Young del tejido. Actualmente muchas de estas técnicas generan las ondas de corte mediante una fuente externa. Este trabajo propone un enfoque diferente: las ondas de corte naturalmente presentes en el cuerpo humano (debido a latidos cardíacos, actividad muscular, etc.) serán utilizadas para realizar una experiencia de elastografía pasiva. Para esto la técnica denominada Elastografía por Retorno Temporal, desarrollada en nuestro Laboratorio será utilizada. Dicha técnica consiste en recrear una experiencia de retorno temporal. En un campo acústico equiparticionado la correlación cruzada es equivalente a un proceso de retorno temporal perfecto. Correlacionando espacio-temporalmente el campo de desplazamientos, se focalizan virtualmente las ondas de corte en cualquier posición de la región de interés. A partir de la función de Green elasto-dinámica, se obtiene una relación entre el ancho focal y la velocidad de las ondas de corte. De esta manera, focalizando y midiendo localmente el tamaño del foco se obtiene una imagen elástica del medio. Se obtuvieron imágenes elásticas in vitro de fantasmas formados por dos medios elásticamente diferentes. Por último, se obtuvo una imagen elastográfica in vivo del hígado y la pared abdominal donde claramente se distinguen ambos tipos de tejidos.

## Indicadores de producción

<i>Producción bibliográfica</i>	63
<i>Artículos publicados en revistas científicas</i>	20
Completo (Arbitrada)	20
<i>Artículos aceptados para publicación en revistas científicas</i>	1
Completo (Arbitrada)	1
<i>Trabajos en eventos</i>	42
Completo (Arbitrada)	6
Completo (No Arbitrada)	12
Resumen (Arbitrada)	5
Resumen (No Arbitrada)	19

<i>Libros y capítulos de libros publicados</i>	0
<i>Textos en periódicos</i>	0
<i>Documentos de trabajo</i>	0
<i>Producción técnica</i>	0
<i>Productos tecnológicos</i>	0
<i>Procesos o técnicas</i>	0
<i>Trabajos técnicos</i>	0
<i>Otros tipos</i>	0
<i>Evaluaciones</i>	6
Evaluación de Publicaciones	6
<i>Formación de RRHH</i>	3
<i>Tutorías/Orientaciones/Supervisiones concluidas</i>	2
Iniciación a la investigación	1
Otras tutorías/orientaciones	1
<i>Tutorías/Orientaciones/Supervisiones en marcha</i>	1
Tesis de doctorado	1

## Sistema Nacional de Investigadores

## Sistema Nacional de Investigadores