

Universidad de

Cádiz

Escuela Superior de Ingeniería

V Jornadas Predoctorales en ingeniería

20 a 22 de mayo de 2014



Libro de Actas



**V Jornadas Predoctorales en Ingeniería
Escuela Superior de Ingeniería**

Libro de Actas



Cádiz, 20 al 22 de mayo de 2014

Editores: Arturo Morgado Estévez
Mariano Marcos Bárcena
Inmaculada Medina Bulo
Juan José Domínguez Jiménez

Imprime: Copistería San Rafael
C/ Benjumeda, 36
11003-Cádiz

ISBN-13: En trámite

COMITÉ CIENTÍFICO

Francisco Aguayo González
Moisés Batista Ponce
Luis Felipe Crespo Foix
Juan José Domínguez Jiménez
Antonia Estero Botaro
Pedro L. Galindo Riaño
Antonio García Domínguez
M^a Paz Guerrero Lebrero
Elisa Guerrero Vázquez
Aitzol Lamikiz

Martin Kappes
Mariano Marcos Bárcena
Inmaculada Medina Buló
Arturo Morgado Estévez
Manuel Otero Mateo
Andrés Pastor Fernández
Asunción Rivero Rastrero
Daniel Sánchez Morillo
Jorge Salguero Gómez

EDICIÓN TÉCNICA

Pedro Delgado Perez
Daniel Quiñones López

Juan Daniel Morcillo Regueiro
Arturo Morgado Estévez

ORGANIZA



Escuela Superior de Ingeniería
Universidad de Cádiz



V

JORNADAS PREDOCTORALES

ÍNDICE

Sesión 1. INGENIERÍA DE FABRICACIÓN

Sostenibilidad en la manufactura industrial: Horizonte 2020 para los sistemas de manufactura inteligente <i>María Estela Peralta Álvarez, Mariano Marcos Bárcena, Francisco Aguayo González</i>	11
Aplicación de la Ingeniería Kansei-Chisei en entornos de fabricación Lean <i>Antonio Córdoba Roldan, Mariano Marcos Barcena, Francisco Aguayo González</i>	15
Arquitectura de referencia Eco-Holónica para Ingeniería de Fabricación Sostenible. Una propuesta para concebir la fabricación como naturaleza <i>María Jesús Ávila Gutiérrez, Mariano Marcos Bárcena, Francisco Aguayo González</i>	19
Ingeniería del Metabolismo Industrial para Fabricación Sostenible Inteligente <i>Alejandro Manuel Martín Gómez, Mariano Marcos Bárcena, Francisco Aguayo González</i>	23

Sesión 2. INGENIERÍA DE FABRICACIÓN

Estudio de las Desviaciones Dimensionales en el Taladrado en Seco de la Aleación Ti-6Al-4V <i>José María Clares Rodríguez, Asunción Rivero Rastro, Mariano Marcos Bárcena</i>	29
Problemática en la Evaluación de la Rugosidad Superficial de Materiales Compuestos de Fibra de Carbono con Matriz Epoxi <i>Pedro F. Mayuet Ares, Aitzol Lamikiz, Mariano Marcos Bárcena</i>	33
Aproximación al Estado del Arte del Estudio de los Defectos de Rebaba en el Taladrado de Aleaciones de Aluminio y Titanio <i>Severo Raúl Fernández Vidal, Mariano Marcos Bárcena</i>	37
Revisión del estado actual de los Sistemas de Gestión del Alcance en la Dirección de Proyectos <i>Alberto Cerezo Narváez, Andrés Pastor Fernández, Manuel Otero Mateo</i>	41

Sesión 3. INGENIERÍA INFORMÁTICA

Definición e Implementación de Operadores de Mutación a Nivel de Clase para el Lenguaje de Programación C++ <i>Pedro Delgado Pérez, Inmaculada Medina Buló, Juan José Domínguez Jiménez</i>	47
An Approach to use Evolutionary Computation for Computer Network Optimization <i>Robin Mueller-Bady, Martin Kappes, Inmaculada Medina Buló</i>	51
Avances en la técnica de prueba metamórfica aplicada a composiciones de WS en WS-BPEL <i>M^a del Carmen de Castro Cabrera, Inmaculada Medina Buló</i>	55

Hacia la modernización de procesos de gestión mediante integración de múltiples lenguajes específicos del dominio

59

Alexis Cabrera Mondeja, Antonio García Domínguez, Inmaculada Medina Bulo

Sesión 4. INGENIERÍA EN SISTEMAS Y DE LA COMPUTACIÓN

Súper-Resolución Aplicada a la Mejora de Imágenes de Microscopía Electrónica de Alta Resolución

65

Guillermo Bárcena González, M^a Paz Guerrero Lebrero, Elisa Guerrero Vázquez, Pedro L. Galindo Riaño

Detección precoz domiciliaria de exacerbaciones de EPOC mediante funciones de base radial

69

Miguel Angel Fernández Granero, Daniel Sánchez Morillo, Felipe Luis Crespo Foix



V

JORNADAS PREDOCTORALES

Sesión 1.
INGENIERÍA DE
FABRICACIÓN

Sostenibilidad en la fabricación industrial: Horizonte 2020 para los sistemas de fabricación inteligente

María Estela Peralta Álvarez ⁽¹⁾, Mariano Marcos Bárcena⁽²⁾, Francisco Aguayo González⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ingeniería del Diseño, Universidad de Sevilla, Escuela Politécnica Superior, C/Virgen de África, 7 14011 Sevilla

⁽²⁾ Departamento de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial, Escuela Superior de Ingeniería de Cádiz (ESI), Universidad de Cádiz, Edificio 1, Calle Chile, 1, 11002 Cádiz

Resumen

El desarrollo sostenible en los procesos de fabricación es una preocupación global crítica. Las presiones de los distintos sectores competitivos, sociales y gubernamentales están incentivando el cambio en el modelo de negocio lo que está impulsando el interés por el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos. Es necesario cambiar los paradigmas actuales que han sido aplicados desde hace décadas hacia aquellos que permitan maximizar las tres dimensiones sostenibles: económica, ambiental y social.

1. Introducción

El desarrollo de una conciencia global sostenible es uno de los aspectos más importantes en el diseño de productos y procesos dentro y fuera de la industria. Los procesos de fabricación conforman una de las etapas características clave dentro de su ciclo de vida, lo que evidencia el esfuerzo llevado a cabo hasta la actualidad para hacer posible el desarrollo de diferentes paradigmas sostenibles dentro de la ingeniería de fabricación, con el interés de la búsqueda de la sostenibilidad de las actividades implicadas. Para mejorar la eficiencia de esta etapa, se aboga por un marco global basado en la estrategia de ciclo de vida integrado, que será llevada a cabo a través de tres niveles MACRO, MESO y MICRO de concreción del alcance de la sostenibilidad en el sector [1].

El objetivo previo de esta tesis es la identificación de un marco integrado para desplegar la investigación y el desarrollo de sistemas de fabricación sostenible. En el mismo, se desplegarán modelos, métodos, técnicas y métricas de sostenibilidad multinivel integradas, que permitan desarrollar la formulación de un modelo en el nivel micro para la simulación y optimización de procesos de mecanizado sostenible con indicadores de sostenibilidad multiescala. Estos últimos serán integrados aguas arriba en los niveles meso y macro de la fabricación sostenible y desde el punto de vista de la MS>CLEAN>GREEN y dentro de las líneas

de investigación características del marco IMS2020.

2. Metodología y base de conocimiento

A lo largo de los años, la industria y sus instalaciones han satisfecho la creciente demanda social de productos y sistemas industriales produciendo a su vez un elevado impacto ambiental sobre el planeta, caracterizado por el gasto de recursos energéticos y materiales (necesarios para cubrir las entradas y salidas requeridas en las cadenas de producción). Con el desarrollo del compromiso y responsabilidad social, económica y medioambiental, los paradigmas de fabricación han evolucionado en forma y perspectiva (figura 1) al igual que sus métricas de diseño y evaluación.



Figura 1. Paradigmas FS

La evolución ha estado marcada desde los años sesenta con procesos centrados en el coste-beneficio, los años setenta con el compromiso de la productividad, años ochenta-noventa con la preocupación por la calidad y desde los años 90 con el desarrollo sostenible. Sus límites, criterios y especificaciones intentan implantar un sistema que garantice la producción y la demanda futura con creación de valor y mínimo daño, es decir, el nuevo planteamiento se basa en la **FABRICACIÓN SOSTENIBLE (FS)**.

En concreto, las nuevas perspectivas actuales en el ámbito de la ingeniería de fabricación se asientan en los principales retos del diseño, planificación y gestión de la producción recogidos en el proyecto IMS2020. Permiten la satisfacción de la demanda y aportan una solución adecuada a la organización del ciclo de vida que ayude a mejorar y optimizar el uso de los recursos, incrementar la productividad, reducir los costes y maximizar el rendimiento, teniendo en cuenta el bienestar, calidad de vida y el fomento de la diversidad del ecosistema. Esta tarea es compleja porque implica la coordinación y organización de todos los activos presentes, maximizando el dinamismo organizacional, personal, industrial, de máquinas, equipos y operaciones en tres niveles de actuación definidos y que se recogen en algunos modelos actuales de desarrollo [2-6, 11, 13]. Las razones expuestas fomentan el desarrollo de la fase previa de investigación de esta tesis, donde se tomarán como paradigmas clave FS, Clean y Green Manufacturing como punto de partida según el desarrollo deductivo de los mismos, al estar relacionados con el principal objetivo que será reflejado en el apartado 4.

3. Sustainable Manufacture, Cleaner production & Green Manufacturing

La **fabricación sostenible (sustainable manufacture)** tiene en cuenta los impactos económicos, ambientales y sociales de los procesos de fabricación. Sus avances están centrados en el ciclo de vida de los sistemas, procesos, productos o servicios desde un punto de vista holístico, teniendo en cuenta la productividad, calidad y eficiencia. Se apoya en la aplicación de metodologías como el ACV (análisis de ciclo de vida), adaptación, flexibilidad, optimización, control y

orientación humana, Diseño para el Medio Ambiente (DfE), métodos de detección y análisis de riesgos, etc. que ayudarán al desarrollo de las estrategias (1) *gestión de la calidad del producto y la innovación*, (2) *eficiencia en el proceso de fabricación*, (3) *mejora de la circulación de recursos* y (4) *nuevos producto-servicios para la innovación social*. Son muchos los trabajos desarrollados sobre este ámbito [7,8]

La producción limpia (cleaner production) es un área de investigación básica y aplicada, que abarca conceptos y metodologías de diferentes disciplinas. Está centrada en la base de conocimiento que poseen diferentes ámbitos industriales y sociales con el fin de entender y gestionar eficazmente el sistema en general a cualquier nivel de escala y desde todos los puntos de vista de la sostenibilidad (económico, ecológico y social). Se centra en la concreción y desarrollo sostenible de cualquier tipo de sistema, proceso, producto o servicio teniendo en cuenta su interacción con el medio; además se encarga de evaluar el desarrollo tecnológico implícito, los desafíos a los que se enfrenta, entre los que cabe destacar *aplicación, explotación, aceptación social y vigilancia del desarrollo del progreso, así como las alternativas, barreras y oportunidades para el consumo y la producción sostenibles en un contexto global*. Existe un elevado número de investigaciones que presentan programas de aplicación y desarrollo sobre este ámbito [9,10]

Por último la **fabricación verde (Green manufacturing)** es un enfoque integrado de todo el sistema para la reducción y eliminación de los flujos de residuos asociados con su ciclo de vida. De acuerdo con la realidad de la etapa de fabricación, un plan de producción verde implica el uso de menos recursos y consumo de energía, contaminación ambiental mínima y la reducción de los problemas potenciales de seguridad, salud sobre operarios y usuarios, reciclaje de residuos y eliminación de los mismos durante el proceso de producción. Es un ámbito en desarrollo, en el cual pueden encontrarse dos líneas de actuación: las que abordan el concepto y su ampliación [11] y aquellas que aportan herramientas y modelos analíticos para su aplicación en los diferentes niveles de concreción citados [12,13]

4. IMS 2020

El proyecto IMS2020 (INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEMS) es un programa de investigación y desarrollo creado para desplegar la próxima generación de tecnologías de fabricación y procesamiento. Tiene el objetivo de desarrollar un conjunto de hojas de ruta para la investigación sobre la fabricación sostenible. En el mismo se describe un futuro realista y deseable para el sector de la producción que será alcanzado gracias a las líneas de investigación definidas:

- **Fabricación centrada en el usuario** que produzca soluciones con ciclo de vida "constante" y adaptable.
- **Sistemas de fabricación flexible** que permitan diferentes formas de organización de los sistemas de producción.
- **Cambio cultural** de individuos y empresas

gracias al apoyo en el cumplimiento normativo y de un posible marco regulatorio adecuado, co-diseñado y aprobado entre gobiernos, industrias y sociedades.

Los planes de trabajo del IMS2020 describen una serie de líneas de investigación y acciones de apoyo que deben fomentarse a través de la cooperación internacional. Las mismas (figura 2) están clasificadas en cinco áreas clave que han sido desglosadas en diferentes sub-ámbitos de investigación y que forman el marco de trabajo completo.

Gracias a estas áreas la visión del IMS2020 muestra el posible futuro escenario de la fabricación para el año 2025.



Figura 3. Áreas clave de investigación del IMS2020 [15]

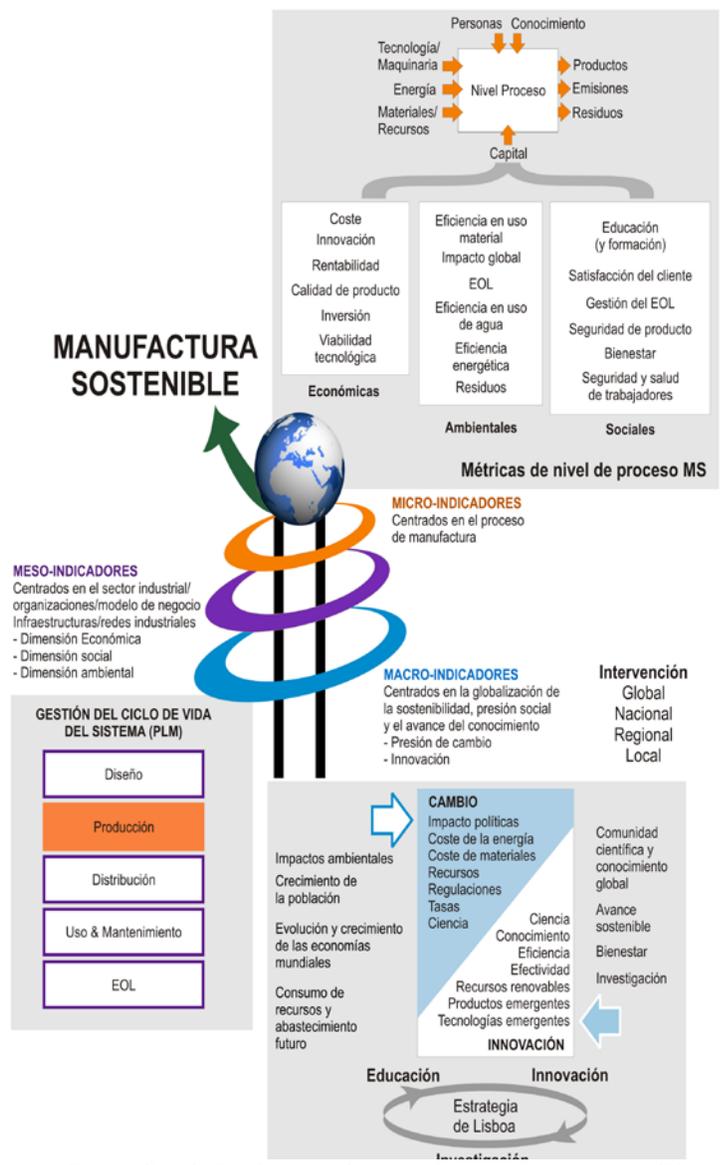


Figura 2. Niveles de actuación para la manufactura sostenible [1,6,11,14]

5. Marco de trabajo y perspectiva de investigación

Como se expuso en apartados precedentes, para el desarrollo de los objetivos concretos de la FS es necesario cubrir los tres niveles de actuación que se muestran en la figura 3. Para cada uno existen métricas o indicadores desarrollados por distintos autores [1-5] aplicables a nivel global, nacional, regional y local incluidos en metodología y modelos tecnológicos para la evaluación del desempeño de la sostenibilidad de los productos y procesos. Actualmente, esta línea de investigación está abierta, siendo necesario avanzar en el desarrollo de métricas completas y útiles para la evaluación de la sostenibilidad de una forma global [14].



Figura 4. Modelo base [16]

Dentro del nivel MICRO han sido desarrollados diferentes modelos [1-4]. Es en este nivel donde se establece el objetivo de esta tesis. Las métricas incluidas son necesarias para evaluar el desempeño del proceso de fabricación además de ser una posible vía para proporcionar criterios en la toma de decisiones que permitan la optimización de resultados (tanto en productos como en el diseño de proceso). A nivel de proceso, las métricas están relacionadas con la eficiencia de los parámetros implícitos mostrados en la figura 4 que se tomarán como modelo base para el desarrollo de la tesis. Es necesario optimizar la eficiencia de las cuatro dimensiones ya que la maximización completa de los cuatro vértices según la situación de la ingeniería de fabricación actual no es posible.

6. Conclusiones

Los procesos de fabricación conforman una de las etapas características clave dentro de su ciclo de vida, lo que evidencia el esfuerzo llevado a cabo hasta la actualidad para hacer posible el desarrollo de diferentes paradigmas sostenibles dentro de la ingeniería de fabricación. Es necesario aprovechar las diferentes visiones holísticas que nos aportan cada uno de ellos para intentar definir las métricas adecuadas que evalúen y apoyen el

diseño y desarrollo de procesos de fabricación más eficientes.

7. Referencias

- [1] G. Seliger. Advances in Sustainable Manufacturing: Proc. 8th Global Conference 331 on SM, 10.1007/978-3-642-20183-7_4
- [2] Fratila. Env. friendly Mfng Processes in the Context of Transition to Sustain. Prod. *Comprehensive Materials Processing*. 8 (2014) 163–175.
- [3] J. Spangenberg, A. Fuad-Luke y K. Blincoe. Design for Sustainability (DfS): the interface of sustainable production and consumption, *J.Clean.Prod.*, 18(2010)1485-93.
- [4] S.W. Raza. Sustainability assessment of machining processes. (2013). American University of Sharjah
- [5] Joshi y Kunal. Optimization of cutting conditions for sustainable machining of sintered powder metal steels using pcbn and carbide tools (2006). U. Kentucky M's Th.
- [6] R. Nasrin. App. of multi-criteria decision analysis in design of SEM Systems. *J.Clean.Prod.*, 47, (2013) 188–198
- [7] L. Smith. Steps towards sustainable manufacturing through modelling material, energy and waste flows. *International J.I of Production Econ.s*. 140- 1, (2012) 227–238
- [8] Winifred. Development of design for remfg guidelines to support SM *Rob.&Computer-Integrated Mfg*. 23-6,(2007)712–719
- [9] M. Lakhani. The need for Clean Production and Product Re-design. *J.Clean.Prod.*, 15(2007) 1391- 1394
- [10] D Aparecido. Quality tools applied to Cleaner Production Programs: a first approach towards a new methodology. *J.Clean.Prod.*, 47 (2013), 174–187
- [11] Laforest. Choosing cleaner and safer production practices through a multi-criteria approach. *J.Clean.Prod.*, 47 (2013) 490–503
- [12] A. Deif. A system model for green manufacturing, *J.Clean.Prod.*, 19, 1553-1559
- [13] S. Burk y W. Goughran. Developing a framework for sustainability management in engineering SMEs. *Rob. & Computer Integrated Mng*, 23 (2007) 696-703
- [14] Jovane, et al. The MFR. (2009). Springer.
- [15] IMS2020. Roadmap Brochure (KAT 1-5).
- [16] Salguero, J. Análisis, evolución y propuesta de mejoras del rendimiento del mecanizado de alta velocidad de aleaciones de interés en la industria aeronáutica. Tesis doctoral, U.Cádiz, (2013).

Aplicación de la Ingeniería Kansei-Chisei en entornos de fabricación Lean

Antonio Córdoba Roldán⁽¹⁾, Mariano Marcos Bárcena⁽²⁾, Francisco Aguayo González⁽¹⁾

⁽¹⁾Departamento de Ingeniería del Diseño, Universidad de Sevilla, c/ Virgen de África 7, 41012.
Tf: (+34) 95 455 28 27, E-mail: acordoba1@us.es

⁽²⁾Departamento de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial, Universidad de Cádiz, c/Chile nº 1, 11002

Resumen

El presente trabajo se enmarca dentro de la línea de investigación de sistemas de fabricación inteligentes y sostenibles, en un enfoque social, con el objetivo de la formulación de un modelo de orientación neurocientífica para la aplicación de la Ingeniería Kansei-Chisei a entornos de fabricación Lean en el sector metal-mecánico.

Se describirán los objetivos fundamentales para la propuesta de desarrollo metodológico basado en Ingeniería Kansei-Chisei para su aplicación en entornos de fabricación Lean, así como sus principales antecedentes, estado del arte actual y objetivos planteados.

1. Introducción

En el mercado actual, el consumidor no valora únicamente la funcionalidad, utilidad, seguridad y adecuado precio de los productos, sino también las emociones y los sentimientos que le proporcionan. Y es que, ante dos productos aproximadamente equivalentes en funcionalidad, calidad y precio, la decisión final de compra del consumidor es hacia aquel que le proporciona un mayor 'feeling' o que mejor refleja un determinado estilo de vida [1].

Derivado de lo anterior, resulta de interés el desarrollo de una metodología cuantitativa para diseñar y desarrollar productos industriales que evoquen unos determinados sentimientos y emociones en los usuarios. Es por ello, que se buscó una aportación metodológica al diseño industrial con la que se puedan desarrollar productos que provoquen en el usuario esta emoción positiva. Es decir, el objetivo es conseguir mediante el diseño del producto una conexión placentera con el usuario. Esta situación es el resultado de la evolución de las técnicas de ergonomía, que en su estado más evolucionado de desarrollo se orientan a la concepción de entornos de trabajo y productos placenteros y afectivos [2].

Bajo este supuesto se desarrolló el concepto de Ingeniería Kansei, como metodología cuantitativa que ayuda a los ingenieros diseñadores a incorporar la emoción, afecto y sentimientos como requerimiento en los productos y entornos industriales [3]. Este será el punto de partida para el desarrollo metodológico y de aplicación que se plantea.

Establecida una metodología que satisface el diseño emocional del producto, el siguiente ámbito de estudio será la adaptación racional del producto al usuario. Este concepto de diseño racional de producto va más allá del término clásico de ergonomía de producto y procesos de fabricación (centrada en factores humanos) y se centra en el concepto de diseño adaptado al usuario y trabajador, principalmente en términos de usabilidad de producto o de proceso. Para abarcar la racionalización del producto y el proceso de fabricación se plantea la metodología de Ingeniería Chisei, como enfoque cuantitativo que ayuda a los ingenieros diseñadores a incorporar en los productos y procesos recursos (soluciones que satisfagan requerimientos) orientados a los procesos cognitivos de razón. Esta metodología no está desarrollada y su estructuración e incorporación en el producto y procesos de fabricación final está por definir en el actual estado del arte de la Ingeniería Kansei y Chisei.

Satisfechos los criterios ergonómicos basados en los factores humanos, se va a centrar la atención en aportar una metodología compacta que ayude a la incorporación de factores centrados en el usuario o trabajador en las dimensiones afectiva y de razón (Ingeniería Kansei e Ingeniería Chisei).

Antes de profundizar en la metodología a desarrollar, se presentará una definición de los conceptos kansei y chisei (conceptos de origen japonés) que ayuden a tener una visión más completa y detallada del desarrollo que se planteará a continuación.

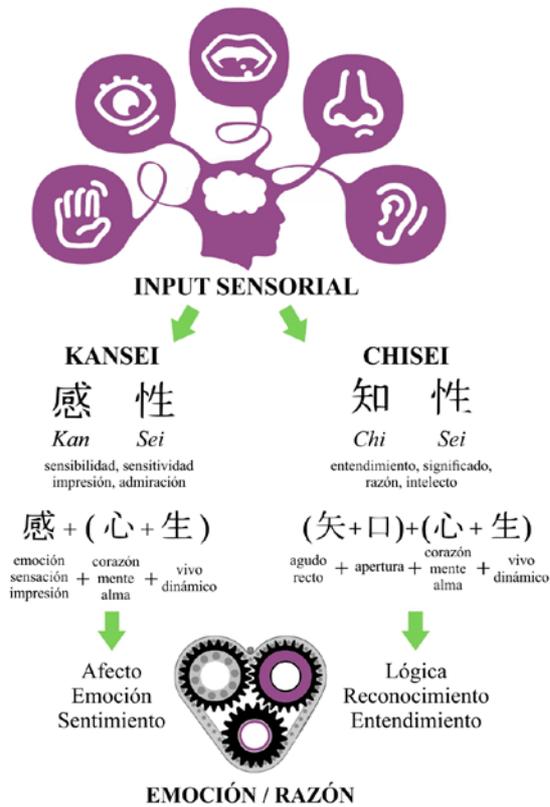


Figura 1. Definición Kansei y Chisei

Concepto kansei

Este término no tiene una traducción directa en el vocabulario occidental ya que su origen es oriental, concretamente japonés. Kansei se compone del kanji “kan”, que significa sensibilidad y “sei”, que significa características, naturaleza, cualidad (Figura 1).

El término kansei se utiliza para denotar las cualidades que posee un objeto o producto de transmitir emociones placenteras en su forma de uso. No existe una traducción que abarque todo el sentido del kansei; Mitzuo Nagamachi da varias traducciones para tratar de explicar el término, definiendo kansei como un:

"sentimiento psicológico" o como "...la impresión que alguien obtiene de un determinado artefacto, medio ambiente o situación mediante todos sus sentidos, vista, olfato, gusto, audio, tacto, así como su propio reconocimiento" [4].

El investigador Simon Schütte (Universidad de Linköping), propone la siguiente definición: *"cuando una persona ve un objeto en un cierto contexto, se evoca un determinado kansei"* [2]. Para simplificar el significado en el desarrollo futuro se entenderá que el término kansei es semejante al término emoción.

Concepto chisei

La "contra parte" de kansei se denomina chisei. El primer kanji "chi" significa entendimiento, intelectual, razonamiento y "sei" características, naturaleza, cualidad (Figura 1). Por lo tanto se puede definir que el término chisei es el razonamiento lógico detrás del comportamiento humano, es decir, es el proceso mental que impacta en el conocimiento a través de hechos lógicos y concretos [5]. Para simplificar el significado se entenderá que el término chisei es semejante al término razón, vinculado a la satisfacción práctica.

Ingeniería Kansei

La Ingeniería Kansei, IK (en inglés Kansei Engineering System, KES), es una técnica japonesa desarrollada por Mitzuo Nagamachi que permite cuantificar las emociones que evocan ciertos productos para, a partir de ellas, obtener unos parámetros de diseño concretos. Es una técnica especialmente centrada en el usuario, que tiene en cuenta todos los aspectos emocionales y sensitivos de los futuros consumidores del producto.

"Es una metodología de desarrollo ergonómico de nuevos productos orientada al consumidor, basada en trasladar y plasmar las imágenes mentales, percepciones, sensaciones y gustos del consumidor en los elementos de diseño que componen un producto" [6].

En general, la metodología por IK transforma las emociones, afecto y sentimientos (kanseis) que se desean transmitir al usuario en parámetros de diseño con los que obtener un producto concreto, Figura 2.

Esta metodología nació a finales de la década de los setenta y ha sido incorporado por marcas como Mazda, Mitubishi, Shiseido, Nestle etc. Los productos diseñados bajo ésta estrategia han sido motivo de éxito empresarial [7].



Figura 2. Sistema de Ingeniería Kansei

Para el desarrollo metodológico se presentará una propuesta que aúne en un mismo modelo la Ingeniería Kansei y la Ingeniería Chisei, denominando dicho modelo como Ingeniería Kansei-Chisei. Actualmente no existe ninguna planteamiento formal de incorporación metodológica al diseño de producto y entornos de trabajo del diseño emocional y del diseño

racional. Esta propuesta metodológica se centrará en el desarrollo de la Ingeniería Kansei, añadiéndole la dimensión Chisei o parte racional del diseño.

Los antecedentes expuestos determinan y justifican un ámbito de interés para acometer la realización del presente trabajo en el que se desarrollará una metodológica compacta cuantitativa con base neurocientífica para el diseño emocional y racional tanto de productos como de entornos de trabajo [8]. Actualmente no se cuenta con ninguna metodológica que aúne el diseño emocional y racional desde la perspectiva presentada [9].

Por otra parte se propondrá que el ámbito de aplicación de esta metodología valla más allá del producto industrial (objeto tradicional de aplicación), centrando dicha aplicación en entornos de fabricación Lean a nivel macro (planta industrial), meso (proceso-puesto de trabajo) y micro (herramientas y útiles). Dicha incorporación de la Ingeniería Kansei-Chisei se hará respetando los principios de fabricación Lean [10]. Este planteamiento metodológico incardina en los objetivos de la moderna Ergonomía Ocupacional de mejora de las condiciones de seguridad y confort de los sistemas de trabajo.

Por otro lado, estos antecedentes anteriormente expuestos determinan y justifican otro ámbito de interés para acometer la realización de una implementación metodológica de diseño de Ingeniería Kansei-Chisei aplicada a entornos de fabricación Lean, enfoque novedoso del cual no se cuenta actualmente con ninguna propuesta de aplicación.

El objetivo final del desarrollo y aplicación metodológico es ayudar al trabajador a desarrollar sus tareas dentro del entorno de fabricación de una manera placentera (Ingeniería Kansei) y optimizando la eficacia de las tareas que desarrolla (Ingeniería Chisei), lo cual se traducirá en una mejora del sistema de producción, con un enfoque más amplio que el de la clásica mejora de la productividad por la racionalización de los procesos de trabajo o mejora de métodos. El objetivo es conseguir un impacto en la motivación, satisfacción, rendimiento y fiabilidad del trabajo, enlazando así con los principios de los sistemas de fabricación Lean [11].

En la fabricación Lean la organización pone los controles necesarios y los procesos adecuados para cumplir con el Chisei desde principios de eficacia, eficiencia y productividad, incluyendo las medidas de seguridad y salud:

- La secuencia lógica paso por paso para llevar a cabo el desarrollo del producto.

- El razonamiento lógico para entender el análisis de datos relacionados con los procesos y la demanda.
- Los cálculos de takt time, valor agregado, valor no agregado, etc.

Todos los objetivos planteados en la fabricación Lean como la eliminación de todas las operaciones que no agregan valor al producto, servicio y a los procesos, aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere, se realiza bajo un marco de respeto al trabajador y en la búsqueda constante de su satisfacción en el puesto de trabajo [12]. Es en este punto donde tiene su razón de ser la introducción del diseño kansei con el objetivo de mejorar la carga emocional y la afectividad en el desarrollo del trabajo.

2. Metodología

La idea principal para el desarrollo metodológico de la Ingeniería Kansei-Chisei es utilizar el marco metodológico de la Ingeniería Kansei, el cual está bien estructurado y cuenta con múltiples aplicaciones en el ámbito del diseño de productos. A este marco procedimental se incorporará el chisei. Por lo tanto se va a presentar el marco metodológico de la Ingeniería Kansei y sobre este se realizará la incorporación chisei, obteniendo así un modelo robusto de aplicación que aúne las dos ámbitos del diseño, tanto el diseño emocional como el diseño racional, con el objetivo de aplicarlo en entornos de fabricación Lean, Figura 3.

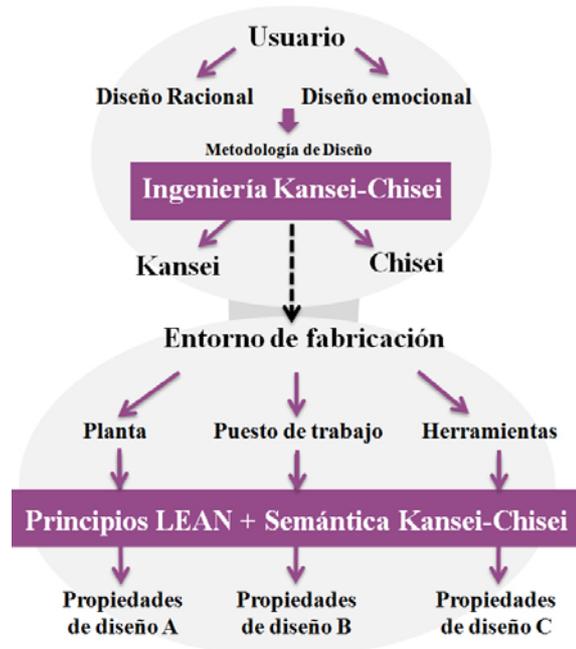


Figura 3. Propuesta metodológica

Se plantean los siguientes objetivos para el desarrollo de la Tesis Doctoral:

1. Establecer el estado del arte metodológico de la Ingeniería Kansei-Chisei con orientación neurocientífica, para su proyección en los entornos y sistemas de fabricación Lean.
2. Establecer una base de términos kansei y chisei a nivel macro (planta industrial), meso (proceso-puesto de trabajo) y micro (herramientas y útiles) con validación neurocientífica para el diseño de entornos y sistemas de fabricación Lean racional-afectivo.
3. Proponer una metodología y caja de herramientas para incorporar la metodología Kansei-Chisei al diseño y mejora continua en entornos y sistemas de fabricación Lean.
4. Establecer un conjunto de parámetros del dominio de propiedades que permita el diseño Kansei-Chisei de entornos de fabricación Lean en los niveles macro (planta industrial), meso (proceso-puesto de trabajo) y micro (herramientas y útiles).
5. Evaluar y formular las técnicas y herramientas adecuadas para el espacio de síntesis que permitan su incorporación a la Ingeniería Kansei-Chisei para el diseño de entornos y sistemas de fabricación Lean.

3. Conclusiones

La propuesta de trabajo se centrará en el desarrollo y aplicación de un modelo integrador de diseño emocional y diseño racional desde una perspectiva cuantitativa neurocientífica centrada en el usuario o trabajador.

Este nuevo enfoque brinda la posibilidad de contar con una metodología definida y concisa de cómo llevar a cabo las diferentes tareas de diseño conceptual de productos, en este caso de puestos de trabajo y herramientas.

Es necesario que no solo el entorno y sistema de fabricación sea eficaz, limpio y óptimo si no que las personas que forman parte y participan de ese entorno de fabricación posean una calidad de trabajo que les ayude mediante la optimización de los sentimientos psicológicos generados (motivación, confort...) y la propia organización del trabajo, buscando así una calidad en el desarrollo personal del trabajador. Esta calidad personal del trabajador se traducirá en una mejora productiva sobre el sistema de producción.

Nagamachi [13] hace referencia a este enfoque y lo denomina como Ergo-TeamWork el cual se basa en la búsqueda de la óptima compatibilidad entre humano y máquina y sistema de trabajo.

4. Referencias

- [1] Norman. *Emotional Design: why we love (or hate) everyday things*. Basic Books, 2004.
- [2] S. Shütte, J. Eklund. *Product Design for heart and soul. An introduction to Kansei Engineering Methodology*. Linköpings Universitet Institute of Technology, 2003.
- [3] A. Córdoba, F. Aguayo, J.R. Lama. *Ingeniería Kansei: diseño estético de productos*. DYNA Septiembre 2010, Vol. 85 n°6, 489/503, 2010.
- [4] M. Nagamachi. *Kansei / Affective Engineering*. CRC Press. Taylor & Francis Group, 2011.
- [5] Wstertlin [qtclean] Cultura Japonesa Lean [mensaje en lista de discusión]
- [6] M. Nagamachi. *Innovations of Kansei Engineering*. CRC Press, 2011.
- [7] M. Nagamachi. *Kansei as powerful consumer-oriented technology for product development*. Int. J. of Industrial Ergonomics, 33. pp 289 -294, 2002.
- [8] A. Córdoba Roldán. *Exploración del diseño formal por Ingeniería Kansei aplicando Redes Neuronales Artificiales*. Trabajo Fin de Máster, Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Sevilla, 2011.
- [9] N L. Xiaojian, Sun, Yan; He, Xiaodong. *Coevolutionary model of product innovative design based on Kansei engineering and interactive genetic algorithms*. Journal of Convergence Information Technology, v 7, n 15, p 65-73, 2012.
- [10] Kun-Chieh Wang, Jung-Chin Liang, Yu-Cai Lin. *Form Design of CNC Machine Tools using SVM Kansei Engineering Model*. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2008.
- [11] C. Monge, J. Cruz y F. López. *Impacto de la Manufactura Esbelta, Manufactura Sustentable y Mejora Continua en la Eficiencia Operacional y Responsabilidad Ambiental en México*. Inf. tecnol, vol.24, n.4, págs. 15-32, 2013. ISSN 0718-0764.
- [12] Wstertlin [qtclean] Cultura Japonesa Lean [mensaje en lista de discusión] en qtclean.foroactivos.net. 3 Noviembre de 2012. <<http://qtclean.foroactivos.net/t139-aplicacion-de-kansei-chisei-en-la-manufactura-lean?highlight=kansei>>
- [13] M. Nagamachi. *Ingeniería Kansei y las actividades exitosas del trabajo en equipo*. 2008.

Arquitectura de referencia Eco-Holónica para Ingeniería de Fabricación Sostenible. Una propuesta para concebir la fabricación como naturaleza.

M. J. Ávila Gutiérrez⁽¹⁾, M. Marcos Bárcena⁽²⁾, F. Aguayo González⁽³⁾

(1,3) Ingeniería del Diseño, c/Virgen de África n.7, 41010, Sevilla, 954552827,

(1) mavila@us.es, (3) faguayo@us.es

(2) Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial, c/ Chile n.1, 11003, Cádiz, 956005100, mariano.marcos@uca.es

Resumen

El concepto de integración de productos y procesos de fabricación en la naturaleza y tecnosfera está evolucionando desde la consideración de los aspectos ambientales a la integración de los aspectos socioeconómicos. Hasta ahora no se ha formulado un modelo integrado para la fabricación sostenible desde la perspectiva de la ingeniería del ciclo de vida. Este trabajo pretende formular un modelo de arquitectura de referencia Eco-Holónica para la Ingeniería del ciclo de vida de productos y procesos sostenibles, que integren la perspectiva social, económica y ambiental.

1. Introducción

La sostenibilidad es la cualidad por la que un elemento, sistema o proceso, se mantiene activo en el transcurso del tiempo, es decir, la capacidad por la que un elemento resiste, aguanta o permanece. Es posible diferenciar tres dimensiones esenciales [1-2]:

- La **dimensión económica**, que busca comprender los cambios fundamentales a largo plazo, elevando la productividad de los recursos a través de la innovación, requisito indispensable del progreso ambiental.
- La **dimensión ecológica**, que implica, entre otras cosas, una nueva evaluación de cómo cambiarán las externalidades, lo que significa para el sector y las formas de adopción y adaptación al nuevo escenario.
- La **dimensión social**, que supone básicamente operar con impactos mínimos sobre el ambiente físico y social o con una “licencia social de operación”.

En cuanto al desarrollo presente, las plantas industriales son caracterizadas por la gestión de recursos (entradas y salidas), procesamiento y conversión de materiales mediante procesos de fabricación que están organizados en sistemas lineales. En la actualidad, se pretende pasar de esta producción lineal a una producción por ciclos cerrados (economía circular), de forma que se intente emular los procesos de los ecosistemas naturales. Este enfoque optimizaría la fabricación y promovería la calidad y sostenibilidad de los sistemas de fabricación industrial.

Con los años, la industria y sus instalaciones han satisfecho la creciente demanda de productos y sistemas industriales de la sociedad actual, mientras producían con un alto impacto ambiental debido a la incontrolada fabricación en masa. Esto ha ocasionado que la naturaleza haya visto reducida o casi anulada su capacidad de acogida de materiales, lo que ha provocado una carga excesiva en el sistema ambiental.

Esta situación está cambiando debido a los acontecimientos de los últimos años y las exigencias ambientales. Por ello, se necesitan nuevas perspectivas que se basen en los objetivos principales del diseño, planificación y gestión de la producción configurando ecosistemas industriales que interactúen en equilibrio dinámico con los ecosistemas naturales de forma sostenible. Estas soluciones permitirían aumentar la productividad, reducir los costos y maximizar el rendimiento, sin comprometer el valor ambiental.

La ecología industrial [3-5] constituye una disciplina que se orienta entre sus muchos objetivos a desacoplar el crecimiento económico del aumento de la carga ambiental de los sistemas de fabricación, permitiendo vislumbrar a medio y largo plazo, el diseño de esquemas de producción y consumo que evolucionen hacia la preservación de los recursos naturales y que reduzcan el impacto negativo sobre el medio ambiente, todo ello abordado desde una perspectiva holística como corresponde a una economía globalizada.

El reto para este enfoque es precisamente llevar la dinámica de operación del sector industrial al principio de uso racional de los recursos

naturales de acuerdo con la tasa de renovación, el respeto y cooperación con la naturaleza.

Estamos acostumbrados a ver el sistema industrial como algo ajeno al sistema natural, por lo tanto el integrar el sistema industrial al sistema natural, es una perspectiva que se había mantenido fuera del campo de la investigación. En la investigación a llevar a cabo, se establece una marcada distancia con los enfoques convencionales al mirar al sistema industrial como un ecosistema sin solución de continuidad con los ecosistemas naturales describiendo una particular distribución de flujos de materiales, energía e información provistos por la biosfera de la cual no puede separarse y con la cual se encontrarían en equilibrio dinámico sostenible.

Este enfoque considera de igual importancia la tecnología, los procesos económicos, las interrelaciones de negocios, la financiación, las políticas de gobierno y los aspectos que involucran la administración de las empresas, sustentándose sobre tres elementos:

- Un enfoque sistémico que integra los componentes de la industria y de la biosfera.
- Un énfasis en la extracción biofísica para las actividades humanas y las complejas relaciones de los flujos materiales y energéticos con el sistema industrial.
- Una consideración de la evolución de las dinámicas tecnológicas a largo plazo como elemento de transición para pasar de un sistema industrial no sostenible hacia un ecosistema industrial.

Los sistemas de fabricación Holónicos con Agentes Inteligentes constituyen una de las líneas del Grupo de Investigación en Ingeniería y Tecnología de Materiales y Fabricación de la Universidad de Cádiz. En la misma, se ha llevado a cabo distintos trabajos de investigación y tesis doctorales entre las que se encuentra la aplicación de los sistemas Holónicos al diseño y fabricación de productos o la concepción Holónica de la ergonomía en sistemas de fabricación automatizados entre otros [6,7]. Dichos trabajos han permitido valorar positivamente el paradigma holónico para abordar la variedad requerida por la ingeniería del ciclo de vida de los sistemas de fabricación inteligentes localizados y distribuidos en distintos aspectos, como son: su carácter dinámico no lineal, su complejidad en los distintos niveles de granularidad (micro, meso y macro), la variedad de vistas de su complejidad (flujos energéticos, materiales, hídricos, informacionales, recursos humanos, etc.), así como los requerimientos de innovación adaptativa al contexto tecnológico y socioeconómico. Estos trabajos se han incardinado en el contexto de programas

internacionales de investigación de la comunidad científica sobre sistemas de fabricación inteligentes [8,9].

En el contexto anteriormente expuesto el grupo TEP-027, como extensión natural del propósito de la fabricación Holónica en consonancia con la evolución de los programas de investigación internacionales como los del Consorcio IMS y el programa de investigación horizonte 2020 [10,11], ha ido desarrollando distintos proyectos de investigación en colaboración con la Industria Aeronáutica Andaluza, llevando a cabo la transferencia de las innovaciones tecnológicas y del conocimiento de ingeniería de fabricación desde la perspectiva de la sostenibilidad (económica, social y ambiental), quedando recogida esta situación en distintas publicaciones. En dichos trabajos se aborda la fabricación desde la vertiente de la sostenibilidad en el ámbito de ecosistemas industriales considerando los aspectos metabólicos, ecocompatibles, los procesos energéticos y ciclos hídricos desde la perspectiva del análisis del ciclo de vida de la Cuna a la Cuna (C2C).

Además existen trabajos recientes sobre manufactura esbelta y sostenible que aportan modelos de ecuaciones estructurales de los que se derivan conclusiones tales como: “los constructos de manufactura esbelta (fabricación Lean) y la fabricación sostenible en la mejora continua de sistemas integrados de gestión, tienen un impacto directo, relevante, positivo y estadísticamente significativo en el constructo dependiente, eficiencia operacional y responsabilidad ambiental, siendo la manufactura sostenible la de mayor impacto” [12].

Del análisis precedente, se concluye que la evolución lógica de la línea de investigación del grupo TEP-027 en consonancia con las tendencias internacionales como la del IMS [10], es la del enfoque de sistema holónico y la sostenibilidad bajo la 3E.



Figura 1. Ámbito de investigación de la Tesis Doctoral

2. Metodología

2.1. Hipótesis planteadas

Tras un período exhaustivo de revisión bibliográfica y/o documentación sobre la fabricación sostenible, las hipótesis planteadas en el Proyecto de Tesis Doctoral, se derivan de los objetivos propuestos y están directamente relacionadas con los problemas que actualmente plantea la fabricación sostenible.

Estas hipótesis se han estructurado, según la Figura 2, como soluciones a los distintos problemas planteados.



Figura 2. Estructura jerárquica Problema-Hipótesis

Hipótesis 1: El mayor conocimiento de las analogías entre los sistemas de fabricación como ecosistemas industriales y los ecosistemas naturales, posibilitará el diseño y gestión de sistemas de fabricación como naturaleza sin solución de continuidad.

Hipótesis 2: Es posible conceptualizar los sistemas de fabricación sostenibles con la variedad requerida tanto localizados como distribuidos mediante el paradigma Holónico.

Hipótesis 3: Es posible definir una arquitectura Eco-holónica que amplíe el yacimiento de valor sostenible de la fabricación lean y el enfoque de sostenibilidad fractalizado bajo la 3E.

Hipótesis 4: Es posible definir una arquitectura Eco-holónica para los productos y sistemas de fabricación ecológicos que incorpore técnicas y herramientas, integradas en la ingeniería de ciclo de vida, de forma que permitan la selección de materiales bajo criterios de ecotoxicidad, evitando xenobiotipos sobre la naturaleza y la tecnosfera.

Hipótesis 5: Es posible definir una arquitectura Eco-holónica para los sistemas de fabricación sostenibles que mejore las propuestas de metabolismo de flujo de materiales (AFM), sustancia (AFS) y agua asociados al producto y a los sistemas de fabricación, conceptualizándolos como sistemas dinámicos bajo la propuesta del paradigma C2C.

Hipótesis 6: Es posible definir una arquitectura Eco-holónica para los sistemas de fabricación sostenibles diversificando, mejorando la eficiencia y obteniendo efectividad en los procesos energéticos asociados a las rutas metabólicas de los distintos niveles de las cadenas tróficas que constituye el ecosistema de un proceso de fabricación industrial, mediante técnicas y herramientas integradas en la ingeniería del ciclo de vida.

Hipótesis 7: La arquitectura Eco-holónica contribuiría positivamente a la sostenibilidad de la fabricación y del producto de la Industria Aeronáutica Andaluza, permitiendo el análisis y evaluación integrada de la sostenibilidad de los procesos de fabricación en las dimensiones ambiental (ACV), social (ASCV) y económica (ACCV).

2.2. Metodología de contraste

Para contrastar cada una de las hipótesis generadas, se plantea el diagrama de flujo que aparece en la Figura 3:

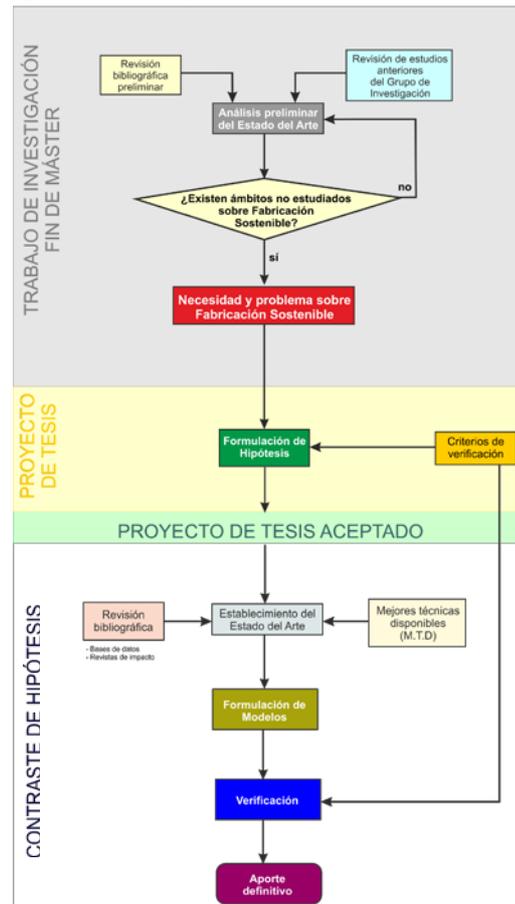


Figura 3. Metodología propuesta para el desarrollo de la Tesis Doctoral

3. Avances sobre el estudio de la Hipótesis 2 planteada en el Proyecto de Tesis Doctoral

Una de las hipótesis planteadas a lo largo de este Proyecto de tesis Doctoral es la posibilidad de conceptualizar los sistemas de fabricación sostenibles con la variedad requerida tanto localizados como distribuidos mediante el paradigma Holónico (Hipótesis 2).

En cuanto a esta Hipótesis formulada, se ha investigado sobre la gestión de la complejidad derivada de la incorporación de los requerimientos de sostenibilidad a los sistemas de fabricación.

Desde el paradigma holónico se pueden concebir las distintas entidades que constituyen el medio natural o naturaleza y el medio artificial o tecnosfera como un conjunto de elementos o holones, y de la interacción entre los mismos constituyendo su holarquía.

El protomodelo propuesto está constituido por una holarquía que es el resultado de la holonización de sistemas de fabricación como el representado en la Figura 4. En el mismo se pueden distinguir:

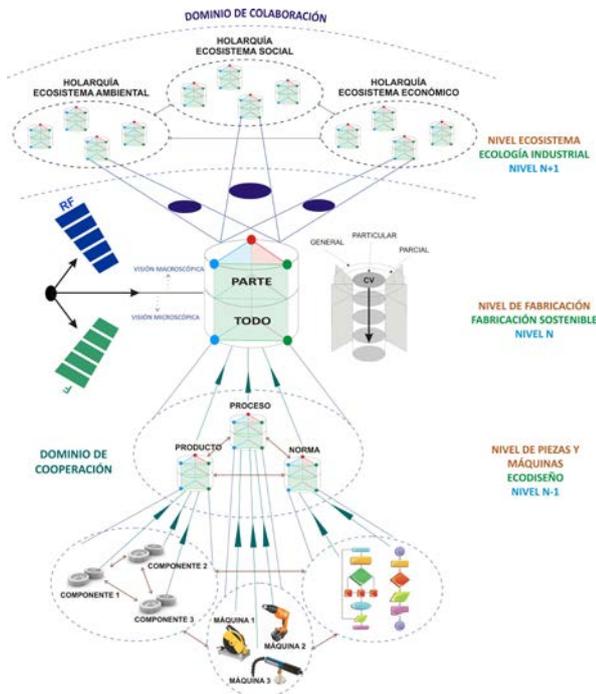


Figura 4. Protomodelo para la Fabricación Sostenible Holónica

Eco-Holón de nivel N.- Se corresponde con el nivel de fabricación o fabricación sostenible. Dicho holón tiene, como holarquía de control y regulación como “todo” y como “parte”, procedimientos derivados de la triple E. A su vez dicho holón se integra bajo estos mecanismos de control en la holarquía de sostenibilidad ambiental, social y económica (N+1), e integra la holarquías de nivel N-1 bajo los procedimientos de sostenibilidad derivados de la triple E específicos del holón como todo y delegado en un holón de coordinación de la sostenibilidad.

Eco-Holarquía de nivel N+1.- Este nivel se corresponde con el Dominio de Colaboración y está integrado por la holarquías, del medio natural, social y económico en los que se integra el holón como parte. Estas holarquías determinan el comportamiento sostenible de nivel N de acuerdo con su capacidad de acogida.

Eco-Holarquía de nivel N-1.- El mismo está configurado de los dominios de cooperación,

que en nuestro caso su estructura es un holon proceso, un holon producto y un holon orden.

La sostenibilidad vendrá establecida por la holarquía de mecanismos de regulación y el conjunto de herramientas y procedimiento que se integran en el ciclo de vida del holon de nivel N.

4. Referencias

- [1] C. Vezzoli and E. Manzini, “Design for Environmental Sustainability”, Ed. Springer, London, 2010.
- [2] A. Gunasekaran and A. Spalanzani., Sustainability of manufacturing and services: Investigations for research and applications, *Int. J. Production Economics*, 140, (2012) 35-47.
- [3] M. Despeisse, PD. Ball, S. Evans, and A. Levers, Industrial Ecology at factory level - a conceptual model, *Journal of cleaner production*, 31, (2012) 30-39.
- [4] T.E. Graedel. and B.R. Allembly. “Industrial Ecology”. Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2003.
- [5] D. Giurco, B. Cohen, E. Langham, Warnken and M. Backcasting. “Energy futures using industrial ecology”. *Technological Forecasting & Social Change*, 78, (2011) 787-818.
- [6] F. Aguayo, *Diseño y Fabricación de Productos en Sistemas Holónicos: Aplicación al Desarrollo de un Módulo Holónico de Diseño*, Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz, 2003.
- [7] F. Aguayo, M. Marcos, M. Sánchez, y J. Lama, “Sistemas Avanzados de Fabricación Distribuida”, 1st Ed., Madrid (España), 2007.
- [8] P. Mella, “The holonic revolution: holons, holarchies and holonic networks: the ghost in the production machine”. Pavia University Press, 2009.
- [9] R. D. Vásquez, *Modelo de holones recurso en sistemas holónicos de manufactura*, Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Colombia, 2009.
- [10] Institute for Sustainable Manufacturing (IMS) - University of Kentucky, Doc. Internet, URL <http://www.ism.uky.edu> (última consulta: 2014/04/2).
- [11] Instituto Europeo de Innovación y Tecnología (EIT). Programa Marco de Investigación e Innovación de la Unión Europea. Horizonte 2020 (H2020). Reto Energía: energía segura, limpia y eficiente, Doc. Internet, URL <http://www.eshorizonte2020.es/> (última consulta: 2014/04/20).
- [12] C. Monge, J. Cruz y F. López, Impacto de la Manufactura Esbelta, Manufactura Sustentable y Mejora Continua en la Eficiencia Operacional y Responsabilidad Ambiental en México, *Inf. Tecnol.* 24 (2013) 15-32.

Ingeniería del Metabolismo Industrial para

Fabricación Sostenible Inteligente

Alejandro Manuel Martín Gómez⁽¹⁾, Mariano Marcos Bárcena⁽²⁾, Francisco Aguayo González⁽³⁾

^(1,3)Ingeniería del Diseño, c/ Virgen de África n.7, 41011, Sevilla, 954552827,

⁽¹⁾ammartin@us.es, ⁽³⁾faguayo@us.es

⁽²⁾ Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial, c/ Chile n.1, 11003, Cádiz, 956005100,
mariano.marcos@uca.es

Resumen

En el presente documento se expone el trabajo desarrollado en el trabajo fin de Máster y en el Proyecto de Tesis Doctoral. Se describen los objetivos fundamentales de la investigación que se viene desarrollando en relación a la Tesis Doctoral denominada “Ingeniería del Metabolismo Industrial para Fabricación Sostenible Inteligente”, así como sus principales antecedentes y estado del arte que justifican la realización de la Tesis Doctoral. Así mismo se presenta de forma esquemática la metodología seguida y las principales conclusiones.

1. Introducción

El flujo de recursos (energéticos, hídricos, de materiales y sustancias) de la industria se ha basado en el uso de combustibles fósiles y la degradación de la materia prima sin considerar la capacidad de acogida del planeta, basada en la aptitud para localizar una actividad y la capacidad de asimilación de los impactos de la actividad sobre el medio físico, ni la tasa de renovación de los ecosistemas implicados en la extracción y generación de recursos. Es por ello, que para que exista un cambio gradual de la industria convencional hacia la ecoindustria, es necesario que los ecosistemas industriales se basen en el uso sostenible de los recursos naturales renovables creando flujos cerrados de materia, sustancia, energía y agua. Este cierre de ciclos implica a su vez un uso eficiente de la energía y evitar el empleo de materiales o sustancias peligrosas y tóxicas.

En este marco contextual, el *metabolismo industrial* es definido como la circulación de los flujos de materiales y energía (y stocks) vinculados a la actividad humana, que fluyen a través de los sistemas industriales desde su extracción inicial, para su transformación, hasta su posterior disposición como residuo y su inevitable reintegración en los ciclos biológicos globales [1].

En el presente trabajo se exponen las líneas fundamentales de la Tesis Doctoral, enmarcada en un contexto investigador de realización de varias Tesis Doctorales en el seno del Grupo de Investigación de Ingeniería y Tecnología de Materiales y Fabricación con sede en la Universidad de Cádiz. Entre estas cabe destacar la Tesis “Diseño y fabricación de productos en

sistemas holónicos. Aplicación al desarrollo de un módulo holónico de diseño” [2], la Tesis “Modelo holónico de sistemas de calidad. Aplicación a empresa extendida”, actualmente en fase de conclusión [3], y la Tesis, “Metodología dirigida por modelos para las pruebas de un sistema distribuido multiagente de fabricación” [4]. Las citadas investigaciones constituyen un marco de conocimiento, en los estudios de los sistemas de fabricación inteligentes, adecuado para continuar la investigación en este ámbito.

2. Fabricación Sostenible

En la línea de la sostenibilidad se ha ido abordando, a través de distintos proyectos, diversos aspectos de los ecosistemas industriales y la fabricación sostenible. En dichos proyectos se estudian los niveles de exploración del valor ambiental en cada una de las etapas del proceso de diseño y ciclo de vida de productos y procesos, complementando criterios para la evaluación de la sostenibilidad tales como la estrategia, la innovación, la ecocompatibilidad, la exergía o la toxicidad desde la perspectiva de la ingeniería del ciclo de vida [5-10].

En el contexto de sostenibilidad expuesto se están desarrollando sistemas de gestión, a través de distintas investigaciones [11-13], que posibiliten dar soporte a los sistemas ecoindustriales considerando diferentes aspectos de la sostenibilidad, que tienen muchos puntos en común, aunque con algunos matices diferentes, como es la simbiosis industrial, la sinergia industrial, las redes y sistemas de reciclaje, las bolsas de subproductos, el clúster de cero emisiones, los ecoparques industriales, las cadenas de suministro sostenible por ciclo cerrado, análisis del ciclo de vida desde

perspectivas integradoras, el modelado de los flujos metabólicos de las ecoindustrias, el desarrollo ecoindustrial, etc.

3. Sistemas de Fabricación Inteligentes

Paralelamente a la investigación que se está desarrollando en el campo de la sostenibilidad, aparece la investigación de los sistemas de fabricación inteligentes como oportunidad para dar soporte y materializar los modelos sostenibles desarrollados, gracias a las ventajas que presentan estos sistemas. Los sistemas de fabricación inteligentes, y concretamente los agentes inteligentes y sistemas multiagentes, están siendo actualmente objeto de estudio por parte de diversas investigaciones para su aplicación directa en la gestión sostenible de procesos, ecoindustrias y ecoparques industriales [14]. Así mismo, trabajos recientes aportan propuestas de modelos y arquitecturas basadas en agentes inteligentes que dan soporte a los distintos aspectos de la ingeniería del metabolismo industrial [15-19]. En estos trabajos se establecen características tales como las propiedades que deben poseer los agentes, estructura del conocimiento de la comunidad de agentes, tipos de agentes y sus capacidades, así como criterios para la toma de decisiones bajo el marco de la sostenibilidad, integrándose bajo el concepto de ambiente inteligente [20].

Otro de los aspectos que está teniendo actualmente especial importancia en el modelado de la gestión sostenible de los procesos, es el hecho de desarrollar y establecer ontologías del conocimiento que permitan el modelado y formalización del conocimiento en el dominio de la simbiosis industrial [21], incluyendo la clasificación y caracterización de la tecnología, materiales, sustancias y desperdicios, así como los perfiles de los usuarios y los parámetros económicos, ambientales y sociales. Incorporando aspectos económicos y sociales en la línea de las recientes tendencias de (ASCV) Análisis de la Sostenibilidad de Ciclo de Vida, frente al clásico Análisis de Ciclo de Vida.

El modelado de sistemas de fabricación inteligente desde el paradigma holónico y su implementación basada en agentes inteligentes y sistemas multiagente constituye uno de los principales ámbitos de trabajo de las investigaciones nacionales ya comentadas, llevándose a cabo distintas aportaciones [22-23] investigadoras además de las Tesis

anteriormente indicadas. Estas investigaciones han posibilitado considerar la inspiración holónica como paradigma en el que apoyar la ingeniería del metabolismo industrial en la ingeniería del ciclo de vida, considerando los distintos aspectos de granularidad (micro, meso y macro), vistas de su complejidad (particular, parcial y total), análisis y gestión sostenible integral (flujos hídricos, energéticos, de materiales y sustancias) evaluadas desde la perspectiva económica, social y ambiental, sistemas de información, así como las necesidades de adaptación a los continuos cambios consecuencia de la innovación tecnológica y social. Esta Tesis se enmarca en programas internacionales de investigación de la comunidad científica sobre fabricación sostenible, gestión de la sostenibilidad, la ecología industrial, los ciclos de materiales o la simbiosis industrial [24].

El objetivo fundamental de la Tesis propuesta es diseñar un modelo de metabolismo industrial cuya gestión inteligente facilite la resolución de problemas de sostenibilidad en el marco de la ingeniería del ciclo de vida de productos y procesos de fabricación integrados en ecosistemas industriales.

4. Hipótesis Planteadas

A raíz de lo anteriormente expuesto, se plantean las siguientes hipótesis para la elaboración de la Tesis:

1. Es posible establecer un modelo de los requerimientos del Metabolismo Industrial para el desarrollo de la ingeniería del ciclo de vida de productos y procesos en un entorno sostenible.
2. Es posible establecer innovaciones y mejoras sobre los actuales modelos de Metabolismo Industrial bajo el enfoque de biomimesis.
3. Es posible definir un Modelo de Inspiración Holónica para la Ingeniería del Metabolismo Industrial que de soporte a la ingeniería del ciclo de vida de productos y procesos, bajo criterios de sostenibilidad social, económico y ambiental.
4. Es posible formular un modelo de Ingeniería del Metabolismo Industrial, así como del sistema de información asociado, para dar soporte a la gestión de la sostenibilidad en la ingeniería del ciclo de vida, de forma que se posibilite la integración de los flujos de materiales, sustancias, hídricos y energéticos y su evaluación bajo criterios económicos y sociales de exergía, termoeconomía y ecocompatibilidad.

5. Es posible formular una propuesta de mapeado de la Arquitectura Holónica para la Ingeniería del Metabolismo Industrial, mediante agentes inteligentes con capacidad resiliente, que de soporte a la ingeniería del ciclo de vida.
6. Es posible formular una Ontología del Conocimiento de los Agentes Inteligentes que constituya la holarquía de la Ingeniería del Metabolismo Industrial, de forma que de soporte a los cierres de ciclo sobre la tecnosfera y la natursfera en los distintos niveles.

5. Metodología y Planificación

Para contrastar las hipótesis planteadas se seguirá la siguiente metodología, ver Figura 1:

1. Búsqueda bibliográfica en las bases de datos, fuentes disponibles y casos de estudio que se hayan implantado o desarrollado en experiencias anteriores, y establecimiento del estado del arte de la temática de la Tesis.
2. Establecimiento del marco teórico:
 - Identificación de los requerimientos del metabolismo industrial para el desarrollo de la ingeniería del ciclo de vida de productos y procesos en un entorno sostenible.
 - Analogía en los diferentes niveles de concreción (micro, meso y macro) entre el metabolismo de los ecosistemas de la natursfera y el de los ecosistemas industriales.
 - Estudio de modelos y herramientas de ACV, bases de datos de materiales y sustancias existentes en el mercado, AFM/AFS, análisis de procesos energéticos y uso de agua en los distintos niveles.
3. Formulación de un Modelo Holónico de la Ingeniería del Metabolismo Industrial para la ingeniería del ciclo de vida desde los principios del paradigma holónico. Se realizará bajo una propuesta de medida de la ecoeficiencia y efectividad integrada bajo criterios económicos y sociales de exergía, termoeconomía y ecocompatibilidad.
 - Formulación de un modelo de Ingeniería del Metabolismo Industrial biomimético y un sistema informacional que integre las herramientas y bases de datos empleadas en el ACV en el contexto de la ingeniería del ciclo de vida de productos y procesos de fabricación.
 - Definir una arquitectura holónica para la ingeniería del metabolismo industrial mediante agentes inteligentes.
 - Formulación de una Ontología del Conocimiento de los agentes inteligentes que constituya la holarquía

de la Ingeniería del Metabolismo Industrial.

4. Validar el modelo mediante un sistema de agentes inteligentes realimentando los resultados obtenidos en tareas de mejora y optimización.

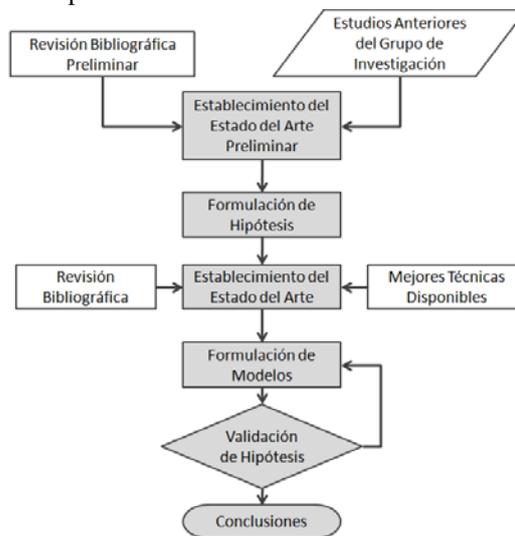


Figura 1. Metodología para el contraste de hipótesis.

6. Conclusiones

En esta fase inicial de la investigación se puede apreciar el interés por conseguir la integración de las distintas partes de la ingeniería del metabolismo industrial, desde la perspectiva de la fabricación sostenible inteligente, los sistemas basados en agentes inteligentes y sistemas multiagente, la gestión integrada de los flujos de materiales, sustancias, energía y recursos hídricos asociados a las necesidades de los productos y procesos, así como su evaluación bajo criterios económicos y sociales de exergía, ecocompatibilidad y termoeconomía. Confirmando al modelo una capacidad resiliente ante la innovación de producto, proceso y tecnología. Esto es, con capacidad de soportar los cambios y recomponerse tras ellos. Con el objeto de dar soporte para el desarrollo de tareas de ingeniería en las distintas etapas del ciclo de vida, concibiendo productos y procesos de la tecnosfera integrados en la natursfera.

7. Referencias

- [1] R. Ayres. Industrial Metabolism: Theory and Practice. The Greening of Industrial Ecosystems, National Academy of Engineering, Washington DC, USA, 1994.
- [2] F. Aguayo. *Diseño y Fabricación de Productos en Sistemas Holónicos: Aplicación al Desarrollo de un Módulo Holónico de Diseño*. Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz, 2003.
- [3] J.R. Lama, M. Sánchez y F. Aguayo. *Estado del Arte de la Ingeniería y la Calidad*

- Holónica*. II Jornadas Predoctorales de la ESI, Cádiz, 2010.
- [4] A. García. *Metodología dirigida por modelos para las pruebas de un sistema distribuido multiagente de fabricación*. Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz, 2013.
- [5] F. Aguayo, A. De la Heras y J.R. Lama. *Modelo de sostenibilidad global para el diseño y desarrollo de productos en la cadena del valor*. XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Valencia, 2012.
- [6] F. Aguayo, A. García y J.R. Lama, M.E. Peralta. Diseño de la simbiosis ambiental producto-edificio para la certificación sostenible. *DYNA Energía y Sostenibilidad*, 2, 2012.
- [7] F. Aguayo, M.E. Peralta and J.R. Lama. Clean Manufacturing From C to Cradle. *Key engineering materials*, 502(2012), 43-48.
- [8] F. Aguayo, M.J. Ávila, J.R. Lama, A.M. Martín y M.E. Peralta. *Green Chemistry, Eco-innovation and Sustainability for the Ecodesign integrated into Cradle to Cradle (C2C) paradigm*. ANQUE International Congress of Chemical Engineering, 2012.
- [9] S. Rondán. *Metodología y Desarrollo Aplicativo para la Gestión de la Eficiencia Energética en la Industria de Fabricación*. Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz, 2011.
- [10] F. Aguayo, M.E. Peralta y J.R. Lama. Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna: una arquitectura de referencia abierta para el diseño C2C. *DYNA Ingeniería e Industria*. 86(2), 2011, 199 – 211.
- [11] Sustainable Manufacturing Centre (SMC). Singapore Institute of Manufacturing Technology (SIMTech). Doc. Internet, URL <http://www.simtech.a-star.edu.sg/SMC/> (última consulta: 2014/02/12).
- [12] Institute for Sustainable Manufacturing - University of Kentucky. Doc. Internet, URL <http://www.ism.uky.edu> (última consulta: 2014/02/12).
- [13] Sustainable Engineering and Technology Research Glasgow University. Doc. Internet, URL <http://www.gcu.ac.uk/isetr/> (última consulta: 2014/02/12).
- [14] Institute of Environmental Sciences (CML) - University of Leiden. Doc. Internet, URL <http://www.cml.leiden.edu/research/industrialecology/researchprojects/about/ie-research.html> (última consulta: 2014/03/12).
- [15] N. Bichraoui, B. Guillaume y A. Halogb. *Agent-Based modeling simulation for the development of an industrial symbiosis - Preliminary results*-. Proceeding Environmental Sciences, 17(2013),195–204.
- [16] B. Mert, U. Aradag, S. Uludag y H. Ozgur. *An Architecture for a Microgrid-based Eco Industrial Park using a Multi-Agent System*. 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, 1658- 1664, 2013.
- [17] E. Romero y M. Carmen. Proposal of an agent-based analytical model to convert industrial areas in industrial eco-systems. *Science of the Total Environment*, 394-405, 2014.
- [18] S. Kraines y D. Wallace. Applying Agent-based Simulation in Industrial Ecology. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2), 2006, 15-18.
- [19] K. Cao, X. Feng y H. Wan. Applying agent-based modeling to the evolution of eco-industrial systems. *Ecological Economics*, 68 (2009), 2868–2876.
- [20] M.A. Pérez y L. Susperregi. Software agents for ambient intelligence based manufacturing. *Proceedings, Thirteenth International Symposium on Temporal Representation and Reasoning*, 139-144, 2006.
- [21] T. Raafata, N. Trokanasa, F. Ceceljaa y X. Bimib. An ontological approach towards enabling processing technologies participation in industrial symbiosis. *Computers and Chemical Engineering*, 59 (2013), 33-46.
- [22] M. Sánchez, F. Aguayo, J.R. Lama, R. Bienvenido y M. Marcos. Integración de modelos biónicos, holónicos y fractales para fabricación distribuida. *Anales de Ingeniería Mecánica*, 2004, 395–403.
- [23] I. Medina, A. García, F. Aguayo, L. Sevilla y M. Marcos. *Proposal of a methodology for implementing a service-oriented architecture in distributed manufacturing systems*. AIP Conference Proceedings, 1181, 2009, 622-632.
- [24] IMS2020 - Intelligent Manufacturing System. Doc. Internet, URL <http://www.ims.org/access-projects/ims2020> (última consulta: 2014/02/12).



V

JORNADAS PREDOCTORALES

Sesión 2.
INGENIERÍA DE
FABRICACIÓN

Estudio de las Desviaciones Dimensionales en el Taladrado en Seco de la Aleación Ti-6Al-4V

José María Clares Rodríguez⁽¹⁾, Asunción Rivero Rastrero⁽²⁾, Mariano Marcos Bárcena⁽¹⁾

⁽¹⁾Dpto. Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial, Escuela Superior de Ingeniería, Universidad de Cádiz. c/ Chile 1, 11002 Cádiz, E-mail: josemaria.claresrodriguez@alum.uca.es

⁽²⁾Fundación Tecnalia, Paseo Mikeletegi 7, 20009 San Sebastián

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio sobre las desviaciones dimensionales en uno de los procesos convencionales por excelencia de la industria aeronáutica, el taladrado. Para ello se ha llevado a cabo un análisis de los estudios existentes hasta la fecha acerca del mecanizado de una de las aleaciones de mayor interés estratégico, la Ti6Al4V, estableciendo posteriormente una metodología que permite el estudio de las desviaciones dimensionales de los agujeros. Con objeto de conocer la influencia de los parámetros de corte sobre dichas desviaciones, se han analizado los perfiles geométricos obtenidos sobre réplicas de taladrado, complementándose este estudio con el análisis del desgaste de las herramientas.

1. Introducción

La industria aeronáutica es en un referente en lo que se refiere a Ingeniería de Fabricación, debido a la elevada componente tecnológica de sus productos, y que a su vez requieren unos elevados requisitos de calidad.

Entre los procesos de conformado aplicables a estos productos, destacan ampliamente los de mecanizado, siendo el proceso de taladrado el de mayor presencia, debido esto a las características geométricas de las uniones remachadas, de amplio uso en este ámbito [1].

No obstante, y aunque sea un proceso de alto valor añadido, muchas veces no se encuentra optimizado. Este hecho es de especial relevancia en aleaciones de baja maquinabilidad, con tiempos de procesado altos, y entre las que destaca la aleación Ti-6Al-4V, una de las más usadas en esta industria [2,3].

La difícil evacuación del calor generado en el proceso de corte, hace que el desgaste de las herramientas sea uno de los factores más decisivos en el taladrado de este tipo de aleaciones ligeras.

El principal mecanismo de desgaste que aparece en el mecanizado de la Ti6Al4V es la adhesión indirecta. El problema radica en que la alta afinidad que presenta esta aleación, junto con su baja conductividad térmica, hacen que exista una sinergia de mecanismos que producen una disminución drástica de la vida de la herramienta.

Por otro lado, la baja conductividad térmica de esta aleación condiciona al uso de refrigerantes y lubricantes en su mecanizado, que son perjudiciales tanto para el medio ambiente como para el trabajador. Es por ello

que la tendencia en los últimos años es hacia la eliminación total o parcial de este tipo de sustancias [4].

En el caso del taladrado, el precursor de la sinergia de mecanismos que inducen al desgaste prematuro de la herramienta es la adhesión secundaria o indirecta, la alta reactividad de esta aleación a alta temperatura provoca la oxidación del titanio en forma de TiO_x formando capas estratificadas adheridas sobre la cara de desprendimiento de la herramienta denominándose este fenómeno como MBULs (Multi-Built-Up Layer). Estos mecanismos de desgaste afectan negativamente a los parámetros de calidad de los taladros mecanizados, produciendo desviaciones dimensionales, macrogeométricas y microgeométricas. [5-8].

El objetivo principal de este trabajo es el estudio de las desviaciones dimensionales, en términos de diámetro de agujero, de los taladros realizados en la aleación de titanio en estudio.

2. Metodología Experimental

El proceso de taladrado se ha realizado en un centro de mecanizado CNC IBARMIA ZV 25/U600 EXTREME (Figura 1) en las instalaciones de Tecnalia (San Sebastián), empleando un sistema de adquisición de fuerzas a través de una mesa dinamométrica Kistler 9257B.

Las brocas empleadas en la realización de los ensayos son de metal duro sin recubrimiento, de dos labios con ángulo de punta de 120° , un ángulo de 30° de hélice y 6mm de diámetro.

Las velocidades de corte empleadas en los ensayos de taladrado han sido de 20, 50 y 75 m/min, combinándolas con velocidades de avance de 0,05 y 0,07 mm/rev. Para cada uno de los ensayos se han realizado 20 agujeros con cada herramienta.

Para realizar la evaluación de los agujeros mecanizados se han extraído réplicas a los taladros

realizados, empleando el equipo PLASTIFORM con resina termoestable RGX 80, recomendado para la caracterización superficial y dimensional de piezas mecanizadas (Figura 2).



Figura 1. IBARMIA ZV 25/U600 EXTREME.

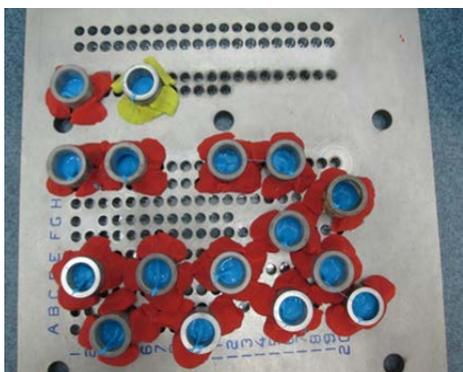


Figura 2. Réplicas de taladrado

Para la evaluación de los diámetros de las réplicas se ha recurrido a un equipo de medición sin contacto TESA Visio 300, soportada mediante el software PC-DMIS Vision, Figura 3.



Figura 3. Máquina de medición sin contacto TESA Visio 300

El proceso seguido para la realización de las medidas (Figura 4) consiste en la creación de una línea sobre una generatriz de la réplica. A continuación se crean 2 puntos en la generatriz contraria, uno en la entrada y otro en la salida del agujero. Una vez creada la geometría se realiza la medición tomando la distancia perpendicular del punto a la recta creada. Este mismo proceso se realiza en tres secciones diferentes,

obteniendo con media aritmética el valor del diámetro del agujero.



Figura 4. Geometría auxiliar en una sección de la réplica

Además de realizar una evaluación metrológica de los agujeros mecanizados, se ha recurrido a un microscopio óptico estereoscópico (SOM) NIKON SMZ 800 para el análisis de las herramientas de corte utilizadas en los ensayos, con el fin de obtener una relación cualitativa entre el desgaste de la herramienta y las desviaciones dimensionales de los taladros, Figura 5.



Figura 5. Microscopio NIKON SMZ 800

3. Resultados y Discusión

Si se estudian los diámetros obtenidos en función de la velocidad de corte para cada uno de los dos avances empleados, Figuras 6 a 8, puede observarse como los valores de diámetro obtenidos son mayores para el avance más elevado, independientemente de la velocidad de corte, mientras que el aumento de ésta última de 20m/min a 50m/min supone una disminución considerable en las desviaciones dimensionales llegando a estabilizarse para las mayores velocidades de corte.

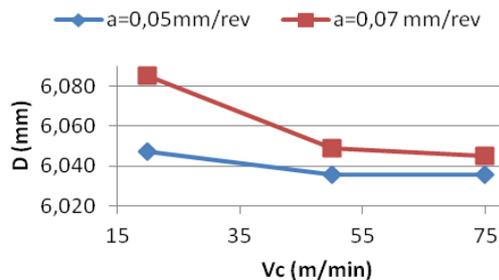


Figura 6. D en función de Vc, agujero 1

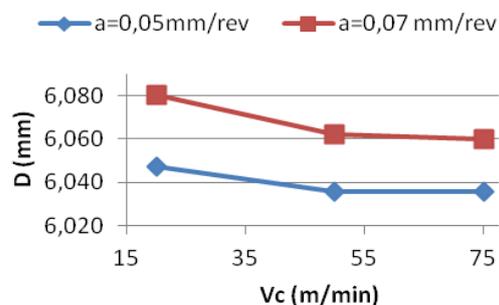


Figura 7. D en función de Vc, agujero 10

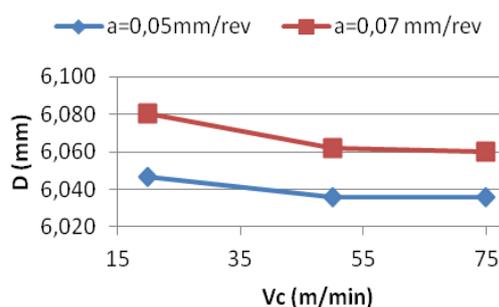


Figura 8. D en función de Vc, agujero 20

Este fenómeno puede explicarse si se analizan las herramientas empleadas en los ensayos.

La Figura 9 muestra una imagen obtenida mediante SOM de una de las herramientas utilizadas en los ensayos con menor velocidad de corte, en la que se aprecia claramente la presencia de material adherido sobre los filos secundarios de la broca. Esta adhesión se ha detectado en la misma zona de las herramientas, para las dos velocidades de avance ensayadas, y afecta de manera directa en los diámetros obtenidos en los taladros mecanizados.

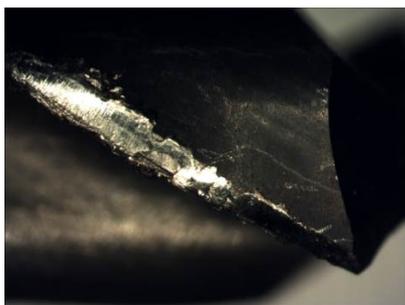


Figura 9. Adhesión sobre la cara de incidencia en el filo secundario ($V_c=20\text{m/min}$, $a=0,07\text{mm/rev}$)

Sin embargo, y como se puede observar en la Figura 10, a medida que aumenta la velocidad de corte, esta adhesión parece ser más severa, con lo que las desviaciones son menores.



Figura 10. Adhesión sobre la cara de incidencia en el filo secundario ($V_c=75\text{m/min}$, $a=0,07\text{mm/rev}$)

En la Figura 11 se muestra la evolución de las desviaciones dimensionales en función del número de taladros mecanizados para dos ensayos con diferentes velocidades de avance y de corte.

Puede observarse en el gráfico como las desviaciones para la velocidad de corte menor son mayores, sin embargo muestra una tendencia constante. Por el contrario, cuando la velocidad de corte aumenta las desviaciones aumentan a medida que transcurre el tiempo de mecanizado.

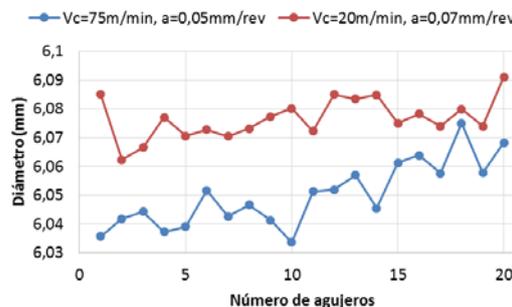


Figura 11. Desviaciones en función del número de taladros

Los resultados obtenidos coinciden con trabajos anteriores, en los que se describe cómo el desgaste por adhesión disminuye a medida que aumenta la temperatura en el zona de corte, ya que la baja conductividad de la aleación Ti6Al4V hace que la temperatura generada al aumentar la velocidad de corte no se disipe, permaneciendo concentrada en la herramienta y en la pieza, disminuyendo la adhesión de material sobre la herramienta. Sin embargo, la presencia de alta temperatura sobre la herramienta puede provocar la sinergia de otros mecanismos de desgaste como pueden ser la abrasión y la difusión [3,5-8].

4. Conclusiones

Se ha realizado un estudio de las tolerancias dimensionales en el taladrado en seco de la aleación Ti6Al4V aplicando una metodología de estudio específica tanto para la evaluación metrológica como

para la caracterización de las herramientas empleadas.

Las mayores desviaciones obtenidas en el diámetro de los taladros se han encontrado para la velocidad de avance mayor.

Independientemente de la velocidad de avance, las desviaciones disminuyen a medida que aumenta la velocidad de corte. Este fenómeno ocurre debido a la adhesión de material mecanizado sobre los filos secundarios de las herramientas.

A medida que aumenta la velocidad de corte aumenta la temperatura generada, provocando una disminución de adhesión sobre la herramienta, apareciendo mecanismos como la difusión y la abrasión.

Las propiedades de este tipo de aleaciones, como son la baja conductividad térmica y la alta afinidad con materiales de herramientas, generan un desgaste prematuro sobre la herramienta perjudicando directamente en las desviaciones dimensionales.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Cátedra Externa TECNALIA de la UCA, la Unión Europea (Proyecto INTERCONNECTA FEDER-FSE *Futurassy*) y la Junta de Andalucía.

6. Referencias

- [1] E.O. Ezugwu, J. Bonney, Y. Yamane; An overview of the machinability of aeroengine alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 134, pp. 233-253, (2003).
- [2] J. M. Clares Rodríguez, Trabajo Fin de Máster, Estudio del taladrado en seco de la aleación Ti-6Al-4V, Diciembre 2013.
- [3] Christoph Leyens and Manfred Peters; *Titanium and Titanium Alloys, Fundamentals and Applications*; DGM, 2003.
- [4] U.S. Dixit, D.K. Sarma, J. Paulo Davim; *Environmentally Friendly Machining*; Springer, 2012.
- [5] J.L. Cantero, M.M. Tardío, J.A. Canteli, M.Marcos, M.H. Miguélez; Dry drilling of alloy Ti-6Al-4V, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 45, pp. 1246-1255, (2005).
- [6] M. Álvarez, J. Salguero, J.A. Sánchez, M. Huerta, and M. Marcos; SEM and EDS Characterisation of Layering TiO_x Growth onto the Cutting Tool Surface in Hard Drilling Processes of Ti-Al-V Alloys, *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2011, Article ID 414868.
- [7] J. Salguero, M. Batista, J.A. Sánchez, M. Marcos; An XPS Study of the Stratified Built-Up Layers Developed onto the Tool Surface in the Dry Drilling of Ti Alloys, *Advanced Materials Research*, vol. 223, p.564-572, (2011).
- [8] J. Salguero, M. Batista, M. Marcos, A. Gómez, M. Huerta, M. Alvarez; SOM-SEM-EDS Identification of Tool Wear Mechanisms in the Dry-Machining of Aerospace Titanium Alloys, *Advanced Materials Research*, vol.107, p.77-82, (2010).

Problemática en la Evaluación de la Rugosidad Superficial de Materiales Compuestos de Fibra de Carbono con Matriz Epoxi

P. F. Mayuet⁽¹⁾, A. Lamikiz⁽²⁾, M. Marcos⁽¹⁾

⁽¹⁾Departamento de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial, Escuela Superior de Ingeniería, c/Chile s/n, 11002, Cádiz, 956510123, pedro.mayuet@uca.es.

⁽²⁾Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Alameda de Urquijo s/n, 48013, Bilbao.

Resumen

En los últimos años, la fibra de carbono encuentra cada vez más aplicaciones en los distintos sectores industriales. En el caso particular de la industria aeronáutica, este tipo de materiales se somete frecuentemente a operaciones de taladrado ya que forman parte de elementos estructurales de una aeronave. Sin embargo, se pueden presentar una serie de problemas como las delaminaciones o la pérdida de calidad en el acabado superficial. En este trabajo, se analiza la influencia de la orientación de la fibra y el ángulo del filo de corte de la herramienta en la medición de la rugosidad.

1. Introducción

Uno de los materiales que más ha visto incrementado su uso en las últimas décadas es la fibra de carbono con matriz epoxi, siendo el sector aeroespacial uno de los más implicados en la evolución y el desarrollo de las tecnologías asociadas a estos materiales al incluir cada vez más materiales compuestos, especialmente fibra de carbono con matriz epoxi, en sus proyectos [1]. De esta forma, es posible incorporar una mayor carga en la aeronave sin necesidad de aumentar el consumo energético garantizando además un mantenimiento de las excelentes condiciones de seguridad que requiere el transporte aéreo [2].

Por otro lado, la implementación de estos materiales supone todavía en algunos casos un reto no resuelto debido a la falta de conocimiento en los procesos de fabricación. Concretamente, uno de los procesos más críticos en el mecanizado de materiales compuestos es el taladrado [3]. Esto se debe al gran número de orificios que se necesitan realizar para el alojamiento de remaches durante las operaciones de montaje de elementos estructurales en las líneas de ensamblaje (FAL). Además, se trata de una de las operaciones finales que se realiza cuando las piezas tienen un alto valor añadido.

Todo esto hace que para evitar la aparición de defectos haya que controlar adecuadamente unas variables de entrada como la geometría y el material de la herramienta, los parámetros de mecanizado, las condiciones de corte y monitorizar en todo momento el proceso. Esto

va a permitir controlar el desgaste de la herramienta y minimizar el impacto de los defectos sobre los agujeros mecanizados.

Por otro lado, se hace necesario analizar el comportamiento del material en todo momento analizando cada componente por separado ya que, el fallo de la matriz o el refuerzo, puede significar la pérdida total de la pieza o traducirse en un mal mecanizado que no supere las condiciones de servicio previamente establecidas [3].

Algunos de estos problemas, producen defectos como el astillado en la entrada y salida del material, aumento excesivo de la temperatura o pérdida de calidad superficial en los taladros.

Es precisamente la calidad superficial el marco donde se ubica este trabajo. De los diferentes aspectos en los que se divide, se ha tratado únicamente los aspectos micro geométricos. En concreto, la rugosidad superficial, la cual se ha evaluado a través de la rugosidad aritmética media (R_a) debido a que se trata de uno de los parámetros principales más extendidos a nivel industrial y que permite detectar la aparición de defectos en la cara interna del taladro.

Estos defectos aparecen como consecuencia del ángulo creado entre la dirección de las fibras contenidas en las capas y la dirección del filo de corte. Así, para estudiar el orificio taladrado en profundidad, es necesario medir la calidad superficial a lo largo de media sección del taladro teniendo en cuenta que la rugosidad medida es diferente en función de cada generatriz.

2. Antecedentes y Estado Actual

Las planchas de CFRP están compuestas de capas de fibra de carbono embebidas en resina epoxi a diferente orientación. Numerosas investigaciones realizadas sobre diferentes orientaciones que toman las capas de material llevan a realizar una clasificación sobre las diferentes características que se producen durante su mecanizado en función de la orientación [1,4]. En las Figuras 1 y 2 se muestran, a modo de esquema, diferentes orientaciones de fibra y sus respectivos problemas al ser mecanizadas.

Cuando la fibra mecanizada se encuentra orientada a 0° , la lámina está sujeta a esfuerzos paralelos al sentido de la fibra. Estos esfuerzos paralelos producen fracturas en el material provocando la aparición de delaminaciones ya que las fibras se comban en dirección perpendicular a la orientación de la fibra.

Cuando la orientación es de 90° , las fibras sometidas a esfuerzos son cortadas completamente, a diferencia de las láminas orientadas a 0° donde cada fibra es cortada por separado.

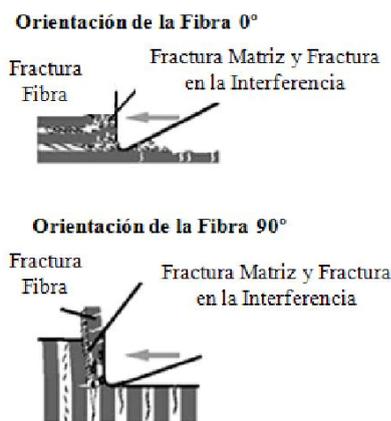


Figura 1. Mecanizado ortogonal de CFRP con orientación de la fibra a 0° y 90° .

Las direcciones de los esfuerzos de las cargas, las cuales son menos favorables particularmente cuando los ángulos están comprendidos entre 30° y 60° a la dirección de la fibra, se reflejan en el mecanizado manifestando una mala calidad superficial [4].

Por último, las condiciones de corte más favorables se producen cuando la orientación de la fibra es a -45° . Las fibras están sometidas a esfuerzos de flexión y tensión y rompe la fibra en "paquetes" de varias fibras (Figura 4). El problema viene cuando la adhesión de las fibras es insuficiente debido a debilidades producidas en la matriz como consecuencia del mecanizado.

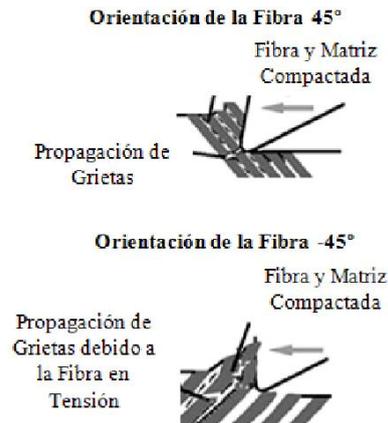


Figura 2. Mecanizado ortogonal de CFRP con orientación de la fibra a 45° y -45°

Hay que tener en cuenta que este análisis se realiza para un mecanizado ortogonal. De todas formas, ofrece una idea de la complejidad que supone taladrar este tipo de materiales donde el filo de corte forma un ángulo diferente con cada capa de fibra. Además, conforme la herramienta penetra en el material, las capas de material varían de orientación dificultando aún más el mecanizado.

Para el taladrado, se deben tener en cuenta varios factores como el ángulo de orientación de la fibra y el ángulo relativo entre la dirección de corte de la herramienta y la dirección de la fibra. Por lo tanto, el ángulo que forma la posición del filo de la broca α (0° - 180°), se define tal y como se muestra en la Figura 3 [4]. La relación entre este ángulo y el ángulo formado por la fibra θ , se muestra también en la misma figura. Así, con respecto a la orientación de las fibras, es necesario evaluar los daños causados durante el taladrado en media circunferencia del orificio.

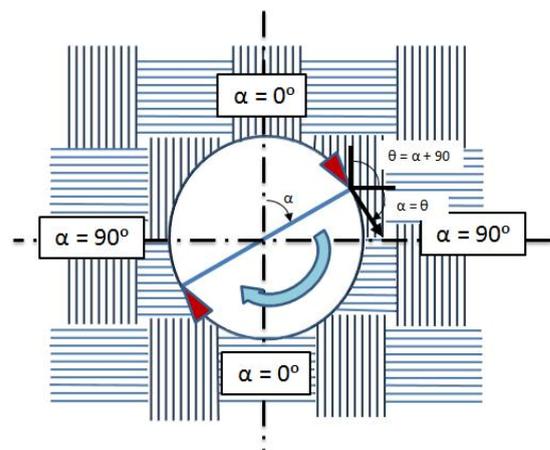


Figura 3. Definición del ángulo del filo de herramienta (α) y el ángulo de la fibra (θ)

En la Figura 4, se muestra la relación entre el ángulo formado por la herramienta y la rugosidad obtenida en el orificio. Como se puede observar, la rugosidad presenta valores superiores cuando el ángulo formado es aproximadamente de 30° y 120°, en comparación con otros ángulos.

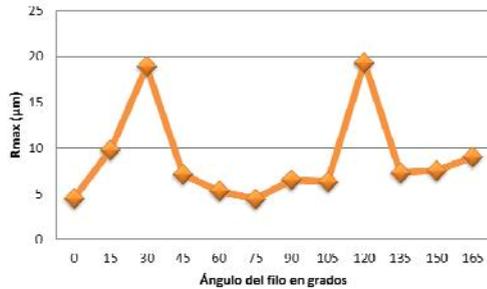


Figura 4. Relación entre la posición del ángulo de la herramienta con la orientación de la fibra y la rugosidad obtenida. Adaptada de [4]

3. Metodología Experimental

Para llevar a cabo el estudio, se han empleado planchas de fibra a 0° y 90°, apiladas en espesores de 200mm con curado en autoclave, tal y como se muestra en la Figura 5. El tejido utilizado como refuerzo es de tipo plano, donde cada hilado longitudinal y transversal pasa por encima del hilo y por debajo del próximo. Esta estructura proporciona una tela reforzada ampliamente usada en aplicaciones generales por su estabilidad.

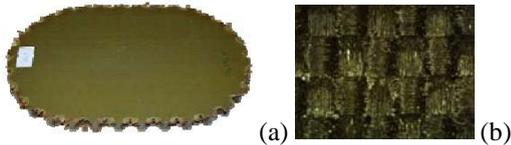


Figura 5. (a) Probeta de fibra de carbono y (b) detalle de la trama y urdimbre.

En cuanto a la herramienta de corte, se ha seleccionado una broca de metal duro sin recubrimiento de geometría convencional con 6 mm de diámetro. En la Tabla I, se muestran los ángulos principales de la herramienta.

Tabla I. Características de la broca empleada

Ángulo Hélice	Ángulo Punta	Dientes
28°	118°	2

Los ensayos se han realizado en un centro de mecanizado Kondia, modelo Five 400 de 5 ejes equipado con control numérico Heidenhain iTNC530.

A partir de lo recogido en [2], se ha determinado que unos parámetros tecnológicos de corte suficientemente acotados para este tipo de estudio oscilan entre velocidades de 5.000 rpm y 15.000 rpm y avances entre 0,025 mm/rev y 0,1 mm/rev, realizando taladros a máximas y mínimas condiciones de corte. Además, los ensayos se han realizado en ausencia de fluidos de corte con objeto de analizar las condiciones de corte de mayor agresividad.

Por último, para la medición de perfiles de rugosidad, se han obtenido perfiles individuales separados entre sí 10µm a partir de un mapa topográfico 3D. Los mapas topográficos 3D se han realizado con el equipo Talysurf Cli 1000 y el tratamiento de los perfiles con el software Talymap (Figura 6). El parámetro de estudio seleccionado ha sido la rugosidad aritmética media (Ra).

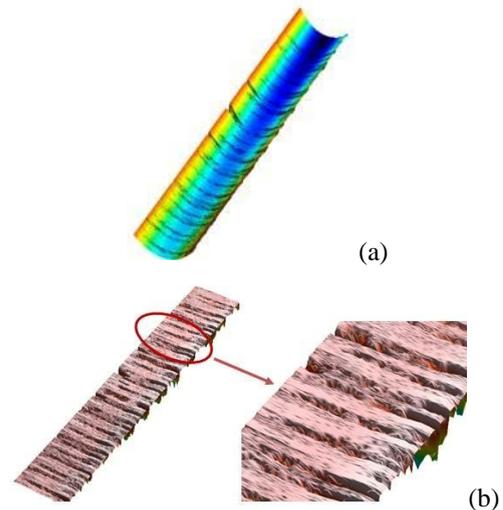


Figura 6. (a) Superficie 3D de media sección de un taladro y (b) nivelación 3D de la superficie y supresión de la forma

4. Resultados

Como se ha explicado en antecedentes, la rugosidad parece cambiar con cada generatriz medida, de tal modo, que la orientación de las fibras y el ángulo formado por la herramienta con la fibra, así como si la zona es de corte a tracción o compresión, son factores que intervienen directamente sobre el mecanizado. Para detectar la generatriz donde el factor de rugosidad es máximo y mínimo se ha utilizado medición por perfilometría topográfica. En la Figura 6(a), se muestra media sección de un taladro realizado a 15.000 rpm y 0,1 mm/rev. Sobre la superficie, se aplican parámetros de supresión de formas y nivelación de la superficie. De esta forma, se obtiene el resultado mostrado en la Figura 6(b).

Sobre esta superficie, se puede detectar las generatrices con mayor y menor nivel de rugosidad.

Según lo apuntado, es en las zonas de corte a compresión en donde se espera encontrar valores más elevados de rugosidad por perfil. Para comprobarlo, se estudian los perfiles con mayor y menor rugosidad, es decir, el menos y más favorable, cuya imagen, se muestra en la Figura 7.

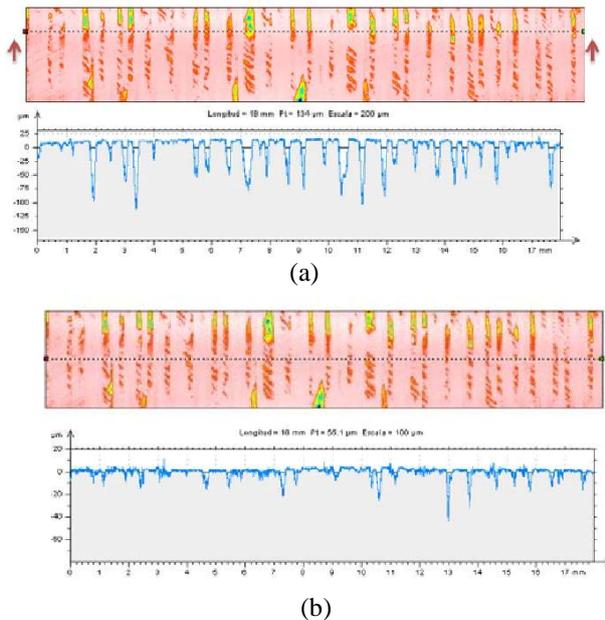


Figura 7. (a) Perfil de rugosidad más desfavorable. $R_a = 12,3 \mu\text{m}$. (b) Perfil de rugosidad más favorable. $R_a = 2,17 \mu\text{m}$.

Se observa que el perfil más desfavorable se encuentra dentro de la zona esperada en zona de compresión. De la misma forma, ocurre con el perfil más favorable, encontrado en una generatriz muy próxima al cambio de zona de corte de compresión a tracción.

Finalmente, en la Tabla II, se recogen los datos para el resto parámetros realizando el mismo procedimiento y tratamiento de datos.

Tabla II. Datos obtenidos para generatrices en condiciones más favorables y más desfavorables para parámetros opuestos

S (rpm)	Avance (mm/rev)	Perfil + favorable	Perfil - favorable
5.000	0,025	1,98 μm	5,51 μm
15.000	0,1	2,17 μm	12,3 μm

A partir de estos datos es posible observar la variabilidad de la rugosidad por generatriz del taladro, estando el perfil más desfavorables en la zona de mecanizado a compresión, tal y como ha quedado reflejado en [4].

5. Conclusiones

El taladrado de fibra de carbono conlleva una serie de problemas que se traducen en defectos en la intercara de los taladros causados por la orientación de la fibra y el ángulo que forma respecto al filo de corte de la herramienta.

Uno de los aspectos fundamentales para evaluar la calidad superficial de la pieza mecanizada es la rugosidad. La evaluación suele llevarse a cabo mediante la determinación de la R_a en varias generatrices, pero las irregularidades en los taladros de fibra de carbono sugieren una evaluación sobre un número de generatrices superior empleando equipos de medición 3D.

Los resultados ponen de manifiesto que la R_a no es un parámetro consistente para evaluar la calidad de los taladros y debe recurrirse a otro tipo de parámetros y variables.

6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por Ministerio de Economía y Competitividad (Proyecto DPI2011-29019), por la Unión Europea (FEDER/FSE), y por la Junta de Andalucía.

7. Referencias

- [1] L. DeFu, T. YongJun, W.L. Cong, *A review of mechanical drilling for composite laminates*, Composite Structures, vol. 94, 2012, 1265-279
- [2] P. F. Mayuet, A. Gallo, A. Portal, P. Arroyo, M. Álvarez, M. Marcos, *Damage Area based Study of the Break-IN and Break-OUT defects in the Dry Drilling of Carbon Fibre Reinforced Plastics (CFRP)*, Procedia Engineering 62 (2013). 743-751.
- [3] P. F. Mayuet, A. Lamikiz, M. Marcos. *Propuesta Metodológica para el Estudio de la Calidad del Taladrado de Materiales Compuestos de Fibra de Carbono con Matriz Epoxi*, Jorpresi IV, 2012, 64-67.
- [4] K. Ogawa et al. *Investigation on cutting mechanism in small diameter drilling for CFRP (thrust force and surface roughness at drilled hole wall)*. Composite Structures, vol 38, 1997, 343-350.

Aproximación al Estado del Arte del Estudio de los Defectos de Rebaba en el Taladrado de Aleaciones de Aluminio y Titanio

Severo Raúl Fernández Vidal⁽¹⁾, Mariano Marcos Bárcena⁽²⁾

^(1,2)Departamento de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial, Universidad de Cádiz, Escuela Superior de Ingeniería, c/ Chile 1, 11002 Cádiz, Tel 956015123 Fax 956015101, raul.fernandez@uca.es

Resumen

Este trabajo se enmarca en una de investigación orientada al estudio y caracterización de la defectología en el taladrado de estructuras híbridas multi-material. En concreto, en el mismo se analizan los factores que intervienen en la formación de la rebaba en el taladrado en seco de estructuras bimetálicas de aleaciones de Al y Ti, y en especial la influencia de los parámetros tecnológicos de corte. De igual forma, se estudia la respuesta en las variables de salida inherentes al proceso y al producto (fuerzas de corte, geometría de los agujeros,...).

1. Introducción

El aumento de la competitividad dentro del sector aeronáutico ha originado la necesidad de desarrollar productos y procesos buscando la mayor rentabilidad y sostenibilidad (económica, energética, medioambiental y funcional).

Una de las vías consiste en combinar diferentes materiales para incrementar la resistencia de las estructuras y reducir el peso de las mismas. Entre estas combinaciones se hallan las bimetálicas formadas por aleaciones de aluminio (serie 7xxx (Al-Zn) de alta resistencia mecánica y serie 2xxx (Al-Cu) con reconocida mejora en la tenacidad), y titanio, (Ti6Al4V de excelente tenacidad, reducido peso, soporte de elevada temperatura y resistencia a la fatiga y a la corrosión).

Los diferentes elementos fabricados por la industria aeronáutica se ensamblan para constituir las fracciones que formarán parte del producto final [1]. El método de unión mediante remaches, hasta el momento, es el más utilizado en el montaje de elementos estructurales aeroespaciales [2].

La calidad del taladro puede ser origen de daños estructurales [3] u otros problemas. Para minimizar los errores de posicionamiento y garantizar estrechas tolerancias durante la fabricación, los paneles compuestos y las piezas estructurales son usualmente perforados juntos en una sola pila de materiales [4].

Uno de los defectos superficiales que ha condicionado más el proceso en las operaciones de taladrado, sobre todo, cuando se producen en la intercara ha sido la rebaba.

La rebaba tiene su origen como resultado de una serie de fracturas y de deformaciones plásticas. Parece ser que en el borde del material con la viruta formada, se inicia una franja de deformación plástica que acompaña la cizalladura y la torsión. Esta deformación es sufrida por el material aún no cortado del agujero, pudiéndose alcanzar su límite de fractura para la formación de la rebaba. El punto de fractura y la deformación plástica (ductilidad) del material definen la geometría final de la rebaba y han permitido su clasificación [5], Figura 1.

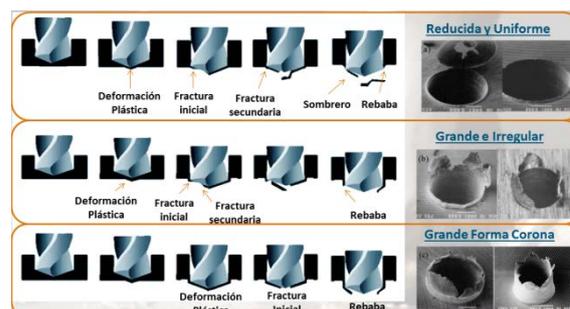


Figura 1. Tipos de rebabas según su geometría: (a) Tipo A. (b) Tipo B. (c) Tipo C.

En la actualidad, para el control visual y la eliminación manual de la rebaba, es necesario separar las piezas una vez que han sido taladradas. Esto lo hace un procedimiento lento y caro. Ante esta situación, la Ingeniería de Fabricación, como encargada del diseño y de la selección de sus procesos (actividades u operaciones necesarias) pretende la implantación de técnicas, como el One Way

Assembly (OWA), que eviten tareas innecesarias tras el mecanizado, con la implementación de sistemas monitorizados, que sean capaces de detectar automáticamente si el mecanizado cumple con la calidad establecida.

Esto obliga a:

- Suprimir el uso de fluidos de corte [6].
- Ajustar los parámetros de corte para reducir la generación de rebaba en el material a mecanizar.
- Utilizar un sistema de monitorización y control que automáticamente indique en qué agujeros la rebaba sobrepasa los límites establecidos y debe ser eliminada.

2. Metodología

Para el desarrollo de este estudio se ha procedido a revisar las publicaciones y citas de los principales grupos de investigación vinculados a los temas de interés (Figura 2), a partir del uso de bases de datos especializadas (ISI-WOK-WOS). Utilizando las herramientas de análisis de la propia base de datos, se ha realizado el filtrado, la organización y análisis de la información.



Figura 2. Trabajos sobre rebaba en el taladrado de aleaciones de aluminio y titanio.

En la anterior figura se puede apreciar el creciente aumento de publicaciones en los últimos años relacionadas con el defecto superficial de rebaba en aleaciones de aluminio y titanio.

3. Resultados y Discusión

Para el desarrollo óptimo de los resultados del taladrado en aleaciones metálicas, diversas investigaciones determinan que los principales factores que influyen en la formación de rebabas son:

- Propiedades del material.
La geometría de la rebaba final depende del punto de fractura y de la cantidad de deformación plástica, que en gran medida viene dada por la ductilidad del material. En la Tabla I se relacionan las propiedades

de las principales aleaciones de aluminio y titanio utilizadas en la industria aeronáutica.

Tabla I – Propiedades de los materiales a mecanizar

	Al	Ti
Número atómico	13	22
Peso atómico	26,9815386	47,867
Punto de fusión	933,437 K (660,323 °C o 1220,581 °F)	1941 K (1668 °C o 3034 °F)
Punto de ebullición	2792 K (2519 °C o 4566 °F)	3560 K (3287 °C o 5949 °F)
Densidad	2,70 g/cm ³	4,5 g/cm ³
Resistencia a la tracción (Ultimate Tensile Strength)	457 MPa (AA2024) 495 MPa(7475-T7351) 517 Mpa (7475-T6) 524 Mpa (7075-T6)	896 MPa (Ti6Al4V)
Límite elásticos (Yield Strength)	380 MPa (AA2024) 410 Mpa (7475-T7351) 455 Mpa (7475-T6) 462 Mpa (7075-T6)	827 Mpa (Ti6Al4V)

- Estabilidad mecánica del dispositivo y del utillaje.
Las vibraciones, la falta de rigidez en los portaherramientas y en la sujeción pueden dar origen a un incremento incontrolado de la temperatura, a fuerzas de cortes excesivas en la punta y a un prematuro desgaste de la herramienta.
- Uso de lubricantes.
La ausencia de lubricante en el taladrado origina mayores dificultades que en otro tipo de mecanizado. La evacuación de la viruta y del calor se ve dificultada por la geometría específica de esta operación. Además del desgaste prematuro de la herramienta y de la pérdida de precisión dimensional de los procesos de mecanizado en seco. En el caso del taladrado, el incremento de las fuerzas de corte o avance junto a la pérdida de resistencia del material de la pieza por el aumento de temperatura acrecienta el riesgo de formación de rebaba.
- Geometría de la herramienta.
El control de la formación de rebaba se puede conseguir con la optimización de la longitud del filo transversal, el ángulo de punta, el número de labios adecuados y una geometría específica de los canales. El número de labios permite mejorar el centrado del agujero. La influencia del filo transversal se debe a que éste más que cortar, extruye el material, contribuyendo, sobre todo, a la fuerza de avance y muy poco al par. Su disminución consigue la fricción, evitar las soldaduras frías y cualquier acumulación de la broca en la pieza. El ángulo de punta establece la tensión desarrollada en cada punto que conforma el filo determinando el lugar de fractura en el agujero. Es, por tanto, muy importante conseguir que las tensiones en la punta y en los bordes de las herramientas sean prácticamente iguales.

Los canales con talón redondeado ayudan a evacuar rápidamente el material arrancado con gran parte del calor generado.

De este modo, se intenta incrementar la rigidez de la herramienta, reducir la resistencia pieza-herramienta-viruta para aumentar la precisión, el acabado y la productividad.

- Parámetros de cortes.

Con unos valores de avance y velocidad de corte acordes al material a mecanizar se puede minimizar la rebaba (Figura 3), ya que son los parámetros que tienen más repercusión en su formación. La aparición de un tipo u otro de rebaba depende en gran medida de la fuerza de avance, ya que es ésta la que más influye en el espesor de la deformación a la salida. En efecto, el primer parámetro a tener en cuenta es la fuerza de avance, que a su vez depende en gran medida del avance de la operación. Afecta directamente a la deformación plástica del material en la etapa final del taladrado y, por lo tanto, influye de forma decisiva en la formación de la rebaba. Cuando la fuerza de avance es grande, se producen antes las deformaciones plásticas, el espesor es mayor a la salida y se favorece la formación de las rebabas grandes tipo corona. La velocidad de corte también influye en el desgaste de la herramienta, que incide también en la formación de rebaba [7-10].

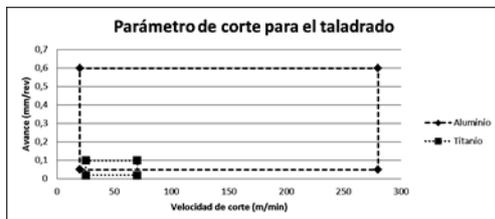


Figura 3. Parámetros de Corte utilizados para el Taladrado en Seco de Aleaciones de Aluminio y de Aleaciones de Titanio.

- Eficiencia en la evacuación de la viruta.
Una fácil evacuación de la viruta reduce la generación de rebaba. Esto se consigue con el uso de fluidos de corte, una geometría específica de los canales de evacuación y un recubrimiento de la herramienta optimizado para el tipo de mecanizado.
- El desgaste de la herramienta.
La formación de la rebaba puede ser utilizada como indicador del desgaste de la herramienta, ya que es un factor clave en su aparición.

4. Conclusiones

En las operaciones de taladrado se origina un continuo desgaste de la herramienta que conlleva una reducción de la eficiencia del proceso, provocando un incremento en las fuerzas de corte y de temperatura. A medida que este desgaste se agudiza, se producen vibraciones que afectan a la calidad de las superficies generadas e invalidan el agujero, Figura 4.

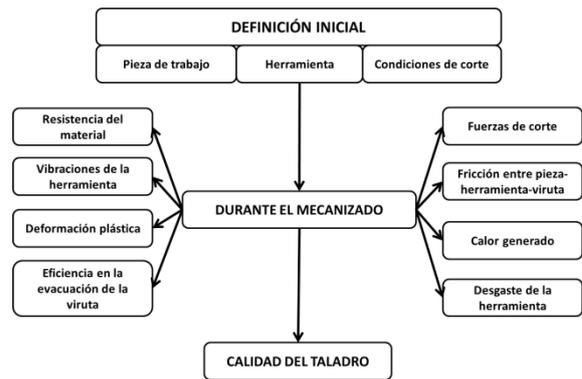


Figura 4. Diagrama del proceso del taladrado.

A partir de estas diversas investigaciones se concluye:

- El tipo de recubrimiento y la geometría de la herramienta son aspectos claves para el desarrollo del taladrado en seco con una calidad establecida.
- La geometría de la rebaba puede ser un indicador del desgaste de la herramienta.
- Mantener unos parámetros optimizados de corte no resulta ser suficiente para asegurar que no se formará rebaba en todos los taladros.
- Los estudios realizados hasta el momento en las aleaciones metálicas no han tenido en cuenta todos los parámetros geométricos (solo se han utilizado su altura y su espesor) y propiedades que caracterizan a la rebaba, Figura 5.

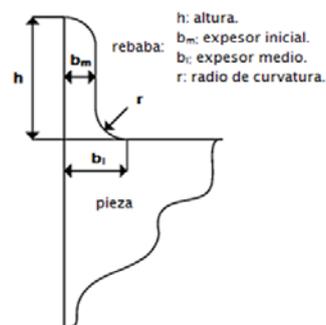


Figura 5. Parámetros geométricos de la rebaba.

- Es necesario el desarrollo de una metodología general, que considere un

mayor número de parámetros geométricos y propiedades mecánicas de la rebaba, para la monitorización y control de su formación. Para ello será necesario caracterizar los materiales a mecanizar, junto con las herramientas para realizar los ensayos de taladrado, registrarlos y posteriormente evaluar su calidad, Figura 6.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Unión Europea (FEDER-FSE) a través del Proyecto FEDER-INTERCONNECTA “(DIANNA)” y por la Junta de Andalucía.

6. Referencias

[1] A. Rivero, G. Aramendi, S. Herranz, L.N. López de Lacalle, “An experimental investigation of the effect of coatings and cutting parameters on the dry drilling performance of aluminium alloys” *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology* 28 (2006) 1-11.

[2] M. Jimenez, D. De Mingo, J.C. Del Real, V. Sandes, *Taladrado y roscado de alta velocidad: Guía de mecanizado*, Ediciones Técnicas IZARO, Bilbao (España), 2001.

[3] X. Zhang, M. Boscolo, D. Figueroa-Gordon, G. Allegri and P.E. Irving. “Fail-safe design of integral metallic aircraft structures reinforced by bonded crack retarders” *Engineering Fracture Mechanics*, 76 (2009) 114-133.

[4] Ugur Koklu, “Influence of the process parameters and the mechanical properties of aluminum alloys on the burr height and the

surface roughness in dry drilling” *Materiali In Tehnologije*, 46 (2011) 103-108.

[5] Lim Sung-Ko, Jing-Koo Lee. “Analysis of Burr Formation in Drilling With a New-Concept Drill” *Journal of Materials Processing Technology*, 113 (2001) 392-398.

[6] Shusheng Bi, Jie Liang. “Experimental studies and optimization of process parameters for burrs in dry drilling of stacked metal materials” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53 (2011) 867.

[7] Rahim, E. A., Kamdani, K., & Sharif, S. “Performance Evaluation of Uncoated Carbide Tool in High Speed Drilling of Ti6Al4V” *Journal of Advanced Mechanical Design, System and Manufacturing*, 2 (2008) 522-531.

[8] S.N. Melkote, T.R. Newton, C. Hellstern, J.B. Morehouse, S. Turner. “Interfacial Burr Formation in Drilling of Stacked Aerospace Materials” *Burrs - Analysis, Control and Removal* (2010) 89-98.

[9] Islam Shyha, Sein Leung Soo, David K. Aspinwall, Sam Bradley, Stuart Dawson, Cornelius J. Pretorius. “Drilling of Titanium/CFRP/Aluminium Stacks” *Key Engineering Materials*, 447-448 (2010) 624-633.

[10] I.S. Shyha, S.L. Soo, D.K. Aspinwall, S. Bradley, R. Perry, P. Harden, S. Dawson. “Hole quality assessment following drilling of metallic-composite stacks” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 51 (2011) 569-578.

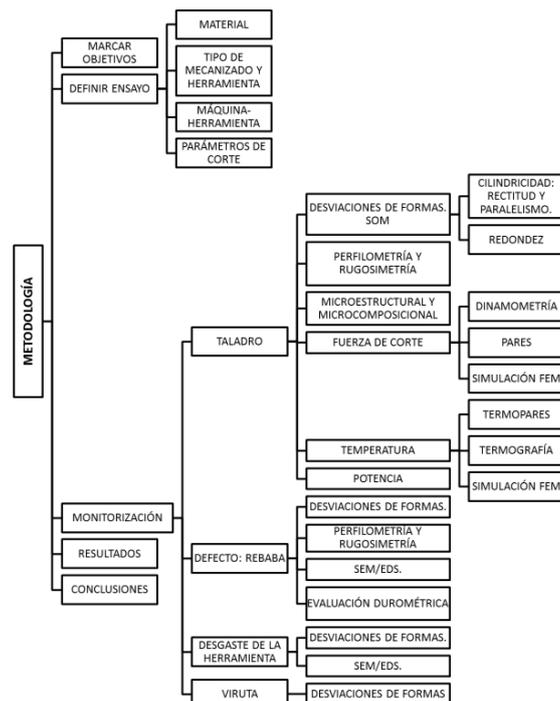


Figura 6. Diagrama metodológico para establecer la relación de los parámetros que intervienen en el desarrollo de la rebaba.

Revisión del estado actual de los Sistemas de Gestión del Alcance en la Dirección de Proyectos

Alberto Cerezo-Narváez, Andrés Pastor-Fernández, Manuel Otero-Mateo

Departamento de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial
C/ Chile, 1; 11002, Cádiz. +34 956 015 142;
alberto.cerezonarvaez@alum.uca.es

Resumen

El presente Trabajo plantea una revisión de los Sistemas de Gestión del Alcance propuestos por los principales estándares internacionales en Dirección de Proyectos, que trata de desarrollar un modelo teórico para la implantación de un sistema de gestión del alcance orientado al éxito en los proyectos de edificación, expandiendo la profesión de Arquitectos e Ingenieros, al incorporar la dirección integrada de proyectos (de aplicación tanto a profesionales liberales como a PYMES) e integrar procedimientos para establecer una relación fluida con el cliente, convirtiendo sus necesidades, deseos y expectativas en requerimientos y especificaciones objetivas para el propio proyecto.

1. Introducción

El Alcance es un término que origina interpretaciones dispares entre las distintas partes interesadas en el proyecto, pero que, como pretende demostrarse en la Tesis Doctoral en la que me encuentro inmerso, resulta esencial (factor crítico) en el éxito del mismo.

Tabla I. Definiciones de Alcance

[1] Según la <i>Real Academia Española</i> Capacidad física, intelectual o de otra índole que permite realizar o abordar algo o acceder a ello. Significación, efecto o trascendencia de algo.
[2] Según la norma internacional <i>ISO 21500</i> La identificación y definición del trabajo y los entregables, y sólo del trabajo y entregables requeridos.
[3] Según el <i>Project Management Institute (PMI)</i> , a través del <i>PMBOK</i> El trabajo que se debe realizar para entregar un producto, servicio, o resultado con las características y funciones especificadas.
[4] Según la <i>International Project Management Association (IPMA)</i> , a través de las <i>NCB</i> La definición de los límites del proyecto.
[5] Según <i>Axelos</i> , a través de <i>Projects IN Controlled Enviroments (PRINCE2)</i> La suma total de los productos y el nivel de los requerimientos de un plan.
[6] Según la <i>Project Management Association of Japan (PMAJ)</i> , a través del <i>P2M</i> La aclaración de la gama de servicios incluidos en el proyecto, definiendo y analizando las tareas necesarias para ello, determinando la distribución de cada tarea para realizarlo y, según el progreso del proyecto, gestionando los cambios en el entorno y sus limitaciones.

A partir de la literatura consultada, antes

reseñada, el **alcance** puede definirse como:

“Una descripción del trabajo requerido para entregar el resultado del proyecto; guiando a su director en las decisiones de añadir, cambiar o eliminar trabajo y conformando la primera restricción de su dirección y gestión, al definir tanto los límites del trabajo como sus fases.”

El alcance presenta 3 dimensiones:

- Producto (características y funciones)
- Proyecto (trabajo a realizar)
- Impacto (profundidad, amplitud y efecto)

La gestión del alcance se encarga de las actividades que garantizan la ejecución de las acciones encaminadas a lograr el cumplimiento de los objetivos. Conlleva diferentes etapas, desde la iniciación y planificación hasta el control de la implementación, forjando el camino para alcanzar las metas trazadas.

Durante la planificación, las necesidades y expectativas de las partes interesadas, se convierten en requisitos, definiéndose el alcance del proyecto a medida que se va recabando información acerca del mismo, como riesgos, supuestos y restricciones; y estableciéndose todo lo que se va a realizar, que se construye sobre la base de los principales productos entregables, asunciones y restricciones documentadas durante su iniciación.

Durante la implementación, gestionar el alcance significa controlar la correcta ejecución de los trabajos, comprobando lo que está o no incluido en el alcance contractual, evitando su modificación por parte de los interesados sin un sistema de control integrado de cambios que asegure el cumplimiento del contrato y previniendo el trabajo extra.

Los cambios de alcance impactan las restricciones del proyecto, en especial su cronograma y presupuesto, aumentando su efecto generalmente

Según **IPMA NCB**, los ámbitos de competencia son dimensiones interdependientes que reunidas, describen sus funciones. En la gestión del alcance, es importante tanto el elemento de competencia “Alcance y Entregables” como la relación que establece ésta con el resto, para identificar las tareas propias de este área (establecimiento de objetivos, identificación de requerimientos, definición del alcance, estructuración del trabajo, control y cambios en el mismo), emprender las acciones requeridas y evaluar los resultados [4].

La definición del alcance y de los productos entregables, evita discrepancias en la entrega definitiva del proyecto, ayudando a definir las bases para una planificación del proyecto que lo abarque en su totalidad, adaptando la misma a su particular ciclo de vida [10].

Las tareas que se desarrollan en el proyecto recogen en su totalidad el alcance del proyecto, planificando las necesidades de recursos, tanto materiales como humanos y poder entregar el producto, cuya configuración y especificaciones han de cumplir los requisitos del mismo y sus propios objetivos.

El modelo de Axelos, **PRINCE2**, se basa en un método estructurado para la dirección, organización, administración y control del proyecto, al que divide en fases manejables permitiendo el control eficiente de los recursos y periódico de su evolución; basándose en los productos y centrándose en obtener resultados concretos, y no sólo en la planificación de las actividades que se llevan a cabo [5].

El alcance es una de las variables que intervienen en la gestión del proyecto.

La gestión de la configuración es la herramienta inherente para gestionar el alcance, a través de sus dimensiones, las estructuras de desglose del producto EDP (PBS) y del trabajo EDT (WBS), utilizadas para el control de la identificación y entregas, tanto del trabajo como del producto, abarcando desde la funcionalidad del producto generado por el proyecto hasta los métodos de trabajo para ejecutarlo y entregarlo.

La gestión del alcance sirve para definir y gestionar tanto la entrega del producto como el trabajo necesario para hacerlo posible, tratando de asegurar suficientemente el trabajo dedicado a entregar el propósito del proyecto, de una manera exitosa y posicionándose, por consiguiente, como parte esencial en la cadena de gestión de la entrega a la propia organización del beneficio empresarial esperado, identificando [11]:

- Funcionalidad requerida
- Componentes y la funcionalidad deseada
- Implementación de los componentes

Por último, según **PMAJ P2M**, la gestión del alcance se desarrolla dentro del ámbito del dominio de la gestión por objetivos, proceso nuclear de trabajo en la dirección, administración y gestión de proyectos que consiste en la gestión del ciclo de vida, alcance, costes, tiempo, calidad, valor ganado, informes/cambios y entrega [6].

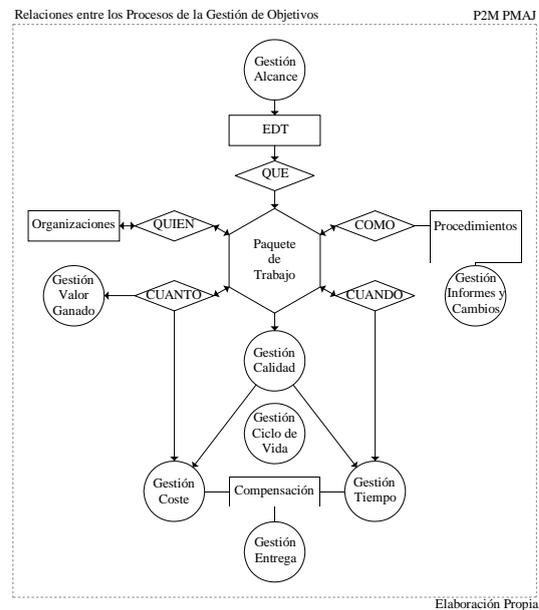


Figura III. Gestión por Objetivos [6]

El objetivo principal de la gestión del alcance es hacer que se cumplan los objetivos del proyecto, programando desde el diseño inicial hasta las especificaciones definitivas, mediante la consideración gradual y comprensiva de los factores clave, abarcando todos los procesos de trabajo para analizar las tareas que permiten la consecución de los objetivos finales y, de este modo, garantizar tanto su correcta ejecución como el aseguramiento de los recursos necesarios.

Por otro lado, en función del progreso, hay que gestionar correctamente los cambios de alcance, asociados tanto a los cambios en el entorno como a las propias restricciones del proyecto, convirtiéndose en una información básica, no sólo para su propia gestión, sino para la del resto de dominios (principalmente tiempo, costes y calidad, conformando lo que se conoce en esta disciplina como el triángulo de acero).

Con el objeto de alcanzar los objetivos del proyecto, el director del proyecto, en la etapa inicial, ha de centrarse en clarificar los requisitos del cliente y del resto de interesados (especificaciones), determinando las tareas que deben implementarse. Antes de definir el alcance del proyecto con detalle, han de analizarse las condiciones en las que se ubica el proyecto (contexto), tales como la política o la tecnología necesarias y/o disponibles.

3. Resultados

Como fruto de la revisión efectuada, se presenta una comparativa entre los sistemas descritos en los que se analizan diferentes aspectos que influyen directamente en la gestión del Alcance:

Tabla II. Comparación entre Estándares

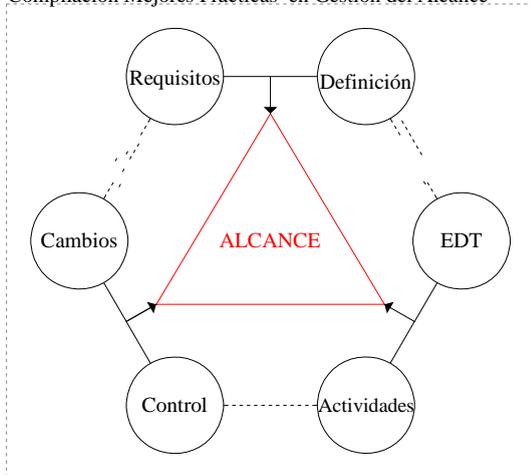
ISO 21500 (2012)	PMI PMBOK (5ª edición 2013)	IPMA NCB (3ª edición 2009)	AXELOS PRINCE2 (edición 2009)	PMAJ P2M (3ª edición 2005)
Proceso	Proceso	Competencia	Componente / Proceso	Etapa / Dominio
Definir Alcance	Identificar Requisitos Definir Alcance	Requisitos y Objetivos Resolución de Problemas Alcance y Entregables Lanzamiento Consulta Organizaciones Permanentes	Calidad	Entrada Gestión de Programas Gestión por Objetivos
Crear EDT	Crear EDT	Estructuras del Proyecto Alcance y Entregables	Planes Iniciar Proyecto Control de Fase Gestión Límites de Fase	Gestión por Objetivos
Definir Actividades	Definir Actividades	Alcance y Entregables	Planes Iniciar Proyecto Control de Fase Gestión Límites de Fase	Dirección Estratégica Gestión por Objetivos Gestión de Relaciones Gestión del Valor
Controlar Alcance	Validar Alcance Controlar Alcance	Requisitos y Objetivos Alcance y Entregables Cambios Control e Informes	Cambios Progreso Control de Fase Gestión Límites de Fase	Entrada Dirección de Proyectos Gestión del Sistema Gestión por Objetivos

4. Conclusiones

Los procesos y competencias relacionados con el alcance procuran garantizar que el proyecto incluya todo el trabajo para completar el proyecto satisfactoriamente y entregar el producto.

El modelo a implementar, de aplicación futura a los proyectos del sector de la Edificación, partirá de estos 6 procesos, agrupados en pares:

Compilación Mejores Prácticas en Gestión del Alcance



Elaboración Propia

Figura IV. Compilación

Bibliografía

[1] Real Academia Española, *Diccionario de la lengua española*, no. v. 1. Espasa Calpe, 2001, p. 2368.
 [2] AENOR, *Directrices para la Dirección y Gestión de Proyectos. UNE-ISO 21500:2013*. AENOR, 2013, p. 48.
 [3] PMI, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide*, 5th ed. PMI, 2013, p. 589.
 [4] J. Martínez Almela, *NCB. Bases para la competencia en dirección de proyectos: version 3.1*. UPV, 2009, p. 236.
 [5] OGC, *Managing Successful Projects with Prince2*, vol. 6th. The Stationery Office, 2009, p. 327.

Se toma como referencia la norma internacional ISO21500, que se enriquece de los aspectos técnicos y competencias de los otros 4 estándares, en especial de los del PMI e IPMA, a los que les confiere su carácter universal:

Definición del alcance, a partir de los requisitos del cliente, organización e interesados, así como desde sus objetivos; describiendo en detalle los productos entregables del proyecto y el trabajo necesario para crearlos, examinando asunciones y restricciones e identificando diferentes

enfoques para ejecutar el trabajo del proyecto.

Administración del alcance, a través de la EDT, documentando la lista de actividades y sus atributos y proporcionando una descripción del alcance del trabajo lo suficientemente detallado como para permitir que el equipo del proyecto entienda el trabajo que debe completar.

Control del alcance, desde la validación hasta la verificación de los entregables, solicitando los cambios necesarios, revisándolos para asegurar su correcta finalización y obtener la aceptación formal, influyendo sobre los factores que pueden generar cambios, controlando su impacto, asegurando que éstos se procesan a través de un sistema integrado de control de cambios y gestionando los cambios reales que se producen.

[6] S. Ohara, *A Guidebook of Project & Program Management for Enterprise Innovation*, 1st rev., PMAJ, 2005, p. 238.
 [7] R. Mulcahy and L. Diethelm, *Rita Mulcahy's PMP Exam Prep*. Rmc Publications, 2011, p. 540.
 [8] D. Echeverría Jadraque, *Cómo gestionar proyectos con éxito*. Wolters Kluwer España, 2013, p. 680.
 [9] G. R. Heerkens, *Gestión de Proyectos*. McGraw- Hill, 2002, p. 282.
 [10] A. López Paredes et al., *Certificación IPMA-4LC. Manual de Preparación*. BPMSAT, 2013, p. 642.
 [11] J. R. Turner, *Gower Handbook of Project Management*. Ashgate Publishing, 2007, p. 871.



V

JORNADAS PREDOCTORALES

Sesión 3.
INGENIERÍA
INFORMÁTICA

Definición e Implementación de Operadores de Mutación a Nivel de Clase para el Lenguaje de Programación C++

Pedro Delgado Pérez⁽¹⁾, Inmaculada Medina Buló⁽²⁾ y Juan José Domínguez Jiménez⁽³⁾

^(1,2,3) Departamento de Ingeniería Informática de la Universidad de Cádiz,
C/Chile 1 11002 Cádiz, España

{pedro.delgado, inmaculada.medina, juanjose.dominguez}@uca.es

Resumen

La prueba de mutación es una técnica de prueba de software alrededor de la cual se han desarrollado diversas herramientas para varios lenguajes. Sin embargo, no existe ningún marco de trabajo para el lenguaje C++ en el que se traten operadores relativos a estructuras más complejas como las de la orientación a objetos. En este trabajo se presentan los avances en el trabajo de aplicación de la prueba de mutaciones a este lenguaje, desde el conjunto definido de operadores de clase hasta el sistema utilizado para la implementación de los mismos, lo cual permite la inserción de los errores que modelan en el código.

1. Introducción

La prueba de mutaciones es una técnica basada en errores que mide la efectividad de los conjuntos de casos de prueba para detectar fallos en el código [1-2]. Esta técnica consiste en introducir simples cambios sintácticos en el programa original mediante los operadores de mutación. Cada uno de estos cambios genera un nuevo programa al que se conoce como *mutante*. Por ejemplo, un fragmento de código como $x + 5$ puede ser mutado por un operador que cambie el operador aritmético a $x / 5$. Un buen conjunto de casos de prueba debe poder detectar todos los cambios que pueda presentar un programa que afecten a su funcionamiento. Esa detección significa que el mutante produce un resultado distinto a la ejecución del programa original. En ese caso decimos que el mutante está muerto y, en el caso contrario, que el mutante sigue vivo.

Los operadores de mutación se obtienen del análisis de los errores más habituales que los programadores suelen cometer al programar y están específicamente diseñados de acuerdo a las características de cada lenguaje de programación, al ser esta una técnica de prueba de caja blanca. Esa es la razón por la que una correcta elección del conjunto de operadores de mutación es una de las claves para el éxito en el uso de la técnica.

En la actualidad existe una gran variedad de herramientas que emplean esta técnica con éxito para diferentes lenguajes [3]. Sin embargo, el desarrollo con respecto a C++, uno de los lenguajes de orientación a objetos más populares, es muy escaso. En este contexto se enmarca la línea de investigación de esta tesis,

que trata de aplicar la técnica de prueba de mutaciones a C++, un lenguaje que incluye el paradigma de la orientación a objetos, en cuyas características está centrado nuestro trabajo.

A tal fin, en la edición anterior de estas jornadas se presentó un estudio de cómo obtener un conjunto de operadores de mutación al nivel de clase, mostrando las categorías en las que estos operadores podían encuadrarse [4]. En este artículo se muestran los operadores concretos seleccionados, los cuales serán incluidos en el marco de trabajo de mutaciones para este lenguaje.

En este documento también se presenta la técnica empleada para la implementación de estos operadores, de forma que sea posible llevar a cabo las mutaciones en el código. Este método de implementación, basado en el análisis del árbol de sintaxis abstracta o AST, pretende ser un enfoque general para llevar a cabo mutaciones a cualquier nivel del lenguaje. El modo de automatizar las mutaciones supone los cimientos de cualquier herramienta de prueba de mutaciones. En este sentido, la técnica descrita es la que nos permitirá obtener una herramienta de mutaciones para C++, la cual busca seguir un modelo similar a MuBPEL [5], desarrollada en el grupo UCASE para realizar mutaciones en el lenguaje WS-BPEL [6], para que en el futuro pueda ser conectada a GAmEra [7]. Esta última herramienta implementa un algoritmo genético para reducir el número de mutantes que se pueden generar sin pérdida significativa de la efectividad [8]. Se espera llevar a cabo dicha adaptación para poder aplicar este algoritmo al lenguaje C++ en sistemas orientados a objetos.

El conjunto concreto de operadores de mutación de clase y la técnica de automatización de los mismos se presenta en las siguientes secciones del artículo.

2. Operadores a nivel de clase para C++

En el trabajo presentado en [4], se mostraron ocho bloques en los cuales se podía categorizar los diferentes operadores de mutación para el lenguaje, así como se describió el proceso a seguir para el estudio y adaptación de operadores de lenguajes orientados a objetos similares, como Java [9] o C# [10], en torno a los cuales sí se habían definido operadores a nivel de clase. Así, se mostró un ejemplo concreto de esta adaptación con un operador relativo al mecanismo de herencia.

Estas categorías han sido brevemente modificadas desde entonces a fin de ajustar mejor esta clasificación. De esta manera, los bloques “Errores comunes de programación” y “Específicos del lenguaje” han sido fusionadas en un único grupo llamado “Miscelánea”, que engloba operadores de distinto tipo que no cuadran en el resto de categorías. Algunos de estos operadores se refieren a características distintivas de este lenguaje, como la existencia del método destructor o del constructor de copia. La disposición final de categorías y operadores se muestra en la Tabla I¹.

El número de operadores obtenido es de 37, el cual es superior al que se muestra para Java en [11] y similar al de C# en [9] (siempre que se descuenten los que el autor considera como inválidos para el lenguaje). La definición detallada de estos operadores y una primera evaluación de los mutantes que crean en varios programas puede ser vista en [12].

Entre las características particulares de C++ que afectan a la implementación o al funcionamiento de los operadores definidos, podemos citar la posibilidad de heredar de más de una clase. Este hecho provoca que el número de mutaciones en ciertos operadores que están relacionados con la herencia sea mayor, al tener más clases entre las que buscar ciertas características que permitan la mutación. También, en cuanto la herencia múltiple, se ha creado un nuevo operador que cambia el calificador de clase que precede a la referencia de un miembro (usando el operador de resolución de ámbito) por otra de las clases de las que deriva que contenga el mismo miembro. La posibilidad de sobrecargar la mayoría de los operadores propios del lenguaje es otra

propiedad a tener en cuenta. En este sentido, los operadores de sobrecarga de métodos también pueden actuar sobre estos operadores sobrecargados, al igual que con el resto de métodos. En C++ hay otras características que han de ser consideradas del mismo modo, como los valores por omisión dados a ciertos parámetros o la sintaxis para crear un comportamiento polimórfico.

3. Implementación de los operadores

Dada la variedad de alternativas de diseño que ofrece este lenguaje, la posibilidad de crear un analizador del código, a fin de buscar potenciales localizaciones para insertar las mutaciones y determinar cuáles de ellas efectivamente nos llevarían a la creación de mutantes válidos, queda prácticamente descartada si queremos obtener un sistema robusto y que pueda ser extensible a todo el lenguaje, no solo a los operadores concretos relativos a unas características determinadas.

Esta es la razón por la que se recurre a un compilador maduro como *Clang* [13], que nos garantiza el poder manejar las características que cubre del lenguaje de una manera adecuada.

Este enfoque se basa en el uso del árbol de sintaxis abstracta, una forma estructurada y simplificada del código que el compilador emplea como representación intermedia, para realizar una búsqueda en él y recuperar los nodos (con los elementos del lenguaje) que cumplen las condiciones que están predefinidas en los diferentes operadores de mutación.

Para lograr este objetivo, se emplea un lenguaje de dominio específico (conocido habitualmente como DSL) que proporciona *Clang* para tal fin. Este DSL presenta un listado de patrones que acceden a los miembros de las clases que representan los distintos tipos de nodos del árbol. La combinación de estos patrones nos permite crear un predicado complejo que se ajuste a los requerimientos de los operadores.

A modo de ejemplo de lo explicado, en la Figura 1 se muestra el patrón básico para el operador *AMC*, el cual trata de recuperar cada uno de los atributos (“*fieldDecl*”) y los métodos (“*methodDecl*”) que una clase (“*recordDecl*”) tiene.

```
recordDecl(  
  eachOf(  
    forEach(fieldDecl().bind("field")),  
    forEach(methodDecl().bind("method"))  
  )  
)  
.bind("AMC");
```

Figura 1. Patrón básico para la búsqueda de localizaciones de mutación del operador *AMC*

¹Wiki con la lista de operadores:
https://neptuno.uca.es/redmine/projects/mu-cpp-mutation_operators/wiki

Tabla I. Bloques de operadores de mutación a nivel de clase

Bloque	Oper.	Descripción
Control de acceso	AMC	Cambio de modificador de acceso
	AAC	Cambio de modificador de herencia
Herencia	IHD	Borrado de variable oculta
	IHI	Inserción de variable oculta
	ISI	Inserción de referencia a clase base
	ISD	Borrado de referencia a clase base
	IOD	Borrado de método sobrescrito
	IPC	Borrado de llamada explícita de constructor de la clase base
	IOR	Renombrado de método sobrescrito
	IMR	Reemplazo de clase en herencia múltiple
	IOP	Cambio de posición en la llamada al método sobrescrito
Polimorfismo y enlace dinámico	PCI	Inserción de un operador de tipo cast
	PCD	Borrado de un operador de tipo cast
	PCC	Cambio de un operador de tipo cast
	PRV	Asignación de una referencia con otro tipo compatible
	PNC	Llamada al método <i>new</i> con tipo de clase hija
	PMD	Declaración de variable miembro con tipo de clase base
	PPD	Declaración de una variable parámetro con

		tipo de clase hija
	PVI	Inserción de la palabra reservada <i>virtual</i>
Sobrecarga de método	OMR	Cambio de contenido de método sobrecargado
	OMD	Borrado de método sobrecargado
	OAN	Cambio de orden de argumentos
	OAD	Cambio de número de argumentos
	OPO	Cambio del orden de parámetros
Manejo de excepciones	EHR	Borrado del manejador de la excepción
	EHC	Cambio del manejador de la excepción
	EXS	Absorción de la excepción
Reemplazo de objeto y miembro	MCO	Llamada a un miembro de una clase desde otro objeto
	MCI	Llamada a miembro de una clase desde otra clase que hereda
	MNC	Cambio de nombre de método
	MBC	Cambio de acceso a variable miembro
Miscelánea	CTD	Borrado de la palabra reservada <i>this</i>
	CTI	Inserción de la palabra reservada <i>this</i>
	CID	Borrado de la inicialización de una variable miembro
	CDC	Creación de constructor por defecto
	CCA	Borrado del constructor de copia y de la sobrecarga de operación de asignación
	CDD	Borrado del método destructor

Los tres patrones comentados hacen referencia a las clases *FieldDecl*, *CXXMethodDecl* y *CXXRecordDecl*, que representan a atributos, métodos y clases respectivamente.

4. Conclusiones

El propósito de nuestra línea de trabajo es el obtener un marco de prueba de mutaciones en torno a C++ para poder realizar una evaluación de esta técnica respecto a este lenguaje en sistemas orientados a objetos. Como base para esta herramienta, es necesaria la obtención y posterior implementación de los operadores de mutación.

Respecto a la definición de operadores, se ha obtenido un conjunto de 37 a nivel de clase respecto a las características de este paradigma. Estos operadores están basados en operadores definidos para otros lenguajes (realizando modificaciones oportunas para su adaptación), pero incluye al mismo tiempo nuevos operadores específicos para las características propias de C++.

En cuanto a la técnica de implementación, se ha optado por un sistema que se fundamenta en el árbol de sintaxis abstracta del compilador *Clang*, lo cual es muy conveniente para analizar el lenguaje de una manera general a la vez que uniforme a través de las librerías que proporciona. Mediante un ejemplo, se ha mostrado el modo de uso del DSL que se emplea para buscar puntos del código en los que sea posible la inserción de las mutaciones.

Como trabajo futuro, se espera poder realizar una evaluación detallada del comportamiento de los operadores definidos con programas reales escritos en C++ para obtener conclusiones de su utilidad en la finalidad de la prueba de mutaciones.

5. Agradecimientos

Este trabajo está parcialmente financiado por la beca de investigación PU-EPIF-FPI-PPI-BC 2012-037 de la Universidad de Cádiz y por el proyecto de investigación MoDSOA (TIN2011-27242) bajo el Programa Nacional para la Investigación, Desarrollo e Innovación del Ministerio de Ciencia e Innovación (España).

6. Referencias

- [1] J. Offutt. A mutation carol: Past, present and future. *Information and Software Technology*, 53(10): pp. 1098–1107, 2011. Special Section on Mutation Testing.
- [2] P. Delgado-Pérez, I. Medina-Bulo, J. J. Domínguez-Jiménez: Mutation Testing. *Encyclopedia Of Information Science And Technology*. IGI Global, 2014
- [3] Y. Jia, M. Harman 2011: An Analysis and Survey of the Development of Mutation Testing, *Software Engineering. IEEE Transactions on*, vol. 37, no. 5, pp. 649–678.
- [4] P. Delgado-Pérez, I. Medina-Bulo, J. J. Domínguez-Jiménez: Aplicación de la técnica de Prueba de Mutación Evolutiva a C++. IV Jornadas Predoctorales de la Escuela Superior de Ingeniería. 2012-2013, Cádiz
- [5] A. García-Domínguez, A. Estero-Botaro, I. Medina-Bulo, F. Palomo-Lozano: Herramienta de mutación firme para WS-BPEL 2.0. *Actas de las XVII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos*, 2012, pp. 415–418.
- [6] A. Estero-Botaro, F. Palomo-Lozano, I. Medina-Bulo: Quantitative evaluation of mutation operators for WS-BPEL compositions. *Software Testing, Verification, and Validation Workshops (ICSTW)*, 2010 Third International Conference on, pp. 142–150, 2010.
- [7] J. J. Domínguez-Jiménez, A. Estero-Botaro, A. García-Domínguez, I. Medina-Bulo: GAmEra: an Automatic Mutant Generation System for WS-BPEL Compositions. *ECOWS'09: Seventh IEEE European Conference on Web Services*, 2009.
- [8] J. J. Domínguez Jiménez, A. Estero Botaro, A. García Domínguez, I. Medina Bulo: Evolutionary Mutation Testing. *Information and Software Technology*, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.infsof.2011.03.008>
- [9] Y-S. Ma, Y-R. Kwon, J. Offutt: Inter-class mutation operators for Java. *Proceedings of 13th International Symposium on Software Reliability Engineering, ISSRE'02*, IEEE Computer Soc Press., Annapolis MD, 2002, pp. 352–363.
- [10] A. Derezinska: Quality assessment of mutation operators dedicated for C# programs. *International Conference on Quality Software, QSIC06*, Beijing, China, 2006.
- [11] J. Offutt, Y.-S. Ma, and Y.-R. Kwon: The class-level mutants of MuJava. *Proceedings of the 2006 International Workshop on Automation of Software Test, AST '06*, pp. 78–84, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [12] P. Delgado-Pérez, I. Medina-Bulo, J. J. Domínguez-Jiménez, A. García-Domínguez: Operadores de mutación a nivel de clase para el lenguaje C++. XII Jornadas sobre Programación y Lenguajes, PROLE 2013. Madrid, Spain (2013).
- [13] Clang: <http://clang.llvm.org>

An Approach to use Evolutionary Computation for Computer Network Optimization

Robin Mueller-Bady ⁽¹⁾, Martin Kappes ⁽¹⁾ and Inmaculada Medina Buló ⁽²⁾

⁽¹⁾Faculty 2 - Computer Science and Engineering, University of Applied Sciences Frankfurt, Nibelungenplatz 1, 60318 Frankfurt am Main, Germany, {mueller-bady, kappes}@fb2.fh-frankfurt.de.

⁽²⁾Departamento de Ingeniería Informática, C/Chile 1, CP 11002, Spain inmaculada.medina@uca.es

Abstract

In this paper we are going to introduce our research line of *Self-Adaptive Evolutionary Computer Network Optimization*. Within this research line we want to optimize computer networks using computer science methods inspired by nature, the evolutionary computation. The optimization will take place with regards to (concurrent) multiple objectives, which makes the problem a multi-objective optimization problem. For the improvement of the evolutionary computation process, self-adaptivity will be added to minimize the search space in which we are searching our (Pareto-) optimal solution.

1. Introduction

Over the past decades, computer networks became an indispensable part of today's business-, research- and personal sector. The size of computer networks increased, as more and more users get connected to those networks with an also increasing quantity of devices such as smartphones, tablet computers or other communication-capable devices. Also the quantity of data transmitted over those networks increased according to higher available bandwidths. Apart from malicious network communication like e.g. email spam, other bandwidth intensive services like video and music streaming, *Voice over Internet Protocol (VoIP)* services or *Internet Protocol Television (IPTV)* have gained a vast amount of popularity.

However, many of those computer networks grew uncontrolled, or at least without the necessary attention and/or reconfiguration effort, such that most of them seem to be far from optimal for their specific use cases. Given a computer network that was set up some years ago whose application was to browse the Internet for information, send emails or use some low-bandwidth streaming services. Compared to today, the purpose changed according to the mentioned services but the network did not necessarily. There is absolutely a necessity for optimization.

Another increasingly important aspect is computer network security. Today's security requirements change very fast. Data theft, fraud and (denial of service) attacks have become very lucrative due to a massive shift of business

and personal services into the world wide web according to the "Web 2.0" movement. This motivates many people to make huge efforts to break the security of current software, systems and networks by interfering e.g. availability, reliability or robustness of those networks.

2. Objectives

Within the research line of *Self-Adaptive Evolutionary Computer Network Optimization* we want to optimize those computer networks. The optimization of computer networks itself is a very complicated and complex task that, even for simple single-objective optimizations, may become an NP-hard problem. By adding further objectives to the optimization process it becomes, regarding absolute computing time, even more complex.

Humans often tend to build up structures by means of aesthetics, symmetry and order. Evolution shows that a symmetric and aesthetic structure is not necessarily an optimal one. According to Charles Darwin and his "The Origin of Species by Means of Natural Selection" [1], creatures, both humans and animals, adapt to their environment over successive generations and occupy their ecological niches with the help of the evolutionary process which includes types of variation like mutation, recombination and other techniques to provide a certain gene flow. We assume that it is possible to transfer this idea to technology, especially computer networks.

Evolutionary computation is a technology to solve problems inspired by the biological

Darwinian evolution. It is a method to probabilistically approximate an acceptable solution within very large search spaces and often used to address problems that are not solvable by a proper deterministic algorithm that is able to find a solution in polynomial time.

We may, additionally to the complexity of the problem itself, also have to handle optimization of concurrent attributes of the network as well as cost constraints that arise from possibly costly changes of the network. Therefore we strive for a Pareto-optimal solution such that we are able to generate the best possible result with the least possible (computing) effort.

To optimize the evolutionary computation process itself, self-adaptivity can be used. Self-adaptivity in that sense describes the ability of a system to react on the current state of the process and its environment by adapting runtime parameters of the system itself that will lead to an improved performance of the problem approximation.

3. Related Work

The topic Self-Adaptive Evolutionary Computer Network Optimization is settled mainly in four different fields: computer networks, IT security, distributed systems and artificial intelligence. For all of those research areas, beneficial research has already been done in the past. Besides the standard literature of Tanenbaum [2], which covers the most important aspects and attributes of computer networks, there already exist many publications in that field that cover the topic of computer network design. In regular networks, Frank et al. [3] formulated the network design problem with a focus on the capacity of communication links and their location within the network. For regular computer or communication networks, many researchers put a lot of effort in the design of e.g. reliable [4] and constrained [5] networks.

Two examples for improving network robustness in general are the work of Beygelzimer et al. [6] and Dekker et al. [7]. Both use the graph topology context for the analysis of computer network robustness. Also in evolutionary computation exists literature that covers the basics this field e.g. [8], to provide an overview about parameter optimization [9] or to analyze the possibility of multi-objective evolutionary computation techniques in different ways using different approaches [10], [11]. There exist some publications that treat optimization of computer network topologies [12], the network reliability [13], or the robustness and security [14] as well.

According to the feature of our evolutionary computation system to be self-adaptive during its runtime, the paper of Martín H. et al.

[15] provides an overview on how self-adaptivity for computer systems is realizable.

4. Hypotheses

The main hypothesis of *Self-Adaptive Evolutionary Computer Network Optimization* is the following

Hypothesis 1

We can improve certain attributes of (computer) networks by using methods of evolutionary computation (recombination, reordering, reconfiguration) in compliance with a given set of rules that mark the borders (constraints) for our room of maneuver.

We have to research if it is feasible and useful to also use addition- and deletion-operations of network components, which is usually related to a cost or effort constraint.

To be able to process computation on computer networks, we have to define an appropriate model. This model includes a phenotype format, the resulting model of a network, and a genotype format, an encoded version of that model, which is optimized for the use in an (evolutionary) computation process itself. Therefore, our sub-hypothesis is

Sub-Hypothesis 1.1

We can define an appropriate model for computer networks. This model can be used to represent a given computer network and (an encoded version) as well in the evolutionary computation process.

We need to define one or more metrics that enables evaluation of the given computer network model. In the context of evolutionary computation those metrics are usually referred to as *fitness functions* or *fitness metrics*. They may consist of one or more attributes, also called objectives, that describe the given model by the means of quality. Adding more attributes, which can be cooperative or concurrent, makes the process it a multi-objective one. This leads to our sub-hypothesis

Sub-Hypothesis 1.2

We can define fitness metrics that can evaluate a computer network. Either several different metrics can be combined, even with concurrent objectives, to form a composed multi-objective metric or we can use multiple metrics for itself to be aware of specific requirements.

We use evolutionary computation as a probabilistic metaheuristic optimization to search for optimized versions of the given input network in the search space. We also research the feasibility of distributing evolutionary processes on several computing nodes assuming a significant increase of performance by adding more nodes. As the general idea is to use evolutionary computation to improve networks, we formulate the following hypothesis

Sub-Hypothesis 1.3

We can use evolutionary computation techniques to improve a given input computer network. The computation task itself can be distributed, such that we are able to reduce the absolute runtime of the evolutionary process by using more than one computing node simultaneously.

One example for those improvable attributes is the network diameter which we define as the average number of network hops between all nodes in a network. This attribute is strongly related with the network performance in form of transfer rates and delay. By a reordering of nodes inside a network, we assume that we can reduce the delay with which the network communicate while we can simultaneously increase the transfer rate between nodes.

Concurrently to the aim of a minimal network diameter, we have the attribute of security. If we reduce the network diameter to a minimum we will eventually end up with a network whose nodes all reside in one subnet (we here assume that we do not have a limit of nodes in one subnet). Such a network might be beneficial for performance and delay but is unsuitable with respect to network security. We assume it is feasible to find an adequate Pareto-optimal compromise for that problem with the help of the developed system.

Another aspect we want to research is that we are able to gain a significant improvement of the evolutionary computation process by adding self-adaptivity to it. Self-adaptivity, which describes the feature of a system to adapt to changes of its environment, is used in computer science to be able to adjust a running process in case that the conditions that the program was started in changed. This leads to the hypothesis

Sub-Hypothesis 1.4

Self-adaptivity can be used to improve the evolutionary computation process by the means of runtime in relation to the quality of the result.

We expect that we can improve the quality of the model given the same runtime or, vice versa, improve the runtime of the evolutionary process having the same results. In our case this aspect looks promising as the developed evolutionary computer network optimization system is probabilistic and therefore has a nondeterministic runtime behavior. This promotes the usefulness of self-adaptivity. In our research line we are going to study those hypotheses and evaluate them scientifically.

5. Methods and Methodology

To check the previously defined hypotheses we will use two different approaches: a theoretical and a practical one.

In the theoretic approach we have to study the possibilities of using graph theory as basis for our computer network model. This model has to be created and evaluated accurately as it forms the base for all of our further research. From this model, we have to derive a encoded model, in the evolutionary computation area usually referred to as genotype, that we can use for an efficient evolutionary process.

A second theoretic task is to define the metrics for computer network fitness that will be used throughout our research to determine the fitness of individuals. Also this metric must be evaluated very carefully in order to determine computer network quality which is the focus of the whole research.

In the beginning, this metric may be very simple just to show the feasibility of the developed approach but it will increase in complexity and detail over time. We plan to add objective- and constraint-models to the metric such that they, combined with the integration of detailed evaluated current existing approaches, form our extensive metric definition. We aim to parameterize the metric as much as possible for maximum dynamics.

Further theoretic work consists of the evaluation of existing and development of new evolutionary computation operations with our computer network model as base. The scope of this operator definition ranges from simple mutation operations on hosts and connections/crossover operations to necessary selection mechanisms like parental selection methods or survivor selection techniques.

At this point is also very important to appraise the used random number generation techniques. As the developed evolutionary computation approach shall be self-adaptive, adequate self-adaptivity methods for those algorithms must be researched and evaluated or developed. Finally we have to implement a prototype of such a evolutionary computer network optimization

system. First we need to find a proper representation of our developed computer network model. In that sense it might be useful to use or define a data format that fits the requirements of the model. Then we can start implementing our fitness metric definition such that we are able to classify existing computer networks. With respect to the constraints we have to distinguish whether it would be useful to create them parameterized as a fix definition will not hold for all computer networks and is therefore inappropriate. We strive for the highest possible level of dynamics to be aware of changes. We will then start to iteratively implement the evolutionary computer network computation system by adding all theoretical developed models, metrics and operations to it. At the end we also have to implement our theoretical model of self-adaptivity and add it to the system. On each iteration we have to test the system against the specification and requirements and, if necessary, adjust them precisely. Finally, a benchmarking and testing phase will complement our research. In that phase we have to create extensive and comprehensive benchmarks and examine the results that our evolutionary computer network optimization system will produce.

6. Conclusion

The goal of the research line is to find solutions to problems in the area of computer network modeling, metric definition for the evaluation of computer networks, definition of appropriate evolutionary operators to handle the evolutionary process, applying self-adaptivity to that evolutionary process, and the prototypical implementation of the whole system. A system will be developed that implements the theoretic aspects of the evolutionary computer network optimization system.

7. Acknowledgement

This work was supported in part by the MoDSOA research project (TIN2011-27242) under the National Program for Research, Development and Innovation of the Ministry of Science and Innovation (Spain).

8. References

- [1] C. Darwin, *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. London: Murray, 1859.
- [2] A. S. Tanenbaum, *Computer Networks (4th Edition)*, 4th ed. Prentice Hall Professional Technical Reference, 2002, p. 912.
- [3] H. Frank and W. C. W. Chou, "Topological optimization of computer networks," in *Proceedings of the IEEE*, 1972, vol. 60.
- [4] R. Wilkov, "Analysis and Design of Reliable Computer Networks," in *IEEE Transactions on Communications*, 1972, vol. 20.
- [5] T. Koide, S. Shinmori, and H. Ishii, "Topological optimization with a network reliability constraint," *Discret. Appl. Math.*, vol. 115, pp. 135–149, 2001.
- [6] A. Beygelzimer, G. Grinstein, R. Linsker, and I. Rish, "Improving network robustness by edge modification," *Phys. A Stat. ...*, vol. 357, no. 3, pp. 593–612, 2005.
- [7] A. H. Dekker and B. D. Colbert, "Network robustness and graph topology," in *Proceedings of the 27th Australasian conference on Computer science - Volume 26*, 2004, pp. 359–368.
- [8] A. E. Eiben and M. Schoenauer, "Evolutionary computing," *Inf. Process. Lett.*, vol. 82, pp. 1–6, 2002.
- [9] T. Bäck and H.-P. Schwefel, "An overview of evolutionary algorithms for parameter optimization," *Evol. Comput.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–23, 1993.
- [10] C. A. C. Coello, G. B. Lamont, and D. A. Van Veldhuizen, *Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems*, vol. 5. 2007, p. 800.
- [11] D. A. Van Veldhuizen and G. B. Lamont, "Multiobjective evolutionary algorithms: analyzing the state-of-the-art," *Evol. Comput.*, vol. 8, no. 2, pp. 125–147, 2000.
- [12] M. Gen, R. Cheng, and S. S. Oren, "Network design techniques using adapted genetic algorithms," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 32, pp. 731–744, 2001.
- [13] F. Altıparmak and B. Dengiz, "Optimal design of reliable computer networks: A comparison of metaheuristics," *J. heuristics*, vol. 9, pp. 471–487, 2003.
- [14] Z. Bankovic, D. Stepanovic, S. Bojanic, and O. Nietotaladriz, "Improving network security using genetic algorithm approach," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 33, pp. 438–451, 2007.
- [15] J. A. Martín H., J. Lope, and D. Maravall, "Adaptation, anticipation and rationality in natural and artificial systems: computational paradigms mimicking nature," *Nat. Comput.*, vol. 8, no. 4, pp. 757–775, Aug. 2008.

Avances en la técnica de prueba metamórfica aplicada a composiciones de WS en WS-BPEL

M^a del Carmen de Castro Cabrera⁽¹⁾, Inmaculada Medina Bulo⁽²⁾

^(1,2)Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos, C/ Chile,1, 11002, Cádiz, 956015138
{maricarmen.decastro, inmaculada.medina}@uca.es

Resumen

Las técnicas de prueba de software y las herramientas que las implementas están siendo utilizadas ampliamente para probar todo tipo de software. En especial, por sus características, se utilizan en las aplicaciones que implementan composiciones de servicios Web. La prueba metamórfica es una de las técnicas que se pretende probar en composiciones para lenguaje WS-BPEL. En este trabajo se presenta los avances realizados en este sentido como continuación de la propuesta realizada en anteriores trabajos. Se analizan los resultados y se proponen alternativas de mejora en cuanto al análisis de las composiciones y a la generación de los casos de prueba.

1. Introducción

Hoy en día la utilización de Internet para realizar cualquier trámite es indiscutible. Estas transacciones se realizan a través de aplicaciones que deben ser fiables y seguras. Lo que hace que los servicios web (WS) y el software que los soporta adquiera mayor importancia. El lenguaje de ejecución de procesos de negocio de WS, WS-BPEL[1] fue estandarizado por OASIS a petición de las principales empresas del sector TIC (HP, IBM, Oracle, Microsoft, etc.). Este permite desarrollar nuevos WS diseñando procesos de negocio más complejos a partir de otros WS existentes, contando con amplio soporte software para ello [2]. Sin embargo, esta expansión no se ha visto acompañada de técnicas de prueba para este tipo de software [3]. Una prueba deficiente en un sistema puede dar lugar a errores con consecuencias negativas. Por tanto, se requieren buenos métodos de prueba que comprueben si las composiciones cumplen los requisitos establecidos

En trabajos previos, se presentó una propuesta de la técnica de la Prueba Metamórfica (PM) aplicada a composiciones de servicio en WS-BPEL [4,5, 6].

En este trabajo se describen los avances realizados en la implementación de esta técnica.

Este artículo se estructura de la siguiente manera: el presente apartado que es una introducción al tema, seguido brevemente por conceptos fundamentales. A continuación, se describe la arquitectura propuesta mejorada para ejecutarlo en este contexto, así como las herramientas software utilizadas. En el siguiente apartado se describe un análisis de los resultados de casos de estudio probados con una aplicación prototipo y algunas conclusiones derivadas. A continuación, se proponen técnicas a utilizar para mejorar los

resultados en la generación de casos de prueba, y en la fase de análisis de la composición y por último, las conclusiones y el trabajo futuro.

1.1 Fundamentos

Uno de los principales retos a los que se enfrenta la mayoría de las técnicas de prueba de software es el *problema del oráculo*. Un *oráculo* es un mecanismo para comprobar si un programa se comporta correctamente para una entrada dada. La verificación humana es propensa a errores, y al crecer el número de casos, puede ser lenta y costosa.

A veces, el resultado de un programa puede ser difícil de verificar por diversas causas. En estos casos, es recomendable utilizar propuestas alternativas para el proceso de verificación y validación.

La prueba metamórfica (PM) se está utilizando actualmente como técnica complementaria o alternativa para verificar y validar software. Se pueden encontrar referencias recientes que utilizan PM para diversas aplicaciones y problemas [7-8]. Estos motivos apoyan el uso de PM para aliviar el problema del oráculo [9].

PM está basada en la noción de Relación Metamórfica (RM). En [10], las RM se definen como "propiedades esperadas o existentes sobre una serie de entradas diferentes y sus correspondientes resultados para evaluaciones múltiples de una función objetivo".

Cuando la implementación es correcta, es de esperar que las entradas y salidas del programa cumplan algunas propiedades necesarias que son relevantes para los algoritmos subyacentes. Pero, además, una RM aporta una forma de generar

nuevos casos de prueba a partir de los suministrados inicialmente.

2. Arquitectura mejorada para PM en WS-BPEL

La primera generación de casos de prueba puede ser automatizada con técnicas tradicionales. Así, PM es una técnica de prueba que comienza con un conjunto de casos de prueba previo (que será producido con alguna estrategia de generación) y un conjunto de RM. Tras la ejecución del programa, obtenemos, que algunos casos de prueba detectan errores y otros no. Los primeros, hacen que el programa sea revisado y el error corregido y, los segundos, llamados *casos de prueba de éxito*, serán seleccionados como entrada a la arquitectura que vamos a utilizar. Por tanto, una vez generado un conjunto de casos de prueba previo y seleccionado el conjunto de éxito, para aplicar o PM hay que llevar a cabo los pasos indicados en [4].

En el esquema de implementación se realizan iteraciones sobre cada composición hasta que se cumplan determinados criterios de calidad. Para la mejora de la técnica podemos:

1. Implementar nuevas RM y/o mejorar las existentes.
2. Obtener nuevos casos de prueba según criterios relacionados con la lógica de la composición.
3. Mejorar el código de la composición, corrigiendo errores.

Este esquema de implementación se concreta en la arquitectura mejorada de la figura 1, que integra sistemas de código abierto: ActiveBPEL como motor de ejecución WS-BPEL y BPELUnit como biblioteca para las pruebas unitarias para WS-BPEL [12]. ActiveBPEL es el motor para la ejecución de composiciones WS-BPEL 2.0 liberado como código abierto. Su mantenimiento es llevado a cabo por ActiveVOS [11].

3. Análisis de resultados

En esta sección se analizan los resultados obtenidos sobre los casos de estudio de las composiciones: Loan Approval, Market Place y MetaSearch definidas en [1].

En la Tabla I se muestran los resultados generales. Para cada una de las composiciones mencionadas se describen: el número de RM diseñadas e implementadas, el número de casos de prueba de éxito obtenidos (TCe) y, por último los errores detectados gracias a PM frente a errores existentes (inyectados) (ErrD(PM)/ErrI), utilizando para ello como herramienta instrumental, el software MuBPEL [13] basado en la técnica de mutaciones.

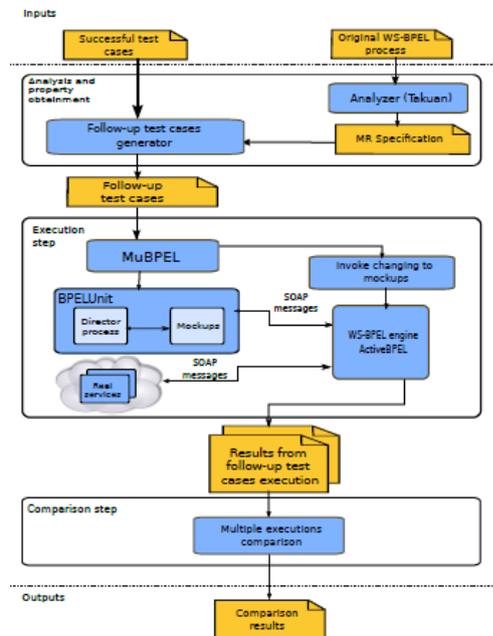


Figura 1. Arquitectura mejorada para aplicar PM en WS-BPEL

Tabla I. Resultados con 3 composiciones

	Loan Approval	Market Place	Meta Search
TCi	5	9	16
TCe	2	656	9
Nº de RM	12	13	14
ErrD(PM)/ErrI	78/82	33/34	485/748

Podemos observar la Tabla I, tanto en Loan Approval como en MetaSearch se han detectado un número de errores significativo. Así mismo, el número de nuevos casos de prueba de éxito generados por nuestra técnica es grande, teniendo en cuenta que se generan automáticamente a partir de las RM implementadas.

Las RM se han diseñado, teniendo en cuenta la lógica de cada composición. La implementación de estas RM ha servido para, a partir de un conjunto de casos de prueba, obtener nuevos casos de prueba que nos permitan comprobar si cada composición cumple cada una de las RM. Así, observamos que, en la mayoría de las composiciones se ha podido detectar un número de errores importante, utilizando, como técnica auxiliar, la prueba de mutaciones y la herramienta MuBPEL[13]. A su vez hemos mejorado el conjunto de casos de prueba incrementando notablemente su número.

Sin embargo, en un análisis posterior donde se han realizado además, varias iteraciones según el esquema de implementación de [4], los resultados han sido los mostrados en las tablas II y III, en el caso de Loan Approval y de MetaSearch.

Tabla II. Resultados Loan Approval (iterado)

<i>Loan Approval</i>	Ex.Inicial	1ª it.	2ªit.
TCi	5	2	18
TCe	2	1	0
TCsig	-	19	77
ErrI	91	4	3
ErrD	78	79	79
ErrNoC	9	-	-

En estas tablas se ha añadido el valor **TCsig**, que indica el número de casos siguientes generados a partir de los casos de prueba de éxito utilizando las RM aplicables. Además, aparece **ErrNoC**, que indica los mutantes (composiciones con modificaciones inyectadas) que no se consideran en la composición.

Tabla III. Resultados MetaSearch (iterado)

<i>MetaSearch</i>	Ex.Inicial	1ª it.	2ªit.
TCi	16	9	3176
TCe	9	3176	-
TCsig	-	3180	-
ErrI	748	263	252
ErroresD(Total)	485	496	-

Al analizar en detalle los resultados obtenidos con el primer prototipo de generación de casos de pruebas con PM, se observó lo siguiente:

- Si en los casos de prueba no estaban contemplados valores umbral o límite incluidos en la lógica de la composición, los mutantes relacionados con esos casos, no morían. Por ejemplo, ocurre en Loan Approval, si no aparecen en los casos de prueba los valores próximos a 10.000 que es una cantidad umbral que determina las siguientes acciones en la composición.
- Si no se limitan o filtran de alguna manera los valores de casos de prueba, el número de casos de prueba se dispara, como por ejemplo en MetaSearch (3176 casos de prueba de éxito en la primera iteración), dando lugar a numerosos casos que no matan más mutantes, por tanto, no aportan una mejora en la detección de errores.

Con respecto a a), hay trabajos que ilustran la influencia de los valores umbrales en la generación de los casos de pruebas. Será descrito en el apartado 3.1

Para el b) se ha hecho un estudio de diferentes enfoques a incluir desarrollados en 3.2. que, utilizados como técnica adicional, podrían mejorar estos resultados obtenidos.

3.1 Influencia de los valores límite en la generación de casos de prueba

Uno de los aspectos estudiados por algunos autores es cómo determinados errores sólo pueden ser

detectados si se tiene en cuenta, que en el conjunto de casos de prueba haya casos en los que se incluyan estos valores límite que afectan a la lógica de la aplicación a probar. En este sentido, destaca el trabajo [14].

Por tanto, es preciso considerar en la implementación de esta técnica incluir casos de prueba relacionados con estos valores. Para ello, en el análisis de la composición se debe extraer entre otra información, los valores constantes que aparecen en la misma.

3.2 Técnicas y herramientas formales para la generación de casos de prueba

Por otro lado, en el análisis de los resultados iniciales, hemos concluido que se generan numerosos casos de prueba que no sirven para detectar errores en las composiciones. Para solventar esto, se pueden utilizar técnicas y herramientas auxiliares basadas en formalismos que ayuden a generar casos de prueba, integradas o junto a las RM.

En este sentido se han analizado tres de estos formalismos: técnicas basadas en comprobación de modelos (*Model Checking*) [15], pruebas basadas en notación simbólica (Symbolic Testing) [16] y pruebas basadas en lógica con restricciones (Constraint-based Testing) [17].

De estos formalismos, se han estudiado las herramientas que los han implementado, realizando una comparativa, que llevaron a probar la última técnica implementada en la herramienta Minion [18], por ser la más actualizada y cuyo uso está más extendido.

Esta herramienta es necesario adaptarla e integrarla en la arquitectura que se propone.

4. Conclusiones y trabajo futuro

Partiendo de una arquitectura propuesta anteriormente, se han analizado los resultados obtenidos en la aplicación de tres casos de estudio. Se han iterado dos de ellos. A pesar de que los resultados eran esperanzadores, en un caso, se observa que es necesario, en general tener en cuenta los valores umbral que aparecen en las composiciones, para poder detectar los errores relacionados con estos valores y en el otro caso, al dispararse el número de casos de prueba sin que se detecten nuevos errores a partir de determinada iteración, se propone utilizar alguna técnica que ayude a generar casos de prueba que puedan detectar errores. Es decir, dirigir en cierto modo la generación de estos casos.

Como trabajo futuro, realizar la automatización del análisis que facilite el diseño e implementación de RM y continuar implementando la arquitectura propuesta.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto MoDSOA (TIN2011-27242) bajo el

6. Referencias

- [1] OASIS: Web Services Business Process Execution Language 2.0. <http://docs.oasisopen.org/wsbpel/2.0/OS/wsbpel-v2.0-OS.html> (2007), Organization for the Advancement of Structured Information Standards.
- [2] J.J. Domínguez Jiménez, A. Estero Botaro, I. Medina Bulo, M. Palomo Duarte, F. Palomo Lozano, *El reto de los servicios web para el software libre*. Proc. FLOSS International Conference 2007. pp. 117-132. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, 2007.
- [3] M. Bozkurt, M. Harman, Y. Hassoun, *TR-10-01: testing web services: A survey*. Tech. Rep. TR-10-01, King's College, London, 2010.
- [4] M.C. de Castro Cabrera, A. Camacho Magriñán, I. Medina Bulo, M. Palomo Duarte, *Una arquitectura basada en pruebas metamórficas para composiciones de servicios WS-BPEL*, Actas de las VII JCIS, A Coruña, 2011
- [5] M.C. Castro-Cabrera, A. Camacho-Magriñán, I. Medina-Bulo, *Aplicación de la técnica de pruebas metamórficas a una composición de servicios: Metasearch*. Actas de las VIII JCIS, Almería, 2012.
- [6] M.C. Castro-Cabrera, I. Medina-Bulo, *Análisis y especificación de propiedades en prueba metamórfica para WS-BPEL*. Actas de las IX JCIS, Madrid, 2013.
- [7] X. Xie, W. Eric Wong, T. Y. Chen, and B. Xu, *Spectrum-Based Fault Localization: Testing Oracles are No Longer Mandatory*, 11th International Conference on Quality Software, Madrid, 2011.
- [8] S. Segura, R. M. Hierons, D. Benavides and Antonio Ruiz-Cortés, *Automated metamorphic testing on the analyses of feature models*, Information and Software Technology Journal, vol. 53, pp. 245 – 258, n.3, 2011.
- [9] T. Y. Chen, *Metamorphic testing: A new approach for generating next test cases*. HKUSTCS98-01, 1998
- [10] J.H. Andrews, L.C. Briand, Y. Labiche, *Is mutation an appropriate tool for testing experiments?*, Proc. 27th International Conference on Software Engineering (ICSE 2005). pp. 402-411. ACM Press, 2005.
- [11] ActiveVOS: ActiveBPEL WS-BPEL and BPEL4WS engine. <http://sourceforge.net/search/?q=ActiveBPEL>, 2009.
- [12] P. Mayer, D. Lübke, *Towards a BPEL unit testing framework*. TAV-WEB'06: Proc. 2006 workshop on Testing, Analysis, and Verification of Web Services and Applications. pp. 33-42. ACM, 2006.
- [13] UCASE Research Group, MuBPEL website <https://neptuno.uca.es/redmine/projects/source-s-fm/wiki/MuBPEL>, (última consulta: 2014/04/30).
- [14] R. Hierons, *Avoiding Coincidental Correctness in Boundary Value Analysis*. U.K. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, Vol. 15, No. 3, Pgs 227–241. July, 2006.
- [15] Y. Zheng, J. Zhou, P. Krause, *A Model Checking based Test Case Generation Framework for Web Services*, 2007.
- [16] L. Bentakouk, P. Poizat1, and F. Za'di. *Checking the Behavioral Conformance of Web Services with Symbolic Testing and an SMT Solver*, 2011.
- [17] S. Jehan, I. Pill, and F. Wotawa, *Functional SOA Testing Based on Constraints*. Institute for Software Technology Graz University of Technology, Austria, 2013.
- [18] Minion website, <http://minion.sourceforge.net/index.html> (última consulta: 2014/04/30).

Hacia la modernización de procesos de gestión mediante integración de múltiples lenguajes específicos del dominio

Alexis Cabrera Mondeja⁽¹⁾, Antonio García Domínguez⁽²⁾, Inmaculada Medina Buló⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidad Tecnológica Ecotec, Guayaquil, Ecuador, acabrera@universidadecotec.edu.ec.

⁽²⁾ Departamento de Ingeniería Informática de la Universidad de Cádiz, C/Chile 1, CP 11002, {antonio.garciadominguez, inmaculada.medina}@uca.es.

Resumen

El desarrollo de aplicaciones web es un reto difícil desde el punto de vista tecnológico. Muchas veces surgen de la idea de automatizar las tareas de la oficina, generalmente llevadas a cabo a través de aplicaciones ofimáticas como Excel y Access. En la presente investigación se pretende realizar el modelado de la información existente en una aplicación ofimática para generar aplicaciones web básicas. Para ello se propone extender composiciones actuales de lenguajes de dominio específico propios para el desarrollo web. Una vez obtenido el modelado inicial, a través de estos lenguajes, se podrá generar una aplicación web con una estructura de navegación y una interfaz para el proceso de carga de datos. Una primera versión servirá como base para modificar los modelos obtenidos y potenciar la aplicación con vistas a mejorar sus prestaciones. El proceso de modelado también permitirá la reutilización de los mismos en el mantenimiento de la aplicación.

1. Introducción

En los últimos años el desarrollo de Lenguajes de Dominio Específico (*DSL o Domain Specific Language*) se ha convertido en uno de los aspectos más importantes en la ingeniería dirigida por modelos (*MDE o Model Driven Engineering*). Aunque desde hace muchos años esta perspectiva de desarrollo se viene empleando en múltiples aplicaciones, es en el modelado de aplicaciones donde parece tener un uso más relevante.

Las técnicas de MDE no solo se están usando para crear nuevos sistemas, sino también para modernizar o evolucionar el software existente. Se puede decir que el campo de la modernización de sistemas basada en modelado está emergiendo con gran fuerza, por lo que se necesitará de un gran esfuerzo en el desarrollo y la investigación en los próximos años [16].

Muchas herramientas con gran impacto, como MoDisco [15], se están desarrollando, además los entornos de desarrollo para DSL han evolucionado para facilitar la creación de estos lenguajes. Destacan entre ellos *xTex* basado en *openArchitectureWare* con tecnología Eclipse que ofrece herramientas potentes.

En la presente investigación se propone una serie de DSL para realizar el modelado de aplicaciones tomando como base aplicaciones ofimáticas. Teniendo en cuenta que muchos sistemas surgen de la idea de modernizar aplicaciones de oficina existentes, se proyecta la creación de lenguajes específicos de dominio para realizar el modelado de la aplicación.

Se tendrá en cuenta, tanto la información existente como la estructura del documento, para el modelado mediante los DSL. El propósito es brindar a los programadores una herramienta para agilizar la creación de sistemas a partir de hojas de cálculo, bases de datos, etc. Finalmente se generará

una aplicación web a partir de la interpretación de los DSL creados.

2. Conceptos básicos

2.1 Lenguaje de Dominio Específico

Los Lenguajes de Dominio Específico (*DSL o Domain Specific Languages*) han tenido un amplio uso en los últimos años, éstos han sido de vital importancia en el campo de la ingeniería dirigida por modelos. Según Fowler [1] se define como “Un lenguaje de programación para computadoras de limitada expresividad en un dominio particular”.

Fowler [1] ofrece cuatro claves para esta definición: lenguaje de programación para computadoras, naturaleza del lenguaje, limitada expresividad y enfoque de dominio.

Los DSL se han clasificado de varias maneras, según Voelter [2], éstos pueden ser textuales, gráficos, tabulares o la mezcla de estos. La clasificación más común que comparten Fowler [1] y Voelter [2] es la de dividirlos en DSL internos y DSL externos.

Un DSL externo es un lenguaje diferente al lenguaje principal de la aplicación para la cual ha sido creado. Un script en un DSL externo es usualmente interpretado por un código en la aplicación principal usando técnicas de interpretación textual. Los lenguajes específicos externos más conocidos son SQL, XML, AWK [1]. En tanto un DSL interno se considera una forma particular de un lenguaje de propósito general. Un script en un DSL interno está escrito en el mismo lenguaje de la aplicación principal pero solo usa una serie de características de éste para manejar un aspecto particular de la aplicación. Un ejemplo clásico es el lenguaje *Lisp*. *Ruby* también ha creado una fuerte cultura del DSL, siendo el *framework Rails* considerado una colección de DSL [1].

La decisión de crear un DSL interno o uno externo varía según las características de cada proyecto. Cada uno de ellos tiene sus ventajas y desventajas. Una de las ventajas que tienen los DSL externos es que permiten al programador expresar de forma más sencilla el dominio, comparado con la forma de expresarlo en un lenguaje de propósito general. Sin embargo una de las principales desventajas es que se hace más complejo debido a que se necesita crear un intérprete particular. El uso de XML ha sido una forma de facilitar este problema pues existen diversos intérpretes disponibles [3]. Por otro lado quizás se pueda trabajar sin un IDE para editar un DSL externo, ¿pero cómo se manejaría la depuración? Sin dudas un entorno de desarrollo para DSL es importante para contrarrestar estas desventajas. Los DSL internos en cambio no presentan estas desventajas, al ser desarrollados en el mismo lenguaje de la aplicación principal. Sin embargo puede tornarse complicado ya que se necesita conocer o tener una base del lenguaje principal [3].

2.2 Entornos de desarrollo para DSL

Conocido como *Language workbench* ó “banco de trabajo para un lenguaje”, es una metáfora usada para definir un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE o *Integrated Development Environment*) especializado en la definición y desarrollo de lenguajes de dominio específico. Se utiliza no sólo para definir la estructura de un DSL sino también proporciona un ambiente personalizado para escribir el mismo.

La importancia de estos IDE especializados radica en que pueden proveer la flexibilidad de un DSL externo sin barreras semánticas. Además hacen fácil la creación de herramientas que coinciden con lo mejor de los IDE modernos. El resultado permite que la creación de lenguajes de dominio específico sea más fácil, así como el mantenimiento de los mismos [3].

En los últimos años se han creado varios IDE especializados en el desarrollo de DSL. Se considera el padre de los *Language workbenches* a *Intentional Software*, un IDE desarrollado por Charles Simonyi en *Microsoft Research*. Posteriormente su creador abandonó *Microsoft* para fundar su propia compañía y dedicarse a su desarrollo de manera independiente [3].

2.3 Definición de un DSL

Fowler [3] define tres pasos importantes para definir un DSL:

1. Definir la sintaxis abstracta, o sea el esquema de la representación abstracta.
2. Definir un editor para manipular la representación abstracta a través de una proyección.
3. Definir un generador. Describe cómo traducir la representación abstracta en un ejecutable.

Un DSL consiste en un conjunto de modelos coordinados según Bézivin [5]:

- ✓ Primero se debe definir un metamodelo de definición de dominio (DDMM o Domain Definition Metamodel) que consiste en una conceptualización del dominio que introduce las abstracciones básicas de éste y sus relaciones mutuas.
- ✓ La sintaxis concreta representa una transformación de DDMM al metamodelo que el autor llama superficie de muestra o “*display surface*”.
- ✓ Finalmente un DSL puede tener semánticas de ejecución definidas. La semántica es también definida por la transformación de un DDMM a un DSL que tiene definido una semántica de ejecución precisa

Los demás pasos asociados al editor y al generador se describen según Fowler [3] quien plantea que no hay razón para no usar más de un editor, incluso puede ser común el uso de varios.

3. Idea de la propuesta

Hoy en día la idea de crear una aplicación surge muchas veces de alguna aplicación existente, principalmente de aplicaciones de oficina como las hojas de cálculo, que son las más usadas, y las bases de datos visuales como Access.

Los usuarios con el tiempo adquieren más experiencia en el manejo de aplicaciones de oficina, pero llega el momento que estas aplicaciones no son suficientes para los requerimientos de información que administran. Por otro lado, crece la necesidad de acceder a la información desde cualquier lugar, sobre todo con el desarrollo de las comunicaciones y los, cada vez, más sofisticados medios de acceso a internet.

Surge entonces la idea de crear una aplicación más sofisticada que cumpla con los requerimientos del usuario.

3.1 Planteamiento inicial

En la presente investigación se analiza la necesidad que existe de desarrollar, a partir de aplicaciones de oficina (procesadores de texto, hojas de cálculo, etc.), nuevas aplicaciones que las sustituyan lo más rápido posible y con la mayor calidad. Partiendo de una aplicación de oficina, como base de un proyecto de software, existen varios aspectos importantes a tener en cuenta:

1. Se debe aprovechar al máximo la aplicación existente, ésta tiene una estructura e información que puede ser útil en el modelado de la nueva aplicación.
2. La aplicación existente almacena datos que el cliente querrá preservar.

3. Diseñar la aplicación desde cero conlleva gasto de tiempo, tanto para el programador, como para el cliente que tiene que introducir los datos manualmente una vez terminado su desarrollo.

Nuestra propuesta consiste en crear varios DSL para modelar la aplicación existente, aprovechando tanto la estructura como sus datos. En la Figura 1 se muestra un ejemplo a partir de una hoja de cálculo que contiene información en tablas.

El DSL creado debe permitir generar una base de datos a partir de la información que contenga, y una aplicación web con las facilidades de administración para crear, actualizar y eliminar datos.

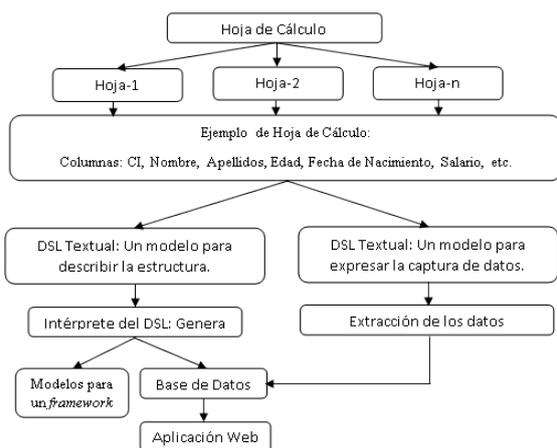


Figura 1: Ejemplo de la propuesta de modelado de una hoja de cálculo.

3.2 Definición de los modelos

El lenguaje de dominio específico que se desea crear será definido por un metamodelo basado en *Eclipse Modeling Framework* (EMF).

Un primer DSL se crea para obtener los modelos extrayendo información de la aplicación existente.

De la estructura del documento se nutre el DSL para obtener un modelo entidad-relación. La sintaxis se implementará usando el lenguaje *xText* que forma parte del *framework openArchitectureWare* [17].

A partir de la información obtenida el DSL debe definir las entidades y servicios. Con la definición de las entidades se describen las características necesarias para obtener la base de datos relacional, y las reglas de validación que serán usadas para la generación de formularios para crear, actualizar y eliminar información.

En la Figura 2 se muestra un ejemplo simple de definición de entidad mediante un DSL, el código muestra las propiedades de la entidad y sus características tales como: tipo de datos, longitud máxima, nombre, descripción y regla de validación. Otras características como requerido (Not Null), único, valor predeterminado podrían definirse también.

```

Entity Empleado ("Empleado") {
  PrimaryKey {
    Field char(10) EID "ID Empleado"
  }
  Field char(20) nombre "Nombre" [isOnlyLetters]
  Field char(30) apellidos "Apellidos"
[isOnlyLetters]
  Field int(2) edad "Edad"
  Field date fecha_nac "Fecha de Nacimiento"
  Field decimal(5, 2) salario "Salario"
}
  
```

Figura 2: Ejemplo simple de definición de entidad mediante un DSL.

4. Trabajos relacionados

Los trabajos relacionados a esta investigación se orientan al desarrollo de lenguajes específicos de dominio con diferentes enfoques con respecto al desarrollo y modernización de aplicaciones web.

En [1] se enfocan en el desarrollo de un DSL (DOMMLite), para la definición de la estructura estática de aplicaciones orientadas a bases de datos. El DSL tiene la capacidad de generar el código completo de los formularios para crear, leer, actualizar, eliminar y buscar información en la base de datos, así como las operaciones de navegación. El DSL fue probado para el *Framework Django*. En [2] se hace énfasis en la integración de herramientas definiendo un *Framework* de integración de herramientas basado en el concepto de esquema de dominio. El mismo se especifica como un Archivo de Especificación de Modelo (MSF o *Model Specification File*) escrito en un DSL declarativo que captura el modelo de datos para las entidades y sus relaciones dentro de la herramienta. Muy similar a DOMMLite [1] desde el punto de vista que es un lenguaje que describe la estructura de datos aunque en un dominio de aplicación diferente.

En [3] se propone un DSL llamado WL4EA que combina componentes con la reutilización generativa y se enfoca en *frameworks* populares. Soporta gran interactividad permitiendo que las aplicaciones se puedan especificar de forma declarativa como un conjunto de entidades, vistas, objetos de negocio y objetos de acceso a datos.

Rivero [13] propone una metodología híbrida ágil basada en modelos llamada Desarrollo Guiado por Maquetas (MockupDD o *Mockup-Driven Development*). El enfoque comienza por el análisis de los requerimientos, definiendo maquetas junto al usuario, para ponerse de acuerdo sobre las funcionalidades de la aplicación. Después las maquetas (mockups) son traducidas a un modelo abstracto de interfaz de usuario que puede ser directamente llevado a modelos específicos de presentación de *Model Driven Web Engineering* (MDWE).

Una perspectiva orientada hacia la modernización de aplicaciones se propone en [4], un lenguaje (Gra2moL) con un enfoque dirigido a extraer modelos del código fuente de aplicaciones. Proporciona un lenguaje poderoso de consulta para

árboles de sintaxis concreta, se establece una correspondencia entre nodos del árbol de sintaxis concreta y entidades de un metamodelo.

En [5] proponen un DSL (xOWL), una extensión del lenguaje estándar OWL2, complementándolo con conceptos de comportamiento. El DSL aborda esta complejidad ofreciendo a los expertos del dominio herramientas para modelar sus propios conocimientos y validar sus modelos.

MoDisco [15] es un proyecto de código abierto que forma parte de la fundación Eclipse, en él se propone un enfoque basado en ingeniería inversa dirigida por modelos (MDRE o *Model Driven Reverse Engineering*) con el objetivo de mejorar la ingeniería inversa tradicional. El proyecto persigue como objetivo ofrecer un *framework* MDRE extensible y personalizable para desarrollar herramientas dirigidas por modelos, soporta diferentes escenarios de ingeniería inversa tales como modernización, aseguramiento de la calidad, retro-documentación, etc.

La propuesta de la presente investigación se centra en el prototipado rápido de una aplicación web, mediante la creación de lenguajes específicos de dominio, que permita obtener la información necesaria para generar la aplicación.

Con similitudes a [1], que genera los formularios estandarizados para la administración del sistema, se plantea como aspecto innovador el modelado a partir de hojas de cálculo, documentos, etc. Se aprovecha la información contenida en dichos documentos, por un lado, para el modelado y generación de la interfaz, y por otro lado para la extracción de la información y su posterior ingreso a la base de datos.

5. Conclusiones y trabajo futuro

En este artículo se ha presentado una propuesta para el desarrollo de una serie de lenguajes específicos de dominio para modelar aplicaciones web, basadas en aplicaciones ofimáticas ya existentes.

Usando lenguajes de dominio específico basado en las técnicas de MDE es posible obtener una alta productividad, tanto en el desarrollo como en la modernización de aplicaciones web. A partir de una sintaxis abstracta es posible obtener un lenguaje que permita generar automáticamente una base de datos relacional y la interfaz para los procesos de crear, actualizar y eliminar información, así como la estructura de navegación de la aplicación.

También es posible obtener modelos de frameworks conocidos para desarrollo web como Django que generan un panel de administración automáticamente.

6. Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente financiado por el proyecto DQIBI «Mejora de la calidad de los datos y sistema de inteligencia empresarial para la toma de decisiones» de la Universidad de Cádiz.

7. Referencias

- [1] Fowler, M. (2010). Domain-Specific languages. Pearson Education.
- [2] Völter, Markus, et. al.(2013). Engineering - Designing, Implementing and Using Domain-Specific Languages. Disponible en <http://www.dslbook.org>.
- [3] Fowler, M.(2005): Language Workbenches: The Killer-App for Domain Specific Languages? <http://martinfowler.com/articles/languageWorkbench.html>
- [4] Pfeifer, M., and Pichler, J. (2008). A comparison of tool support for textual domain-specific languages. In Proceedings of the 8th OOPSLA Workshop on Domain-Specific Modeling (pp. 1-7).
- [5] Bézivin, J., Jouault, F., Kurtev, I., Valduriez, P.(2006): Model-based DSL frameworks, Companion to the 21st Annual ACM SIGPLAN Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications, OOPSLA, pp. 22-26.
- [6] Meta Programming System. <http://www.jetbrains.com/mps>.
- [7] Monticore <http://www.monticore.de>.
- [8] IDE Meta-Tooling Platform. <http://www.eclipse.org/imp>.
- [9] CodeWorker <http://codeworker.free.fr/>
- [10] Igor Dejanović, G. M. (2010). A Domain-Specific Language for Defining Static Structure of Database Applications. Computer Science and Information Systems, Volume 7, Issue 3, pp 409-440.
- [11] Gray, J., Karsai, G. An examination of DSLs for concisely representing model traversals and transformations. (2003). 36th Annual Hawaii International Conference. Hawaii: System Sciences.
- [12] Jingang Zhou, D. Z. (2011). A Domain Specific Language for Interactive Enterprise Application Development. Lecture Notes in Computer Science Volume 6988, pp 351-360.
- [13] Matías Rivero, J. G., et. al. (2014). Mockup-Driven Development: Providing agile support for Model-Driven Web Engineering. Information and Software Technology, Vol. 56, pp 670_687.
- [14] Wouters, L.; Gervais, M.-P., "xOWL: An Executable Modeling Language for Domain Experts," Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC), 2011 15th IEEE International , pp.215,224, Aug. 29 2011-Sept. 2 2011.
- [15] Brunelière, J. Cabot, G. Dupé, F. Madiot, MoDisco: a Model Driven Reverse Engineering Framework, Information and Software Technology (2014), disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.infsof.2014.04.007>
- [16] Molina, J. L. (2009). A Domain Specific Language for Extracting Models in Software Modernization. Lecture Notes in Computer Science, pp 82-97.
- [17] openArchitectureWare <http://www.openarchitectureware.org>



V

JORNADAS PREDOCTORALES

Sesión 4.
INGENIERÍA EN
SISTEMAS Y DE LA
COMPUTACIÓN

Súper-Resolución Aplicada a la Mejora de Imágenes de Microscopía Electrónica de Alta Resolución

Guillermo Bárcena González⁽¹⁾, M^a Paz Guerrero Lebrero⁽¹⁾,
Elisa Guerrero Vázquez⁽¹⁾, Pedro L. Galindo Riaño⁽¹⁾

⁽¹⁾Departamento de Ingeniería Informática, CASEM C\ República Saharaui s/n. Campus Rio San Pedro, 11510 Puerto Real, Cádiz, Tel: 956 01 64 34. guillermo.barcena@uca.es

Resumen

La Súper-Resolución es una técnica que consiste en reconstruir una imagen de alta resolución a partir de una secuencia de varias imágenes de baja resolución de la misma escena. Esta técnica presenta una serie de inconvenientes en cuanto a tiempo de cálculo y a la reconstrucción en presencia de ruido. En este trabajo se hace una revisión de los distintos algoritmos existentes y se determina cual de ellos puede utilizarse para la reconstrucción de imágenes de microscopía electrónica.

1. Introducción

La evolución de la tecnología electrónica en los últimos años tiende a la creación de sensores de tamaño muy reducido, lo cual permite la obtención de muy alta densidad de píxeles, mejorando el nivel de detalle de las imágenes capturas. En estas imágenes de alta resolución se pueden apreciar mayor detalle que en otras imágenes con menor densidad de píxeles.

En la actualidad son necesarias técnicas alternativas para aumentar la resolución de la imagen, tales como la Súper-Resolución.

La Súper-Resolución es una técnica de procesamiento de imágenes por la que se puede obtener una imagen de alta resolución a partir de una secuencia de imágenes de baja resolución de la misma escena, consiguiendo mayor detalle en la imagen final.

La gran ventaja de esta técnica es su bajo coste, ya que es una solución software, y por tanto se pueden seguir utilizando los sistemas de captura de imágenes existentes, sin necesidad de adquirir ningún hardware nuevo. Sin embargo, esta técnica presenta dos inconvenientes: el elevado coste computacional que presentan ciertos algoritmos y el comportamiento de dichos algoritmos en presencia de ruido.

En este trabajo se realiza un estudio y análisis de los algoritmos de Súper-Resolución más utilizados en los distintos campos de la ciencia. Se han obtenido resultados paralelizando los algoritmos y haciendo uso de GPU's (Graphics Process Units), con la intención de reducir su tiempo de cómputo.

Seguidamente se hace un estudio sobre cuáles de estas técnicas se pueden aplicar a imágenes de microscopía electrónica en modo HAADF (High-Angle Annular Dark Field) las cuales presentan un elevado nivel de ruido. De esta manera, se podría minimizar la degradación de la muestra que se produce al someterla al microscopio, consiguiendo imágenes de igual o mayor resolución que las obtenidas actualmente.

2. Modelado y Algoritmos

2.1. Modelado del sistema

La relación entre la imagen de alta resolución las imágenes de baja resolución se define mediante el factor de submuestreo, que es el incremento de píxeles en horizontal y en vertical respecto a la imagen de baja resolución.

Dada una imagen x de tamaño N , siendo N definido como

$$N=L_1N_1 \times L_2N_2 \quad (1)$$

Donde:

L_1 es el factor de submuestreo horizontal.

L_2 es el factor de submuestreo vertical.

N_1 es el número de columnas de la imagen de baja resolución.

N_2 es el número de filas de la imagen de baja resolución.

Definiendo cada imagen como un vector, imagen de alta resolución se representaría como:

$$x=[x_1, x_2, \dots, x_N]^T \quad (2)$$

Y la imagen de baja resolución como:

$$y=[y_1, y_2, \dots, y_N]^T \quad (3)$$

Sea p un conjunto de imágenes de baja resolución. Si cada una de ellas presenta deformaciones en la captura, emborronamiento y submuestreo, cualquiera de ellas puede ser obtenida aplicando la siguiente ecuación:

$$y_k = DB_k M_k x + n_k \quad (4)$$

Donde:

k : $1 \leq k \leq p$

M_k : es una matriz de deformación.

B_k : es una matriz de emborronamiento.

D : es una matriz de submuestreo.

N_k : es un vector ordenado de ruido.

2.2. Algoritmos utilizados

La técnica de Súper-Resolución se divide en dos fases. Una primera fase, denominada alineación, que consiste en alinear todas las imágenes de baja resolución de la serie respecto a una de ellas, con el fin de conseguir un mayor número de puntos de la imagen final de alta resolución. En una segunda fase, denominada reconstrucción, se determinan aquellos puntos de la imagen final no obtenidos mediante la alineación.

Para el estudio de la fase la primera fase, se han seleccionado los algoritmos más representativos de las distintas aproximaciones existentes del problema. De esta manera, se ha elegido el algoritmo creado por Marcel Baptiste [7] como el más representativo en el dominio de la frecuencia y el algoritmo creado por Keren [5] como el más representativo del dominio espacial. Los algoritmos de Lúchese [6] y Vandewalle [10] se han seleccionado por ser los que más precisión ofrecen en el cálculo del ángulo de rotación.

En la fase de reconstrucción se necesita la información obtenida en la fase anterior para obtener la imagen de alta resolución. Algunos píxeles de la imagen final coinciden con el valor de los píxeles de las imágenes de baja resolución, otros píxeles deben ser calculados mediante uno de los algoritmos de reconstrucción.

Para el estudio de los algoritmos de reconstrucción se ha tenido en cuenta su posible aplicación en imágenes de microscopía electrónica y las características que ellas presentan, como su alto nivel de ruido, repetición de estructuras y diferencia de contraste. Es por ello que se han elegido los siguientes algoritmos:

- Interpolación Vecino más cercano (Nearest Neighbor) y la interpolación bilineal por su facilidad de implementación.
- El algoritmo POCS, (Project Onto Convex Set) [9], este algoritmo define un conjunto de restricciones que limitan el espacio de posibles soluciones para los píxeles

inexistentes en la reconstrucción de la imagen.

- El algoritmo Papoulis-Gerchberg [3] se puede considerar un caso particular del algoritmo POCS.
- El algoritmo 'Robust Super Resolution' [2], este método obtiene buenos resultados cuando un conjunto de las imágenes de baja resolución utilizadas presentan ruido o están escaladas.
- El algoritmo 'Iterated Back Projection' [4], que es una modificación del algoritmo robusto.
- El algoritmo NLM (Non-Local Means) y su variante de la mediana [8], el cual se basa en la existencia de zonas con información similar dentro de una imagen [1]. Por este motivo, el valor de un píxel se calcula en función del promedio de los valores de todos los píxeles vecinos.

3. Resultados y Discusión

3.1. Experimentos con algoritmos de alineación

En un primer experimento se ha utilizado una batería de imágenes a las que se le han aplicado rotaciones globales aleatorias entre -10 y 10 grados, y desplazamientos globales entre 0 y 4 píxeles. Una vez aplicadas las rotaciones y los desplazamientos se ha realizado un submuestreo cada 4 píxeles para obtener una serie de 12 imágenes distintas.

Para comparar los algoritmos de alineación se ha procedido a calcular la media del valor absoluto del error de rotación con respecto al original y su desviación estándar. Para la comparación del desplazamiento se ha utilizado el mismo procedimiento que para la rotación, pero sumando los errores absolutos respecto al eje x e y .

Con estos resultados, el algoritmo más rápido de todos los sometidos a la prueba es el algoritmo de Keren (2,31 segundos) basado en el dominio del espacio.

El algoritmo más lento de todos es el algoritmo de Marcel (6,82 segundos), tardando tres veces más en realizar todos los alineamientos que el mejor de ellos. Además, es el que proporciona peores resultados en el cálculo del ángulo de rotación y de los píxeles de desplazamiento.

En cuanto al error cometido al calcular el ángulo de rotación, el algoritmo que presenta una menor media (menor de una décima de grado) y una menor desviación estándar ($\pm 0.075^\circ$) es el algoritmo de Vandewalle.

Seguidamente, se han sometido todos los algoritmos de alineación a una segunda prueba, que consiste en añadirle a cada una de las imágenes de la serie un ruido de tipo gaussiano. De esta manera, se puede demostrar cómo se comportan los algoritmos en presencia de ruido.

Para ello, se han creado tres series de imágenes con ruido gaussiano de media 0 y desviación estándar de ± 0.005 , ± 0.01 y ± 0.02 respectivamente, comprobándose que el algoritmo que mejor se comporta al aumentar el ruido es el algoritmo de P. Vandewalle, manteniendo prácticamente constante la media del error cometido, en torno a la décima de grado, y la desviación estándar, con un valor de $\pm 0.1^\circ$.

3.2. Experimentos con algoritmos de reconstrucción

Para el estudio de los algoritmos de reconstrucción de imágenes, se han sometido cada uno de los algoritmos a diferentes tipos de pruebas, variando el número de imágenes que se utilizan para la reconstrucción. De esta manera, se puede estudiar el comportamiento de los algoritmos al aumentar la cantidad de información y por tanto los errores presentes en cada una de las imágenes.

Para la realización del experimento, se ha procedido a crear 4 grupos de imágenes. Un primer grupo compuesto por 2 imágenes, un segundo grupo compuesto de 6 imágenes y otros dos grupos más de 9 y 13 imágenes respectivamente.

Una vez calculado los desplazamientos, se reconstruye la imagen de alta resolución con la información disponible, obteniéndose la imagen de partida que se someterá a la reconstrucción.

Para comparar las distintas imágenes de alta resolución obtenidas, se han utilizado el PSNR (Peak Signal-to-Noise Rate) que mide la calidad de la supresión de ruido, el MAE (Mean Absolute Error) que se utiliza para determinar los detalles y la distorsión de los bordes, y el tiempo de ejecución con un equipo con las siguientes características: AMD Phenom II x6 1055T 2.8Ghz, 8Gb de RAM, Sistema Operativo Windows 7 Profesional 64 bits.

En cuanto al PSNR, el algoritmo NLM y su variante de la mediana son los que mejor se comportan en todas las pruebas, con valores entre 84,7dB y 84,9dB. Estos valores se pueden considerar bastante buenos ya que la revista IEEE Image Processing considera una buena mejora, si el algoritmo consigue reducir el ruido en más de 0,5 dB, por lo que las dos variantes superan al resto en más de 2,8 dB.

En cuanto al MAE, también se observa unos buenos resultados de las dos variantes del algoritmo, manteniendo estos resultados a pesar del incremento del número de imágenes que se utilizan en la reconstrucción, siendo la variante de la mediana la que mejor se comporta en dicho caso (NLM 12,5 y Mediana 8,6).

Respecto al tiempo de ejecución, el algoritmo más rápido, independientemente del número de imágenes utilizadas para la reconstrucción ha

sido el algoritmo de Papoulis-Gerchberg (2,3 segundos), aunque presentando los peores resultados para el PSNR y el MAE.

Al igual que se hizo con los algoritmos de alineación, para la reconstrucción, se han utilizado las series de imágenes con ruido comentadas anteriormente. De esta manera podremos someter a los algoritmos a niveles de ruido altos, y que servirán para determinar qué algoritmo podría adaptarse mejor a las imágenes de microscopía electrónica HAADF, objetivo de este trabajo, las cuales presentan elevados niveles de ruido.

En cuanto al nivel de supresión de ruido, los algoritmos que destacan respecto al resto son las dos variantes del NLM, manteniendo un nivel alto de supresión al aumentar el nivel de ruido de alrededor de 80db.

En cuanto al mantenimiento del nivel de detalle también las dos variantes del NLM son los que siguen proporcionando un mejor MAE, con una diferencia con el algoritmo con un error más cercano, de entre 1,9 y 3,8.

3.3. Experimentos con imágenes experimentales HAADF

Para la aplicación de la Súper-Resolución a imágenes experimentales de microscopía electrónica se han utilizado los algoritmos que mejores resultados han obtenido en las pruebas anteriores. Estos son el algoritmo de Vandewalle para la alineación de las imágenes y los algoritmos de NLM y su variante de la mediana para la reconstrucción de las imágenes.

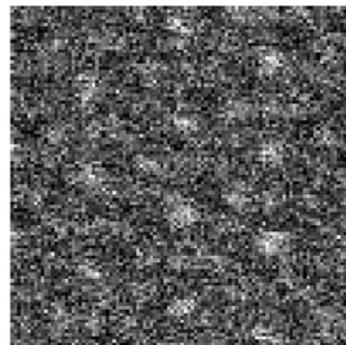


Figura 1: Sección de una de las micrografías facilitadas por la Universidad de York (Reino Unido).

Se ha utilizado una serie de 25 micrografías. Estas imágenes se han conseguido dentro del marco de colaboración que la Universidad de Cádiz mantiene con la Universidad de York (Reino Unido) y enviadas por el Dr. Vlado Lazarov, colaborador del grupo de investigación ‘Sistemas Inteligentes de Computación’ perteneciente a la Universidad de Cádiz. Dichas micrografías (figura 1) corresponden a un defecto producido en una muestra de Fe_3O_4 o también conocido como magnetita. Este defecto, denominado Antiphase Boundary (frontera de antifase), consiste en que en los átomos se

ordenan de manera incorrecta, teniendo ‘vecinos equivocados’. Este tipo de defecto hace que dichas zonas sean regiones de alta energía y susceptibles de estudio.

Como podemos observar en las figuras 2 y 3, el proceso de reconstrucción de las distintas series de imágenes proporciona una imagen resultado de mayor calidad que las iniciales y con una resolución mayor.

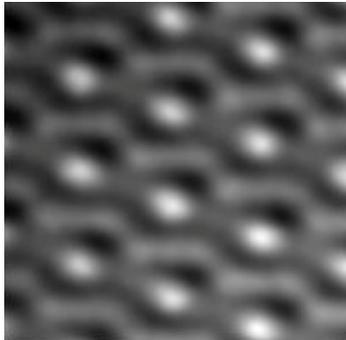


Figura 2: Reconstrucción con 25 imágenes y NLM.

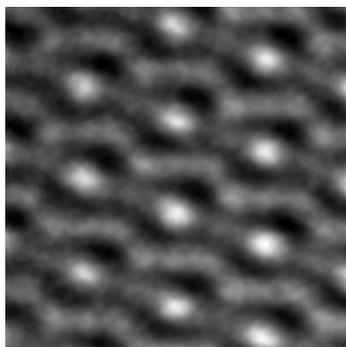


Figura 3: Reconstrucción con 25 imágenes y variante de la mediana para NLM.

4. Conclusiones

Tras analizar los resultados obtenidos en los experimentos detallados anteriormente, se puede concluir que los algoritmos NLM y su variante de la mediana son los que mejor se ajustan a los requisitos y necesidades de la microscopía electrónica, si bien es cierto que para el resto, queda demostrada su robustez y eficiencia para su uso en otros campos de investigación.

Habría que destacar como punto negativo para ambos algoritmos, el alto coste computacional que necesitan, actualmente solo abordables utilizando técnicas de súper-computación.

Por todo lo expuesto anteriormente, la Súper-Resolución podría utilizarse para obtener imágenes de mayor resolución y calidad sin la adquisición de hardware, pudiéndose utilizar como herramienta en el campo de la microscopía electrónica para reducir las degradaciones producidas por el microscopio electrónico en imágenes de alta resolución. Bastaría por tanto, someter la muestra a bajas radiaciones y conseguir una serie de imágenes de baja resolución, y mediante el uso de la

Súper-Resolución, conseguir una imagen de alta resolución y calidad, con una mínima degradación de la muestra.

5. Referencias

- [1] Buades, A., Coll, B., & Morel, J. (2005). A non-local algorithm for image denoising. *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on*, 2 60-65.
- [2] Farsiu, S., Robinson, M. D., Elad, M., & Milanfar, P. (2004). Fast and robust multiframe super resolution. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(10), 1327-1344.
- [3] Gerchberg, R. (1974). Super-resolution through error energy reduction. *Journal of Modern Optics*, 21(9), 709-720.
- [4] Irani, M., & Peleg, S. (1991). Improving resolution by image registration. *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, 53(3), 231-239.
- [5] Keren, D., Peleg, S., & Brada, R. (1988). Image sequence enhancement using sub-pixel displacements. *Computer Vision and Pattern Recognition, 1988. Proceedings CVPR'88., Computer Society Conference on*, 742-746.
- [6] Lucchese, L., & Cortelazzo, G. M. (2000). A noise-robust frequency domain technique for estimating planar roto-translations. *Signal Processing, IEEE Transactions on*, 48(6), 1769-1786.
- [7] Marcel, B., Briot, M., & Murrieta, R. (1997). Calcul de translation et rotation par la transformation de fourier. Cachan, FRANCE: Lavoisier.
- [8] Protter, M., Elad, M., Takeda, H., & Milanfar, P. (2009). Generalizing the nonlocal-means to super-resolution reconstruction. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 18(1), 36-51.
- [9] Stark, H., & Oskoui, P. (1989). High-resolution image recovery from image-plane arrays, using convex projections. *Josa a*, 6(11), 1715-1726.
- [10] Vandewalle, P., V, P., Süsstrunk, S., & Vetterli, M. (2004). Double resolution from a set of aliased images.

Detección precoz domiciliar de exacerbaciones de EPOC mediante funciones de base radial

M.A. Fernández Granero⁽¹⁾, D. Sánchez Morillo⁽¹⁾, F. Crespo Foix⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ingeniería en Automática, Electrónica, Arquitectura y Redes de Computadores. Grupo de Ingeniería Biomédica y Telemedicina. Escuela Superior de Ingeniería. C/ Chile 1. Universidad de Cádiz. 956015155. ma.fernandez@uca.es.

Resumen

La Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) es una enfermedad pulmonar progresiva con uno de los mayores impactos social y económico en el mundo. La mayor proporción del coste humano y económico de nuestra sociedad es debido al ingreso hospitalario por exacerbaciones agudas (Acute Exacerbation COPD, AECOPD). Se ha evaluado un novedoso cuestionario electrónico para la detección temprana de las exacerbaciones de EPOC en un grupo de 16 pacientes durante 6 meses. Se ha entrenado y validado un clasificador basado en una red con funciones de base radial (Radial Basis Function, RBF) y su precisión detectando AECOPD ha sido de 31 de 33, es decir del 94%. El área bajo la curva ROC fue de 0.82 y la sensibilidad y la especificidad fueron del 73.8% y 87.0% respectivamente. El sistema fue capaz de predecir las AECOPD con una antelación de 5.3 ± 2.1 días previos al día en que los pacientes requirieron atención médica.

Keywords— EPOC, exacerbación, telemonitorización, telemedicina, síntomas, cuestionario, detección precoz, RBF.

1. Introducción

La Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) es una enfermedad pulmonar progresiva COPD considerada como una de las enfermedades respiratorias de mayor prevalencia e impacto socio-económico de nuestra sociedad [1]. La mayor proporción del coste humano y económico de nuestra sociedad es debido al ingreso hospitalario por exacerbaciones agudas (Acute Exacerbation COPD, AECOPD) [2]. La EPOC encabeza la causa de muerte en el mundo [3]. Por otra parte, las exacerbaciones aumentan la morbilidad y causan un deterioro de la calidad de vida de los pacientes [4].

La telemonitorización es una alternativa sostenible para el seguimiento de los pacientes con enfermedades crónicas desde su casa. Los pacientes que reciben tratamiento antes de que se presente el comienzo de los síntomas, han mostrado mejores resultados [5]. Por lo tanto el coste económico y humano de la enfermedad se podría ver reducido con la detección temprana y tratamiento rápido de las exacerbaciones agudas de EPOC [6].

Se ha usado un dispositivo médico portátil diseñado para la detección temprana de AECOPD. Se ha evaluado un cuestionario electrónico (AQCE) durante el ensayo de 6 meses de duración [7]. Se han empleado técnicas de minería de datos.

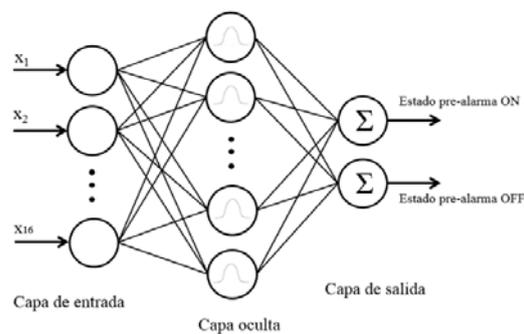


Figura 1. Arquitectura de la red propuesta de Funciones de Base Radial.

2. Métodos

El estudio ha contado con una muestra de 16 pacientes de la Unidad de Neumología y Alergología del Hospital Universitario Puerta del Mar de Cádiz (España), cuya participación ha durado 6 meses.

El comité ético de investigación del Hospital aprobó el estudio se obtuvo el consentimiento firmado de todos los pacientes.

Los pacientes han sido equipados con una estación base en casa para responder diariamente a un cuestionario.

La plataforma telemédica incluyó un dispositivo un dispositivo móvil dedicado (DmD) con reconocimiento de voz e interface táctil, un servidor telemédico en el hospital, un sensor

para grabar los sonidos respiratorios y una red de comunicación. El sistema emula una consulta médica incluyendo una entrevista médica y una auscultación [8].

Para compensar la posible disminución sensorial y déficits físicos y cognitivos en los usuarios de edad avanzada [9] se diseñó especialmente una aplicación [10], que guía a los pacientes para grabar sus síntomas.

Se han propuesto varias definiciones de exacerbaciones de EPOC [11]. En este estudio, una exacerbación se ha definido como una atención médica no programada debida a síntomas respiratorios.

Aparte de las preguntas del cuestionario, se calcularon cuatro parámetros adicionales: la media móvil de 3-días de la puntuación total y el promedio total asociado a los síntomas menores, menores y complementarios.

Es conocido el incremento de los síntomas en la fase prodrómica de los 7 días previos al inicio de la exacerbación [12]. Así, el objetivo se definió como una variable categórica con dos niveles: una etiqueta: "1" se asignó para el inicio de la exacerbación (el día que el paciente requirió la atención médica) y los 7 días previos como "0". Se descartaron los periodos de recuperación de dos semanas después de las AECOPD [13].

Para la clasificación se ha usado una red neuronal supervisada de funciones de base radial (RBF). RBF fue introducida por Powell [14] en 1987. Una red RBF tiene tres capas: de entrada, oculta y de salida (Figura 1). Las neuronas en la capa oculta tienen funciones. El nivel de activación se expresa como [15]:

$$h_i(X) = \exp\left(-\frac{\|X-u_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right) \quad (1)$$

Donde X representa el vector de entrada y u_i es un vector con la misma dimensión que X que representa el centro del vector. El nivel de activación de la función de base radial es máximo cuando X esté en el centro u_i . La salida final de la red RBF se puede evaluar como la suma ponderada:

$$y_i = \sum_{i=0}^N \omega_i h_i(X) \quad (2)$$

Donde N es el número de neuronas en la capa

oculta, ω_i es el peso de la neurona i en la neurona de salida lineal. El clasificador binario propuesto tiene dos neuronas en la capa de salida.

Con el objetivo de reducir la tasa de falsos positivos, al clasificador le siguió una regla de decisión simple. El estado de alarma fue establecido después de dos días consecutivos con una salida positiva del clasificador.

Se usó 10-cross-validación para evitar la generalización del clasificador y asegurar la estabilidad de los resultados.

El objetivo primario de este estudio es la evaluación del rendimiento del sistema de monitorización para la detección temprana de AECOPD.

El área bajo la curva ROC (AUC) se usó para la estimación total de la precisión del clasificador. La curva ROC relaciona la sensibilidad y la especificidad de un clasificador dicotómico [16]. Se estimaron dos curvas ROC: una para el conjunto de entrenamiento y otra para el de validación. El rendimiento fue evaluado de acuerdo a la sensibilidad, especificidad, precisión, matriz de confusión, valor predictivo positivo (VPP) y valor predictivo negativo (VPN).

3. Resultados

Un paciente fue excluido y se incluyeron 15 pacientes en el estudio final. La tabla 1 muestra las características demográficas y clínicas del grupo de estudio. Se confirmaron una media de 2.1 ± 1.7 episodios de AECOPD. 10 pacientes necesitaron 51 atenciones médicas (18 eventos asociados a exacerbaciones no informadas y 33 AECOPD).

789 días, cada uno caracterizado con 16 parámetros de entrada que se usaron para entrenar la red RBF. La figura 2 muestra las curvas ROC tanto para en entrenamiento como para la validación. El área bajo la curva fue 0.94 and 0.82 para los conjuntos de entrenamiento y validación respectivamente [17].

Tabla 1 Características demográficas y clínicas del grupo de estudio.

Variable	N(%)
Edad (años)	70.2±6.6
Hombre (%)	93% (14)
AECOPD (%)	
Ninguna	33.3% (5)
1 a 2	13.3% (2)
3 o más	53.4% (8)
Días hospitalizado (%)	
0	60.0% (9)
1 a 10	13.3% (2)
11 o más	26.7% (4)

Algunos de los parámetros resultantes del clasificador se detallan en la tabla 2. El sistema fue capaz de detectar de forma temprana las AECOPD con 5.3 ± 2.1 días previos al día en que los pacientes requirieron atención médica. La figura 3 muestra el histograma de las alarmas. El 94% (31 de 33) AECOPD fueron detectadas.

4. Discusión

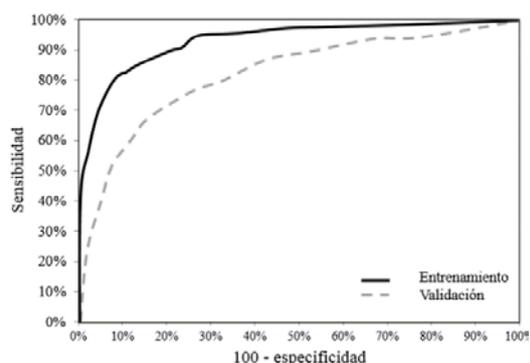


Figura 2. Curvas ROC para el conjunto de entrenamiento y validación

Tabla 1 Resultados de la evaluación del clasificador.

Indicador	Valor
Verdaderos Positivos (VP)	186 (23.6%)
Falsos Positivos (FP)	70 (8.9%)
Verdaderos Negativos (VN)	467(59.2%)
Falsos Negativos (FN)	66 (8.3%)
Precisión	82.8%
Datos totales	789
Valor Predictivo Positivo (VPP)	72.7%
Valor Predictivo Negativo (VPN)	87.6%
Sensibilidad	73.8%
Especificidad	87%

Se entrenó y validó un clasificador automático para la predicción de las AECOPD y usando las respuestas diarias a un cuestionario electrónico diseñado para la monitorización remota de pacientes de EPOC.

Para optimizar el número de exacerbaciones se seleccionó un periodo de ensayo de seis meses de duración para incluir las estaciones más perjudiciales para los pacientes. El algoritmo de predicción detectó de forma temprana 31 de las 33 exacerbaciones. Por lo tanto, el método propuesto podría utilizarse para pronosticar una nueva AECOPD. Una de las dos exacerbaciones no detectadas tuvo un patrón sin pródrómo caracterizada por un comienzo súbito.

En cuanto a los falsos positivos, 7 falsos positivos fueron detectados durante la semana después de la recuperación, en la cual los síntomas probablemente todavía no se habían estabilizado. 45 casos podrían ser episodios predictivos de AECOPD más allá de la fase prodrómica definida, ya que se detectaron en los días 7 al 14 previos al comienzo.

Los resultados conseguidos en este trabajo se han conseguido utilizando 10 cross-validación. Idealmente si tuviéramos más pacientes

podríamos usar leave-one-subject-out cross validacion (LOSOVC).

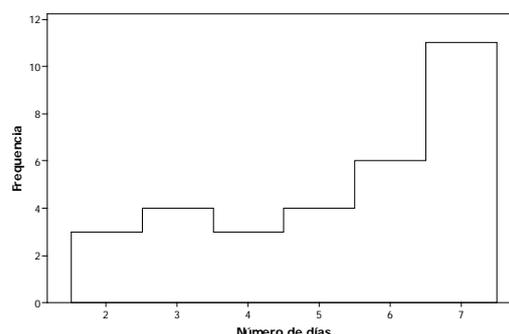


Figura 3. Histograma de las alarmas.

Hay algunos casos en los que al algoritmo de entrenamiento se le han proporcionado datos erróneos que reducirían su precisión. Estos casos serían las exacerbaciones no informadas, caracterizadas por índices altos de variabilidad en los síntomas sin que se haya requerido atención médica.

5. Conclusiones

El objetivo de este estudio es la detección temprana de las exacerbaciones de EPOC usando un cuestionario diario remoto.

Las exacerbaciones de EPOC son los eventos que más influyen en la mortalidad, morbilidad y en la calidad de vida de los pacientes. El sistema propuesto es capaz de predecir las AECOPD con un margen de 5.3 ± 2.1 días. La precisión en la detección fue del 94%. 31 de las 33 exacerbaciones fueron detectadas de forma temprana y se consiguió una tasa baja de falsos positivos.

El cuestionario electrónico propuesto y el diseño del clasificador podrían ayudar a la detección precoz de las exacerbaciones de EPOC y por lo tanto proporcionarían un apoyo tanto a los médicos como a los pacientes.

6. Agradecimientos

Agradecer a la Comisión Europea, el Ministerio Español de Educación y Ciencia y al Instituto de Salud Carlos III por el apoyo financiero prestado al proyecto AMICA (Proyecto PI08/90946) bajo el Programa Ambient Assisted Living (AAL).

7. Referencias

- [1] Rennard S, Decramer M, Calverley PMA, Pride NB, Soriano JB, Vermeire PA, Vestbo J. (2002) Impact of COPD in North America and Europe in 2000: subjects' perspective of Confronting COPD International Survey, Eur Respir J, vol. 20, pp. 799-805.

- [2] Ornek T, Tor M, Altin R, Atalay F, Geredeli E, Soylyu O, Erboy F. (2012) Clinical factors affecting the direct cost of patients hospitalized with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *Int J Med Sci.* 9(4):285-90.
- [3] Divo M, Cote C, de Torres JP, Casanova C, Marin JM, Pinto-Plata V, Zulueta J, Cabrera C, Zagaceta J, Hunninghake G, Celli B (2012) Comorbidities and risk of mortality in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 186(2):155-161.
- [4] Terzano C, Conti V, Di Stefano F, Petroianni A, Ceccarelli D, Graziani E, Mariotta S, Ricci A, Vitarelli A, Puglisi G, De Vito C, Villari P, Allegra L (2010) Comorbidity, hospitalization, and mortality in COPD: results from a longitudinal study. *Lung* 188(4):321-329.
- [5] Walters E, Walters J, Wills K, Robinson A, Wood-Baker R (2012) Clinical diaries in COPD: compliance and utility in predicting acute exacerbations. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease* 7:427-435.
- [6] Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD). Global strategy for diagnosis, management, and prevention of COPD. http://www.goldcopd.org/uploads/users/files/GOLD_Report_2013_Feb20.pdf Accessed May 1, 2013.
- [7] León A, Astorga S, Crespo M, Morillo DS, Failde I, Crespo LF (2011) Development of an automated questionnaire for the early detection of COPD exacerbations (AQCE). Annual Congress ERS 2011, *Eur Respir J*, 38(55), 82s.
- [8] Foix LC, Morillo DS, Crespo M, Gross N, Kunze C, Giokas K, Jimenez JA (2009) AMICA telemedicine platform: a design for management of elderly people with COPD. Proceedings of the 9th International Conference of the IEEE Information Technology and Applications in Biomedicine, Larnaca, Cyprus, IEEE Conference Publications, pp 1-4.
- [9] Schieber F (2003) Human factors and aging: identifying and compensating for age-related deficits in sensory and cognitive function. In: Charness N, Schaie KW (eds). *Impact of Technology on Successful Aging*. Springer, New York, pp 42-84.
- [10] M, Morillo DS, Crespo F, León A (2010) Collaborative Dialogue Agent for COPD Self-management in AMICA: A First Insight. In: Demazeau Y et al (eds) *Advances in Practical Applications of Agents and Multiagent Systems, Advances in Intelligent and Soft Computing*, Springer Berlin Heidelberg, pp 75-80.
- [11] Schieber F (2003) Human factors and aging: identifying and compensating for age-related deficits in sensory and cognitive function. In: Charness N, Schaie KW (eds). *Impact of Technology on Successful Aging*. Springer, New York, pp 42-84.
- [12] Trappenburg JCA, Monninkhof EM, Bourbeau J, Troosters T, Schrijvers AJP, Verheij THJ, Lammers (2011) Effect of an action plan on recovery and health status impact of exacerbations in COPD patients; a multicenter randomized controlled trial. *Thorax* 66(11):977-84.
- [13] Seemungal TA, Donaldson GC, Bhowmik A, Jeffries DJ, Wedzicha JA (2000) Time course and recovery of exacerbations in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 161(5):1608-13.
- [14] Jadwiga WA, Donaldson GC (2003) Exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Care* 48:1204-15
- [15] Powell MJD. (1987) Radial Basis Functions for Multivariable Interpolation: A Review. In Mason and Cox: *Algorithms for Approximation*, Clarendon Press, Oxford, pp 143-167.
- [16] Begg R, Kamruzzaman J, Sarker R. (2006) *Neural Networks in Healthcare. Potential and Challenges*. Idea Group Publishing.
- [17] Metz CE. (1978) Basic principles of ROC analysis. *Semin Nucl Med* 8:283-298.
- [18] M.A. Fernández Granero, Daniel S. Morillo, A. León, M.A. López Gordo, and L.F. Crespo (2014) Radial-Basis-Function Based Prediction of COPD Exacerbations. DOI: 10.1007/978-3-319-00846-2_360, XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing, IFMBE Proceedings 41, Springer International Publishing.



UCA

Universidad
de Cádiz