

PID 6111

## No-estacionariedad, multifractalidad y limpieza de ruido en señales reales

Torres, María Eugenia; Schlotthauer, Gastón

AUTORES: Laboratorio de Señales y Dinámicas no Lineales (LSyDnL) y Laboratorio de Cibernética (LC). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos. (oro Verde, Entre Ríos, Argentina)

CONTACTO: [metorres@bioingenieria.edu.ar](mailto:metorres@bioingenieria.edu.ar)

### Resumen

Las señales biomédicas, como el electrocardiograma, el electroencefalograma, o la señal de voz, tienen en común características de no estacionariedad y no linealidad. Aunque en muchas aplicaciones se considera que se trata de señales estacionarias procedentes de sistemas lineales, ésta simplificación constituye una hipótesis de trabajo válida sólo como una aproximación que permite la aplicación de técnicas clásicas de análisis de señales. Muchos trastornos que afectan a uno o varios órganos pueden ser detectados a través de un correcto análisis de las señales en cuya producción están involucrados. Sin embargo, debe atenderse al hecho de que una señal procedente de un sistema patológico se aleja aún más de las condiciones hipotéticas de estacionariedad y linealidad. Se desprende de esta circunstancia la necesidad de abordar el análisis de las señales biomédicas mediante técnicas no convencionales que permitan su tratamiento en un marco que tenga en cuenta sus características de no estacionariedad y no linealidad. Sobre la base de la experiencia del grupo de trabajo en las áreas del análisis tiempo-frecuencia/escala, análisis y modelado estadístico, análisis multifractal, complejidad y métodos guiados por los datos (adaptativos), a partir de problemas reales se han propuesto y estudiado nuevas técnicas que posibiliten su solución.

**Palabras clave:** Señales biomédicas, procesamiento de señales, análisis de señales, reconocimiento de patrones, inteligencia computacional

The biomedical signals, such as electrocardiogram, electroencephalogram, or voice signal, have in common its nonstationarity and nonlinearity. Although in many applications they are considered as stationary signals and they come from linear systems, this is a simplification that is a valid hypothesis only as an approximation that allows the application of classic techniques of signal analysis. Many disorders affecting one or more organs can be detected by a correct analysis of the signals that are produced by these organs. However, it must be considered that a signal coming from a pathological system is far from the hypothetical conditions of stationarity and linearity. It follows from this fact the need of addressing the analysis of biomedical signals using unconventional techniques that allow its treatment in a framework that takes into account the characteristics of nonstationarity and nonlinearity. Based on the experience of the working group in the areas of time-frequency/scale analysis, statistical analysis and modeling, multifractal analysis, complexity and data-driven (adaptive) methods, we propose proposed and studied new techniques from real problems that will enable their solution.

**Key words:** Biomedical signals, signal processing, signal analysis, pattern recognition, computational intelligence

## Objetivos propuestos y cumplidos

Los objetivos planteados originalmente fueron los siguientes:

Objetivos generales:

1. Consolidar el desarrollo de grupos de trabajo interdisciplinario en la temática motivo del proyecto.
2. Formar recursos humanos en el análisis de señales no lineales, onditas, caos y fractales.
3. Contribuir al desarrollo de técnicas de modelización y análisis de señales reales, ligadas a problemas no lineales, no estacionarias o en condiciones de ruido.

Objetivos específicos:

1. La limpieza del ruido y el aumento de legibilidad de la información,
2. Caracterización de señales en situaciones normales y patológicas,
3. La discriminación entre individuos sanos y enfermos,
4. Definición y medición de índices que permitan el monitoreo del estado de un paciente y, potencialmente, la detección de una evolución hacia un cambio en su estado.

Por un lado, los objetivos relacionados con la formación de RRHH y el fortalecimiento de grupo se han visto cumplidos por la incorporación de varios estudiantes doctorales, que superan a lo originalmente previsto, y la dirección de un becario posdoctoral, actualmente investigador asistente del CONICET, quien se ha incorporado como Codirector de este PID.

En cuanto a los objetivos específicos, científicos y de difusión de los resultados, podemos indicar que los desarrollos originales, particularmente en la extracción de la frecuencia fundamental instantánea de voces patológicas, el apoyo al diagnóstico diferencial de patologías vocales y el análisis multifractal de señales biomédicas de variada naturaleza, han sido alcanzados ampliamente.

En este proyecto se propuso analizar nuevas estrategias de procesamiento de señales biomédicas con fines de apoyo al diagnóstico no invasivo, principalmente en patologías de la voz, incorporando a investigadores argentinos residentes en el exterior especialistas en el área y otros investigadores extranjeros. Es cooperativo (como contraparte) de un PICT-Raíces 2008, con subsidio de la ANPCyT y éste a su vez de un proyecto CNRS-CONICET.

Dado que en este marco se desarrollan varias tesis doctorales, se abordaron diversos enfoques para la resolución de problemas ligados al estudio de señales biomédicas (voces patológicas, electroglotograma, epilepsia, isquemia de miocardio).

Se propuso una nueva variante de la Descomposición Empírica en Modos, en inglés *Empirical Mode Decomposition* (EMD) y sus variante asistida por ruido, que denominamos Descomposición Empírica en Modos por Conjuntos con Ruido Adaptativo (*Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with Adaptive Noise*, CEEMDAN), que mejora el problema de mezcla de modos de EMD. Se estudiaron las propiedades de la EMD y sus variantes en relación con sus aplicaciones a señales biomédicas, resultados presentados en congresos nacionales e internacionales [1, 2, 3, 4]. Se estudió sistemáticamente la incidencia de parámetros a ser fijados por los usuarios en los métodos adaptativos de análisis de señales basados en la EMD, dando lugar a una publicación ya enviada [5].

Se propusieron nuevos enfoques para la detección de isquemia de miocardio, basados en análisis multifractal [6, 7, 8]. Se desarrollaron nuevas herramientas que faciliten la aplicación del análisis multifractal basado en onditas líderes. Utilizando bootstrap no paramétrico, se propuso un método para la selección automática del rango de escalas en el que se observa el fenómeno de escalamiento. Se desarrolló y depuró el código. Fue validado con extensa experimentación numérica. Se trabajó sobre un algoritmo para la estimación robusta del exponente de regularidad de Hölder uniforme. Se desarrolló y depuró el código correspondiente, y se está trabajando en su validación

numérica. Se encuentran en preparación dos artículos a ser enviados próximamente a sendas revistas científicas.

Se propuso un nuevo modelo para generar voces sintéticas, utilizando parámetros acústicos de uso corriente en la práctica clínica, la señal de la fuente glótica; usando modelos estadísticos se perturbaron sus amplitudes y períodos. Medidas objetivas de calidad de la voz mostraron la utilidad del modelo. Los resultados fueron presentados en congresos nacionales [9, 10] y seleccionados para su publicación en una revista científica internacional [11].

Se desarrolló un algoritmo para la detección automática de puntos definidos como de interés clínico en la señal el Electroglotograma. Se compararon estos resultados con los obtenidos por inspección visual de expertos sobre las señales de la base de datos de Kay Elemetrics que fueran clasificadas y seleccionadas en 2011, poniendo en evidencia que existen aspectos no distinguibles por inspección visual y que ameritan un análisis más detallado de su significado clínico o fisiológico. Se continuará con esta línea de investigación.

Se estudiaron e implementan algoritmos de análisis no lineal de series temporales basados en la reconstrucción del espacio de estados mediante vectores embebidos; a través de la estimación de la dimensión de correlación se evaluó el aumento de la complejidad de los sistemas con desórdenes de la voz. A partir de este resultado se propusieron nuevas estrategias para realizar una detección automática de los cambios en complejidad, haciendo uso de algoritmos de predicción. Estos resultados dieron lugar a dos trabajos [12, 13] y a un Proyecto Final de la carrera de Bioingeniería a ser presentado antes del 31/03/2013, ya que el alumno ha obtenido una beca Tipo I de CONICET a llevar a cabo en este Laboratorio de investigación.

Del análisis de los resultados alcanzados y de los indicadores de producción, que serán presentados en las secciones subsiguientes, se desprende que los objetivos propuestos en la formulación de este PID han sido alcanzados.

## Marco teórico y metodológico

Debido a la diversidad de temas abarcados en el presente PID, el marco teórico se organiza en las siguientes secciones.

### Formalismo Multifractal

El formalismo multifractal basado en onditas líderes, propuesto por Jaffard en 2004 [14], es un método superior para el análisis multifractal debido a que presenta numerosas ventajas de índole tanto teórica como práctica respecto de los métodos anteriores [15]. En [16, 17] se propuso un método basado en el uso de *bootstrap* no paramétrico en el plano tiempo-escala para obtener intervalos de confianza en todas las estimaciones realizadas por dicho método. De esta forma se puede obtener esta información estadística a partir de una única realización  $X$  y sin hacer ninguna hipótesis *a priori* sobre su distribución.

Una hipótesis importante en el análisis multifractal basado en onditas líderes es que la señal  $X$  debe estar localmente acotada [18]. En [19] se propone un método práctico para determinar si esta condición se cumple o no: basta con verificar el valor del *exponente de Hölder uniforme*  $h_{\min}$ . Si  $h_{\min} < 0$  entonces la señal no es localmente acotada. Si es éste el caso, el problema puede resolverse realizando una integración fraccional de orden  $s \geq h_{\min}$  a  $X$  y realizando el análisis sobre la señal integrada [18, 19, 20]. En dichos trabajos también se propone una forma de estimar el exponente  $h_{\min}$  en la práctica, que esencialmente consiste en el ajuste de un modelo de ley de potencias. Además, en [19] se señala que  $h_{\min}$  tiene un buen desempeño como índice para la clasificación deseñales.

En [6, 7] se aplicó el MFA basado en onditas líderes en ventanas temporales para estudiar la detección de episodios de isquemia de miocardio a partir de la señal de VFC. Los resultados obtenidos sobre

una base de datos reducida sugieren que los índices derivados del MFA permiten una correcta caracterización de esta condición patológica. En [8] se estudió el efecto de la longitud de ventana utilizada en los resultados provistos por este método.

### **Descomposición Empírica en Modos**

La Descomposición Empírica en Modos (EMD, del inglés Empirical Mode Decomposition) fue introducida por Huang y col. en 1998 [21]. Es un método guiado por los datos para el análisis de señales no estacionarias provenientes de sistemas no lineales. Produce una separación local de los datos en oscilaciones rápidas y lentas, expresando la señal analizada como una suma de funciones moduladas en amplitud y frecuencia (AM-FM).

Desde su presentación en 1998 hasta el presente, esta técnica ha atraído la atención de los más diversos campos de investigación. Pueden encontrarse aplicaciones exitosas en la oceanografía, climatología, bioingeniería, datos financieros, mecánica, y muchos otros [2, 22]. Simulaciones con ruido fraccional gaussiano muestran que la EMD se comporta sobre estas señales como un banco de filtros diádico [23, 24].

Una versión más robusta es la denominada EMD por conjuntos (EEMD, del inglés Ensemble EMD) [25]. Esta versión asistida por ruido, realiza la descomposición sobre un conjunto de señal más ruido, obteniendo los resultados finales por promediación. Una versión que soluciona algunos problemas remanentes en esta última es la EMD por conjuntos completa con ruido adaptativo (CEEMDAN, del inglés Complete EEMD with Adaptive Noise) [2, 3, 27].

Además de su aplicación directa, la EMD se encuentra en pleno proceso de desarrollo teórico [27, 28, 29]. Numerosas variantes y modificaciones se han presentado en los últimos años. El interés por dotar a esta técnica de un sólido marco teórico ha llevado a esfuerzos por relacionarla con la teoría de onditas [30]. Otro enfoque es aquél que usa elementos de optimización en la formulación de esta técnica [31, 32].

### **Análisis del proceso de fonación aplicado al desarrollo de nuevos métodos para el modelado y síntesis de voz**

La fonación es un proceso complejo donde un conjunto de órganos específicos se interrelacionan, de forma coordinada y precisa, con la finalidad de modular un mensaje en una onda de presión. Desde hace varias décadas, han aparecido diversos métodos y estrategias para imitar artificialmente dicho proceso, los que han sido aplicados exitosamente en disciplinas como telecomunicaciones, informática, educación, medicina, seguridad y entretenimiento, entre otras [33, 34, 35, 36]. Cabe destacar que, a pesar de su utilidad, la mayoría de estos métodos surgen de hipótesis simplificadoras, algunas de las cuales se alejan mucho de la realidad.

Para la medicina, la señal de voz es un medio indispensable para la evaluación del aparato fonador y la detección temprana de patologías [37, 38]. En particular, los modelos demostraron ser herramientas sumamente útiles ya que permiten el estudio sustentado y sistematizado tanto del sistema completo como así también el de sus diferentes componentes por separado [39, 40]. Esto ha generado una creciente necesidad de nuevos modelos inspirados desde la medicina basados en hipótesis más realistas y contemplando posibles patologías.

Un área estrechamente relacionada con el modelado de la voz es el análisis de la calidad de las señales generadas. En particular, existe un gran interés en la evaluación objetiva de la calidad perceptual y de la inteligibilidad de señales producto de un proceso de síntesis, transmisión o realce [41, 42, 43]. Sin embargo, la principal dificultad que presenta esta evaluación es que depende de apreciaciones subjetivas en las personas y de convenciones sociales establecidas. Esto ha dado lugar a nuevos métodos basados en la percepción auditiva del habla en individuos [44].

Existen otras de señales biológicas complementarias a la voz, que han mostrado ser de utilidad para la medicina. En especial, el electroglotograma o electroglotografía es una señal de fácil adquisición por métodos no invasivos, muy aplicada en el estudio indirecto de la integridad y comportamiento de las cuerdas vocales [45, 46]. Otra señal que recientemente ha cobrado especial interés es la función glótica obtenida a partir del proceso de filtrado inverso [47]. Se ha demostrado que posee información asociada a la comunicación paraverbal [33] y, además, su uso en la síntesis mejora la calidad de las voces generadas [48, 49]. Finalmente, el uso de técnicas estadísticas novedosas aplicadas al proceso de filtrado inverso ha permitido obtener mejores estimaciones de la función glótica [50, 51, 52].

### **Análisis no lineal y complejidad**

En las últimas décadas, diferentes autores han demostrado la utilidad de herramientas de procesamiento no lineal para detectar cambios en la dinámica subyacente a señales de electroencefalografía. Babloyantz y Destexhe [53] demostraron que la dinámica subyacente a los episodios de epilepsia se correspondía con una disminución de la dimensión del dicho atractor, mostrando un cambio en la dinámica del sistema.

En década pasada M. Le Van Quyen y cols. propusieron un método de anticipación de episodios de epilepsia en registros de EEG intracraneales, haciendo uso de índices de similitud entre los espacios de estados reconstruidos [54]. Iasemidis y cols. demostraron una variación en el máximo exponente de Lyapunov del sistema en estado ictal y preictal, estableciendo que en el período previo a la crisis el máximo exponente de Lyapunov caía abruptamente, proponiendo luego un algoritmo de predicción de episodios de epilepsia [55]. Más recientemente Torres y cols. presentaron un método para la detección automática de cambios sutiles en los parámetros de un sistema no lineal con dinámica caótica, haciendo uso de un análisis multirresolución con  $q$ -entropías [56, 57].

En los últimos años se ha indicado la relación entre las crisis de epilepsia con señales de alta frecuencia ( $>200$  Hz), y se han propuesto métodos para detectar y clasificar estas señales [58, 59]. Osorio y cols. [60] han propuesto una medida probabilística de actividad epiléptica, caracterizando así las propiedades fractales y de no estacionariedad, basándose en *funciones indicadoras*. Se han implementado algoritmos específicos para cada paciente mediante la extracción de características temporales, frecuenciales y estadísticas de señales de EEG y de EEG para detectar potenciales períodos pre-ictales [61]. Otros autores también han utilizado clasificadores para detectar crisis epilépticas con características tanto lineales como no lineales [62, 63, 64]. Medidas más recientes de entropía (Optimized Sample Entropy) han mostrado ser eficientes para la detección de crisis de epilepsia, con costos computacionales menores al necesario para otras medidas de complejidad, posibilitando la implementación práctica de algoritmos similares para la detección *en línea* [65].

El incremento de las aplicaciones de medidas de complejidad a diverso tipo de señales biomédicas para identificar estados patológicos diferentes [66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73]. En ciertos casos las técnicas de evaluación de complejidad más tradicionales son aplicadas a señales cortas, invalidando los resultados obtenidos. Esto pone en evidencia que es necesario seguir avanzando en esta línea de investigación.

### **Metodología**

Debido a la diversidad de temas abordados, este proyecto revistió el carácter de un “programa” de investigación, habida cuenta que en la UNER no tiene definida esta modalidad.

Se realizó investigación básica orientada a desarrollar nuevas técnicas demandadas por las aplicaciones. La metodología incluyó tanto el desarrollo algorítmico como la pertinente discusión teórica y experimentación numérica, según correspondiere.

Como es propio de este tipo de investigación y de manera general, se integraron adecuadamente tareas ligadas a considerar: el análisis teórico, el desarrollo y validación de algoritmos, la experimentación con

ejemplos de “juguete”, la experimentación con señales sintetizadas y la aplicación a señales reales en diferentes condiciones. Cuando fue necesario, se recurrió a la modelización de los fenómenos biológicos, dando lugar a nuevos modelos de la voz.

## **Síntesis de resultados y conclusiones**

### **Resultados Alcanzados**

Los resultados de la investigación científica en este PID han dado lugar a:

1. un (1) libro publicado.
2. dos (2) capítulos de libro internacional.
3. diez (10) publicaciones en revistas científicas con referato internacional.
4. dos (2) publicaciones en revistas científicas nacionales con referato.
5. seis (6) publicaciones de artículo completo en proceedings de congresos internacionales con referato.
6. tres (3) publicaciones de resumen de artículo en proceedings de congresos internacionales con referato.
7. diecinueve (19) publicaciones de artículo completo en proceedings de congresos nacionales con referato.
8. un (1) artículo de divulgación científica a nivel internacional y cuatro (4) entrevistas de divulgación a nivel nacional.

A continuación se detallan las publicaciones realizadas en el marco del presente proyecto.

#### **a) Libros**

H. L. RUFINER, “Análisis y modelado digital de la voz: técnicas recientes y aplicaciones”, aprobado por Consejo Editorial UNL, Ediciones UNL, Colección Ciencia y Técnica, 284 páginas, Agosto 2009, ISBN 978-987-657-090-9.

#### **b) Capítulo de libro (con referato)**

1. G. SCHLOTTHAUER, M. E. Torres y H. L. Rufiner. Capítulo: “Pathological Voice Analysis and Classification Based on Empirical Mode Decomposition”, Series: Lectures Notes on Computer Science LNCS 5967, Título del libro: “Development of Multimodal Interfaces: Active Listening and Synchrony”, pp. 364-381. Springer. Editor: Anna Esposito. ISBN/ISSN:978-3-642-12396-2. (2010).
2. E. M. ALBORNOZ, D. H. Milone y H. L. Rufiner. Capítulo: “Multiple feature extraction and hierarchical classifiers for emotions”. Lectures Notes on Computer Science LNCS 5967, Título del libro: “Development of Multimodal Interfaces: Active Listening and Synchrony”, pp. 242-254. Springer. Editor: Anna Esposito. ISBN/ISSN: 978-3-642-12396-2. (2010).

#### **c) Publicaciones en revistas científicas internacionales**

1. M. A. COLOMINAS, G. Schlotthauer, M. E. Torres y P. Flandrin, “Noise-assisted EMD methods in action”, *Advances in Adaptive Data Analysis*, ENVIADO - DICIEMBRE 2012.
2. G. A. ALZAMENDI, G. Schlotthauer, H. L. Rufiner y M. E. Torres, “Evaluation of a new model for vowels synthesis with perturbations in acoustic parameters”, *Latin American Applied Research Journal*, ACEPTADO - EN PRENSA.
3. C. MARTINEZ, J. Goddard, D. H. Milone, H. L. Rufiner, “Bioinspired sparse spectro-temporal representation of speech for robust classification”, *Computer, Speech and Language*, Elsevier Science, Vol. 26, pp 336-348. (2012).

4. L. D. VIGNOLO, H. L. Rufiner, D. H. Milone, J. C. Goddard, "Evolutionary Cepstral Coefficients", *Applied Soft Computing*, Vol 11, Issue 4 , pp 3419-3428(2011).
5. L. D. VIGNOLO, H. L. Rufiner, D. H. Milone, J. Goddard, "Evolutionary Splines for CepstralFilterbank Optimization in Phoneme Classification", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Vol. 2011, Special issue "Evolutionary Splines for CepstralFilterbank Optimization in Phoneme Classification", Article ID 284791, 14 pages, (2011).
6. E. M. ALBORNOZ, D. H. Milone, H. L. Rufiner, "Spoken Emotion Recognition using Hierarchical Classifiers", *Computer, Speech and Language, Elsevier Science*, Vol. 25, pp. 556 - 570, (2011).
7. G. SCHLOTTHAUER, M. E. Torres y M. C. Jackson-Menaldi. "A Pattern Recognition Approach to Spasmodic Dysphonia and Muscle Tension Dysphonia Automatic Classification", *Journal of Voice*, Vol. 24, Issue 3, pp 346 - 353 (2010). ISSN 0892-1997.
8. DIEGO H. MILONE, Leandro E. Di Persia y María E. Torres. "Denoising and Phoneme Recognition using Hidden Markov Models with Observation Distributions Modeled by Hidden Markov Trees", *Pattern Recognition*, Vol. 43, Issue 4, pp. 1577-1589 (2010). ISSN: 0031-3203.
9. G. SCHLOTTHAUER, M. E. Torres, Hugo L. Rufiner y P. Flandrin, "EMD of Gaussian White Noise: Effects of Signal Length and Sifting Number on the Statistical Properties of Intrinsic Mode Functions", *Advances in Adaptive Data Analysis*, Vol. 1, Issue 4, pp. 517 - 527 (2009). ISSN: 1793-5369
10. J. GODDARD, G. Schlotthauer, M. E. Torres y H. L. Rufiner. "Dimensionality Reduction for Visualization of Normal and Pathological Speech Data", *Biomedical Signal Processing & Control*, Vol. 4, Issue 3, pp. 194 - 201 (2009). ISSN 1746-8094.

**d) Publicaciones en revistas científicas nacionales con referato**

1. M. A. COLOMINAS, G. Schlotthauer, P. Flandrin y M. E. Torres, "Descomposición empírica en modos por conjuntos completa con ruido adaptativo y aplicaciones biomédicas", *Revista Argentina de Bioingeniería*, Vol XXVII, pp 13 - 17, (2011).
2. M. E. TORRES, H. L. Rufiner, L. Aronson, C. E. Martínez, D. H. Milone, D. R. Tomassi, "Evaluación de técnicas de reducción de ruido en habla", *Ciencia, docencia y tecnología - UNER*, Ed. Universidad Nacional de Entre Ríos, Paraná, Arg., 40, pp 117-132. (2010), ISSN 0327-5566

**e) Publicaciones de artículo completo en proceedings de congresos internacionales con referato**

1. M. E. TORRES, M. A. Colominas, G. Schlotthauer, P. Flandrin. "A Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with Adaptive Noise". 36th IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP2011), 22 al 27 de mayo, 2011, Praga, RepúblicaCheca, pp. 4144 - 4147, ISSN: 1520-6149
2. R. S. LEDER, G. Schlotthauer, T. Penzel, R. Jané. "The Natural History of the Sleep and Respiratory Engineering Track at EMBC 1988 to 2010". *Proceedings of the 32<sup>nd</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS2010*, pp. 288-291. Buenos Aires, Argentina, 31 de agosto a 4 de septiembre, 2010
3. S. CHERNIZ, M. E. Torres, H. L. Rufiner. "Dynamic Speech Parameterization for Text- Independent Phone Segmentation", *Proceedings of the 32<sup>nd</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS2010*, pp. 4044-4047. Buenos Aires, Argentina, 31 de agosto a 4 de septiembre, 2010
4. R. F. LEONARDUZZI, G. Schlotthauer, M. E. Torres. "Wavelet leader based multifractal analysis of heart rate variability during myocardial ischaemia". *Proceedings of the 32<sup>nd</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS2010*, pp. 110-113. Buenos Aires, Argentina, 31 de agosto a 4 de septiembre, 2010.

5. G. SCHLOTTHAUER, M. E. Torres, H. L. Rufiner. "A New Algorithm for Instantaneous  $F_0$  Speech Extraction Based on Ensemble Empirical Mode Decomposition". Proceedings of 17th European Signal Processing Conference EUSIPCO 09, pp. 2347 - 2351, 24 al 28 de agosto de 2009, Glasgow, Reino Unido
6. G. SCHLOTTHAUER, M. E. Torres, H. L. Rufiner. "Voice Fundamental Frequency Extraction Algorithm Based on Ensemble Empirical Mode Decomposition and Entropies". IFMBE Proceedings of 11th International Congress of the IUPESM Medical Physics and Biomedical Engineering - World Congress 2009, pp 984 - 987. Munich, Alemania, 7 al 12 de septiembre de 2009.

**f) Publicaciones de resumen de artículo en proceedings de congresos internacionales con referato**

1. L. D. Larrateguy, G. Schlotthauer, L. Di Persia, D. Milone, F. Lestussi, "Nuevos algoritmos automáticos para diagnóstico del SAHOS usando la señal de saturación de  $O_2$ ", 8vo Congreso Asociación Latinoamericana de Tórax, Montevideo, Uruguay, 5-7 de julio, 2012.
2. G. Schlotthauer, M. E. Torres, H. L. Rufiner, M. C. Jackson-Menaldi. "Differential Diagnosis Support Tools for Adductor Spasmodic Dysphonia and Muscular Tension Dysphonia". ENT WorldCongress IFOS 2009, Sao Paulo, Brasil, 4 al 10 de junio de 2009.
3. L. D. Vignolo, H. L. Rufiner, D. H. Milone, J. C. Goddard, "Genetic Optimization of CepstrumFilterbank for Phoneme Classification", Proc. of BIOSIGNALS 2009 - International Conference on Bio-inspired Systems and Signal Processing, pp. 179-185, Porto-Portugal, 14-17 January, 2009.

**g) Publicaciones en proceedings de congresos nacionales con referato de artículo completo**

1. J. SULAM, G. Schlotthauer y M. E. Torres, "Non linear slight parameter changes detection: a forecasting approach", Proceedings de las 41 Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa - AST 2012, pp 168-179, ISSN 1850-2806, 27 - 31 de agosto de 2012, La Plata, Argentina.
2. G. A. MERINO, J. Leguizamón, R. F. Leonarduzzi, P. A. Catalfamo Formento, "Estadísticos aplicados al estudio de deficiencias del movimiento humano y la rehabilitación", Proceedings de las 41 Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa - AST 2012, pp 192-203, ISSN 1850-2806, 27 - 31 de agosto de 2012, La Plata, Argentina.
3. J. SULAM y G. Schlotthauer, "Análisis no lineal de series temporales aplicado al estudio de señales de la voz sana y patológica", Revista da XX Jornadas de Jovens Pesquisadores da AUGM, 03 - 05 de octubre de 2012, Curitiba, Brasil.
4. G. A. MERINO, J. Leguizamón, R. F. Leonarduzzi, P. A. Catalfamo Formento, "Caracterización de señales de EMG mediante métodos estadísticos. Aplicación en rehabilitación de pacientes post-cirugía de reconstrucción de ligamento cruzado anterior XX Jornadas de Jovens Pesquisadores da AUGM, 03 - 05 de octubre de 2012, Curitiba, Brasil.
5. G. A. ALZAMENDI, G. Schlotthauer, H. L. Rufiner, y M. E. Torres, "Desarrollo de un modelo para la síntesis de voz irregular basado en parámetros acústicos", CD de trabajos completos XVIII Congreso Argentino de Bioingeniería y VII Jornadas de Ingeniería Clínica, 28 - 30 de septiembre de 2011, Mar del Plata, Argentina.
6. M. A. COLOMINAS, G. Schlotthauer, P. Flandrin y M. E. Torres, "Descomposición empírica en modos por conjuntos completa con ruido adaptativo y aplicaciones biomédicas", CD de trabajos completos XVIII Congreso Argentino de Bioingeniería y VII Jornadas de Ingeniería Clínica, 28 - 30 de septiembre de 2011, Mar del Plata, Argentina.
7. G. A. ALZAMENDI, G. Schlotthauer, H. L. Rufiner y M. E. Torres, "Evaluación de un nuevo modelo de síntesis de vocales con perturbaciones en los parámetros acústicos", CD de trabajos completos XIV Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, pp. 306-311, 16 -18 de noviembre de 2011, Oro Verde, Argentina.

8. R. F. LEONARDUZZI, G. Schlotthauer y M. E. Torres, "Efecto de la longitud de la ventana en el análisis multifractal basado en onditas líderes", CD de trabajos completos XIV Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, pp. 701-706, 16 -18 de noviembre de 2011, Oro Verde, Argentina.
9. G. SCHLOTTHAUER, L. Di Persia, D. Milone, L. D. Larrateguy y F. Lestussi, "Descomposición empírica en modos para detección de desaturaciones durante el sueño", CD de trabajos completos XIV Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, pp. 300-305, 16 -18 de noviembre de 2011, Oro Verde, Argentina.
10. M. A. COLOMINAS, G. Schlotthauer y M. E. Torres, "Extracción de  $F_0$  en señales de voz basada en Descomposición Empírica en Modos por Conjuntos Completa con Ruido Adaptativo", CD de trabajos completos XIV Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, pp. 219-224, 16 -18 de noviembre de 2011, Oro Verde, Argentina.
11. J. SULAM y G. Schlotthauer, "Estimación de frecuencia cardíaca mediante fotopletoxiografía con cámara web", CD de trabajos completos XIV Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, pp. 993--997, 16 -18 de noviembre de 2011, Oro Verde, Argentina.
12. E. M. ALBORNOZ, D. H. Milone, H. L. Rufiner, Ramón López-Cózar, "New Method for Classification of ASR Word Hypotheses Using Prosodic Cues", CD de trabajos completos XIV Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, pp. 644-648, 16 -18 de noviembre de 2011, Oro Verde, Argentina.
13. L. LARRATEGUY, G. Schlotthauer, L. Di Persia, D. H. Milone, F. Lestussi, "Detección de desaturaciones durante el sueño mediante descomposición empírica en modos", 39º Congreso Argentino de Medicina Respiratoria, pp 1-12 - Octubre de 2011, Buenos Aires Argentina.
14. R. F. LEONARDUZZI, G. Schlotthauer y M. E. Torres, "Análisis multifractal por ventanas: aplicación a señales biológicas", XVII Congreso Argentino de Bioingeniería y VI Jornadas de Ingeniería Clínica (SABI'2009), 14 al 16 de Octubre de 2009, Rosario (Santa Fe). CD de trabajos completos.
15. G. SCHLOTTHAUER, M. E. Torres, H. L. Rufiner, "Determinación de la frecuencia fundamental de la voz basada en descomposición modal empírica por conjuntos y entropías". XIII Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC 2009), pp. 387 - 392, 16 al 18 de Septiembre de 2009, Rosario (Santa Fe).
16. C. MARTÍNEZ, John Goddard, D. H. Milone y H. L. Rufiner, "An approach to robust phoneme classification by modeling the auditory cortical representation of speech", XIII Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC 2009), pp. 387 - 392, 16 al 18 de Septiembre de 2009, Rosario (Santa Fe). pp 411.
17. E. M. ALBORNOZ, D. H. Milone, H. L. Rufiner, "Hierarchical Classifiers Approach for Emotions Recognition", XIII Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC 2009), pp. 853 - 858, 16 al 18 de Septiembre de 2009, Rosario (Santa Fe).
18. S. CHERNIZ, M. E. Torres, H. L. Rufiner, A. Esposito. "Time-Scale Information Measures for Text-Independent Phone Segmentation." XIII Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC2009). Ed. J.C. Gomez, pp 399-404, paper 135, 16 al 18 de Septiembre de 2009, Rosario (Santa Fe).
19. E. N. OSELLA, H. L. Rufiner, A. D. Sigura, y M. E. Torres, "Sistema de Administración para Batería de Ensayos para Pacientes con Prótesis Auditivas." XVII Congreso Argentino de Bioingeniería y VI Jornadas de Ingeniería Clínica. Rosario, Argentina, 14 al 16 de Octubre de 2009.

#### **h) Divulgación científica**

1. Max E. Valentinuzzi, B. Silvano Zanutto, María Eugenia Torres and Roberto Spelzini. "The development of biomedical engineering in Argentina: A historical overview". IEEE - Pulse, a magazine of The IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Bioengineering Burning Bright, Argentina spreads its light (July/August 2010), Vol.1, No. 1, pp 29 - 38.

2. Viernes, 12 de diciembre de 2010. Entrevista de divulgación a la Agencia Universitaria de Ciencia, Tecnología y Sociedad (<http://www.ctys.com.ar/index.php?idPage=20&Articulo=207>). 25 de febrero de 2011. Agencia Universitaria de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTyS), Categoría: Divulgación. "Complejos algoritmos... ¡Para escucharte mejor! Técnicas para mejorar audífonos" (<http://www.ctys.com.ar/index.php?idPage=20&idArticulo=485>).
3. Sábado, 17 de oct de 2009. Página 12, Suplemento Futuro. La confluencia de dos ciencias paralelas y complementarias. El oro verde de la bioinformática. (<http://www.pagina12.com.ar/diario/suplementos/futuro/13-2233-2009-10-18.html>). Martes, 10 nov 2009. Página/12, Categoría: Ciencia. Matías Alinovi y Leonardo Moledo. "De la epilepsia a las matemáticas. Diálogo con María Eugenia Torres, Doctora en Matemática y Gastón Schlotthauer, Master en Bioingeniería" (<http://www.pagina12.com.ar/diario/ciencia/19-135032-2009-11-11.html>)

### i) Premios y Distinciones

1. El artículo e.4 fue seleccionado por el comité científico del congreso entre los finalistas del EMB Student Paper Competition auspiciado por EMB y la National Science Foundation.
2. El Bioing. R. F. Leonarduzzi fue galardonado con el 1er premio de la CORAL-EMBS Latin American Student Paper Competition por el artículo e.4.
3. El trabajo g.3 recibió la "Distinción de Mérito" en las XX Jornadas de Jovens Pesquisadores AUGM. Curitiba, Brasil.
4. El trabajo g.11 obtuvo el Primer Premio del Concurso de Estudiantes de RPIC 2011.
5. El artículo g.13 fue galardonado con el Premio "Dr. Néstor Martelli" al Mejor Trabajo de Investigación Básica en el 39º Congreso Argentino de Medicina Respiratoria.
6. El artículo g.14 fue seleccionado por el comité científico del congreso para su publicación en inglés en el Journal of Physics: Conference Series (<http://iopscience.iop.org/1742-6596>).

### Otras actividades abordadas por el grupo

Se destaca además que el Laboratorio de Señales y Dinámicas no Lineales estuvo a cargo de la organización de la XIV Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC 2011), realizada entre el 16 y el 18 de Noviembre de 2011, en la sede de la Fac. de Ingeniería de la UNER en Oro Verde, Entre Ríos, Argentina, bajo el lema "La investigación básica y aplicada: pilares para el desarrollo tecnológico". Se puede visitar el sitio web del evento en <http://bioingenieria.edu.ar/RPIC2011>

La organización de tal evento requirió de un gran esfuerzo por parte los integrantes de este PID que actuaron en diversas funciones, comenzando estas actividades en noviembre de 2010. La Dra. Torres se desempeñó como *Chair* de RPIC 2011, siendo el Dr. Schlotthauer *Co-Chair*. El Dr. Rufiner además de participar en el comité organizador y comité científico, integró el jurado del concurso estudiantil de RPIC 2011. Los estudiantes de grado y posgrado del LSyDNL también debieron colaborar intensamente en la organización de la reunión debido a que no se contó con la ayuda comprometida por otros docentes y autoridades de la institución, a excepción de la colaboración recibida en la semana del evento.

RPIC 2011 contó con aproximadamente 180 inscriptos, superando los 200 asistentes. Se recibieron más de 230 trabajos procedentes de nuestro país, Australia, Brasil, Colombia, Estados Unidos, Francia y Uruguay, de los cuales 186 fueron aceptados para su exposición luego de un estricto proceso de referato, (156 en forma oral y 30 en forma de póster). Se dictaron 6 conferencias plenarias a cargo de prestigiosos investigadores a nivel internacional: Dr. Patrice Abry y Dr. Patrick Flandrin (CNRS, École Normal Supérieure de Lyon, Francia), Dr. Ricardo Sánchez Peña (Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Argentina), Dr. João Hespanha (University of California, Santa Bárbara, EEUU), Dr. Gustavo I. Cancelo (Fermilab, EEUU) y Dr. Fernando Silveira (Universidad de la República, Uruguay). Tuvo lugar una mesa redonda sobre el

tema del congreso “La investigación básica y aplicada: pilares para el desarrollo tecnológico”. Se realizó una selección de los mejores trabajos recibidos para su publicación en una revista científica internacional con referato (Latin American Applied Research) y se llevó a cabo con éxito el Concurso RPIC Estudiantil, donde cuatro trabajos resultaron premiados, haciéndose acreedor del primer premio el Sr. Jeremias Sulam, alumno de esta casa de estudios y becario en el LSyDNL, con la dirección del Dr. Schlotthauer. El prestigioso jurado de dicho concurso estuvo compuesto por los Dres. Carlos H. Muravchik (UNLP), Hugo L. Rufiner (UNER - UNL), Juan Cousseau (UNS), Cristian Hernán De Angelo (UNRC) y Aníbal Zanini (UBA).

En RPIC 2011 se generó además un ambiente de discusión y de intercambio de ideas que sin dudas dará lugar a futuros trabajos en colaboración entre muchos de los investigadores y estudiantes que asistieron.

Durante 2012, Torres y Schlotthauer tuvieron a su cargo la tarea editorial del número especial del “Latin American Applied Research”, que será publicado con 13 de los mejores trabajos presentados a RPIC 2011, traducidos al Inglés y sometidos a nuevo referato internacional. A la fecha de esta presentación se está finalizando con dicha tarea.

### Indicadores de producción

#### Revistas científicas internacionales con referato

Años	2009	2010	2011	2012
Cantidad	2	2	3	3

#### Revistas científicas nacionales con referato

Años	2009	2010	2011	2012
Cantidad		1	1	

#### Publicaciones en actas o proceedings de congresos internacionales con referato

Años	2009	2010	2011	2012
Cantidad	2	3	1	

#### Publicaciones en actas o proceedings de congresos nacionales con referato

Años	2009	2010	2011	2012
Cantidad	6		9	4

#### Libro/s como autor

Años	2009	2010	2011	2012
Cantidad	1			

#### Capítulos de libros

Años	2009	2010	2011	2012
Cantidad		2		

#### Presentaciones a Congresos Nacionales

Años	2009	2010	2011	2012
Cantidad	8		9	2

**Presentaciones a Congresos Internacionales**

Años	2009	2010	2011	2012
Cantidad	2	3	1	1

**Bibliografía**

- [1] SCHLOTTHAUER, G.; TORRES, M. E.; RUFINER, H. L. (2009), Voice Fundamental Frequency Extraction Algorithm Based on Ensemble Empirical Mode Decomposition and Entropies, en: *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering IFMBE'2009 Proceedings*, pp. 984--987.
- [2] COLOMINAS, M. A.; SCHLOTTHAUER, G.; FLANDRIN, P.; TORRES, M. E. (2011), Descomposición empírica en modos por conjuntos completa con ruido adaptativo y aplicaciones biomédicas, en: *XVIII Congreso Argentino de Bioingeniería y VII Jornadas de Ingeniería Clínica*.
- [3] COLOMINAS, M. A.; SCHLOTTHAUER, G.; FLANDRIN, P.; TORRES, M. E. (2011), Descomposición empírica en modos por conjuntos completa con ruido adaptativo y aplicaciones biomédicas, en: *Revista Argentina de Bioingeniería*, 17(2):13-17.
- [4] SCHLOTTHAUER, G.; TORRES, M. E.; RUFINER, H. (2009), A new algorithm for instantaneous  $F_0$  speech extraction based on Ensemble Empirical Mode Decomposition, en: *17th European Signal Processing Conference 2009*, pp. 2347--2351.
- [5] COLOMINAS, M. A.; SCHLOTTHAUER, G.; TORRES, M. E. & FLANDRIN, P. (2012), Noise-Assisted EMD Methods In Action. Enviado a: *Advances in Adaptive Data Analysis*.
- [6] LEONARDUZZI, R. F.; SCHLOTTHAUER, G.; TORRES, M. E. (2010), Wavelet leader based multifractal analysis of heart rate variability during myocardial ischaemia, en: *Proc. 32nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2010)*, pp. 110 -113.
- [7] LEONARDUZZI, R. F.; SCHLOTTHAUER, G.; TORRES, M. E. (2011), Short-time multifractal analysis: application to biological signals, en: *International Journal of Physics: Conference Series* 313:1-8.
- [8] LEONARDUZZI, R. F.; SCHLOTTHAUER, G.; TORRES, M. E. (2011), Efecto de la longitud de la ventana en el análisis multifractal basado en onditas líderes, en: *XIV Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control RPIC 2011 (CD de trabajos completos)*, pp. 701 -- 706.
- [9] ALZAMENDI, G. A.; SCHLOTTHAUER, G.; RUFINER, H. L.; TORRES, M. E. (2011), Desarrollo de un modelo para la síntesis de voz irregular basado en parámetros acústicos, en *CD de trabajos completos XVIII Congreso Argentino de Bioingeniería y VII Jornadas de Ingeniería Clínica*, 28 – 30 de septiembre de 2011, Mar del Plata, Argentina.
- [10] ALZAMENDI, G. A.; SCHLOTTHAUER, G.; RUFINER, H. L.; TORRES, M. E. (2011), Evaluación de un nuevo modelo de síntesis de vocales con perturbaciones en los parámetros acústicos, en: *CD de trabajos completos XIV Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control*, pp. 306-311.
- [11] ALZAMENDI, G. A.; SCHLOTTHAUER, G.; RUFINER, H. L.; TORRES, M. E. (2012), Evaluation of a new model for vowels synthesis with perturbations in acoustic parameters. Enviado a: *Latin American Applied Research*.
- [12] SULAM, J.; SCHLOTTHAUER, G.; TORRES, M. E. (2012), Nonlinear slight parameter changes detection: a forecasting approach, en: *CD de trabajos completos 41 Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa (JAIO) - 13 AST*, pp. 168-179.
- [13] SULAM, J.; SCHLOTTHAUER, G. (2012), Análisis no lineal de series temporales aplicado al estudio de señales de la voz sana y patológica, en: *XX Jornadas de Jovens Pesquisadores da AUGM*.
- [14] JAFFARD, S. (2004), Wavelet techniques in multifractal analysis, en: *Fractal Geometry and Applications: Multifractals, probability and statistical mechanics applications* 72:91-132.

- [15] JAFFARD, S.; LASHERMES, B.; ABRY, P. (2007), Wavelet Leaders in Multifractal Analysis, en: *Wavelet Analysis and Applications*, Birkhäuser, pp. 201-246.
- [16] WENDT, H.; ABRY, P. (2007), Multifractality Tests using Bootstrapped Wavelet Leaders, in: *IEEE Transactions on Signal Processing*, 55(10):4811--4820.
- [17] WENDT, H.; ABRY, P.; JAFFARD, S. (2007), Bootstrap for empirical multifractal analysis, en: *IEEE Signal Processing Magazine* 24(4):38-48.
- [18] JAFFARD, S.; ABRY, P.; WENDT, H. (2012), Irregularities and Scaling in Signal and Image Processing: Multifractal Analysis, en: *Benoit Mandelbrot: A Life in Many Dimensions*, World Scientific Publishing.
- [19] WENDT, H.; ROUX, S. G.; JAFFARD, S.; ABRY, P. (2009), Wavelet leaders and bootstrap for multifractal analysis of images, en: *Signal Processing* 89(6):1100-1114.
- [20] JAFFARD, S.; ABRY, P.; ROUX, S. G. (2011), Function Spaces vs. scaling functions: tools for image classification, en: *Mathematical Image Processing (Springer Proceedings in Mathematics)*, pp. 1:39.
- [21] HUANG, N. E.; SHEN, Z.; LONG, S. R.; WU, M. C.; SHIH, H. H.; ZHENG, Q. et al. (1998), The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis, en: *Proc. R. Soc. Lond. A* 454:903-995.
- [22] HUANG, N. E.; CHERN, C. C.; HUANG, K.; SALVINO, L. W.; LONG, S. R.; FAN, K. L. (2001), A New Spectral Representation of Earthquake Data: Hilbert Spectral Analysis of Station TCU129, Chi-Chi, Taiwan, 21 September 1999, en: *Bulletin of the Seismological Society of America* 91: 1310-1338.
- [23] FLANDRIN, P.; GONÇALVÈS, P. (2004), Empirical mode decomposition as a data-driven wavelet-like expansion, en: *International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing* 2(4):1-20.
- [24] FLANDRIN, P.; RILLING, G.; GONÇALVÈS, P. (2004), Empirical mode decomposition as a filter bank, en: *IEEE Signal Process. Lett.* 11(2):112-114.
- [25] WU, Z.; HUANG, N. E. (2009), Ensemble empirical mode decomposition: A noise-assisted data analysis method, en: *Advances in Adaptive Data Analysis*, 1(1):1--41.
- [26] TORRES, M. E.; COLOMINAS, M. A.; SCHLOTTHAUER, G.; FLANDRIN, P. (2011), A Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with Adaptive Noise, en *Proc. of the 36th Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing ICASSP 2011*, pp. 4144-4147.
- [27] SHARPLEY, R. C.; VATCHEV, V. (2006), Analysis of the Intrinsic Mode Functions, en: *Constructive Approximation*, 24:17-47.
- [28] HUANG, N. E.; WU, Z.; LONG, S. R.; ARNOLD, K. C.; CHEN, X.; BLANK, K. (2009), On Instantaneous Frequency, en: *Advances in Adaptive Data Analysis* 1(2):177-229.
- [29] XU, Y.; ZHANG, H. (2009), Recent Mathematical Developments on Empirical Mode Decomposition, en: *Advances in Adaptive Data Analysis*, 1:681-702.
- [30] DAUBECHIES, I.; LU, J.; WU, H.-T. (2011), Synchrosqueezed wavelet transforms: An empirical mode decomposition-like tool, en: *Applied and Computational Harmonic Analysis*, 30(2): 243-261.
- [31] OBERLIN, T.; MEIGNEN, S.; PERRIER, V. (2012), An Alternative Formulation for the Empirical Mode Decomposition, en: *IEEE Transactions on Signal Processing*, 60(5):2236-2246.
- [32] PUSTELNIK, N.; BORGNAT, P.; FLANDRIN, P. (2012), A multicomponent proximal algorithm for Empirical Mode Decomposition, en: *20th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2012)*, pp. 1880-1884.
- [33] ILIEV, A. I.; SCORDILIS, M. S. (2011), Spoken emotion recognition using glottal symmetry, en: *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, 1-11.
- [34] HURMALAINEN, A.; GEMMEKE, J.; VIRTANEN, T. (2012), Detection, separation and recognition of speech from continuous signals using spectral factorisation, en *European Signal Processing Conference*, pp. 2649-2653.
- [35] PEREIRA, M.; PÁDUA, F.; SILVA, G.; ASSIS, G.; ZENHA, T. (2012), A multimedia information system to support the discourse analysis of video recordings of television programs, en: *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI*.

- [36] ZHAN, W. L.; WANG, J. F. (2012), Voice Activity Detection Based on Nonlinear Processing Techniques, en: *Applied Mechanics and Materials* 198-199:1560-1566.
- [37] ECHTERNACH, M.; SUNDBERG, J.; ZANDER, M. F.; RICHTER, B. (2011), Perturbation measurements in untrained male voices transitions from modal to falsetto register, en: *Journal of Voice*, 25(6):663-669.
- [38] RAJU, N.; PRIYA, T.; MATHINI, S.; PREETHI, P. (2012), Normal versus pathology voice-an analysis, en: *2012 International Conference on Computing, Communication and Applications (ICCCA)*, pp. 1-4.
- [39] FRAJ, S.; SCHOENTGEN, J.; GRENEZ, F. (2012), Development and perceptual assessment of a synthesizer of disordered voices, en: *The Journal of the Acoustical Society of America*, 132(4): 2603-2615.
- [40] GUDNASON, J.; THOMAS, M. R.; ELLIS, D. P.; NAYLOR, P. A. (2012), Data-driven voice source waveform analysis and synthesis, en: *Speech Communication*, 54(2):199-211.
- [41] KOKKINAKIS, K.; LOIZOU, P. (2011), Evaluation of objective measures for quality assessment of reverberant speech, en: *2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 2420 -2423.
- [42] KREIMAN, J.; GERRATT, B. R. (2012), Perceptual interaction of the harmonic source and noise in voice, en: *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(1):492-500.
- [43] TAAL, C. H.; HENDRIKS, R. C.; HEUSDENS, R.; JENSEN, J. (2011), An evaluation of objective measures for intelligibility prediction of time-frequency weighted noisy speech, en: *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(5):3013-3027.
- [44] LOIZOU, P. C. (2011), Speech Quality Assessment, en Weisi Lin; Dacheng Tao; JanuszKacprzyk; Zhu Li; Ebroullzquierdo&Haohong Wang, ed., *Multimedia Analysis, Processing and Communications*, Springer Berlin Heidelberg, , pp. 623-654.
- [45] HERBST, C. T.; FITCH, W. T. S.; SVEC, J. G. (2010), Electroglottographic wavegrams: A technique for visualizing vocal fold dynamics noninvasively, en: *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128(5):3070-3078.
- [46] THOMAS, M.; NAYLOR, P. (2009), The SIGMA Algorithm: A Glottal Activity Detector for Electroglottographic Signals, en: *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing* 17(8):1557-1566.
- [47] ALKU, P. (2011), Glottal inverse filtering analysis of human voice production – A review of estimation and parameterization methods of the glottal excitation and their applications, en: *Sadhana*, 36(5):623-650.
- [48] DEGOTTEX, G.; ROEBEL, A.; RODET, X. (2011), Phase Minimization for Glottal Model Estimation, en: *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 19(5):1080-1090.
- [49] RAITIO, T.; SUNI, A.; PULAKKA, H.; VAINIO, M.; ALKU, P. (2011), Utilizing glottal source pulse library for generating improved excitation signal for HMM-based speech synthesis, en: *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2011)*, pp. 4564 --4567.
- [50] KAFENTZIS, G.; STYLIANOU, Y. & ALKU, P. (2011), Glottal inverse filtering using stabilised weighted linear prediction, in '2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)', pp. 5408 --5411.
- [51] LI, H.; SCAIFE, R.; DARRAGH O'BRIEN, D. (2012), Automatic LF-Model Fitting to the Glottal Source Waveform by Extended Kalman Filtering, en: *20th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2012)*, pp. 2772 -- 2776.
- [52] LI, H.; SCAIFE, R.; DARRAGH O'BRIEN, D. (2011), LF model based glottal source parameter estimation by extended Kalman filtering, en: *22nd IET Irish Signals and Systems Conference (ISSC 2011)*, pp. 4564 --4567.
- [53] BABLOYANTZ, A.; DESTEXHE, A. (1986), Low-dimensional chaos in an instance of epilepsy, en: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 83(10):3513-3517.
- [54] LE VAN QUYEN, M.; MARTINERIE, J.; NAVARRO, V.; BOON, P.; D'HAVÉ, M.; ADAM, C.; et al. (2003), Anticipation of epileptic seizures from standard EEG recordings, en: *Lancet*, 361(9361):971.

- [55] IASEMIDIS, L. D.; SHIAU, D.-S.; PARDALOS, P. M.; CHAOVALITWONGSE, W.; NARAYANAN, K.; PRASAD, A.; *et al.* (2005), Long-term prospective on-line real-time seizure prediction, en: *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 116(3):532-44.
- [56] TORRES, M.; AÑINO, M.; SCHLOTTHAUER, G. (2003), Automatic detection of slight parameter changes associated to complex biomedical signals using multiresolution q-entropy, en: *Medical Engineering & Physics*, 25(10):859-867.
- [57] AÑINO, M.; TORRES, M.; SCHLOTTHAUER, G. (2003), Slight parameter changes detection in biological models: a multiresolution approach, en: *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 324(3-4):645-664.
- [58] BLANCO, J. A.; STEAD, M.; KRIEGER, A.; VIVENTI, J.; MARSH, W. R.; LEE, K. H.; *et al.* (2010), Unsupervised classification of high-frequency oscillations in human neocortical epilepsy and control patients, en: *Journal of neurophysiology*, 104(5):2900-2912.
- [59] CRÉPON, B.; NAVARRO, V.; HASBOUN, D.; CLEMENCEAU, S.; MARTINERIE, J.; BAULAC, M.; *et al.* (2010), Mapping interictal oscillations greater than 200 Hz recorded with intracranial macroelectrodes in human epilepsy, en: *Brain: a journal of neurology*, 133(Pt 1):33-45.
- [60] OSORIO, I.; LYUBUSHIN, A.; SORNETTE, D. (2011), Toward a probabilistic definition of seizures, en: *Epilepsy & behavior: E&B*, 22(1):S18-28.
- [61] VALDERRAMA, M.; ALVARADO, C.; NIKOLOPOULOS, S.; MARTINERIE, J.; ADAM, C.; NAVARRO, V.; *et al.* (2012), identifying an increased risk of epileptic seizures using a multi-feature EEG-ECG classification, en: *Biomedical Signal Processing and Control*, 7(3):237-244.
- [62] SHOEB, A.; EDWARDS, H.; CONNOLLY, J.; BOURGEOIS, B.; TREVES, S. T.; GUTTAG, J. (2004), Patient-specific seizure onset detection, en: *Epilepsy & behavior: E&B*, 5(4):483-498.
- [63] WILLIAMSON, J. R.; BLISS, D. W.; BROWNE, D. W.; NARAYANAN, J. T. (2012), Seizure prediction using EEG spatiotemporal correlation structure, en: *Epilepsy & behavior: E&B*, 25(2):230-238.
- [64] YUAN, Q.; ZHOU, W.; LIU, Y.; WANG, J. (2012), Epileptic seizure detection with linear and nonlinear features, en: *Epilepsy & behavior: E&B*, 24(4): 415-421.
- [65] SONG, Y.; CROWCROFT, J.; ZHANG, J. (2012), Automatic epileptic seizure detection in EEGs based on optimized sample entropy and extreme learning machine, en: *Journal of Neuroscience Methods*, 210:132-146.
- [66] SCHUBERT, C.; LAMBERTZ, M.; NELESEN, R.; BARDWELL, W.; CHOI, J.-B.; DIMSDALE, J. (2009), Effects of stress on heart rate complexity. A comparison between short-term and chronic stress, en: *Biological Psychology*, 80(3):325-332.
- [67] ARIAS-LONDOÑO, J. D.; GODINO-LLORENTE, J. I.; SÁENZ-LECHÓN, N.; OSMA-RUIZ, V.; CASTELLANOS-DOMÍNGUEZ, G. (2011), Automatic detection of pathological voices using complexity measures, noise parameters, and mel-cepstral coefficients, en: *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 58(2):370-379.
- [68] ANDERSON, C.; COHEN, W. (2012), Measuring word complexity in speech screening: single-word sampling to identify phonological delay/disorder in preschool children, en: *International Journal of Language & Communication Disorders*, 47(5):534-541.
- [69] YAN, J.-J.; WANG, Y.-Q.; GUO, R.; ZHOU, J.-Z.; YAN, H.-X.; XIA, C.-M.; *et al.* (2012), Nonlinear analysis of auscultation signals in TCM using the combination of wavelet packet transform and sample entropy, en: *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*.
- [70] KRAUSERT, C. R.; LIANG, Y.; ZHANG, Y.; RIEVES, A. L.; GEURINK, K. R.; JIANG, J. J. (2012), Spatio-temporal analysis of normal and pathological human vocal fold vibrations, en: *American Journal of Otolaryngology - Head and Neck Medicine and Surgery* 33(6):641-649.
- [71] YAN, N.; NG, M. L.; WANG, D.; CHAN, V.; ZHANG, L. (2011), Nonlinear dynamics of voices in esophageal phonation, en: *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, pp. 2732-2735.

- [72] CHOI, S. H.; ZHANG, Y.; JIANG, J. J.; BLESS, D. M.; WELHAM, N. V. (2012), Nonlinear dynamic-based analysis of severe dysphonia in patients with vocal fold scar and sulcus vocalis, en: *Journal of Voice*, 26(5):566-576.
- [73] LITTLE, M. A.; COSTELLO, D. A. E.; HARRIES, M. L. (2011), Objective dysphonia quantification in vocal fold paralysis: Comparing nonlinear with classical measures, en: *Journal of Voice* 25(1):21-31.