

Matemática Aplicada, Computacional e Industrial

MACI

Vol. 7
2019

Trabajos presentados al VII MACI 2019

Proceedings of VII MACI 2019

Río Cuarto, 8 al 10 de mayo de 2019



MATEMÁTICA APLICADA, COMPUTACIONAL E INDUSTRIAL

ISSN: 2314-3282

Directora

Cristina Maciel, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca

Comité Editorial

Carlos D'Attellis, Universidad Favaloro – UNSAM, Buenos Aires

Pablo Jacovkis, UBA, UNTreF, Buenos Aires

Sergio Preidikman, CONICET – UNC, Córdoba

Diana Rubio, UNSAM, Buenos Aires

Juan Santos, CONICET – IGP – UBA, Buenos Aires

Rubén D. Spies, IMAL – CONICET – UNL, Santa Fe

Domingo A. Tarzia, CONICET – UA, Rosario

Cristina Turner, CONICET – UNC, Córdoba

Volumen 7, 2019

Contiene los trabajos presentados al congreso VII MACI 2019, Río Cuarto, Argentina.

Editores

Luis R. Ceballos, UNRC, Río Cuarto

Claudia M. Gariboldi, UNRC, Río Cuarto

Bruno A. Roccia, CONICET – UNRC, Río Cuarto

ASAMACI

Asociación Argentina de Matemática Aplicada, Computacional e Industrial

Güemes 3450, (3000) Santa Fe, Argentina

E-mail: asamaci@gmail.com

<http://asamaci.org.ar/>





MACI 2019 Vol. 7



VII CONGRESO DE MATEMÁTICA APLICADA, COMPUTACIONAL E INDUSTRIAL

Luis R. Ceballos, Claudia M. Gariboldi y Bruno A. Roccia (Eds.)



Río Cuarto, Córdoba, Argentina
8 al 10 de Mayo de 2019

ORGANIZADORES



AUSPICIANTES



PATROCINADOR



CONTENIDOS**1. Análisis Matricial y Aplicaciones**

UNA PROPIEDAD ESCONDIDA DE LAS MATRICES ESTOCÁSTICAS Salomón S. Mizrahi, Dino Otero y Leandro Robles Dávila	1
OPTIMIZACIÓN DE LA MATRIZ DE TRANSICIÓN EN CADENAS DE MARKOV Salomón S. Mizrahi, Dino Otero y Leandro Robles Dávila	5
A DUALITY RESULT ON FRAME AND RIESZ SEQUENCES Pablo Calderon and Mariano Ruiz	9
ÍNFIMOS Y SUPREMOS DE MATRICES COMPLEJAS Laura Rueda y Nestor Thome	13
SOBRE UNA GENERALIZACION DE LAS INVERSAS G-DRAZIN PONDERADAS David E. Ferreyra, Marina B. Lattanzi, Fabian E. Levis y Nestor J. Thome	17
CARACTERIZACIÓN DE LA INVERSA DE GRUPO DÉBIL MEDIANTE UNA ECUACIÓN DE RANGOS David E. Ferreyra, Valentina Orquera y Nestor J. Thome	21
CLASES MAXIMALES QUE REPRESENTAN LA INVERSA BT David E. Ferreyra, Valentina Orquera y Nestor J. Thome	25

2. Biomatemática

USO DE LA DERIVADA FRACCIONARIA PARA MODELAR LA RESPUESTA DE LA MEMBRANA ERITROCITARIA DEL GLÓBULO ROJO HUMANO Horacio Castellini, Analía Alet y Bibiana Riquelme	29
A TWO-LAYER COUPLED REACTION-DIFFUSION MODEL TO DESCRIBE SKIN COLOR PATTERNS OF FISHES OF THE GENUS <i>Pseudoplatystoma</i> Pablo G. Bolcatto, Pablo A. Scarabotti, Tzipe Govezensky and Rafael A. Barrio	33
ARE WE STILL IN THE END OF THE ANTIBIOTIC ERA? AN EPIDEMIOLOGICAL MODEL FOR BACTERIAL RESISTANCE ACQUISITION OVER NETWORKS Marina Dolfin, Damián A. Knopoff and Facundo A. Trucco	37
FINITE DIMENSION WITH APPLICATIONS TO BIOLOGY AND PHYSICS Juan M. Alonso	41
SOBRE UN SISTEMA PLANAR EN MODELACIÓN DE REACTORES: UNA PERSPECTIVA GEOMÉTRICA/CUALITATIVA Alejandro Omón Arancibia	45
AFINIDAD ENTRE PROTEÍNAS Nelson Villagra y Gabriel Soto	49
UN MODELO DE DOS SEXOS CON MIGRACIÓN Paola Bonfili, Elena Eder and Mariano A. Ferrari	53
MODELADO DEL EXCESO DE CEROS EN DATOS DE INFECCIÓN POR GEOHELMINTOS Y UN ANÁLISIS EN LA DETERMINACIÓN DE LOS FALSOS NEGATIVOS Gonzalo M. López, Alfio A. Rodriguez, Juan P. Aparicio y Alejandro J. Krolewiecki	57

3. Ciencia de Datos y Aprendizaje Automático

BAYESIAN INFERENCE APPLIED TO THE DISCOVERY OF TIME SERIES SUBUNITS

Diego J. Battocchio, Patricia Pelle and Claudio Estinne61

A PARAMETER FREE MODEL FOR MOTOR IMAGERY DETECTION BASED ON RIEMANNIAN GEOMETRY: PRELIMINARY RESULTS

Hugo S. U. Hernández, Catalina M. Galván, Victoria Peterson and Rubén D. Spies65

APORTE DE LA CIENCIA DE LOS DATOS A LA TOMA DE DECISIONES INSTITUCIONALES

Myriam B. Herrera, María R. G. Romagnano y Hernaldo S. L. Ganga69

DETECCIÓN DE PATRONES EN IMÁGENES SATELITALES ÓPTICAS

Mariela Rajngewerc, Juan Lucas Bali y Rafael Grimson73

4. Computación de Alto Desempeño

PARALELIZACIÓN EN BÚSQUEDA DE RUTAS EN GRÁFOS

Nicolás Jares77

MODELO MATEMÁTICO PARA LA SINTONIZACIÓN DINÁMICA DE UN MÉTODO PREDICTIVO BASADO EN EVOLUCIÓN DIFERENCIAL

María Laura Tardivo, Paola Caymes Scutari, Germán Bianchini y Miguel Méndez Garabetti81

5. Economía Matemática

EQUILIBRIUM EXISTENCE IN A DISCRETE-TIME ENDOGENOUS GROWTH MODEL WITH PHYSICAL AND HUMAN CAPITAL

Luis A. Alcalá85

THE STRONGLY EX-ANTE RANDOM MATCHING SET

Pablo A. Neme and Jorge Oviedo89

OBVIOUSLY STRATEGY-PROOFNESS AND GENERALIZED MEDIAN VOTER SCHEMES

R. Pablo Arribillaga, Jordi Massó and Alejandro Neme93

COSTOS ECONÓMICOS DE SALUD LIGADOS A LAS EMISIONES DE PM_{10} : UN ENFOQUE DE EQUILIBRIO GENERAL COMPUTADO PARA LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

María Laura Ojeda, Martín Jacquet y María Priscila Ramos97

6. Ecuaciones Diferenciales y Aplicaciones

THE STATIONARY BOUSSINESQ EQUATIONS WITH DO-NOTHING BOUNDARY CONDITIONS

Rafael Arndt, Andrea N. Ceretani and Carlos N. Rautenberg101

ESTABILIDAD DE UNA GENERALIZACIÓN DE ECUACIONES LOGÍSTICAS FRACCIONARIAS

Melani Barrios, Gabriela Reyero y Mabel Tidball105

SOBRE UN SISTEMA PROPUESTO POR R. ARIS

Alejandro Omón Arancibia109

ECUACIONES DIFERENCIALES IMPLÍCITAS: ANÁLISIS DE CIRCUITOS CON RESISTENCIA DIFERENCIAL NEGATIVA

Diana Kleiman, María Etchehoury, Cecilia González y Paul Puleston113

EXISTENCIA Y UNICIDAD GLOBAL DE SOLUCIÓN A UNA ECUACIÓN DIFERENCIAL FRACCIONAL NO LINEAL PARA LA DERIVADA DE CAPUTO–FABRIZIO Sabrina D. Roscani, Lucas Venturato y Domingo A. Tarzia	117
MODELO SIR PARA LA DESCRIPCIÓN DE LA EPIDEMIA DE HANTAVIRUS EN EPUYÉN Nora E. Arnesi y Cristina B. Cuesta	121
ESTUDIO NUMÉRICO DE LA ESTABILIDAD LINEAL EN LA CONFIGURACIÓN ROMBOIDAL DEL PROBLEMA DE SITNIKOV CIRCULAR Gastón Beltritti, Stefanía Demaría, Graciela Giubergia y Fernando Mazzone	125
DECAIMIENTO DE LA CARGA PARA UNA ECUACIÓN DE SCHROEDINGER–POISSON CON AMORTIGUACIÓN LOCALIZADA. Néstor Biedma y Mariano F. De Leo	129
DINÁMICA FLEXO-TORSIONAL DE VIGAS DE METAMATERIAL: ESTIMACIÓN DE BANDAS DE ABSORCIÓN Patricia N. Dominguez y Víctor H. Cortínez	133
SIMULACIÓN DE LA DESTILACIÓN MOLECULAR DE BIODIESEL Natalia E. Rodriguez y Miriam A. Martinello	137
CONDICIONES SUFICIENTES PARA LA PERSISTENCIA DE DOS ESPECIES PARA UN MODELO POBLACIONAL DE TIPO MUTUALISTA CON DELAY Alberto Deboli y Pablo Amster	141
SOBRE UN PROBLEMA DE CONDUCCIÓN DEL CALOR NO-CLÁSICO CON UNA FUENTE NO LINEAL DEPENDIENDO DEL PROMEDIO EN EL TIEMPO DEL FLUJO DE CALOR EN LA FRONTERA Mahdi Boukrouche y Domingo A. Tarzia	145

7. Finanzas Cuantitativas

VALUACIÓN DE PRODUCTOS ESTRUCTURADOS Y DERIVADOS MULTI-ACTIVOS USANDO EL ALGORITMO DE HUA HE. Miguel Herschberg	149
SONRISAS DE VOLATILIDAD EN UN MODELO DE TASAS LIBOR CON VARIANZA CUADRÁTICO GAUSSIANA Patricia Kisbye y Karem Meier	153
ROLE OF CORRELATION IN THE CONNECTION BETWEEN BOND PRICE AND FORWARD RATE DYNAMICS Diogo de Moura Pedroso	157
VALUACIÓN DE UN CANCELABLE SWAP CON RIESGO DE CRÉDITO DE CONTRAPARTE APLICANDO MÍNIMOS CUADRADOS MONTE CARLO Peter Silva Alva	161
REAL WORLD PROBABILITIES (INSURANCE) APPROACH TO THE PRICING OF DOWNSIDE RISK IN ARGENTINEAN STOCKS José P. Dapena, Juan A. Serur and Julián R. Siri	165

8. Investigación Operativa y Aplicaciones

9. Matemática Industrial y Aplicaciones

MODELADO DEL PROCESO DE ADSORCIÓN DEL CROMO HEXAVALENTE SOBRE QUITOSANO EN UNA COLUMNA DE LECHO FIJO Jimena Bernadette Dima, Mariano Ferrari y Noemí Zaritzky	169
--	-----

COMPUTATIONAL METHOD TO DETERMINE FINAL DISPOSITION OF A WOVEN ENDOBRIDGE (WEB) DEVICE BEFORE ITS PLACEMENT Romina Muñoz and Ignacio Larrabide	173
---	-----

10. Métodos Numéricos: Algoritmos y Aplicaciones

SOLVING PARTIAL FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATIONS BY WAVELET DECOMPOSITION METHODS Marcela Fabio, Silvia Seminara and María Inés Troparevsky	177
APROXIMACIÓN DE INTEGRALES IMPROPIAS CUYO INTEGRANDO TIENE UNA PARTE OSCILANTE Alturria Lanzardo, C., Pérez, J. y Cesco, J.	181
ESTABILIDAD NUMÉRICA DE UN MÉTODO LOCAL INTEGRAL SIN MALLA USANDO LA TÉCNICA FBR-GA Luciano Ponzellini Marinelli y Nahuel Domingo Caruso	185
ESTIMACIÓN ANISOTRÓPICA DEL ERROR DE INTERPOLACIÓN SOBRE CUADRILÁTEROS: CONDICIONES GEOMÉTRICAS SIMPLES Gabriel Monzón	189
MÉTODOS NUMÉRICOS APLICADOS AL DISEÑO DE ARREGLOS DE ANTENAS Carlos E. Absch Guillaumin, Ezequiel A. Tardivo y Fernando Magnago	193
RESOLUCIÓN DE ECUACIONES FRACCIONARIAS MEDIANTE SPLINE CUADRÁTICO Alberto José Ferraria, Luis Pedro Lara y Eduardo Adrian Santillan Marcus	197
PROGRAMACIÓN NO LINEAL ENTERA EN LA PLANIFICACIÓN ÓPTIMA DE TURNOS PARA UN MODELO DE CALL CENTER Ángel R. Barberis y Lorena E. Del Moral Sachetti	201
MODELADO DE LA TRANSESTERIFICACIÓN DEL ACEITE DE CHÍA CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA) Leisa M. Magallanes, Pablo Fiezzi, Lorena Tarditto, María del C. Pramparo y María F. Gayol ...	205
A NUMERICAL SCHEME FOR MEAN CURVATURE FLOW Anibal Chicco Ruiz, Eduardo M. Garau and M. Sebastián Pauletti	209
CONSTRUCCIÓN DE BASES WAVELETS-SPLINE CÚBICAS SOBRE INTERVALO BIEN CONDICIONADAS Lucila Calderón, María Teresa Martín y Victoria Vampa	213

11. Mecánica Computacional

ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS PARASITARIOS EN FUNCIÓN DE LA UBICACIÓN DE LOS ELEMENTOS FLEXORES DE UN MECANISMO FLEXIBLE PARALELO Alejandro G. Gallardo y Martín A. Pucheta	217
KINEMATIC STUDY OF PUMPING KITES FOR WIND ENERGY GENERATION Manuel Valdano, Bruno A. Roccia, Luis R. Ceballos, Sergio Preidikman and Dean T. Mook ...	221
UNSTEADY AERODYNAMICS OF A PUMPING KITE FOLLOWING A HELICAL PATH: ESTIMATION OF THE MECHANICAL POWER Manuel Valdano, Bruno A. Roccia, Luis R. Ceballos, Sergio Preidikman and Dean T. Mook ...	225
UN MODELO HIDRODINÁMICO REDUCIDO PARA LA OPERACIÓN DE PLANTAS DE ENERGÍA DE RANGO MAREAL Víctor H. Cortínez y Patricia N. Dominguez	229

12. Métodos Probabilísticos y Estadísticos

UNCERTAINTY PROPAGATION: AN ALTERNATIVE TO THE MONTE CARLO METHOD Jorge S. Ballaben, Hector E. Goicoechea and Marta B. Rosales	233
KERNEL ESTIMATION FOR THE EFFECTIVE BANDWIDTH OF THE GENERALIZED MARKOV FLUID José Bavio and Beatriz Marrón	237
ALGORITMO ROBUSTO PARA CORRELACIÓN CANÓNICA GENERALIZADA Alejandra Vahnovan, M. Victoria Fasano, Julieta Ferrario y Nadia Kudraszow	241
UN RESULTADO GLIVENKO-CANTELLI BOOTSTRAP PARA LA MEDIDA DE POBREZA DE FOSTER-GREER-THORBECKE Pedro A. Harmath, Josefa Ramoni-Perazzi y Abelardo Monsalve-Cobis	245
TOWARD NOISE-CONTROLLED MULTIPURPOSE LOGIC GATES J. I. Peña Rosselló, R. R. Deza and H. S. Wio	249

13. Modelos Matemáticos Interdisciplinarios

GROWING TREES WITH SEQUENTIAL REDIRECTION Martina Oviedo, Rafael Martin and Juan Pablo Pinasco	253
RELACIONES BINARIAS FUZZY APLICADAS AL DEPORTE Lazzari Luisa, Moulia Patricia	257
ELECTRIC VEHICLE CHARGING. AN AGENT-BASED MODELING ANALYSIS Juan Manuel Alemany, Fernando Magnago y Fabian Rinaudo	261
ANÁLISIS QUIMIOMÉTRICO APLICADO A LA CONSTANTE DE HAMMETT DE DERIVADOS DE BENCENO OBTENIDOS A PARTIR DE CÁLCULOS COMPUTACIONALES Marcelo O. Castillo, Gabriel Soto, Graciela Pinto Vitorino	265
ESTIMACIÓN DE LA CONSTANTE DE HAMMETT Y DE PREDICTORES MOLECULARES DE DERIVADOS DEL BENCENO EMPLEANDO MODELADO MOLECULAR Marcelo O. Castillo, Graciela Pinto Vitorino	269
UN MODELO DE EQUILIBRIO PARA EL MERCADO DE TRÁNSITO VÍA TEORÍA DE JUEGOS Cecilia Penessi, Elina M. Mancinelli y Jorgelina Walpen	273
UN MODELO DE RED DE TRANSPORTE PARA USUARIOS CON AVERSIÓN AL RIESGO Ma. Evangelina Alvarez, Elina Mancinelli y Jorgelina Walpen	277
ANÁLISIS DE CAUSALIDAD Y RESPUESTA NUMÉRICA DE UN MODELO DE PERMEABILIDAD MAGNÉTICA EFECTIVA EN METAMATERIALES Silvina Boggi, Federico Luna y Walter G. Fano	281
DINÁMICA DE FORMACIÓN DE OPINIÓN: NACIMIENTO ESPONTÁNEO DE TERCERAS POSICIONES Jorge A. Revelli y Marcos E. Gaudiano	285
ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD EN UN MODELO DE FRACCIONAMIENTO DE SÓLIDOS II Gustavo W. Vega	289
UN MÉTODO DE APROXIMACIÓN Y OPTIMIZACIÓN PARA UN MODELO BASADO EN AGENTES Bruno Adolfo Buffa y Andrés Barrea	293

14. Optimización, Teoría y Aplicaciones

BEST MULTIPOINT LOCAL APPROXIMATION BY ABSTRACT SEMINORMS Fabián E. Levis and Claudia V. Ridolfi	297
ENSAYO GEOMÉTRICO SOBRE OPTIMIZACIÓN DE FORMAS DISCRETAS EN ELEMENTOS FINITOS Gerardo R. Chacón.....	301

APLICACIÓN DE UN ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN CUADRÁTICA SECUENCIAL NO MONÓTONO PARA RESOLVER UN PROBLEMA DE ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS Graciela Croceri, Gonzalo Pizarro y Graciela Sottosanto.....	305
A STUDY ABOUT THE CONVERGENCE OF THE AUGMENTED LAGRANGIAN METHOD FOR PROBLEMS WITH ADDITIONAL ABSTRACT SET CONSTRAINTS Nadia Fazzio, Ma. Daniela Sánchez and Ma. Laura Schuverdt.....	309
CRECIMIENTO CUADRÁTICO DEL LAGRANGIANO AUMENTADO Y CONDICIONES SUFICIENTES DE SEGUNDO ORDEN Damián Fernández.....	313
VALORES CRÍTICOS DE POLINOMIOS HOMOGÉNEOS DE GRADO TRES SOBRE LA ESFERA UNIDAD Julio C. Barros y Victoria Navarro.....	317
MÉTODO GRADIENTE ESPECTRAL PARA OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO Gabriel Aníbal Carrizo.....	321
ESTUDIO DE UN MÉTODO DE GRADIENTE PROYECTADO NO MONÓTONO PARA PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO SOBRE CONJUNTOS CONVEXOS Gabriel Aníbal Carrizo, Nadia Soledad Fazzio y María Laura Schuverdt.....	325
NONLINEAR PROGRAMMING ALGORITHMS FOR UNCONSTRAINED MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION PROBLEMS WITH A NON MONOTONE SCHEME: NUMERICAL RESULTS M.G. Mendonça.....	329
OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE HEMOCOMPONENTES María Celeste Kees, José A. Bandoni y Marta S. Moreno.....	333
ATENUACIÓN DE AMPLITUDES MAREALES EN ESTUARIOS MEDIANTE LAGUNAS DE ABSORCIÓN: DISEÑO ÓPTIMO Patricia N. Dominguez, Cecilia I. Stoklas y Víctor H. Cortínez.....	337
 15. Problemas de Frontera Libre y Aplicaciones	
SHARP REGULARITY ESTIMATES FOR QUASI-LINEAR ELLIPTIC MODELS WITH FREE BOUNDARIES AND APPLICATIONS João Vitor da Silva.....	341
MULTIPLICIDAD DE SOLUCIONES PARA UN PROBLEMA NO LOCAL CON CRECIMIENTO CRÍTICO Natalí Ailín Cantizano y Analía Silva.....	345
THE OBSTACLE PROBLEM FOR A DEGENERATE FULLY NONLINEAR OPERATOR João Vitor Da Silva and Hernán Agustín Vivas.....	349
A CONSTRAINED SHAPE OPTIMIZATION PROBLEM IN ORLICZ-SOBOLEV SPACES João Vitor da Silva, Ariel M. Salort, Analía Silva and Juan F. Spedaletti.....	353
A LIMITING OBSTACLE TYPE PROBLEM FOR THE INHOMOGENEOUS p -FRACTIONAL LAPLACIAN João Vitor da Silva and Ariel Martin Salort.....	357
A MINIMUM PROBLEM WITH FREE BOUNDARY FOR AN INHOMOGENEOUS OPERATOR WITH NON-STANDARD GROWTH Claudia Lederman and Noemi Wolanski.....	361
FULLY NON-LINEAR PARABOLIC DEAD CORE PROBLEMS Pablo Daniel Ochoa.....	365
SYSTEMS OF PARABOLIC EQUATIONS SET ON MOVING DOMAINS Joana Terra.....	369

SOLUCIONES APROXIMADAS PARA UN PROBLEMA DE STEFAN A UNA FASE CON CALOR LATENTE VARIABLE	
Julietta Bollati y Domingo A. Tarzia.....	373
PROBLEMA DE FRONTERA LIBRE PARA LA ECUACIÓN DE DIFUSIÓN-CONVECCIÓN: EXISTENCIA Y UNICIDAD DE SOLUCIÓN	
Adriana C. Briozzo y Domingo A. Tarzia.....	377
SOBRE PROBLEMAS DE TIPO STEFAN MODELIZADOS POR DERIVADAS FRACCIONARIAS TEMPORALES	
Sabrina D. Roscani y Domingo A. Tarzia.....	381
UN PROBLEMA DE TIPO STEFAN CORRESPONDIENTE A LA EVAPORACIÓN DE UNA GOTA DE COMBUSTIBLE LÍQUIDA	
Julietta Bollati, Adriana C. Briozzo y María S. Gutierrez.....	385
EXISTENCIA DE SOLUCIÓN PARA UN PROBLEMA DE STEFAN A DOS FASES CON COEFICIENTES TÉRMICOS VARIABLES	
Julietta Bollati, María F. Natale, José A. Semitiel y Domingo A. Tarzia.....	389
EXISTENCIA Y UNICIDAD DE SOLUCIÓN PARA UN PROBLEMA DE STEFAN A UNA FASE CON COEFICIENTES TÉRMICOS VARIABLES	
Julietta Bollati, María F. Natale, José A. Semitiel y Domingo A. Tarzia.....	393

16. Problemas Inversos y Aplicaciones

UN PROBLEMA INVERSO DE DETERMINACIÓN DE COEFICIENTE EN ECUACIONES PARABÓLICAS COMO PROBLEMA GENERALIZADO DE MOMENTOS	
María Beatriz Pintarelli.....	397
PROBLEMA INVERSO DE CALENTAMIENTO REMOTO EMPLEANDO UN MODELO REDUCIDO PARA CARACTERIZACIÓN DE POLÍMEROS	
Fernando Otero, Guillermo Elicabe, Facundo Altuna, Cristina Hoppe, Carlos Chiuro y Gloria Frontini.....	401
IDENTIFICACIÓN DE LA FUENTE EN UNA ECUACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN TEJIDO BIOLÓGICO	
Guillermo Umbricht y Diana Rubio.....	405
REGULARIZACIÓN WAVELET-VAGUELET PARA PROBLEMAS INVERSOS MAL CONDICIONADOS	
María F. Acosta y Ruben D. Spies.....	409
ON THE INVERTIBILITY OF A NEW TORIC RADON TRANSFORM WITH APPLICATIONS IN COMPTON SCATTER TOMOGRAPHY	
Javier Cebeiro, Marcela A. Morvidone, Cécilia Tarpau and Mai K. Nguyen.....	413
BAYESIAN INVERSION APPROACH FOR ECG DENOISING	
María Lorena Bergamini and Sergio Javier Liberczuk.....	417
NOTAS SOBRE LA ESTABILIDAD DE LA INVERSA DE LA TRANSFORMADA V EN EL PLANO	
Marcela Morvidone y Diana Rubio.....	421
UNA COTA DE ERROR A-POSTERIORI ASOCIADA A FUNCIONALES DE TIPO TIKHONOV-PHILLIPS GENERALIZADO	
María J. Carrió, Gisela L. Mazzieri y Karina G. Temperini.....	425

17. Problemas Matemáticos en Mecánica del Continuo

ESTUDIO DE LA AERODINÁMICA NO ESTACIONARIA DE UN PROTOTIPO DE AERONAVE X-HALE-UAV	
Luciano Miguel Nitardi, Bruno Antonio Rocca, Sergio Preidikman y Dean Mook.....	429

ESTUDIO AEROELÁSTICO DE COSECHADORES DE ENERGÍA DISTRIBUIDOS EN TÁNDEM Bruno A. Roccia, Marcos L. Verstraete, Luis R. Ceballos y Sergio Preidikman.....	433
PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS APLICADA A SIMULACIONES DE FLUJOS DOMINADOS POR VORTICIDAD: EL PUNTO DE VISTA DEL OBJETO Martín E. Pérez Segura, Mauro S. Maza y Sergio Preidikman.....	437
PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS APLICADA A SIMULACIONES DE FLUJOS DOMINADOS POR VORTICIDAD: ESTUDIO AERODINÁMICO DE CUADRICÓPTEROS Martín E. Pérez Segura, Santiago Ribero y Sergio Preidikman.....	441
PREPROCESAMIENTO DE LA MATRIZ DE CAMBIO DE BASE DE VELOCIDADES ANGULARES PARA SISTEMAS DE CUERPOS RÍGIDOS UTILIZANDO ÁNGULOS DE EULER Santiago Ribero, Alejandro T. Brewer y Sergio Preidikman.....	445
ANÁLISIS DE INTERMITENCIA CAÓTICA TIPO II UTILIZANDO EL OPERADOR DE PERRON-FROBENIUS Sergio Elaskar, Ezequiel del Río y Luis Gutiérrez Marcantoni.....	449
EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD DE PROBABILIDAD DE REINYECCIÓN EN INTERMITENCIA TIPO V Sergio Elaskar, Ezequiel del Río y Gustavo Krause.....	453
PRESERVACIÓN DEL EQUILIBRIO HIDROSTÁTICO EN ESQUEMAS TIPO GODUNOV Gustavo Krause.....	457
VALIDACIÓN DE UN SOLVER PARA FLUJOS HIPERSÓNICOS EN NO EQUILIBRIO TERMOQUÍMICO Juan Pablo Saldía y Sergio Elaskar.....	461
EVALUACIÓN DE LA LEY DE BIOT-SAVART ASOCIADA A UNA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL ARBITRARIA DE VORTICIDAD POR MEDIO DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS Luciano M. Nitardi, Bruno A. Roccia, Dean T. Mook y Sergio Preidikman.....	465
IMPLEMENTACIÓN DEL FAST MULTIPOLE METHOD PARA REALIZAR SIMULACIONES NUMÉRICAS EN AERODINÁMICA INESTACIONARIA Y NO LINEAL – PARTE I: CONCEPTOS TEÓRICOS Diego Ariza, Bruno A. Roccia y Sergio Preidikman.....	469
IMPLEMENTACIÓN DEL FAST MULTIPOLE METHOD PARA REALIZAR SIMULACIONES NUMÉRICAS EN AERODINÁMICA INESTACIONARIA Y NO LINEAL – PARTE II: IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL Y EJEMPLOS DE APLICACIÓN Diego Ariza, Bruno A. Roccia y Sergio Preidikman.....	473
UN ELEMENTO FINITO DE VIGA CON TRANSDUCTORES PIEZOELÉCTRICOS EMBEBIDOS PARA COSECHA DE ENERGÍA Emmanuel Beltramo, Alejandro T. Brewer y Sergio Preidikman.....	477
SIMULACIÓN DE FLUJOS REACTIVOS CON ALTAS VELOCIDADES Luis F. Gutiérrez Marcantoni, José P. Tamagno y Sergio A. Elaskar.....	481

18. Procesamiento de Señales e Imágenes

A PROPOSAL FOR EDGE DETECTION IN SAR IMAGES Miguel A. Ré, Guillermo G. Aguirre Varela and Sergio Masuelli.....	485
DETECTION OF FRACTURE REGIMES IN ANDESITE ROCK VIA THE ENERGY EVOLUTION OF ACOUSTIC EMISSION SIGNALS IN RELEVANT FREQUENCY BANDS Juan P. Muszkats, Dino A. Filipussi, Miguel E. Zitto, Miryam Sassano and Rosa Piotrkowski.....	489
EFFECTO DE LA RESOLUCIÓN ESPACIAL EN EL CONTENIDO DE INFORMACIÓN DE IMÁGENES CLASIFICADAS CON SVM María G. Palacio, Susana B. Ferrero y Alejandro C. Frery.....	493

ALGORITMO CONJUNTO KALMAN–WAVELETS PARA EL FILTRADO DEL RUIDO EN SEÑALES (II) Guillermo La Mura, Ricardo O. Sirne y Marcela A. Fabio.....	497
CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE DENSIDAD MAMARIA Guillermina Griffa, Micaela Bertero y Valeria Rulloni.....	501
PENALIZED NONNEGATIVE REPRESENTATIONS FOR SPEECH SEPARATION Francisco Ibarrola, Rubén Spies and Leandro Di Persia.....	505
UN ESTUDIO DE SERIES DE PRECIPITACIONES USANDO TRANSFORMADA WAVELET Ma. Belén Arouxét y Verónica E. Pastor.....	509
ALGORITMO ITERATIVO PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE UNA SEÑAL A PARTIR DE UN MUESTREO ALEATORIO Erika Porten, Juan Miguel Medina y Marcela Morvidone.....	513
BIOACOUSTIC COMPLEXITY INDEX Juan Gabriel Colonna and José Reginaldo Hughes Carvalho.....	517
ÍNDICE DE SIMILITUD PARA IMÁGENES. EVALUACIÓN DE PROCESOS DE FUSIÓN Silvia María Ojeda, Grisel Maribel Britos y Ronny Vallejos.....	521
p -STABLE RANDOM FRACTIONAL WAVELET SERIES Juan Miguel Medina, Fernando Ruben Dobarro and Bruno Cernuschi Frías.....	525
DISTINTAS PROPUESTAS PARA LOS PARÁMETROS DEL CLASIFICADOR MÁQUINAS DE VECTORES SOPORTE (SVMs) EN IMÁGENES SATELITALES Noelia E. Matos, María A. González y Susana B. Ferrero.....	529
EVALUACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES CON TRES PROPUESTAS PARA ANÁLISIS DISCRIMINANTE REGULARIZADO María A. González, Noelia E. Matos y Susana B. Ferrero.....	533
EVALUACIÓN DE LOS CLASIFICADORES k -NN Y k -KNN PARA LA CLASIFICACIÓN IMÁGENES ÓPTICAS MULTIESPECTRALES Silvana M. Malpassi y Susana B. Ferrero.....	537
UN ALGORITMO FUNCIONAL PARA EL RECONOCIMIENTO DE DÍGITOS MANUSCRITOS Gastón Alejandro Carrasco Cabrera, Carlos Ismael Orozco y Cristian Martínez.....	541
PATTERN RECOGNITION IN SAR IMAGES USING FRACTIONAL RANDOM FIELDS AND ITS POSSIBLE APPLICATION TO THE PROBLEM OF THE DETECTION OF OIL SPILLS IN OPEN SEA Agustin Mailing, Segundo A. Molina, José L. Hamkalo, Fernando R. Dobarro, Juan M. Medina, Bruno Cernuschi-Frias, Daniel A. Fernández and Erica Schlaps.....	545
DISEÑO AUTOMÁTICO DE UN FILTRO PARA EXTRACCIÓN DE BORDES EN IMÁGENES BINARIAS RUIDOSAS UTILIZANDO ANÁLISIS DISCRIMINANTE LINEAL Emilio Robalino, Susana Guevara, Agustina Bouchet, Juan I. Pastore Marcel Brun y Virginia Ballarin.....	549

19. Sistemas Dinámicos

NON-LYAPUNOV CONTROL OF A BALANCING ROBOT Andrés García and Ezequiel Arnaude.....	553
DINÁMICA DISCRETA EN UN MODELO DE SOLOW CON AHORRO DIFERENCIAL Y CRECIMIENTO POBLACIONAL NO CONSTANTE Fernando Suárez y Graciela A. González.....	557
ON THE DURATION OF A SPIKE IN EXCITABLE DYNAMICAL SYSTEMS Ignacio Deza, Nataniel Martínez and Roberto R. Deza.....	561

THE UNCERTAINTY PRINCIPLE AS AN INDICATOR OF CHAOS IN THE $SU(2)$ NON-LINEAR SEMIQUANTUM DYNAMICS

Claudia Sarris and Roberta Hansen.....565

20. Teoría de Control Óptimo y Aplicaciones

UNA CONDICIÓN DE OPTIMALIDAD PARA UN PROBLEMA DE CONTROL ÓPTIMO DE UN SISTEMA ESTRUCTURADO EN EDAD CON RESTRICCIONES DE ESTADO

J. Frédéric Bonnans y Justina Gianatti.....569

CONVERGENCIA DE CONTROLES ÓPTIMOS SIMULTÁNEOS DISTRIBUIDO-FRONTERA EN PROBLEMAS PARABÓLICOS

Carolina M. Bollo, Claudia M. Gariboldi y Domingo A. Tarzia.....573

ASYMPTOTIC ANALYSIS FOR A GENERALIZED MONOTONE CONTROL PROBLEM

Laura S. Aragone and Lisandro A. Parente.....577

UN ALGORITMO DE ESTIMACIÓN DE ESTADOS DINÁMICO PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

Matías Antunez, Mariano Risso y Pablo Lotito.....581

21. Transferencia de Calor y Materia

OBTENCIÓN DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA TÉRMICA DEL TEMPLE CON UN MÉTODO NUMÉRICO - PARTE I

Fernando B. Sánchez Sarmiento y Miguel A. Cavaliere.....585

OBTENCIÓN DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA TÉRMICA DEL TEMPLE CON UN MÉTODO NUMÉRICO - PARTE II

Fernando B. Sánchez Sarmiento y Miguel A. Cavaliere.....589

PROBLEMAS INVERSOS ASOCIADOS A UN PROCESO ESTACIONARIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Guillermo Umbricht, Diana Rubio y Domingo Tarzia.....593

ANÁLISIS DE LA ECUACIÓN DEL CALOR EN ESTADO TRANSITORIO EN UNA DIMENSIÓN UTILIZANDO LA SERIE DE FOURIER

Darío G. Fantini, Mario B. Baptista de Siqueira, Taygoara Felamingo de Oliveira y Rodrigo F. Abdo.....597

22. Visión Computacional

23. Posters de Estudiantes de Grado

24. Posters de Estudiantes de Posgrado

MODELO MATEMÁTICO PARA EL DENGUE Y PROBLEMA DE CONTROL ÓPTIMO

Oscar Andres Manrique Arias, Anibal Muñoz Loaiza y Rodrigo Tomás Nogueira Cardoso.....601

DINÁMICA DE LA TRANSMISIÓN DEL DENGUE CONSIDERANDO LA POBLACIÓN ASINTOMÁTICA Y LA TEMPERATURA

Steven Raigosa Osorio, Anibal Muñoz Loaiza y Rodrigo Tomás Nogueira Cardoso.....605

MODELO PARA LA TRANSMISIÓN DEL DENGUE CON CRECIMIENTO PERIÓDICO Y TRANSMISIÓN VERTICAL DE *Aedes aegypti*

Julián Alejandro Olarte García, Anibal Muñoz Loaiza y Oreste Piro Perusín.....609

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE MEDIDAS E ÍNDICES DE SIMILARIDAD PARA IMÁGENES DIGITALES
María Lucía Pappaterra y Silvia María Ojeda.....613

BAYESIAN INVERSION APPROACH FOR ECG DENOISING

María Lorena Bergamini^b and Sergio Javier Liberczuk^{b,†}

^b*Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática (CAETI), Universidad Abierta Interamericana (UAI), Av. Montes de Oca 745, CABA, Argentina*

[†]*Instituto de Ingeniería y Agronomía (IIyA), Universidad Nacional Arturo Jauretche, Av. Calchaquí 6200, Florencio Varela, Buenos Aires, Argentina*

Abstract: Stochastic or Bayesian filtering is an inverse problem in the sense that from given noisy observations we want to estimate hidden state variables knowing models for states evolution and measurement noises. In the present work we propose a Particle Filter method for denoising ECG signals based on Monte Carlo filter techniques estimating the state (filtered signal value) from noisy observations simulated with different SNRs. We use Mc Sharry dynamical model whose solution trajectories reproduce realistic ECG waves. The improvement in the denoised signal is higher when the SNR in the input signal is lower. Particle Filter method allows any noise distribution to be considered. This property is very interesting for physiological signal processing, where the noise is often complex and non Gaussian.

Keywords: *particle filtering, bayesian inversion, ecg denoising, state space ecg model*

2000 AMS Subject Classification: 21A54 - 55P54

1 INTRODUCTION

Over the years the ECG signal has been used to assess the cardiovascular condition of humans recording electrical activity of the heart. Extraction of pure ECG components (P, QRS and T waves) from noisy measurements is still a subject of major importance for biomedical community. The development of new sensor technologies has provided new ways of recording ECGs that are more comfortable for patients. However, in most cases, increasing comfort can result in reduced quality signals. For instance, electrodes that are incorporated in clothes generally provide signals with a lower signal-to-noise ratio (SNR) and more artifacts than contact electrodes directly glued to the body [1]. In this sense, specific algorithms must be developed to perform the analysis and processing of the data monitored to obtain useful information.

Bayesian filtering, also known as Stochastic filtering, is a framework for facing dynamical problems, where the unknown and the data form two stochastic processes and the transition kernel of the unknown stochastic process is assumed to be known. Its numerical implementation, in the general nonlinear models case, requires the use of numerical integration techniques like Particle Filters (PF)[2] which are essentially a class of sequential Monte Carlo methods where the support points, called particles, evolve with time according to the transition kernel of the unknown process.

Stochastic filtering is an inverse problem: Given collected observations (also called measurements) at discrete time steps, provided transition and measurement models are known, one needs to find the optimal state that produces those measurements. In another perspective, this problem can be interpreted as an inverse mapping learning problem: Find the inputs sequentially with a mapping function which yields the output data. In contrast to the forward learning (given inputs find outputs) which is a many-to-one mapping problem, the inversion learning problem is one-to-many, i.e. the mapping from output to input space is generally non-unique [4].

This scheme leads to an algorithm for the restoration of the denoised ECG signal from a set of incomplete, noisy and/or ambiguous observations. This framework requires a state space model for the generation of the signal so the final estimate results in part from what the observation or measurement indicates and in part from what the model assumes as the value for that point of time.

Mc Sharry, Clifford et al. [3] have developed a dynamical model whose solution trajectories reproduce realistic ECG waves. This model comprises the sum of 5 Gaussian functions, each one is characterized by its location, amplitude and width and represents the different ECG waves.

In a previous paper [5] we propose a new method for finding the parameters that better represent a given beat. And in a posterior work [6] we classify this beats in R^{15} parameter space between physiological or infarcted beats with high rates in the classification task. In this work we propose a method for denoising ECG signals based on Monte Carlo filter techniques estimating the state (filtered signal value) from noisy observations simulated with different SNRs.

2 METHODS

2.1 DYNAMICAL MODEL

The model assumes that each heartbeat in a ECG is modeled by a set of Gaussian waves, characterized by their amplitude (a_i), position ($\hat{\theta}_i$) and width (b_i). Each wave peak corresponds to one of the relevant points in the ECG beat signal (P, Q, R, S, T).

The model can be stated as

$$\dot{r} = r(1 - r) \quad (1)$$

$$\dot{\theta} = \omega \quad (2)$$

$$\dot{z} = - \sum_{i=P,Q,R,S,T} a_i \Delta\theta_i e^{-0.5 \left(\frac{\Delta\theta_i}{b_i} \right)^2} \quad (3)$$

where $\Delta\theta_i = (\theta - \hat{\theta}_i) \bmod 2\pi$, ω is the angular velocity. The model describes a tridimensional quasi-periodical trajectory with cylindrical coordinates (r, θ, z) . The coordinate z , when plotted versus time gives a synthetic ECG.

Equation 1 is independent from the others, so it can be excluded without affecting the synthetic ECG.

Discretization of resulting model, for small sampling period δ , is:

$$\theta_{k+1} = (\theta_k + \omega\delta) \bmod 2\pi \quad (4)$$

$$z_{k+1} = z_k - \sum_{i=P,Q,R,S,T} \delta a_{ik} \Delta\theta_{ik} e^{-0.5 \left(\frac{\Delta\theta_{ik}}{b_{ik}} \right)^2} + \eta_k \quad (5)$$

where $\Delta\theta_{ik} = (\theta_k - \hat{\theta}_{ik}) \bmod 2\pi$ and η_k is a random noise that models the inaccuracies of the model.

The state variables for the filter are θ_k and z_k and conform vector \mathbf{x}_k in the next section. The noisy ECG measurements s_k are related to the state vector as $s_k = z_k + v_k$ and conform vector \mathbf{y}_k of the next section where v_k is the observation noise vector, considered as zero mean Gaussian random variable.

2.2 PARTICLE FILTERING

Estimation of the hidden states \mathbf{x}_k of a dynamical system from some noisy observations \mathbf{y}_k is a classical issue. The states evolve according to an evolution function (Eq. 6) and the observations are related to the states by a known function (Eq. 7).

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k) \quad (6)$$

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{g}(\mathbf{x}_k, \mathbf{v}_k) \quad (7)$$

Here, \mathbf{u}_k is the process noise and \mathbf{v}_k the measurement noise.

This problem can be stated as the computation of the posterior distribution $p(\mathbf{x}_k | \mathbf{y}_k)$, and can be done iteratively in two steps.

In the prediction step, the prior distribution $p(\mathbf{x}_k | \mathbf{y}_{k-1})$ is computed with

$$p(\mathbf{x}_k | \mathbf{y}_{k-1}) = \int p(\mathbf{x}_k | \mathbf{x}_{k-1}) p(\mathbf{x}_{k-1} | \mathbf{y}_{k-1}) d\mathbf{x}_{k-1} \quad (8)$$

where $p(\mathbf{x}_{k-1} | \mathbf{y}_{k-1})$ is known from the previous iteration and $p(\mathbf{x}_k | \mathbf{x}_{k-1})$ is determined by the model evolution function.

In the update step, this prior distribution is updated with the new measurement \mathbf{y}_k using the Bayes rule to obtain the posterior over \mathbf{x}_k :

$$p(\mathbf{x}_k|\mathbf{y}_k) \propto p(\mathbf{y}_k|\mathbf{x}_k)p(\mathbf{x}_k|\mathbf{y}_{k-1}) \quad (9)$$

In general, the computations of the prior and posterior probabilities cannot be carried out analytically, hence the need for approximate methods such as Monte Carlo sampling.

Particle filtering approximates the distribution by a cloud of N weighted particles $\{\mathbf{x}_k^{(i)}, w_k^{(i)}\}_{i=1}^N$ where $w_k^{(i)}$ are the importance weights, normalized to sum up to one. Thus,

$$p(\mathbf{x}_k|\mathbf{y}_k) \approx \sum_{i=1}^N w_k^{(i)} \delta(\mathbf{x}_k - \mathbf{x}_k^{(i)}) \quad (10)$$

where $\delta(\cdot)$ is the Dirac delta impulse.

Thus, the particle filtering algorithm performs the following steps:

- 1: Initialization: Sample N particles from a initial distribution $p(\mathbf{x}_0)$
- 2: For $t=0$ to K (end of signal) do
- 3: Compute the importance weights $w_k^{(i)}$ of particle $\mathbf{x}_k^{(i)}$ from the likelihood $p(\mathbf{y}_k|\mathbf{x}_k^{(i)})$
- 4: Normalize importance weights
- 5: Resampling particles according to distribution of $w_k^{(i)}$
- 6: Compute estimate $\bar{\mathbf{x}}_k = \sum_{i=1}^N w_k^{(i)} \cdot \mathbf{x}_k^{(i)}$
- 7: Sample N particles from $p(\mathbf{x}_k|\mathbf{x}_{k-1}^{(i)})$
- 8: end for

3 RESULTS

The algorithm previously described was implemented in Matlab and applied to synthetic ECG signals. Noise was added in order to achieve different signal-to-noise ratios (SNR) in the range $(-28, 10)$.

Figure 1 shows the ECG generated with the model (z_k), the noisy ECG (s_k) and the denoised signal (s_k^{out}) obtained with the PF approach with 500 particles (left) and 1000 particles (right), with an input signal with $SNR = -1$. Note that output of the algorithm reflects a compromise between the noisy observations and the real ECG.

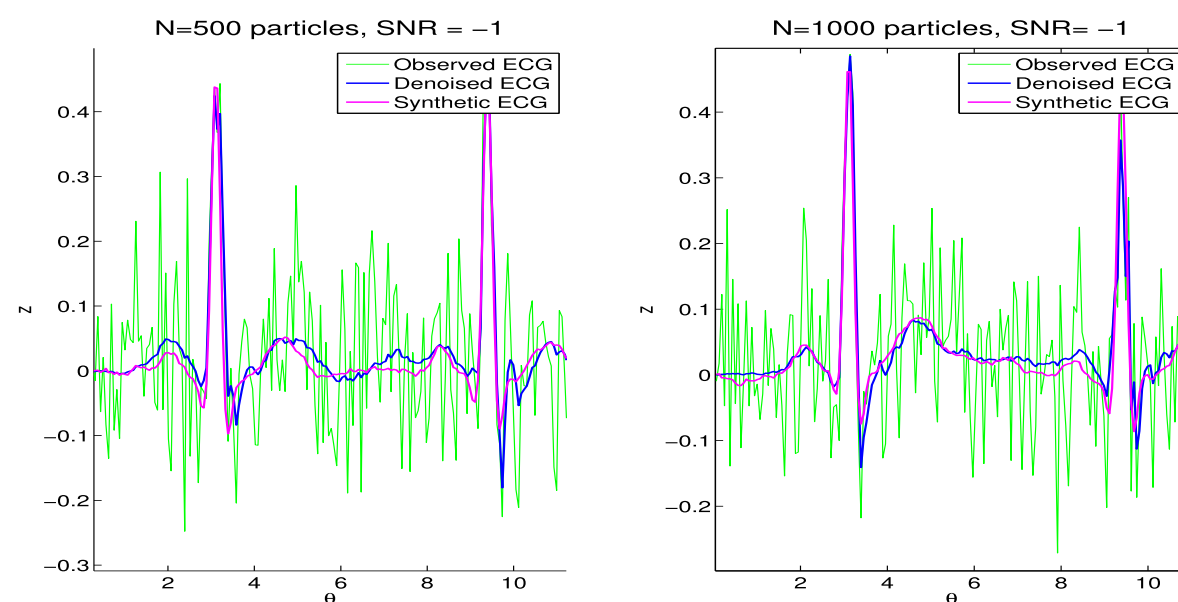


Figure 1: ECG, observed and denoised signals

The performance of the algorithm is measured with the SNR improvement, given by

$$SNR_{improvement} = SNR_{output} - SNR_{input} = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_k (s_k - z_k)^2}{\sum_k (s_k^{out} - z_k)^2} \right) \quad (11)$$

Figure 2 shows the SNR improvements versus different input SNRs. These improvement values were obtained as the mean of 20 runs for each input SNR level.

It may be observed, as expected, that the improvement increases as the SNR of the measured signal decreases. Moreover, the figure shows that better improvements are achieved with more particles. It is worth to note that for lower SNRs the difference in performances is more evident, while for higher SNRs (low noise) it seems that the number of particles is quasi irrelevant for the efficiency of the denoising algorithm.

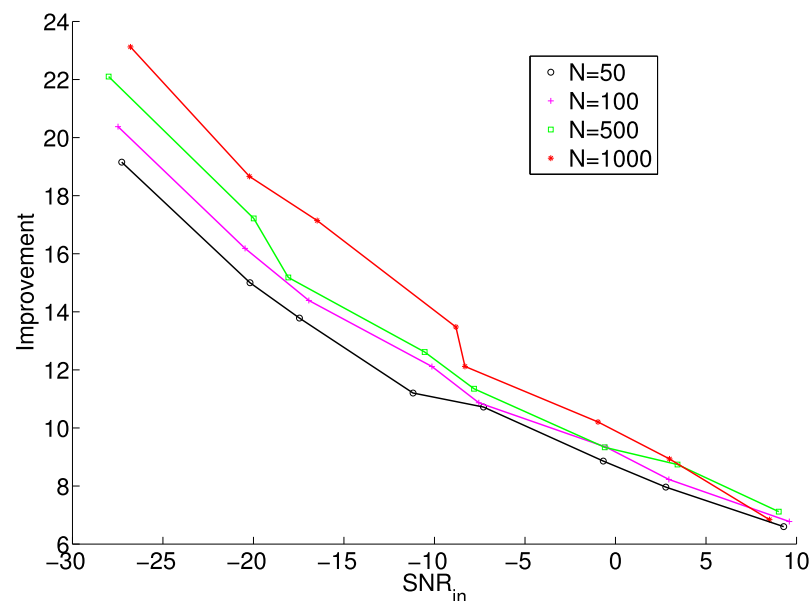


Figure 2: Denoising performance vs SNR level

4 CONCLUSIONS

This paper has implemented a Particle Filter of single channel noisy ECG signals. The filter was applied to a modified dynamical ECG model defined by a nonlinear state-space model. The algorithm showed that denoising improvements in ECG signals can be obtained when using a PF. The proposed PF approximates the unknown parameter posterior distribution by exploiting the specific structure of the state space model. It is interesting to note that the PF method allows any (possibly non-Gaussian) noise distribution to be considered. This property is very interesting for physiological signal processing, where the noise is often complex and non Gaussian. The proposed PF algorithm can serve as a reference for ECG denoising which is interesting in many biomedical applications. Future work includes applying this algorithm to real signals with parameters previously adjusted with other methods.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge to Universidad Abierta Interamericana and Universidad Nacional Arturo Jauretche for the financial support that allowed the realization of the present paper.

REFERENCES

- [1] A. GRUETZMANN, HANSEN S. AND MULLER J., *Novel dry electrodes for ECG monitoring*, *Physiol. Meas.*, vol. 28 (2007), pp. 1375-1390.
- [2] M. S. ARULAMPALAM, MASKELL S., GORDON N. AND CLAPP T., *A tutorial on particle filters for online nonlinear/nonGaussian Bayesian tracking*, *IEEE Trans. Signal Process.* vol. 50 (2002), pp. 174-188.
- [3] P. E. MCSHARRY, CLIFFORD G. D., TARASSENKO L., AND SMITH L. A., *A dynamical model for generating synthetic electrocardiogram signals*, *IEEE transactions on biomedical engineering* vol. 50.3 (2003), pp. 289-294.
- [4] Z. CHEN, *Bayesian filtering: From Kalman filters to particle filters, and beyond*, *Statistics*, Vol. 182-1(2003), pp. 1-69.
- [5] S. LIBERCZUK, BERGAMINI M. L. AND ARINI P. D., *Heart Beat Parametric Modeling Based on Monte Carlo Fitting Techniques*, XXI Congreso Argentino de Bioingeniería, X Jornadas de Ingeniería Clínica, 2017.
- [6] S. LIBERCZUK AND BERGAMINI M. L., *Model Based Feature Extraction Method for Myocardial Infarction Detection*, *Mecánica Computacional*, vol. XXXVI (2018), pp. 1807-1814.



ASAMACI

Asociación Argentina de Matemática Aplicada, Computacional e Industrial

Güemes 3450, (3000) Santa Fe, Argentina.

E-mail: asamaci@gmail.com

<http://asamaci.org.ar/>