



Análisis, procesamiento y modelización de señales y sistemas biomédicos

Gastón Schlotthauer

AUTOR: Laboratorio de Señales y Dinámicas no Lineales, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos, (3100) Oro Verde, Entre Ríos, Argentina.

CONTACTO: gschlotthauer@conicet.gov.ar gschlott@ingenieria.uner.edu.ar

Resumen

Las señales biomédicas, tales como el electrocardiograma, electroencefalograma o la señal de voz, tienen en común características de no estacionariedad y no linealidad. En muchas aplicaciones, sin embargo, se supone que se trata de señales estacionarias procedentes de sistemas lineales. Esta simplificación puede considerarse como una hipótesis de trabajo válida sólo como una aproximación que permite la aplicación de las técnicas clásicas de procesamiento de señales. No obstante, es conocido que los trastornos que afectan a uno o más órganos pueden detectarse mediante un correcto análisis de las señales en cuya producción están involucrados. Es aquí donde debe prestarse especial atención a que las señales provenientes de sistemas con alguna patología se alejan aún más de las condiciones hipotéticas de estacionariedad y linealidad. Por esta razón resulta necesario el abordaje de las señales biomédicas mediante herramientas de análisis de señales en un marco que considere las condiciones de no estacionariedad y no linealidad. Basándonos en los antecedentes del grupo de trabajo en técnicas tales como teoría de la información, transformada ondita, descomposición empírica en modos, análisis multifractal, reconocimiento de patrones e inteligencia computacional, se propone el desarrollo de nuevas técnicas que ayuden al abordaje de este problema.

Palabras clave: señales biomédicas, no estacionariedad, multifractal, descomposición empírica en modos.

Objetivos propuestos y cumplidos

Objetivos generales

Los objetivos generales de este proyecto formulados en su presentación son:

1. *Contribuir al desarrollo de técnicas de modelización y análisis de señales reales, principalmente ligadas a problemas biomédicos, en condiciones de ruido, no linealidad o no estacionariedad.*

Este objetivo ha sido largamente cumplido, como puede verificarse en la sección de “síntesis de resultados y conclusiones”.

2. *Consolidar el desarrollo de grupos de trabajo interdisciplinarios a nivel nacional e internacional en la temática motivo del proyecto.*

En virtud de la ejecución de este proyecto se ha trabajado en colaboración con investigadores y grupos nacionales y del extranjero. Hemos realizado publicaciones con referato internacional en revistas indexadas con los siguientes investigadores: Patrice Abry y S. G. Roux (ENS Lyon - CNRS, Francia), Hugo L. Rufiner, Leandro Vignolo, Leandro Di Persia y Diego Milone (SINC, UNL-CONICET, Argentina), Andrés Antico (UNL- CONICET, Argentina), Luis Darío Larrateguy (Paraná, Argentina), S. Jaffard (Univ. Paris Est - CNRS, Francia), C. Melot (Aix Marseille Université, CNRS, Francia), H. Wendt (Univ. Toulouse, Francia), Juliana Codino (UBA, Argentina), Adam Rubin y Cristina Jackson-Menaldi (School of Medicine, Wayne State University, USA), Anne Humeau-Heurtier (Univ. Angers, LARIS, Francia), Maxime Etienne, Ludovic Martin y Pierre Abraham, (Univ. Angers y Hospital de Angers, Francia), RajibSharma y SRM Prasanna (Instituto Indio de Tecnología, Guwahati, India), y otros. Este objetivo se considera cumplido.

3. *Formar recursos humanos en el análisis de señales no lineales y no estacionarias.*

Durante la ejecución de este proyecto hemos logrado formar dos becarios de iniciación a la investigación (UNER), y dos becarios del CIN. Además se han dirigido tres tesinas de grado de la carrera Bioingeniería, dos de ellas defendidas y aprobadas durante el desarrollo del PID. Se han dirigido tres pasantías (Pasantías Profesionales Supervisadas, PPS), acreditadas a la carrera Bioingeniería. Se han dirigido cinco becarios doctorales CONICET y siete tesis doctorales (Alzamendi, Casal, Codino, Colominas, Nicolet, Leonarduzzi y Restrepo). De ellas, cuatro tesis doctorales se han defendido y aprobado durante el transcurso del PID 6136. Se han obtenido tres becas postdoctorales y dos becas doctorales a iniciarse en 2017. Este objetivo se considera cumplido.

Los siguientes objetivos específicos fueron propuestos en la formulación del PID motivo de este informe:

1. Construir modelos que permitan la simulación de las señales de interés.
2. Representar, caracterizar y clasificar señales.
3. Extraer características de utilidad para la clasificación, caracterización o segmentación.
4. Segmentar y/o etiquetar automáticamente señales.
5. Reducir ruido de señales no estacionarias

Marco teórico y metodológico

Se consideró que la atención debía estar enfocada sobre señales de la fisiología humana, tales como voz, electroglotograma (EGG), electrocardiograma (ECG), electroencefalograma (EEG), flujo respiratorio, etc., no siendo éstas excluyentes. A pesar de sus diferencias, el análisis y tratamiento de estas señales enfrentan dificultades similares. Por tal motivo el proyecto de investigación se desarrolló conforme a los tres ejes problemáticos siguientes:

- i) No estacionariedad: análisis y modelización dependientes del tiempo,
- ii) Multifractalidad e invarianza de escala,
- iii) Extracción de la información oculta en las señales.

Durante este proyecto se realizó investigación básica orientada a desarrollar nuevas técnicas demandadas por las aplicaciones. Por tal motivo, la metodología incluyó tanto el desarrollo algorítmico como la pertinente discusión teórica y simulación computacional, según haya correspondido. Como es propio de este tipo de investigación y de manera general, se integraron adecuadamente tareas ligadas a considerar el análisis teórico, el desarrollo de algoritmos, el estudio de casos paradigmáticos, la experimentación con señales sintetizadas y la aplicación a señales reales en diferentes condiciones. Oportunamente, los resultados parciales sugirieron la necesidad de regresar a etapas anteriores y realizar los ajustes necesarios.

La revisión y actualización bibliográfica fue una tarea constante durante todo el desarrollo del proyecto. Esto se complementó con seminarios internos de discusión y puesta al día de todos los integrantes del grupo. Como es habitual, la difusión de los resultados de las investigaciones realizadas y la discusión con la comunidad de pares se llevó a cabo mediante publicaciones científicas, presentaciones en congresos, cursos y seminarios.

El análisis teórico consiste en la formulación de un marco conceptual, junto al estudio y análisis de las propiedades básicas de las técnicas propuestas. Mediante el desarrollo e implementación de los algoritmos se exploraron distintas alternativas de adecuación de las técnicas a problemas o situaciones particulares preestablecidas.

Se adaptaron métodos de eficiencia comprobada en este tipo de problemas y, preferentemente, se introdujeron aportes novedosos en el área que permitieron proveer una solución a la medida de los problemas planteados. En esta etapa la metodología resultó de superponer los estudios teóricos necesarios con los desarrollos computacionales que permitieron implementar las técnicas propuestas. Es de destacar que, en general, los códigos computacionales resultan extensos y dificultosos, requiriendo sucesivos ajustes, ya que deben atenderse simultáneamente los requerimientos impuestos por las teorías matemáticas involucradas, las restricciones computacionales, numéricas y las propias del tipo de problema en el cual se aplican.

La experimentación se planteó en etapas de complejidad creciente. Se comenzó con ejemplos sencillos que permitieron observar, en situaciones controladas, el comportamiento de la técnica propuesta y su valoración, permitiendo inferir algunas de sus propiedades básicas. A los efectos de aumentar gradualmente la complejidad del tipo de señales con las que se trabaja, y previo a la aplicación en señales reales, se realizaron experimentos con señales sintetizadas, generadas a partir de modelos de los sistemas en cuestión (físicos o biológicos). Esto permitió mantener el control de las condiciones de experimentación y de los parámetros del modelo, haciendo posible la discusión del comportamiento de la técnica y la selección de sus parámetros.

Síntesis de resultados y conclusiones

En el aspecto científico técnico los resultados de la investigación durante el período informado incluyen:

- La elaboración de un algoritmo de selección automática del rango de escalas a ser utilizado en el análisis multifractal de señales. Anteriormente esto debía ser realizado por el usuario individualmente para cada señal a analizar [1].
- La extensión del análisis multifractal basado en ondas líderes al análisis multifractal basado en p-líderes [19], y aplicaciones a señales biomédicas, en particular a la variabilidad de la frecuencia cardíaca de fetos durante el parto [22].

- La utilización del análisis multifractal basado en p-líderes para el estudio de regularidades puntuales negativas y su relación con el análisis de fluctuaciones con remoción de tendencia (detrended fluctuation analysis, DFA) [10, 11].
- La utilización del análisis multifractal para caracterizar secuencias de períodos y amplitudes de vocales sostenidas tanto en casos normales como patológicos. Esto permitió sostener la validez de un modelo multifractal de estas señales que permite caracterizarlas. También hizo posible que podamos separar las provenientes de individuos sanos de aquellas procedentes de personas con algún trastorno de la voz [6, 34].
- La propuesta de una mejora en el algoritmo de descomposición empírica en modos completa con ruido adaptativo que ha permitido reconstrucciones sin ruido y reducción en la cantidad de modos obtenidos, evitando modos espurios, además de una aceleración en el cómputo [2, 32] y su aplicación a señales biomédicas [20]. Los desarrollos en estos métodos realizados por nuestro grupo han impactado en diversas disciplinas obteniendo más de 400 citas al momento de este informe.
- La estimación del índice de apneas e hipopneas por hora a partir de señales de oximetría de pulso, como reemplazo del costoso estudio de polisomnografía utilizando descomposición empírica en modos de la señal de saturación de oxígeno en sangre [3].
- El estudio de la variabilidad hidroclimática de las cuencas de los ríos Paraná y Amazonas mediante descomposición empírica en modos por conjuntos con ruido adaptativo (CEEMDAN, por sus iniciales en inglés), técnica desarrollada en nuestro laboratorio [5, 9, 12, 27, 28, 29, 37, 38, 39].
- La propuesta de un nuevo abordaje a la descomposición empírica en modos a partir de un enfoque basado en optimización sin restricciones. Esta nueva técnica se presentó para señales unidimensionales [7] y luego fue extendida al análisis de imágenes [14]. En cuanto a las aplicaciones, hemos obtenido resultados exitosos en el estudio de imágenes provenientes de pacientes con pseudoxantoma elástico, un trastorno hereditario del tejido conectivo que se caracteriza por una calcificación progresiva y fragmentación de las fibras elásticas de la piel, retina y paredes vasculares arteriales [16].
- Una nueva formulación de la descomposición empírica en modos, esta vez analizada a través de la representación tiempo-escala de las señales [26].
- El estudio de las diversas formas de analizar la señal de la voz de forma adaptativa, en componentes modulados en amplitud y frecuencia, mediante la descomposición empírica en modos [17].
- La utilización conjunta de la máxima entropía aproximada y el radio r en el que éste ocurre para detectar cambios de regularidad en señales y su aplicación a la clasificación de voces normales y patológicas [4, 21, 31, 33].
- La formulación de un modelo estructural en espacio de estados que representa las diversas perturbaciones del período fundamental y amplitud en señales de vocales sostenidas. Este modelo permite estudiar los diferentes componentes de las series temporales de períodos y amplitudes extraídas de vocales sostenidas. Esto ha hecho posible la separación entre las componentes: puramente aleatoria, cíclica y de tendencia, cada una de las cuales se relaciona con un factor fisiológico o fisiopatológico determinado [8,23, 30].
- La detección de actividad vocal y su evaluación a partir de señales de voz, electroglotograma y otras señales relacionadas [24].
- La construcción de un modelo en espacio de estados que permite, a partir de señales de vocales sostenidas, extraer de forma simultánea los parámetros del filtro autorregresivo que caracteriza al tracto vocal de manera instantánea y una muy buena estimación de la fuente glótica simultáneamente [18, 25]. La propuesta fue validada a través de simulaciones y comprobada en señales reales.
- El desarrollo de un método automático de análisis de señales de electroglotograma con aplicaciones en fonología [13, 36, 40]. Este trabajo incluye la elaboración de una base de datos conteniendo

do adquisiciones simultáneas y sincronizadas de voz, electroglotograma y señales relacionadas, mientras el sujeto produce fonaciones de vocales sostenidas y de texto leído fonéticamente balanceado.

- La elaboración de un algoritmo de detección automática de crisis epilépticas en señales de electroencefalografía [35].
- La construcción de un novedoso conjunto de estimadores de dimensión de correlación, entropía y nivel de ruido de series temporales caóticas y el análisis de su relación con la teoría de resonancia estocástica. En este sentido se ha logrado construir un marco que generaliza propuestas anteriores y se propone una nueva estrategia particular, logrando resultados superiores o iguales a los ya existentes [15].

A estos resultados de carácter científico, debemos agregar los obtenidos en cuanto a la formación de recursos humanos. Durante este segundo período se han obtenido los siguientes logros:

- Predefensa del tema de tesis doctoral del Bioingeniero Marcelo Alejandro Colominas en la carrera de Doctorado en Ingeniería, mención en Inteligencia Computacional, Señales y Sistemas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral. Director: Dr. G. Schlotthauer. Codirectora: Dra. María E. Torres. Título del tema de tesis: “Métodos guiados por los datos para el análisis de señales”. Fecha de aprobación: 24 de septiembre de 2015. Esta predefensa es un requisito que debe ser cumplimentado previamente a la defensa de tesis.
- Aprobación del Proyecto Final de la carrera Bioingeniería “Desarrollo de Algoritmos para Estimación de Frecuencia Cardíaca a Partir de Señales de Fotoplethismografía” de Bioing. Ramiro Casal. Director: Bioing. Marcelo Alejandro Colominas. Nota: Sobresaliente – Diez (10). 11 de diciembre de 2015.
- El Bioing. Ramiro Casal obtuvo beca doctoral CONICET a partir del 1° de abril de 2016 con la dirección del Dr. Gastón Schlotthauer y con lugar de trabajo en el Laboratorio de Señales y Dinámicas no Lineales, dependiente de la Facultad de Ingeniería de la UNER y en el Centro de Investigaciones y Transferencia de Entre Ríos, CITER (UNER – CONICET).
- El Bioing. Ariel Stassi obtuvo beca doctoral CONICET a partir del 1° de abril de 2016 con la dirección del Dr. Gastón Schlotthauer y con lugar de trabajo en el Laboratorio de Señales y Dinámicas no Lineales, dependiente de la Facultad de Ingeniería de la UNER y en el Centro de Investigaciones y Transferencia de Entre Ríos, CITER (UNER – CONICET).
- El Bioing. Gabriel Alejandro Alzamendi obtuvo beca posdoctoral CONICET a partir del 1° de abril de 2016 con la dirección del Dr. Gastón Schlotthauer y con lugar de trabajo en el Laboratorio de Señales y Dinámicas no Lineales, dependiente de la Facultad de Ingeniería de la UNER.
- El Ing. Biomédico Juan Felipe Restrepo Rinckoar obtuvo beca posdoctoral CONICET a partir del 1° de abril de 2016 con la dirección del Dr. Gastón Schlotthauer y con lugar de trabajo en el Laboratorio de Señales y Dinámicas no Lineales, dependiente de la Facultad de Ingeniería de la UNER.
- El Bioing Alzamendi y coautores recibieron la invitación a enviar una versión extendida de la publicación en el congreso MAVEBA a la revista científica indexada con referato Biomedical Signal Processing and Control (Elsevier).
- Se aceptó el plan de tesis doctoral del Bioing. Jonathan Nicolet al Comité Académico del Doctorado en Ingeniería de la Universidad Nacional de Entre Ríos.

Indicadores de producción

Los resultados del proyecto se han plasmado en:

- dieciocho (18) publicaciones en revistas científicas indexadas en Thomson Reuters con referato internacional y buen factor de impacto;
- ocho (8) publicaciones de artículo completo en proceeding de congresos internacionales con referato;
- tres (3) publicaciones de resúmenes en proceedings de congresos internacionales con referato;
- nueve (9) publicaciones de artículos completos en actas de congresos nacionales con referato;
- una (1) publicación de resumen en acta de congresos nacionales con referato;
- una (1) presentación en congreso internacional sin publicación en actas.

Bibliografía

- [1]Roberto F. Leonarduzzi, María E. Torres, Patrice Abry, “Scaling range automated selection for wavelet leader multifractal analysis”, *Signal Processing*, Vol 105, pp 243 – 257, ISSN:0165-1684, Factor de impacto: 2,238. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2014.06.002>
- [2]Marcelo A. Colominas, Gastón Schlotthauer, María E. Torres “Improved complete ensemble EMD: a suitable tool for biomedical signal processing”, *Biomedical Signal Processing and Control*, Vol. 14, pp. 19 – 29, ISSN: 1746 – 8094, Factor de impacto: 1,532. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2014.06.009>
- [3]Gastón Schlotthauer, Leandro E. Di Persia, Luis D. Larrateguy, Diego H. Milone, “Screening of obstructive sleep apnea with empirical mode decomposition of pulse oximetry”, *Medical Engineering and Physics*, Vol. 36, pp. 1074 – 1080, ISSN: 1350-4533, Factor de impacto: 1,839. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2014.05.008>
- [4]Juan Felipe Restrepo, Gastón Schlotthauer, María E. Torres, “Maximum approximate entropy and r threshold: a new approach for regularity changes detection”, *Physica A*, Vol. 409, pp. 97 – 109, ISSN: 0378-4371. Factor de impacto: 1,722. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2014.04.041>
- [5]Andrés Antico, Gastón Schlotthauer, María E. Torres, “Analysis of hydroclimatic variability and trends using a novel empirical mode decomposition: Application to the Paraná river basin”, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 119, pp. 1218-1233, ISSN: 0148-0227, Factor de impacto: 3,44. DOI: <https://doi.org/10.1002/2013JD020420>
- [6]Roberto F. Leonarduzzi, Gabriel A. Alzamendi, Gastón Schlotthauer, María E. Torres, “Wavelet leader multifractal analysis of period and amplitude sequences from sustained vowels”, *Speech Communication*. Vol 72, pp. 1 – 12, ISSN: 0167 – 6393. Factor de impacto: 1,256. 2015.
- [7]Marcelo A. Colominas, Gastón Schlotthauer, María E. Torres “An unconstrained optimization approach to empirical mode decomposition”, *Digital Signal Processing*, Vol. 40, pp. 164 – 175, ISSN: 1051 – 2004, Factor de impacto: 1,495. <http://doi.org/10.1016/j.dsp.2015.02.013>
- [8]Gabriel A. Alzamendi, Gastón Schlotthauer, María E. Torres. “State-space approach to structural representation of perturbed pitch period sequences in voice signals”. *Journal of Voice*. Vol. 29, pp. 682 – 692, ISSN 0892-1997, Factor de impacto: 1,242. 2015.
- [9]Andrés Antico, María E. Torres. “Evidence of a decadal solar signal in the Amazon River: 1903 to 2013”. *Geophysical Research Letters*. Vol. 42, issue 24, pp. 10782 – 10787, ISSN: 1944-8007. Impact Factor: 4,196. 2015.
- [10]Stephane Jaffard, C. Melot, Roberto Leonarduzzi, H. Wendt, P. Abry, S. G. Roux, María Eugenia Torres. “p-exponent and p-leaders, Part I: Negative pointwise regularity”, *Physica A. Statistical Mechanics and Applications*. Vol. 448, pp. 300 – 318, ISSN 0378 – 4371, Factor de impacto: 1,732. 2016.

- [11]Roberto Leonarduzzi, H. Wendt, P. Abry, S. Jaffard, C. Melot, S. G. Roux, María E. Torres. “p-exponent and p-leaders, Part II: Multifractal analysis. Relations to detrended fluctuation analysis”, *Physica A. Statistical Mechanics and Applications*. Vol. 448, pp. 319 – 339, ISSN 0378 – 4371, Factor de impacto: 1,732. 2016.
- [12]Andrés Antico, María E. Torres, Henry F. Díaz. “Contributions of different time scales to extreme Paraná floods”. *Climate Dynamics*. Vol. 46, pp. 3785 – 3792, ISSN: 0930-7575. Factor de impacto: 4,673. <http://link.springer.com/article/10.1007/s00382-015-2804-x>. 2016.
- [13]Juliana Codino, María E. Torres, Adam Rubin, Cristina Jackson-Menaldi. “Automated electroglottographic inflection events detection. A pilot study”. *Journal of Voice*. Vol. 30, pp. 768.e1 – 768.e10. ISSN 0892-1997, Factor de impacto: 1,242. 2016.
- [14]Marcelo A. Colominas, Anne Humeau-Heurtier, Gastón Schlotthauer. “Orientation-independent empirical mode decomposition for images based on unconstrained optimization”, *IEEE Transactions on Image Processing*. Vol. 25, pp. 2288-2297. ISSN: 1057-7149. Factor de impacto: 3,625. 2016.
- [15]Juan Felipe Restrepo Rinckoar, Gastón Schlotthauer. “Noise assisted estimation of attractors’ invariants”. *Physical Review E*. Vol 94, pp.012212, ISSN: 1539 – 3755. Factor de impacto: 2,29. 2016.
- [16]Anne Humeau-Heurtier, Marcelo A. Colominas, Gastón Schlotthauer, Maxime Etienne, Ludovic Martin, Pierre Abraham. “Bidimensional unconstrained optimization approach to EMD: An algorithm revealing skin perfusion alterations in pseudoxanthoma elasticum patients”, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. ISSN: 0169-2607. Factor de impacto: 1,862. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmpb.2016.12.016>. Aceptado en 2016.
- [17]Rajib Sharma, Leandro Vignolo, Gastón Schlotthauer, MA Colominas, H Leonardo Rufiner, SRM Prasanna. “Empirical Mode Decomposition for adaptive AM-FM analysis of Speech: A Review”, *Speech Communication*. ISSN: 0167-6393, Factor de impacto: 1,038. Aceptado en 2016.
- [18]Gabriel A Alzamendi, Gastón Schlotthauer. “Modeling and joint estimation of glottal source and vocal tract filter by state-space methods”, *Biomedical Signal Processing and Control*. ISSN: 1746-8094, Factor de impacto: 1,521. Aceptado en 2016.
- [19]Roberto F. Leonarduzzi, Herwig Wendt, Stephane Jaffard, Stephane G. Roux, María E. Torres, Patrice Abry, “Extending multifractal analysis to negative regularity p-exponents and p-leaders”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 305 – 309, ISBN: 978-1-4799-2893-4, 4 al 9 de mayo de 2014, Florencia, Italia.
- [20]Marcelo A. Colominas, Gastón Schlotthauer, María E. Torres, “Complete Ensemble EMD and Hilbert transform for heart beat detection”, *Proc. del VI Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica CLAIB 2014*, pp. 677-680, 29 – 31 de octubre de 2014, Paraná, Argentina.
- [21]Juan F. Restrepo, Gastón Schlotthauer, María Eugenia Torres, “Maximum approximate entropy for normal and pathological voices classification”, *Proc. del VI Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica CLAIB 2014*, pp. 748-751, 29 – 31 de octubre de 2014, Paraná, Argentina.
- [22]Roberto F. Leonarduzzi, J. Spilka, H. Wendt, S. Jaffard, M. E. Torres, P. Abry, M. Doret, “p-leader based classification of first stage intrapartum fetal HRV”, *Proc. del VI Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica CLAIB 2014*, pp. 669-672, 29 – 31 de octubre de 2014, Paraná, Argentina.
- [23]Gabriel A. Alzamendi, Gastón Schlotthauer, M. E. Torres, “A new method for structural analysis of perturbed pitch period series”, *Proc. del VI Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica CLAIB 2014*, pp. 744-747, 29 – 31 de octubre de 2014, Paraná, Argentina.
- [24]Ariel E. Stassi, Gabriel A. Alzamendi, Gastón Schlotthauer, María E. Torres, “Vocal fold activity detection from speech related biomedical signals: a preliminary study”, *Proc. del VI Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica CLAIB 2014*, pp. 772-775, 29 – 31 de octubre de 2014, Paraná, Argentina.

- [25] Gabriel A. Alzamendi, Gastón Schlotthauer, María E. Torres. "Formulation of a stochastic glottal source model inspired on deterministic Liljencrants-Fant model", *Models and analysis of vocal emissions for biomedical applications: 9th international workshop. Proceedings and Report. MAVEBA 2015*, pp. 17 – 20, 2 – 4 de septiembre de 2015, Florencia, Italia. Firenze University Press. ISBN: 978-88-6655-792-0. 2015.
- [26] Marcelo A. Colominas, Gastón Schlotthauer. "Empirical Mode Decomposition in a Time-Scale Framework", *24th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, pp. 155-159, 29 de agosto al 2 de septiembre de 2016, Budapest, Hungría. ISBN: 978-0-9928-6265-7. 2016.
- [27] Andrés Antico, María E. Torres, Henry F. Diaz. "Anatomies of extreme Paraná River floods: contributions of different time scales"(poster), *Libro de resúmenes del 11th International Conference on Southern Hemisphere - Meteorology and Oceanography (ICSHMO 2015)*, p. 38, 5 – 9 de octubre de 2015, Santiago, Chile. 2015.
- [28] Andrés Antico, María E. Torres. "Amazon River and decadal solar cycle: are they linked?"(poster), *Libro de resúmenes del 11th International Conference on Southern Hemisphere - Meteorology and Oceanography (ICSHMO 2015)*, p. 252, 5 – 9 de octubre de 2015, Santiago, Chile. 2015.
- [29] Andrés Antico, R. O. Aguiar, Mario K. Amsler, María E. Torres. "Extending Paraná river hydrometric data back to 1884" (poster), *Libro de resúmenes del 11th International Conference on Southern Hemisphere - Meteorology and Oceanography (ICSHMO 2015)*, p. 251, 5 – 9 de octubre de 2015, Santiago, Chile. 2015.
- [30] Gabriel A. Alzamendi, Gastón Schlotthauer, María E. Torres, "Análisis de secuencias de períodos de la voz mediante modelos en espacio de estados", *Proc. de la XV Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control RPIC 2013*, pp. 421 - 426, 16 al 20 de septiembre de 2013, Bariloche, Argentina.
- [31] Juan Felipe Restrepo, Gastón Schlotthauer, María E. Torres, "Regularity changes detection using maximum approximate entropy and particle swarm optimization", *Proc. de la XV Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control RPIC 2013*, pp. 475 - 480, 16 al 20 de septiembre de 2013, Bariloche, Argentina.
- [32] Marcelo A. Colominas, Gastón Schlotthauer, María E. Torres, "Análisis de señales asistido por ruido: mejoras al método de EMD por conjuntos completa", *Proc. de la XV Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control RPIC 2013*, pp. 463 - 468, 16 al 20 de septiembre de 2013, Bariloche, Argentina.
- [33] Juan Felipe Restrepo Rincoar, Gastón Schlotthauer y María E. Torres, "Máxima entropía aproximada y cambios de regularidad", *XIX Congreso Argentino de Bioingeniería y VIII Jornadas de Ingeniería Clínica SABI 2013*, 4 – 6 de septiembre de 2013, San Miguel de Tucumán, Argentina.
- [34] Roberto F. Leonarduzzi, Gabriel A. Alzamendi, Gastón Schlotthauer, María E. Torres, "Análisis multifractal de las secuencias de períodos y amplitudes de la voz: resultados preliminares", *XIX Congreso Argentino de Bioingeniería y VIII Jornadas de Ingeniería Clínica SABI 2013*, 4 – 6 de septiembre de 2013, San Miguel de Tucumán, Argentina.
- [35] Jeremias Sulam, Gastón Schlotthauer y María E. Torres, "Evaluación de un nuevo algoritmo para la detección específica de crisis de epilepsia en EEG", *XIX Congreso Argentino de Bioingeniería y VIII Jornadas de Ingeniería Clínica SABI 2013*, 4 – 6 de septiembre de 2013, San Miguel de Tucumán, Argentina.
- [36] Juliana Codino, María Cristina Jackson-Menaldi, Adam Rubin, María Eugenia Torres. "Análisis automatizado de eventos electroglotográficos. Una prueba piloto". *XX Congreso Argentino de Bioingeniería y IX Jornada de Ingeniería Clínica*. CD de trabajos completos. SABI 2015, pp. 78 – 85, 28 – 30 de octubre de 2015, San Nicolás, Argentina. Sociedad Argentina de Bioingeniería. ISBN: 978-950-42-0166-3. 2015.

- [37] Andrés Antico, Gastón Schlotthauer y María Eugenia Torres, “Análisis de la variabilidad hidro-climática de la cuenca del Paraná mediante un nuevo método de descomposición modal empírica”, *Memorias del II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras*, 23 – 26 de septiembre de 2014, Santa Fe, Argentina. Disponible en línea en <https://www.dropbox.com/s/gob6864ruk6i8cd/Hidrollanuras%202014%20-%20Material%20interactivo.zip?dl=0>
- [38] Andrés Antico, María E. Torres, Henry F. Diaz. “Crecidas extremas del Paraná de 1983 y 1998; contribuciones de distintas escalas temporales”. *XXV Congreso Nacional del Agua*. Ministerio de Planeamiento, Infraestructura y Servicios de Entre Ríos, Dirección de Hidráulica de Entre Ríos, Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Entre Ríos. ISBN: 978-987-27407-4-0. 2015.
- [39] Andrés Antico, Gastón Schlotthauer, María Eugenia Torres, “Análisis de la variabilidad hidro-climática mediante un nuevo método de descomposición modal empírica: aplicación a la cuenca del Paraná”, *Actas de la XXVII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas*, 10 – 14 de noviembre de 2014, San Juan, Argentina.
- [40] Juliana Codino, María Eugenia Torres, Adam Rubin, Cristina Jackson-Menaldi, “Automated electroglottographic shape analysis: a pilot study”, *43rd Annual Symposium of the Voice Foundation*, 28 de mayo – 1 de junio de 2014, Filadelfia, EE.UU.

PID 6136 Denominación del Proyecto

Análisis, procesamiento y modelización de señales y sistemas biomédicos

Director del proyecto

SCHLOTTHAUER, Gastón

Unidad Ejecutora

Facultad de Ingeniería (UNER)

Dependencia

Universidad Nacional de Entre Ríos

Cátedras Área o disciplina científica

Laboratorio de Señales y Dinámicas no Lineales

Contacto

gschlotthauer@conicet.gov.ar gschlott@ingenieria.uner.edu.ar

Integrantes del Proyecto

ALZAMENDI, Gabriel A.; COLOMINAS, Marcelo A.; RESTREPO RINCKOAR
Juan F.; DI PERSIA, Leandro E.; CASAL, Ramiro;
LEONARDUZZI Roberto F.; NICOLET, Jonathan J.;
TORRES, María Eugenia; CODINO, Maria J. (colaborador)

Fechas de iniciación y de finalización efectivas

10/07/2013 y 30/12/2016

Aprobación del Informe Final por Resolución CS N°327/17 (01/11/2017)

«« [VOLVER AL INICIO](#)