



13TH INTERNATIONAL CONGRESS ON COMPUTER SCIENCE RESEARCH

# CIICCOG

13MO SIMPOSIUM IBEROAMERICANO DE COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA

## PROCEEDINGS - MEMORIA

Tampico, México,  
15-17 NOVIEMBRE 2006

Instituto Tecnológico de Ciudad Madero

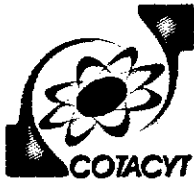
## Organizers - Organizadores



"POR MI PATRIA Y POR MI BIEN"

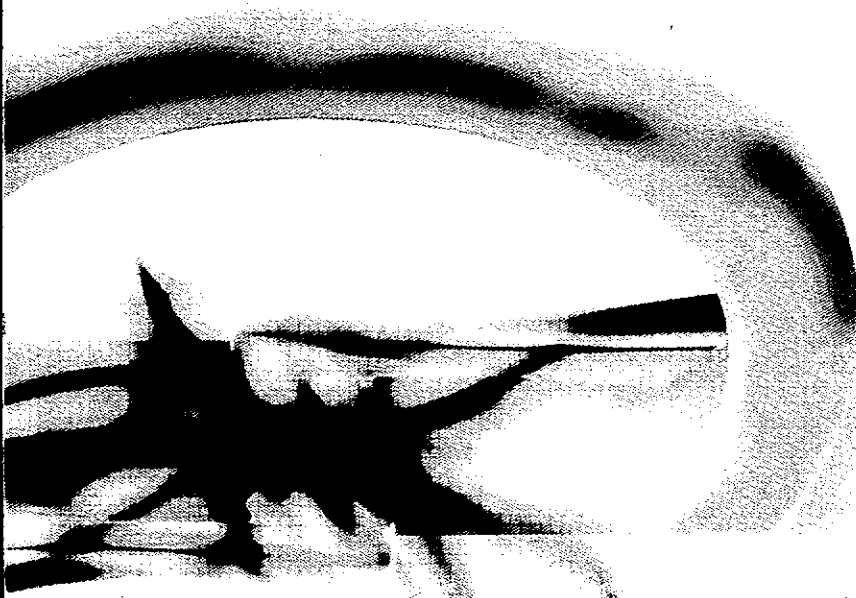


## Sponsors - Patrocinadores



Instituto Tecnológico de Ciudad Madero

Cd. Madero, Tamaulipas, México, Noviembre de 2006





## Proceedings – Memoria

# 13th International Congress on Computer Science Research 7mo. Simposium Iberoamericano de Computación e Informática

### **Compiladores – Compilers:**

Dr. Rodolfo A. Pazos Rangel

Dr. José A. Martínez Flores

M.C. Olivia G. Fragoso Diaz

### **Organizadores – Organizers:**

Instituto Tecnológico de Ciudad Madero  
Academia Nacional de Ciencias Computacionales (ANaCC)  
Capítulo de Computación de la Sección Morelos

### **Patrocinadores – Sponsors:**

Association for Computing Machinery (ACM)  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)  
Consejo Tamaulipeco de Ciencia y Tecnología (COTACYT)

Tampico, Tamaulipas, México

15-17 de noviembre de 2006 – November 15-17, 2006

**Título de la 1ra. parte:**

**Proceedings of the 13th International Congress on Computer Science Research**

**Título de la 2da parte:**

**Memoria del 7mo. Simposium Iberoamericano de Computación e Informática**

**Compiladores:**

Dr. Rodolfo A. Pazos Rangel

Dr. José A. Martínez Flores

M.C. Olivia G. Fragoso Diaz

Esta obra incluye artículos tanto en español como inglés de los siguientes temas: *Cómputo evolutivo*, *Inteligencia artificial*, *Ingeniería de software* y *Sistemas de cómputo distribuidos*.

Los compiladores de esta obra realizaron su mejor esfuerzo en la preparación de esta compilación, pero no ofrecen ninguna garantía expresa o implícita respecto al contenido de los artículos.

Los autores de los artículos han certificado que éstos no contienen materiales cuya publicación viola los derechos de publicación u otros derechos de propiedad de cualquier persona, empresa o institución. Además, los autores de los artículos asumen exclusivamente toda la responsabilidad por la publicación de éstos.

© Derechos reservados, Edición: noviembre de 2006  
Dirección General de Educación Superior Tecnológica (DGEST)  
Patriotismo No. 711, Edificio B  
Col. San Juan Mixcoac, Delegación Benito Juárez  
México, D.F.  
<http://www.dgit.gob.mx>

Impreso en México  
ISBN 968-5823-33-2

## **Mensaje del Director del Inst. Tecnológico de Ciudad Madero**

El Instituto Tecnológico de Cd. Madero (ITCM) y la Academia Nacional de Ciencias Computacionales (ANaCC) agradecemos y les brindamos una cordial felicitación a todos los participantes del 13avo. Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Computacionales y al 7mo. Simposium de Computación e Informática.

Ésta es la decimotercera edición de este congreso que tuvo su origen en 1994 ante la preocupación de investigadores de la ANaCC y de aquellas otras instituciones con los que mantenemos relación académica en México y allende las fronteras por lograr una identificación y unir esfuerzos que generarán la sinergia necesaria, que hoy ha permitido y fomentado la obtención de logros significativos para crear nuevas y mejores tecnologías, que redundan en mayores y mejores oportunidades de desarrollo y beneficio de la educación, de la productividad y la de mejoras en la calidad de vida.

El grupo de investigadores del ITCM y la ANaCC, con su responsabilidad asumida, establecen como una de sus principales metas, la organización de este 13avo. congreso. Hoy se ve realizada esta meta, después de un año de trabajos encaminados al logro del éxito de este magno evento.

Los vertiginosos cambios que definen la evolución del descubrimiento y la generación tecnológica nos han permitido, lo que es una fortuna, participar y observar que aún la teoría de la futurología cambia por el propio cambio, y hoy nos encontramos en la era del conocimiento, que sólo con los adelantos y desarrollo de los sistemas informáticos y computacionales, así como de la Internet y las tecnologías de la información en general, ha sido posible.

Dos aspectos caracterizan este congreso, el primero es que se abren puertas a los investigadores y cuerpos académicos, ya que se busca lograr el acercamiento de las diferentes regiones tal como lo exige el desarrollo mundial actual. El segundo es el lograr que este congreso se constituya en un verdadero foro en el que los investigadores y académicos den a conocer los resultados de sus experiencias investigativo-académicas para compartirlas entre ellos, y así seguir enriqueciendo el desarrollo de las ciencias computacionales e informáticas.

Así para el ITCM, la organización de este evento representa una ocasión más para seguir fomentando y estableciendo los vínculos necesarios entre investigadores, académicos e instituciones, ser el marco propicio de un espacio de reflexión colectiva y de una convivencia en que convergen inteligencia, conocimiento, motivación y camaradería.

Es mi deseo firme que los trabajos realizados en este evento sean de gran provecho para mantener la relación entre instituciones y provocar logros que coadyuven a la integración de un nuevo paradigma científico-académico en beneficio de profesores, investigadores, estudiantes y sector productivo, con una sólida responsabilidad ética y un claro compromiso social. Todo ello con la idea de que el conocimiento es el único bien que más crece cuando más se comparte.

**Ing. José Fausto León Jacobo**  
**Director del I.T.C.M.**

## Mensaje del Comité Organizador

Las ciencias de la computación continúan siendo una de las disciplinas que más impacto tienen en todos los ámbitos de nuestra vida. El ejemplo más notable es que, en los últimos años, la computadora ha pasado de ser una herramienta de trabajo a un artículo del hogar. Indirectamente, la computación, combinada con otras disciplinas y tecnologías, se encuentra presente en ámbitos tan importantes como Internet, telefonía inalámbrica, equipos médicos, automóviles, cajeros automáticos, comercio electrónico, gestión de empresas, etc.

Desde su creación en 1992, la Academia Nacional de Ciencias Computacionales (ANaCC) se propuso contribuir a incrementar el nivel académico de profesores y estudiantes en el área de computación de las instituciones del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica en particular y del País en general. Para tal efecto, **la ANaCC ha organizado anualmente durante 15 años de manera ininterrumpida, primero dos congresos de alcance nacional y después 13 congresos de alcance internacional.**

Este año la ANaCC celebra el 13vo. Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Computacionales (CIICC'06) y el 7mo. Simposium Iberoamericano de Computación e Informática (SICI'06), con el propósito de proporcionar un foro para que investigadores y académicos intercambien sus más recientes resultados originales de investigación y aplicación de las ciencias computacionales.

En esta ocasión el CIICC'06-SICI'06 cuenta con la participación de más de 40 ponentes y conferencistas procedentes de 27 instituciones representando a 4 países. El programa del CIICC'06-SICI'06 incluye conferencias magistrales y ponencias científicas y técnicas.

Los temas a tratar incluyen, entre otros, temas de actualidad como computación evolutiva, multiagentes, Internet, computación inalámbrica y ubicua, inteligencia artificial e ingeniería de software, así como aplicaciones en ingeniería y administración.

Los artículos incluidos en la memoria, fueron evaluados por dos revisores tomando en cuenta su originalidad, interés y presentación. El programa técnico ofrece a los participantes una magnífica oportunidad para incrementar sus conocimientos, conocer a nuevos colegas, e intercambiar ideas y experiencias.

En nombre del Comité Organizador del CIICC'06-SICI'06, les damos la más cordial bienvenida y los invitamos a realizar un fructífero intercambio de información técnica.

**Dr. Rodolfo A. Pazos Rangel**  
**Presidente del Comité de Programa**

## Comité Organizador – Organizing Committee

**Director del Inst. Tecnológico de Cd. Madero**  
**Inst. Tecnológico de Cd. Madero President**  
José Fausto León Jacobo, *ITCM (México)*

**Presidente del Congreso**  
**Congress Chairman**  
Jesús V. Flores Morfín  
*Inst. Tecnológico de La Laguna (México)*

**Coordinación General**  
**General Coordination**  
Lorenzo J. Cavazos Martínez, *ITCM (México)*

**Presidente del Comité de Programa**  
**Program Committee Chairman**  
Rodolfo A. Pazos Rangel, *CENIDET (México)*

**Vicepresidenta del Comité de Programa**  
**Program Committee Vice-chairwoman**  
Nieves Rodríguez Brisaboa  
*Univ. da Coruña (España)*

**Coordinación del Comité de Programa**  
**Program Committee Coordination**  
Olivia G. Fragoso Díaz, *CENIDET (México)*  
José A. Martínez Flores, *ITCM (México)*

**Coordinación Administrativa**  
**Administrative Coordination**  
Graciela Mora Otero, *ITCM (México)*

**Coordinación Operativa**  
**Operating Coordination**  
Héctor Fraire Huacuja, *ITCM (México)*

**Coordinación Académica**  
**Academic Coordination**  
Laura Cruz Reyes, *ITCM (México)*

**Coordinación de Apoyo Estudiantil**  
**Student Aid Coordination**  
J. Javier González Barbosa, *ITCM (México)*

**Comité de Patrocinios**  
**Sponsorship Committee**  
J. Javier González Barbosa, *ITCM (México)*

**Comité de Finanzas**  
**Finance Committee**  
Clara Alicia Vela Ortega, *ITCM (México)*

**Comité de Suministros**  
**Supplies Committee**  
Graciela Mora Otero  
Martha B. Mojica Mata  
Ma. Victoria J. Ling Chong  
Laura T. Contreras Alvarez  
Alma Mar Barón  
*ITCM (México)*

**Comité de Logística**  
**Logistics Committee**  
Arquímedes Godoy Vinaja  
Laura P. Vélez Chong  
Ana G. Vélez Chong  
Francisco J. Trejo Torres  
Martha Barrios Coronado  
Laura S. Vargas Pérez  
*ITCM (México)*

**Comité de Difusión**  
**Publicity Committee**  
Victor H. Guerrero Treviño  
Jorge Peralta Escobar  
Sandra A. Pérez Sequera  
Luis M. Díaz Guido  
*ITCM (México)*

**Comité de Conferencias Magistrales**  
**Keynote Speeches Committee**  
Laura P. Vélez Chong  
Ana G. Vélez Chong  
Andrés de J. Berlanga Téllez Girón  
Rosa M. Ferretiz Castillo  
*ITCM (México)*

## Comité Organizador – Organizing Committee

### **Comité de Ponencias**

#### **Lectures Committee**

Arquímedes Godoy Vinaja  
Paula A. Aguilar Alcalá  
Ma. del Carmen Lawrence Santillán  
Rosa Delia Retiz Rivera  
*ITCM (México)*

### **Comité de Memorias**

#### **Proceedings Committee**

Rubén Basáñez Castro  
Margarita Sierra Ruiz.  
*ITCM (México)*

### **Comité de Inscripciones**

#### **Registration Committee**

Clara A. Vela Ortega  
Martha Barrios Coronado  
*ITCM (México)*

### **Comité de Ceremonias**

#### **Ceremony Committee**

Ana G. Vélez Chong  
Eurí Salgado Escobar  
*ITCM (México)*

### **Comité de Soporte Técnico**

#### **Technical Support Committee**

Edna Luna Lambarria  
Rubén Basáñez Castro  
*ITCM (México)*

### **Comité de Eventos Culturales**

#### **Cultural Events Committee**

Fernando Lomelí Lira  
Lucas D. Ordóñez Pacheco  
*ITCM (México)*

### **Comité de Vigilancia**

#### **Security Committee**

J. Demetrio Hilario Azcorra  
Pablo Castillo García  
Gilberto Sosa Villarreal  
Ramón Sánchez Garza  
*ITCM (México)*

### **Comité de Hospedaje**

#### **Lodging Committee**

Guillermina Tobías Puga  
Silvia B. Brachetti Sibaja  
Carmina Menéndez Cortázar  
Bertha Mercado Zamorano  
*ITCM (México)*

### **Comité de Mantenimiento**

#### **Maintenance Committee**

Armando Becerra del Angel  
Jorge L. Rivera Hernández  
Víctor M. García Cruz  
José V. Espinosa Netro  
*ITCM (México)*

### **Comité de Servicios Médicos**

#### **Medical Services Committee**

Elvia M. J. Nava Mercado  
Jesús Reséndez Manzano  
Guillermina Pérez  
*ITCM (México)*

### **Capítulo Estudiantil de ACM**

#### **ACM Student Chapter**

Osiris L. Torres García  
Gustavo A. Grajales González  
René K. Pérez González  
Adriana N. Acosta Piñón  
*ITCM (México)*



## Comité de Programa – Program Committee

M.C. Andrea Magadán S.  
*CENIDET (México)*

Dr. J. Gabriel González S.  
*CENIDET (México)*

Dr. Andrés F. Rodríguez M.  
*Inst. de Investigaciones Eléctricas (México)*

Dr. J. Javier González B.  
*Inst. Tecnológico de Cd. Madero (México)*

Dra. Azucena Montes R.  
*CENIDET (México)*

Dr. Javier Ortiz H.  
*CENIDET (México)*

Dr. Gerardo Reyes S.  
*CENIDET (México)*

Dr. Joaquín Pérez O.  
*CENIDET (México)*

Dr. Guillermo Rodríguez O.  
*Inst. de Investigaciones Eléctricas (México)*

M.C. Jorge A. Ruiz V.  
*CENIDET (México)*

Dr. Héctor J. Fraire H.  
*Inst. Tecnológico de Cd. Madero (México)*

M.C. Jorge O. Ceyca C.  
*CENIDET (México)*

M.C. Humberto Hernández G.  
*Inst. de Investigaciones Eléctricas (México)*

Dr. José L. Liñán G.  
*ITESM (México)*

M.C. Isaac A. Parra R.  
*Inst. de Investigaciones Eléctricas (México)*

Dr. José Ruiz A.  
*CENIDET (México)*

Dr. J. Antonio Martínez F.  
*Inst. Tecnológico de Cd. Madero (México)*

Dra. Laura Cruz R.  
*Inst. Tecnológico de Cd. Madero (México)*

M.C. J. Antonio Zárate M.  
*CENIDET (México)*

Dr. Manuel Pérez C.  
*Univ. de Vigo(España)*

Dr. J. Armando Segovia de Los R.  
*Inst. Nal. de Investigaciones Nucleares (México)*

Dra. Maricela Bravo C.  
*CENIDET (México)*

Dr. J. Crispín Zavala D.  
*Univ. Autónoma del Edo. de Morelos (México)*

M.C. Mario Guillén R.  
*Inst. de Investigaciones Eléctricas (México)*

## Comité de Programa – Program Committee

Dr. Máximo López S.  
*CENIDET (México)*

Dr. Raúl Pinto E.  
*CENIDET (México)*

Dr. Mosiés González G.  
*CENIDET (México)*

Dr. René Santaolaya S.  
*CENIDET (México)*

M.C. Olivia G. Fragoso D.  
*CENIDET (México)*

M.C. Reynaldo Alanís C.  
*ITESM (México)*

M.C. Osslán O. Vergara V.  
*CENIDET (México)*

Dr. Rodolfo A. Pazos R.  
*CENIDET (México)*

Dra. Paloma Cáceres G. de M.  
*Univ. Rey Juan Carlos (España)*

Dr. Victor J. Sosa S.  
*CENIDET (México)*

## Contenido – Contents

<b>MENSAJE DEL DIRECTOR DEL INST. TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO .....</b>	<b>iii</b>
<b>MESSAGE FROM THE INST. TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO PRESIDENT .....</b>	<b>iv</b>
<b>MENSAJE DEL COMITÉ ORGANIZADOR.....</b>	<b>v</b>
<b>MESSAGE FROM THE ORGANIZING COMMITTEE.....</b>	<b>vi</b>
<b>COMITÉ ORGANIZADOR – ORGANIZING COMMITTEE .....</b>	<b>vii</b>
<b>COMITÉ DE PROGRAMA – PROGRAM COMMITTEE.....</b>	<b>ix</b>
<b><u>ARTÍCULOS DEL CIICC'06 – CIICC'06 PAPERS</u></b>	
<b>SESIÓN 1A: COMPUTACIÓN EVOLUTIVA</b>	
<b>SESSION 1A: EVOLUTIONARY COMPUTING</b>	
<b>Análisis Comparativo de Metaheurísticas para Resolver 3 - SAT .....</b>	<b>3</b>
Guadalupe Castilla V., José A. Ramírez S., Claudia G. Gómez S., Tania Turrubiates L. y Oscar E. Ramírez T., <i>Inst. Tecnológico de Ciudad Madero (México)</i> .	
<b>Reducción de la Varianza en la Evaluación Experimental de Algoritmos Metaheurísticos.....</b>	<b>14</b>
Héctor J. Fraire H., Guadalupe Castilla V., Arturo Hernández R., Santos Aguilar de L., Georgina Castillo V. y Carlos A. Camacho A., <i>Inst. Tecnológico de Ciudad Madero (México)</i> .	
<b>Agente de Aprendizaje para Representar la Complejidad del Problema y Desempeño del Algoritmo.....</b>	<b>23</b>
Laura Cruz R., Victor Alvarez H. , Vanesa Landero N., Verónica Pérez R. y Claudia Gómez S., <i>Inst. Tecnológico de Ciudad Madero (México) y Centro Nal. de Invest. y Des. Tecnológico (México)</i> .	
<b>Evaluación de Técnicas de Cruza en Algoritmos Genéticos para el Problema del Agente Viajero.....</b>	<b>34</b>
Guadalupe Castilla V., Karla Espriella F. y Carlos A. Hernández C., <i>Inst. Tecnológico de Ciudad Madero (México) y Centro de Invest. en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (México)</i> .	
<b>Configuración de Algoritmos Genéticos para el Problema de Empacado de Objetos.....</b>	<b>43</b>
Diana M. Nieto Y., Pedro Tomás S., Guadalupe Castilla V., Héctor Fraire H. y Laura Cruz R., <i>Inst. Tecnológico de Ciudad Madero (México)</i> .	

<b>Estrategia de Reparación para el Operador de Cruza en Algoritmos Genéticos Aplicados al</b>	54
<b>Problema de Empacado de Objetos.</b>	
José F. Delgado O., José M. Gómez R., Guadalupe Castilla V., Héctor J. Fraire H. y Juan J. González B., <i>Inst. Tecnológico de Ciudad Madero (México)</i> .	
<b>SESIÓN 1B: MULTIAGENTES E INTERNET</b>	
<b>SESSION 1B: MULTI-AGENTS AND INTERNET</b>	
<b>Multi-Agent Based Urban Traffic Control</b>	67
Joel Trejo S., Emmanuel López N., Ernesto López M. y Antonio Ramírez T., <i>Centro de Invest. y de Est. Avanzados (México)</i> .	
<b>Design of a Multi-Agent Architecture to Manage Knowledge</b>	78
Juan P. Soto, Aurora Vizcaíno, Javier Portillo, Mario Piattini, <i>Univ. de Castilla-La Mancha (España)</i> .	
<b>An IPv4-IPv6/MPLS Router Design Based on Click Platform</b>	91
Marco Hernández V., Omaira Parada G., Enrique Luna R., Francisco J. Álvarez y José M. Haro, <i>Inst. Tecnológico de Aguascalientes (México), Univ. Politécnica de Madrid (España), Univ. Autónoma de Aguascalientes (México) e Inst. Tecnológico del Llano (México)</i> .	
<b>Order on Chaos: Looking for Web Pages through an Ontology Populated by Automatic Text Classification</b>	103
Ismael R. Ponce M., José A. Zárate M. y Rodolfo Pazos R., <i>Centro Nal. de Invest. y Des. Tecnológico (México)</i> .	
<b>Análisis de la Distribución del Grado en la Topología de Internet</b>	111
Rogelio Ortega I., Eustorgio Meza C., Claudia Gómez S., Laura Cruz R., Guadalupe Castilla V. y Tania Turrubiates L., <i>Centro de Invest. en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (México) e Inst. Tecnológico de Ciudad Madero (México)</i> .	
<b>SESIÓN 1C.1: INGENIERÍA DE SOFTWARE Y ADMINISTRACIÓN I</b>	
<b>SESSION 1C.1: SOFTWARE ENGINEERING AND MANAGEMENT I</b>	
<b>Modelo de Consultoría de los Centros de Educación Superior para la Intervención de la Micro, Pequeñas y Mediana Empresa Basado en la Teoría General de Sistemas</b>	125
José P. González F. y Francisco Gutiérrez V., <i>Inst. Tecnológico de Celaya (México)</i> .	
<b>Validación Empírica de Medidas para Modelos de Procesos de Negocio</b>	136
Elvira Rolón, Francisco Ruiz, Félix García y Mario Piattini, <i>Univ. Autónoma de Tamaulipas (México) y Univ. de Castilla-La Mancha (España)</i> .	
<b>The Design of Software Architecture Views Driven by Architectural Styles</b>	146
Rogelio Limón C., Isidro Ramos S. y Arturo Aragón S., <i>Univ. Politécnica de Valencia (España) e Inst. Tecnológico de Oaxaca (México)</i> .	

## **Validación Empírica de Medidas para Modelos de Procesos de Negocio**

Elvira Rolón<sup>1</sup>, Francisco Ruiz<sup>2</sup>, Félix García<sup>2</sup>, Mario Piattini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller

Universidad Autónoma de Tamaulipas

Centro Universitario Tampico-Madero, 89336 (México)

<sup>2</sup>Departamento de Tecnologías y Sistemas de Información

Centro Mixto de Investigación y Desarrollo de Software UCLM-Soluziona

Universidad de Castilla-La Mancha, Paseo de la Universidad N° 4,

13071, Ciudad Real (España)

E-mail: erolon@proyectos.inf-cr.uclm.es , {francisco.ruizg, felix.garcia, mario.piattini}@uclm.es

### **Resumen**

El modelado y diseño de procesos de negocio han adquirido gran atención en los últimos años tanto en el contexto de sistemas de información, como en la Reingeniería de Procesos de negocio, popularidad que se ha visto propiciada por el surgimiento de nuevas y diferentes propuestas para la Gestión de Procesos de Negocio (BPM). En este trabajo se presenta la validación empírica a partir de un primer experimento, de un conjunto de medidas para modelos de proceso de negocio definidas en base a la notación BPMN (Business Process Modeling Notation). Con las medidas definidas se pretende obtener indicadores útiles a la hora de llevar a cabo las labores de mantenimiento de los modelos, con lo que adicionalmente se proporciona soporte a la gestión de procesos de negocio al facilitar la evaluación temprana de ciertas propiedades de calidad de los modelos.

Palabras clave: Modelos de Procesos de Negocio, Evaluación, Medición, Validación Empírica.

### **1. Introducción**

Los procesos de negocio al ser de naturaleza compleja deben ser documentados, entendidos y controlados, y una de sus características es que pueden ser evaluados y medidos. De esta manera se proporciona la base necesaria para efectuar una adecuada gestión de los procesos y en su caso para llevar a cabo una reingeniería de procesos de negocio en la organización.

Como consecuencia del surgimiento de nuevas y diferentes propuestas para la gestión de procesos de negocio, se han propiciado dos importantes aspectos relacionados a los requisitos de los modelos de procesos [1]: 1. Que se haya incrementado considerablemente la cantidad y variedad de usuarios y diseñadores de modelos y, 2. que se haya incrementado la cantidad y variedad de los propósitos para los cuales son usados los modelos de procesos.

Por lo anterior, nuestro trabajo está centrado en la evaluación de los modelos de proceso de negocio en un nivel conceptual, con lo que se pretende dar soporte a la gestión de procesos de

negocio facilitando la evaluación temprana de ciertas propiedades de calidad de los modelos de procesos, facilitando adicionalmente la evolución de los modelos de procesos de negocio al proporcionar información objetiva acerca de la mantenibilidad de dichos modelos en aquellas compañías que evalúan la mejora de sus procesos para su adaptación a entornos de mercado en constante cambio.

Para obtener indicadores útiles a nuestros fines se ha definido un conjunto de medidas para modelos de proceso de negocio, y actualmente se está llevando a cabo una familia de experimentos con una población integrada por expertos en análisis de negocios y en ingeniería de software, lo que nos permitirá comparar los resultados de ambos tipos de perfiles, y algo aún más importante, nos permitirá validar las medidas propuestas. A partir de los resultados obtenidos de un primer experimento, en el apartado 4 se presenta la validación empírica de las medidas definidas.

## 2. Definición de Medidas para Procesos de Negocio

Nuestro interés radica en la evaluación de los procesos de negocio a partir del modelo que los representa en un nivel conceptual, para ello nos hemos basado en la notación BPMN (Business Process Modeling Notation) [2], por ser la notación estándar más reciente específica para el modelado de procesos de negocio. BPMN proporciona una notación gráfica para expresar procesos de negocio mediante un Diagrama de Procesos de Negocio (DPN) que está compuesto de dos categorías básicas de elementos con los cuales es posible desarrollar desde modelos de procesos simples hasta modelos complejos o de alto nivel.

Además, nuestro trabajo está basado en la propuesta de FMESP (Framework for the Modeling and Evaluation of Software Processes) [3] en el cual se definen un conjunto de métricas para evaluar los modelos de procesos software en dos niveles: i) a nivel de modelo para evaluar la complejidad estructural del modelo en su totalidad; ii) a nivel de los elementos fundamentales del modelo, para evaluar la complejidad concreta de elementos tales como *actividades*, *roles* o *productos de trabajo*. El objetivo de la definición y validación de métricas en FMESP fue el de determinar un conjunto de indicadores que fueran útiles para la mantenibilidad de los modelos de proceso software mediante la evaluación de la complejidad estructural de los mismos.

Para lograr nuestro objetivo se ha retomado la idea de FMESP adaptándola y extendiéndola a modelos de procesos de negocio (MPNs) representados con BPMN. Asimismo, se ha definido un conjunto de medidas para modelos representados con BPMN que han sido agrupadas en dos categorías: medidas base y medidas derivadas.

Las medidas base consisten principalmente en contar los elementos significativos del modelo de proceso de negocio y han sido definidas un total de 46 medidas base en función de los principales elementos que componen el metamodelo de BPMN, las cuales están distribuidas acorde a las cuatro categorías de elementos quedando de la siguiente manera: 37 medidas base corresponden a la categoría de *Objetos de Flujo*, 5 a la categoría de *Objetos de Conexión*, 2 a la categoría de *Carriles* y 2 medidas a la categoría de *Artefactos*. En la Tabla I se muestran las medidas base correspondientes a los Objetos de Conexión.

Tabla I. Medidas base para objetos de conexión

Elemento Central	Nombre Métrica	Definición
Flujo de Secuencia	<b>NSF</b>	Número de Flujos de Secuencia en el Proceso
Flujo de Mensaje	<b>NMF</b>	Número de Flujos de Mensaje entre participantes en el Proceso
Participantes	<b>NP</b>	Número de Participantes en el Proceso
Carriles	<b>NL</b>	Número de Carriles en el Proceso
Objetos de Datos (Entradas)	<b>NDOIn</b>	Número de Objetos de Datos de entrada a actividades en el Proceso
Objetos de Datos (salidas)	<b>NDOOut</b>	Número de Objetos de Datos de Salida de actividades en el proceso.

Con la definición de todas las medidas base, es posible conocer el número de elementos significativos que componen el diagrama de proceso de negocio. Ahora bien, a partir de las medidas base se ha definido un conjunto de medidas derivadas, las cuales permiten conocer las proporciones existentes entre los diferentes elementos del modelo. El conjunto de medidas derivadas definidas se muestra a continuación en la Tabla II.

Tabla II. Medidas derivadas definidas en función de las medidas base

Métrica	Definición	Fórmula
<b>TNSE</b>	Número Total de Eventos de Inicio del Modelo	$TNSE = NSNE + NSTE + NSMsE + NSRE + NSLE + NSMuE$
<b>TNIE</b>	Número Total de Eventos Intermedios del modelo	$TNIE = NINE + NITE + NIMsE + NIEE + NICaE + NICoE + NIRE + NILE + NIMuE$
<b>TNEE</b>	Número Total de Eventos Finales del Modelo	$TNEE = NENE + NEMsE + NEEE + NECaE + NECoE + NELE + NEMuE + NETE$
<b>TNT</b>	Número Total de Tareas del Modelo	$TNT = NT + NTL + NTMI + NTC$
<b>TNCS</b>	Número Total de Sub-Procesos Colapsados del Modelo	$TNCS = NCS + NCSL + NCSMI + NCSC + NCSA$
<b>TNE</b>	Número Total de Eventos del Modelo	$TNE = NTSE + NTIE + TNEE$
<b>TNG</b>	Número Total de Decisiones/Uniones del Modelo	$TNG = NEDDB + NEDEB + NID + NCD + NPF$
<b>TNDO</b>	Número Total de Objetos de Datos en el Modelo	$TNDO = NDOIn + NDOOut$
<b>CLA</b>	Nivel de Conectividad entre Actividades	$CLA = \frac{TNT}{NSF}$
<b>CLP</b>	Nivel de Conectividad entre Participantes	$CLP = \frac{NMF}{NP}$
<b>PDOPIn</b>	Proporción de Objetos de Datos como productos de entrada y el total de Objetos de Datos	$PDOPIn = \frac{NDOIn}{TNDO}$
<b>PDOPOut</b>	Proporción de Objetos de Datos como productos de salida y el total de Objetos de Datos.	$PDOPOut = \frac{NDOOut}{TNDO}$
<b>PDOTOOut</b>	Proporción de Objetos de Datos Producto resultante de las Actividades del Modelo	$PDOTOOut = \frac{NDOOut}{TNT}$
<b>PLT</b>	Proporción de Participantes y/o carriles y las actividades del Modelo	$PLT = \frac{NL}{TNT}$

Con la definición de las medidas base y derivadas, es posible evaluar la complejidad estructural de los modelos de proceso de negocio expresados con BPMN. De esta manera, al analizar estructuralmente el modelo también es posible evaluar su calidad. Lindland *et al.* [4] definen tres criterios de calidad para modelos conceptuales: calidad semántica, calidad sintáctica y calidad pragmática; y mediante la evaluación propuesta de los modelos de procesos de negocio sería posible evaluar la calidad sintáctica de los mismos, es decir la referente al análisis de aspectos puramente estructurales del modelo.

Para obtener resultados fehacientes y saber si las medidas propuestas para la evaluación de modelos de procesos de negocio son útiles en casos reales, es necesario efectuar una validación empírica de las mismas. Para tal efecto y basándonos en el trabajo realizado por Canfora, *et al.* [5], se está desarrollando una familia de experimentos, con el propósito de evaluar aspectos de calidad de modelos conceptuales de procesos de negocio expresados con BPMN. En la siguiente sección se describen aspectos relacionados a lo antes mencionado.

### **3. Plan Experimental**

El objetivo de nuestro estudio está centrado en la evaluación de modelos de procesos de negocio (MPNs) a partir del modelo que los representa, para ello, a fin de validar las medidas propuestas, se está desarrollando una familia de experimentos. La planificación para llevar a cabo dicha familia de experimentos se describe a continuación.

#### **3.1 Participantes**

Los participantes deben tener algún conocimiento en el modelado de software (UML, bases de datos, etc.) e idealmente también deben estar familiarizados con el modelado de procesos de negocio. Inicialmente, se les imparte una conferencia introductoria acerca del modelado de procesos de negocio y del metamodelo BPMN. Asimismo se desarrolla una sesión de entrenamiento para proporcionar a los participantes el conocimiento necesario para hacer las tareas requeridas. Sin embargo, los sujetos no son conscientes de los aspectos que intentamos estudiar.

#### **3.2 Material**

El material preparado consiste en una selección de diez modelos de procesos de negocio expresados con BPMN, que presentan entre sí diferentes dimensiones y características estructurales, por lo que presentan distintos grados de complejidad. Además, para cada uno de dichos modelos se elaboraron dos cuestionarios: el primero de ellos consta de una serie de preguntas relacionadas a la entendibilidad del modelo; y en el segundo se propone una serie de modificaciones a realizar en el modelo. Al final de cada cuestionario se incluye una cuestión para que los sujetos evalúen de forma subjetiva la complejidad de los modelos de procesos presentados. La intención al elegir modelos de diversas dimensiones, es la de determinar la influencia de la complejidad del modelo en distintos usuarios como pueden ser los analistas de negocios y los ingenieros de software, en quienes particularmente está enfocado el objetivo de nuestro estudio.

#### **3.3 Tarea Experimental**

Cada sujeto recibe un material compuesto de diez modelos de procesos de negocio (cinco de ellos con preguntas referentes a la entendibilidad y cinco con peticiones de modificación). Dependiendo del grupo de modelos (grupo X ó Y) los sujetos tuvieron que hacer una de las siguientes tareas: responder “sí” o “no” a seis cuestiones acerca del modelo o llevar a cabo cinco modificaciones consistentes en adicionar y/o eliminar tareas, objetos de datos, roles o dependencias entre estos elementos.



Las tareas de cada tipo de desarrollo (entendibilidad o modificabilidad) son similares en cuanto al grado de complejidad, siendo este un aspecto fundamental que se ha tenido en cuenta en la preparación del material. Por esta razón, la única variación en el esfuerzo para realizar las tareas del mismo tipo ha sido la complejidad de cada modelo. Antes de empezar a realizar las tareas requeridas en cada modelo, se les pidió a los sujetos que escribieran la hora de inicio, y al término de las tareas solicitadas también se les pidió escribieran la hora de finalización. Finalmente, los sujetos dan una valoración subjetiva de la complejidad total del modelo de acuerdo a su opinión.

### **3.4 Variables Dependientes, Variables Independientes e Hipótesis.**

Las variables independientes corresponden a las medidas propuestas, a decir, a las medidas base y las medidas derivadas que se han definido en base a la notación estándar BPMN. Las variables dependientes son las relativas a la entendibilidad y modificabilidad de los modelos de proceso de negocio, que serán medidas a través de los tiempos para los aspectos de entendibilidad y modificabilidad, así como a través de los aciertos a las cuestiones relacionadas a las tareas de entendimiento, de los aciertos en las modificaciones en las tareas de modificación y la valoración subjetiva respecto a la complejidad.

Las hipótesis planteadas acorde al objetivo de nuestra investigación son las siguientes:

Hipótesis nula,  $H_{0u}$ : No hay una correlación significativa entre las medidas de complejidad estructural y el tiempo de entendibilidad.

Hipótesis alternativa,  $H_{1u}$ : Hay una correlación significativa entre las medidas de complejidad estructural y el tiempo de entendibilidad.

Hipótesis nula  $H_{0m}$ : No hay una correlación significativa entre las medidas de complejidad estructural y el tiempo de modificabilidad.

Hipótesis alternativa,  $H_{1m}$ : Hay una correlación significativa entre las medidas de complejidad estructural y el tiempo de modificabilidad.

## **4. Validación Empírica**

Con el fin de seleccionar un conjunto representativo de medidas para evaluar la mantenibilidad de los modelos de procesos de negocio y ante la cantidad de medidas propuestas, inicialmente se ha realizado un análisis de correlación de los valores de las medidas con respecto a los tiempos de respuesta y al número de aciertos de los resultados obtenidos a partir de un primer experimento. Este experimento se realizó siguiendo las sugerencias de Perry *et al.* [6, 7], Wohlin *et al.* [7], Ciolkowski *et al.* [8], Briand *et al.* [9] y Juristo y Moreno [10].

### **4.1 Definición**

Usando la plantilla GQM (Goal Question Metric) [11], el objetivo del experimento se define de la siguiente forma:

- **Analizar** medidas de complejidad estructural para modelos de procesos de negocio
- **Con el propósito de** evaluarlas en relación a la capacidad de ser usadas como indicadores de la entendibilidad y la modificabilidad de los modelos de procesos de negocio
- **Desde el punto de vista de** los investigadores
- **En el contexto de** estudiantes, becarios de investigación y profesores de ingeniería en informática.

#### 4.2 Planificación.

La planificación se realizó de acuerdo a los siguientes pasos:

- **Selección del contexto.** El contexto del experimento fue un grupo de 27 sujetos entre estudiantes de doctorado, becarios de investigación y profesores de la Escuela Superior de Informática de la Universidad de Castilla-La Mancha de Ciudad Real, España. Los sujetos seleccionados tenían una experiencia similar en el modelado del proceso.
- **Selección de los sujetos.** Los sujetos fueron elegidos por conveniencia. Los sujetos contaban con amplios conocimientos sobre modelado del producto (UML, bases de datos, etc.), pero no tenían conocimientos previos acerca del modelado conceptual de procesos de negocio, de forma que se les impartió una sesión de preparación previa a la realización del experimento en la que se les explicó la notación estándar para el modelado de procesos de negocio BPMN (Business Process Modeling Notation) [2].
- **Selección de variables.** La variable independiente es la **complejidad estructural** del modelo de procesos de negocio. Las variables dependientes son las dos subcaracterísticas de la mantenibilidad: **entendibilidad**, y **modificabilidad** del modelo de procesos.
- **Instrumentación.** La variable independiente fue medida mediante las medidas propuestas, tanto las base como las derivadas. Las variables dependientes entendibilidad y modificabilidad fueron medidas a partir de la valoración subjetiva (desde 1 = Muy simple a 5 = Muy complejo) realizada por los sujetos para cada una de ellas y para cada uno de los distintos modelos. También se utilizó otra forma de medir las variables dependientes de entendibilidad y modificabilidad, a partir del tiempo empleado por los sujetos en comprender los modelos (tiempo de entendibilidad) y en modificar los modelos (tiempo de modificabilidad). Para ello se pidió a los sujetos que anotaran la hora (hh:mm:ss) antes de iniciar el ejercicio y la hora al finalizar, tras haber observado el diagrama y valorado cada subcaracterística, ó bien, al finalizar las tareas de modificación del modelo.
- **Diseño del experimento.** Se realizó un diseño intra-sujetos, en el que todos los sujetos tenían que contestar a todos los tests. Los modelos fueron dados a los sujetos en diferente orden.

#### 4.3 Operación.

- **Preparación.** Se impartió una sesión intensiva de preparación a los sujetos antes de que empezara el experimento. No obstante, los sujetos no sabían que aspectos pretendíamos medir, ni cuales fueron las hipótesis que se formularon. El material que se proporcionó a los

sujetos fue un conjunto de tests formado por diez modelos de procesos de negocio y una guía explicativa de la notación para el modelado de procesos de negocio BPMN. Estos modelos se referían a diferentes universos de discurso, pero que eran lo suficientemente generales como para ser fácilmente comprendidos por los sujetos. La complejidad estructural de cada modelo es diferente, para lo cual se ha cubierto un amplio rango de valores de las medidas.

Cada test incluía una hoja de respuestas, para que los sujetos valoraran dos subcaracterísticas de la mantenibilidad: entendibilidad y modificabilidad. Cada sujeto tenía que puntuar cada subcaracterística usando una escala consistente en cinco etiquetas lingüísticas. Los valores numéricos asignados a las etiquetas lingüísticas fueron desde 1 (muy simple) hasta 5 (muy complejo). Se seleccionaron cinco etiquetas lingüísticas porque considerábamos que eran suficientes para cubrir todas las categorías posibles para cada subcaracterística de la mantenibilidad y se siguieron las recomendaciones de Godo *et al.* [12] y de Bonissone [13] a la hora de seleccionar un número impar de etiquetas.

- **Ejecución.** Se repartió todo el material descrito a los sujetos y se hizo una pequeña explicación de como rellenar los tests. No había límite de tiempo para la realización de los tests. En caso de duda, los sujetos podían preguntar al responsable de la organización del experimento.
- **Validación de los datos.** Recogimos todos los datos de las hojas de respuestas, controlando si estaban completas y las respuestas eran correctas. Todos los tests fueron correctos.

#### 4.4 Análisis e Interpretación.

Con los datos recogidos intentamos comprobar las hipótesis formuladas en el apartado 3.4. En primer lugar se realizó un resumen de los datos. Dicho resumen está compuesto por los valores de las métricas para cada modelo de proceso de negocio, por las medianas de las puntuaciones dadas por los sujetos a las dos subcaracterísticas de la mantenibilidad y por la media del tiempo de entendibilidad y modificabilidad en cada modelo. Para comprobar si la distribución era normal se aplicó el test de Kolmogorov-Smirnov. Como resultado se obtuvo que la distribución era no normal, por lo que se decidió utilizar un test estadístico no paramétrico como el **coeficiente de correlación de Spearman** con un nivel de significación  $\alpha = 0.05$ , lo cual indica la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es cierta (error de tipo I), es decir, el nivel de confianza es del 95%. Usando el coeficiente de correlación de Spearman cada una de las medidas fue correlacionada separadamente con el valor de la mediana de las puntuaciones dadas a las dos subcaracterísticas de la mantenibilidad y con los tiempos de entendibilidad y modificabilidad (véase la Tabla III).

Para una muestra de tamaño 10 (valores de la mediana para cada modelo) y un  $\alpha=0.05$  el umbral de Spearman para aceptar  $H_0$  es 0,4684. Para los coeficientes de correlación de Spearman calculados mayores que el umbral, la hipótesis nula es rechazada. Analizando la Tabla III, podemos concluir que hay correlación (rechazando la hipótesis  $H_{0u}$ ) entre los tiempos de entendibilidad de los modelos y las medidas NIMsE, NEMsE, NEDDB, NSFE, TNIE y TNE.

Tabla III. Coeficientes de correlación entre las medidas, la entendibilidad, la modificabilidad, y los tiempos correspondientes.

Métrica	Tiempo Entendibilidad	Tiempo Modificabilidad	Aciertos Entendibilidad	Aciertos Modificabilidad	Valoración Entendibilidad	Valoración Modificabilidad
NIMsE	X					
NENE						X
NEMsE	X					
NT			X			X
NEDDB	X					
NSFA			X			
NSFE	X				X	X
NSFL						X
NDOIn				X		
NDOOut				X		
TNSE			X	X		
TNIE	X					
TNEE						X
TNE	X				X	X
TNT			X			X
TNA					X	X
TNDO				X		
CLA					X	
PDOTOut			X			

Respecto del tiempo empleado por los sujetos en la modificabilidad de los diagramas podemos decir que no existe correlación (aceptando la hipótesis  $H_{0m}$ ) ya que no resulto ninguna métrica en correlación a dicha variable. En cuanto a las valoraciones subjetivas que los sujetos hicieron de los modelos, existe una correlación de las medidas NSFE, TNE, TNA, CLA, NENE, NT, NSFE, NSFL, TNEE y TNT con respecto a la complejidad de los modelos.

## 5. Trabajos Relacionados

En la literatura relacionada con la medición y evaluación de los procesos de negocio (PN), específicamente en un nivel conceptual como es nuestro tema de estudio, no se han encontrado trabajos relacionados. La mayoría de la investigación en este campo se ha centrado en otros aspectos tales como la evaluación de los resultados obtenidos, los tiempos de ejecución, los costos del proceso, etc., es decir, el análisis o evaluación se realiza a un nivel de ejecución del proceso.

Entre las propuestas relativas a los tópicos antes mencionados están por ejemplo la que presenta Tjaden [14], donde define tres métricas para medir la efectividad estructural de los PN a las cuales llamó: de complejidad, integración y dinamismo, basándose en la idea de que para ser capaces de predecir la actuación antes de que un nuevo proceso sea implementado la gerencia necesita métricas estructurales que analicen propiedades más estáticas de los procesos de negocio.

La medición y control de los PN son temas que han sido abarcados en estudios como el de Powell *et al.* [15] en el que pretenden identificar mecanismos de control para PN que son efectivos en diferentes tipos de entornos. Otra propuesta es presentada por Vitolins [16], en donde propone una nueva metodología para definir medidas de PN en base a un metamodelo de medición de procesos de negocio. En [17], se presenta una recopilación de métricas de complejidad de modelos de procesos de negocio encontradas en la literatura, las cuales fueron comparadas a un conjunto de criterios.

## 6. Conclusiones y Trabajo Futuro

En este trabajo se ha presentado un conjunto de medidas en base a la notación estándar BPMN, que han sido definidas con el objetivo de analizar y evaluar la complejidad estructural de los modelos de proceso de negocio, así como para analizar atributos de calidad del modelo tales como la usabilidad y la mantenibilidad, con lo que se estaría proporcionando el soporte necesario a la hora de llevar a cabo las tareas de mantenimiento de los modelos conceptuales de procesos de negocio.

Asimismo, se han presentado los resultados de un primer experimento, del cual ha sido posible saber que del total de las medidas propuestas, diecinueve de ellas mantienen una correlación con respecto a los tiempos y aciertos de entendibilidad y modificabilidad, lo que nos permitirá acotar el número de medidas que puedan resultar útiles a nuestros fines. Habiendo obtenido los primeros resultados, el siguiente paso a seguir es la realización de la familia de experimentos, y para ello actualmente se está llevando a cabo un segundo experimento con estudiantes del Master Universitario en Tecnología del Software, en la Universidad del Sannio, en Benevento, Italia.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los proyectos ENIGMAS (Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Consejería de Educación y Ciencia, referencia PBI-05-058) MAS (Ministerio de Ciencia y Tecnología, referencia TIC 2003-02737-C02-02) y COMPETISOFT (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, referencia 506PI0287).

## Referencias

- [1] Becker, J., Rosemann, M. y von Uthmann, C. "Guidelines of Business Process Modeling". In Business Process Management, Models, Techniques and Empirical Studies. Springer-Verlag. pp. 30-49, 2000.
- [2] BPMI, "Business Process Modeling Notation", Specification Version 1.0. Business Process Management Initiative, May 3, 2004. [www.bpmi.org](http://www.bpmi.org)
- [3] García, F., Ruiz, F., Piattini, M., Canfora, G. y Visaggio, C.A., "Framework for the Modeling and Evaluation of Software Processes". Journal of Systems Architecture, 2005

- [4] Lindland, O.I., Sindre, G. y Solvner, A., "Understanding Quality in Conceptual Modeling". *Software IEEE*, Vol. II (Issue 2), pp. 42-49. 1994
- [5] Canfora, G., García, F., Piattini, M., Ruiz, F. y Visaggio, C.A., "A Family of Experiments to Validate Metrics for Software Process Models". *Journal of Systems and Software*, 77 (2), pp. 113-129. 2005
- [6] Perry, D., Porte, A. y Votta, L., "Empirical Studies of Software Engineering: A Roadmap". *Future of Software Engineering*, Ed. Anthony Finkelstein. pp. 345-355. 2000
- [7] Wohlin, C., Runeson, P., Höst, M., Ohlson, M., Regnell, B. y Wesslén, A., "Experimentation in Software Engineering: An Introduction." Kluwer Academic Publishers. 2000
- [8] Ciolkowski, M., Shull, F. y Biffi, S. "A Family of Experiments to Investigate the Influence of Context on the Effect of Inspection Techniques". In *Proceedings of the 6th International Conference on Empirical Assessment in Software Engineering (EASE)*. Keele (UK). pp. 48-60, 2002.
- [9] Briand, L., El Emam, K. y Morasca, S., "Theoretical and Empirical Validation of Software Product Measures". International Software Engineering Research Network, Technical Report ISERN-95-03. 1995
- [10] Juristo, N. y Moreno, A., "Basics of Software Engineering Experimentation": Kluwer Academic Publishers. 2001
- [11] Basili, V. y Rombach, H., "The TAME Project: Towards Improvement-Oriented Software Environments". *IEEE Transactions on Software Engineering*, 14 (6), pp. 728-738. 1988
- [12] Godo, L., López de Mántaras, R., Sierra, C. y Verdaguer, A., "MILORD: The Architecture and Management of Linguistically Expressed Uncertainty". *International Journal of Intelligent Systems*, 4, pp. 471-501. 1989
- [13] Bonissone, P., "A Fuzzy Sets Based Linguistic Approach: Theory and Applications". *Approximate Reasoning in Decision Analysis*, Gupta & E. Sanchez (Eds), pp. 329-339. 1982
- [14] Tjaden, G.S., "Business Process Structural Analysis", Georgia Tech Center for Enterprise Systems, October, 1999. [www.ces.gatech.edu/research.htm](http://www.ces.gatech.edu/research.htm)
- [15] Powell, S.G., Schwaninger, M. y Trimble, C., "Measurement and Control of Business Processes". *Systems Dynamics Review*, 17 (1), pp. 63-91. 2001
- [16] Vitolins, V. "Business Process Measures". In *Proceedings of International Conference on BALTIC DB&IS*. Riga, Latvia. pp. 186-197, 2004.
- [17] Latva-Koivisto, A.M., "Finding a Complexity Measure for Business Process Models", Research Report. Systems Analysis Laboratory, Helsinki University of Technology, 2001.