

# AVANCES EN LA INVESTIGACIÓN EN CIENCIA E INGENIERÍA

*Editores:*

*Ana M. Beltrán Custodio*

*Manuel Félix Ángel*

Ingeniería y Tecnología





# **AVANCES EN LA INVESTIGACIÓN EN CIENCIA E INGENIERÍA**

*Editores:*  
*Ana M. Beltrán Custodio*  
*Manuel Félix Ángel*



**Editorial Área de Innovación y Desarrollo,S.L.**

Quedan todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, distribuida, comunicada públicamente o utilizada, total o parcialmente, sin previa autorización.

© del texto: **los autores**

ÁREA DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO, S.L.

C/ Els Alzamora, 17- 03802- ALCOY (ALICANTE) [info@3ciencias.com](mailto:info@3ciencias.com)

Primera edición: **junio 2019**

ISBN: **978-84-120057-2-1**

DOI: <http://dx.doi.org/10.17993/IngyTec.2019.52>

# ÍNDICE

<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>9</b>
<b>Mezclas de alginato y proteína de soja para el desarrollo de matrices porosas con potencial aplicación en ingeniería tisular .....</b>	<b>11</b>
Álvarez-Castillo, E.; Aguilar, J. M.; Félix, M.; Guerrero, A.	
<b>Deep learning as a tool for improving efficiency of glial tumor diagnosis .....</b>	<b>21</b>
Amaya Rodríguez, I. R.; Duran López, L.; Civit Masot, J.; Luna Perejon, F.; Civit Balcells, A.; Vicente Díaz, S.; Linares Barranco, A.	
<b>Deep learning glaucoma diagnosis aid .....</b>	<b>31</b>
Civit, J.; Amaya, I.; Luna, F.; Duran, L.; Civit, A.; Linares-Barranco, A.; Vicente, S.	
<b>Diseño, implementación y evaluación de clúster rb-pi para el procesamiento de visión en paralelo .....</b>	<b>39</b>
Muñoz-Saavedra, L.; Domínguez-Morales, M.; Cascado-Caballero, D.; Linares-Barranco, A.	
<b>MYOARM: prótesis robótica con sensado emg y entrenamiento con redes neuronales .....</b>	<b>47</b>
Pérez-Rodríguez, A.; Domínguez-Morales, M.; Jiménez-Fernández, Á.; Linares-Barranco, A.	
<b>Rehabilitación de pacientes con movilidad reducida usando exoesqueleto y técnicas de gamificación .....</b>	<b>57</b>
Domínguez-Bobillo, J. M.; Domínguez Morales, M.; Miró-Amarante, L.; Linares-Barranco, A.	
<b>Sistema HW-SW de telerehabilitación y telemedicina para pacientes Epop con hiperinsuflación pulmonar .....</b>	<b>67</b>
De-Leste-Conde, C.; Domínguez-Morales, M.; Rivas-Pérez, M.; Linares-Barranco, A.	
<b>Travel planner: sistema experto en la nube para generación automática de rutas turísticas en base al usuario.....</b>	<b>77</b>
Tavero-Picón, R.; Romero-Sánchez, M.; Domínguez-Morales, M.; Linares-Barranco, A.	
<b>Clasificación de tumores en cáncer de mama basado en redes neuronales de convolución.....</b>	<b>87</b>
Durán-López, L.; Domínguez-Morales, J. P.; Luna-Perejón, F.; Amaya-Rodríguez, I.; Civit-Masot, J.; Vicente-Díaz, S.; Linares-Barranco, A.	

<b>Gestión integrada de la calidad, medio ambiente, seguridad y salud laboral bajo la triple e y el paradigma holónico fractal.....</b>	<b>95</b>
Acuña-Quintana, J. F.; De las Heras-García de Vinuesa, A. Aguayo-González, F.; Córdoba-Roldán, A.	
<b>Determinación del modelo de comportamiento hasta rotura de los aceros corrugados tempcore mediante modelado 3D .....</b>	<b>105</b>
Herrera, M.A.; Hortigón, B.; Ancio, F.	
<b>Evaluación de diferentes métodos de desarrollo de matrices proteicas de soja con zinc incorporado para su uso en horticultura .....</b>	<b>115</b>
Jiménez-Rosado, M.; Pérez-Puyana, V.; Cordobés, F.; Romero, A.; Guerrero, A.	
<b>Control neuromórfico del brazo robótico BIOROB del Citec de la Universidad de Bielefeld .....</b>	<b>125</b>
Linares Barranco, A.; Jiménez Fernández, A. F.; Jiménez Moreno, G.; Gutiérrez Galán, D.; Ríos Navarro, J. A.	
<b>Localización e identificación automática de pólipos mediante una red neuronal convolucional por regiones.....</b>	<b>139</b>
Luna Perejon, F.; Duran López, L.; Amaya Rodríguez, I. R., Civit Masot, J.; Civit Balcells, A.; Vicente Díaz, S.; Linares Barranco, A.	
<b>Técnicas de predicción mediante minería de datos en la industria alimentaria bajo el paradigma de Industria 4.0 .....</b>	<b>149</b>
Guerrero, M.; Luque, A.; Lama, J. R.	
<b>Representación óptima del espectro de llamadas de anuros en sistemas de control ambiental utilizando redes de sensores inalámbricos .....</b>	<b>159</b>
Gómez Bellido, J.; Luque Sendra, A.; Carrasco Muñoz, A.	
<b>Estudio preliminar de los parámetros de fabricación en las propiedades finales de piezas de titanio comercialmente puro con geometrías sencillas producidos mediante la técnica de “additive manufacturing” .....</b>	<b>169</b>
Pérez-Soriano, E. M.; Arévalo, C.; Montealegre-Meléndez, I.; Kitzmantel, M.; Neubauer, E.	
<b>La PRL y la digitalización de la industria .....</b>	<b>177</b>
Montoro, E. M.; Aguayo, F.; Ávila, M. J.; Martín, A. M.	
<b>Fabricación cognitiva en el contexto de Industry 4.0 .....</b>	<b>187</b>
Morales, A. I.; Aguayo, F.; Lama, J. R.; Ávila, M. J.	
<b>Gestión activa de la demanda - casos de estudio: proyectos OPENADR4CHILE y G.R.A.C.I.O.S.A. ....</b>	<b>195</b>
Parejo, A.; García, S.; Personal, E.; Larios, D. F.; Gallardo, A.; Guerrero, J. Ignacio; García, A.; León, C.	

**Integración ACV+C2C para el diseño y desarrollo de productos sostenibles..... 205**

Alcalá-González, N.; Peralta-Alvarez, M.E; Soltero-Sánchez, V. M.

**Estudio y comparativa de la influencia del tipo de refuerzo en materiales compuestos de base titanio fabricados por técnicas de compactación caliente inductiva ..... 215**

Pérez-Soriano, E. M.; Montealegre-Meléndez, I.; Arévalo, C.; Kitzmantel, M.; Neubauer, E.

**Influencia de gelatina sobre las propiedades de membranas de nanofibras obtenidas de polímeros sintéticos ..... 225**

Perez-Puyana, V. M.; Jiménez-Rosado, M.; Alonso-González, M.; Romero, A.; Guerrero, A.

**Machine learning para la optimización inteligente de la recogida de residuos .... 233**

Ramos Cueli, J. M.; Luque Sendra, A.; Larios Martín, D. F.; Barbancho Concejero, J.

**Biomateriales: desarrollo de andamios para ingeniería de tejidos..... 243**

Rubio Valle, J. F.; Pérez Puyana, V. M.; Félix, Á. M.; Romero García, A.

**Sistemas cognitivos asociados al proceso de aprendizaje-enseñanza del ingeniero mecánico: machine learning ..... 253**

Suárez-Fernández-Miranda, S.; Aguayo-González, F.; Lama-Ruíz, J.R.

**Amorfización de aleación  $Ti_{60}Cu_{40}$  mediante molienda mecánica ..... 265**

Urban, P.; Sanchez Caballero, E.; Ternero Fernández, F.

**Diseño y control de filtros activos mediante simulación HIL ..... 273**

Vélez Hinojosa, L. F.; Bravo Rodríguez, J. C.





## PRÓLOGO

La Escuela Politécnica Superior (EPS) es un centro propio de la Universidad de Sevilla, con una tradición centenaria que se remonta a 1850, particularmente en el área de la Ingeniería de la Rama Industrial. La Visión estratégica de la EPS es la vocación de contribuir al desarrollo socioeconómico a través de la prestación de un servicio público de formación en Ingeniería mediante la docencia y la investigación, con unos proyectos formativos de Grado, Máster Universitario y Doctorado. Los estudios de los grados en ingeniería de la EPS, les permiten a los alumnos el desarrollo y la adquisición de competencias y atribuciones profesionales, sin perder de vista el rigor científico-técnico, así como el compromiso con la sociedad y el medio ambiente. En este contexto, durante los últimos años se viene impulsando la investigación básica y aplicada de calidad, agrupada en cuatro líneas estratégicas: L1- Materiales y Ciencias para la Ingeniería, L2- Proyectos de Química Industrial y Ambiental, L3- Sistemas Inteligentes y Desarrollo de Productos, y L4- Sistemas Industriales computarizados, robóticos y neuromórficos). Por otro lado, se realizan actividades de difusión de los resultados de su comunidad universitaria, destacando las Jornadas de Investigación y el concurso al Mejor artículo científico del mes, ambas enfocadas a fomentar la sinergia entre los investigadores de la EPS, haciendo hincapié en la participación de estudiantes (todas las etapas formativas).

*“La ciencia nunca resuelve un problema sin crear otros diez más”*

**George Bernard Shaw**



# **MEZCLAS DE ALGINATO Y PROTEÍNA DE SOJA PARA EL DESARROLLO DE MATRICES POROSAS CON POTENCIAL APLICACIÓN EN INGENIERÍA TISULAR**

**Álvarez-Castillo, Estefanía\*;** **Aguilar, José Manuel;** **Félix, Manuel;** **Guerrero, Antonio**

Tecnología y diseño de productos multicomponentes  
Ingeniería Química. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: [malvarez43@us.es](mailto:malvarez43@us.es)

## **RESUMEN**

Los biopolímeros, como polisacáridos y proteínas, son materiales extraordinariamente atractivos para la obtención de matrices porosas con potencial aplicación en ingeniería tisular; debido, a la mejor solubilidad en agua, biocompatibilidad, biodegradabilidad y capacidad de funcionalización que presentan estos biomateriales frente a los polímeros sintéticos. El alginato es un polisacárido de bajo coste, capaz de formar geles estables en presencia de iones divalentes como el  $\text{Ca}^{2+}$ . Sin embargo, también es conocida su pérdida de resistencia mecánica a lo largo del tiempo, lo que ocasiona su desintegración, suponiendo una importante limitación en aplicaciones biomédicas. El objetivo de este estudio ha sido superar este inconveniente mediante el mezclado de alginato con proteína de soja, obteniendo bioplásticos por inyección usando glicerina como plastificante, así como estudiar su posible aplicación como matrices en ingeniería tisular. En el estudio se modificaron las concentraciones de alginato y proteína de soja para observar la variación que esto suponía para las propiedades de los bioplásticos mediante ensayos reológicos de tracción, absorción de agua y pérdida de material soluble. Además, se estudió la influencia de las concentraciones de las disoluciones de  $\text{CaCl}_2$ , utilizadas para promover la retención del alginato en las matrices, las cuales fueron evaluadas mediante ensayos reológicos de compresión.

## **PALABRAS CLAVE**

Matriz, Biodegradable, Ingeniería tisular, Bioplástico.

## ABSTRACT

Biopolymers as polisacharydes and proteins are extremely attractive materials to the obtainment of porous matrixes with a potential application in tissue engineering, because of their better solubility in water, biocompatibility, biodegradability and their capacity of functionalization which those materials present versus the synthetic polymers. Alginate is a low cost polysaccharide. It can form stable gels in the presence of divalent ions as  $\text{Ca}^{2+}$ . However, it is known that its mechanic resistance decreases along time, being that an important limitation to use alginate in biomedicine applications. The principal aim of this study has been overcome this disadvantage mixing alginate with a soy protein isolate, obtaining injected bioplastics using glycerol as plasticizer, study their potential use in tissue engineering. The concentration of alginate and soy protein were modified in blends to observe variations in the properties of bioplastics by means of rheological tests of traction, water uptake and soluble material lost essays. In addition, the influence of different concentrations of  $\text{CaCl}_2$  in aqueous solution, used to promote the retention of alginate in the matrixes, evaluates then by rheological essays in compression tests.

## KEYWORDS

Matrix, Biodegradability, Tissue engineering, Bioplastic.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

La ingeniería tisular trata de la aplicación de los principios y métodos de la ingeniería y ciencias biológicas para el entendimiento de la relación estructura-función en tejidos, y el desarrollo de sustitutos biológicos que restauren, mantengan o mejoren la función de dichos tejidos [1]. Tradicionalmente los materiales sintéticos han sido los más utilizados para la realización de materiales en ingeniería tisular, sin embargo, en las últimas décadas, se ha prestado una mayor atención al uso de formulaciones basadas en macromoléculas presentes en los seres vivos como polisacáridos o proteínas [2]. Este estudio centra su atención en la retención del polisacárido (con  $\text{CaCl}_2$ ) en mezclas de alginato y proteína de soja para la obtención de materiales útiles en este campo.

El alginato es un polisacárido lineal compuesto de ácido  $\beta$ -D-manurónico (M) y ácido  $\alpha$ -D-gulurónico (G), que forma parte de la pared celular de las algas marrones. Este compuesto es utilizado comúnmente en la industria farmacéutica y alimentaria, como espesante, gelificante y estabilizante. También en la ingeniería tisular es utilizado, por sus buenas condiciones de biodegradabilidad, biocompatibilidad, bioestabilidad y su precio asequible.

La proteína de soja es un componente muy utilizado en la industria alimentaria, debido a sus buenas propiedades en la formación de geles, y emulsiones [3]. Además, existen estudios que sugieren que su consumo puede estar asociada a una menor incidencia de ciertas enfermedades crónicas, y cardiovasculares. Aunque un exceso de esta en la dieta puede inducir problemas reproductivos y tiroidales.

El objetivo de este estudio ha sido la obtención de bioplásticos y matrices para conocer su alcance como materiales para ser utilizados en ingeniería tisular. Para ello se obtuvieron mezclas compuestas por glicerina, proteína de soja y alginato; a partir de las cuales se prepararon bioplásticos por inyección, y matrices por liofilización de estos. Las variables estudiadas han sido la relación Alginato/Proteína de soja y la concentración de  $\text{CaCl}_2$  en la disolución en la que se sumergieron los bioplásticos, previamente a la obtención de matrices. El estudio de las propiedades de distintas formulaciones de bioplásticos se llevó a cabo mediante ensayos reológicos de tracción dinámica y estacionaria, y de la determinación de sus capacidades de absorción de agua y de pérdida de material soluble. Por otro lado, se realizaron ensayos reológicos de compresión dinámica a las matrices.

## METODOLOGÍA

### Materiales

El alginato (ALG) utilizado es una sal sódica de ácido algínico proveniente de algas marrones, de la casa comercial Sigma, de viscosidad media. El aislado de soja (SPI) utilizado fue obtenido por Protein Technologies International (Bélgica) y suministrada por PROANDA (España). Como platificante se empleó glicerina<sub>2</sub> suministrada por la casa comercial PANREAC. Además, para fijar el alginato en la matriz proteica se empleó cloruro de calco de la casa comarcial PANREAC.

### Métodos

#### *Preparación de probetas*

Este proceso tiene dos etapas diferentes; en la primera, las materias primas son introducidas en un reómetro mezclador HAAKE POLYLAB (Thermo Scientific, Alemania) con una cámara mezcladora en la que se sitúan dos rotores tipo delta que giran en sentido contrarrotatorio que se encarga de mezclar los componentes hasta obtener una masa homogénea. Se utilizó una velocidad de 50 rpm durante 30 minutos a temperatura constante, considerando que estas condiciones eran suficiente para obtener mezclas completamente uniformes. La segunda etapa para la obtención de los bioplásticos inyectar las masas anteriores en un molde usando una inyectora Mini Jet II (Haake-Thermo Scientific, Alemania). Los parámetros de inyección seleccionados fueron: tiempo de inyección (300 s), presión de inyección (500 bar), temperatura en el cilindro: 40 °C, temperatura en el molde: 70 °C. Se realizaron bioplásticos con diferentes proporciones de ALG, SPI y GL. La relación ALG+SPI/GL se mantuvo constante, siendo igual a 1,33, mientras que la relación ALG/SPI se modificó entre 0/2, 1/2 y 2/2 (esta nomenclatura será la utilizada para nombrar a las muestras, ya sea bioplástico o matriz, ya que es el único parámetro que diferencia unas de otras).

#### *Caracterización de los bioplásticos*

##### **Absorción de agua y pérdida de material soluble:**

Este método se realizó conforme a la norma ASTM D570, 2001. En un primer momento se pesan las muestras a ensayar, posteriormente se introducen en el horno (50 ± 2 °C) hasta alcanzar un peso constante (peso seco inicial), tras la etapa de acondicionamiento, las muestras se introducen en agua durante 24 horas y se determina su masa (peso húmedo). Para calcular la absorción de agua y la pérdida de material soluble de las muestras se utilizaron las fórmulas que siguen:

$$\% \text{ Absorción de agua} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco inicial}}{\text{Peso seco inicial}} \quad (1)$$

$$\% \text{ Pérdida Soluble} = \frac{\text{Peso seco inicial} - \text{Peso seco final}}{\text{Peso seco inicial}} \quad (2)$$

### Ensayos reológicos a probetas:

La caracterización reológica se llevó a cabo en un equipo de análisis mecánico dinámico (TA Instruments, USA). Los ensayos reológicos a los que se sometieron las probetas (dimensiones: 60x10x1 mm<sup>3</sup>) fueron ensayos dinámicos de tracción en un rango de frecuencia entre 0,02-20 Hz para una deformación inferior a la deformación crítica (aprox. 60%), la cual fue determinada previamente mediante barridos de deformación realizados entre 0,02- 2% a una frecuencia de 1 Hz); las probetas también fueron ensayadas mediante deformación hasta rotura, con una velocidad de 0,01 mm/s.

### Preparación de matrices:

Para la obtención de las matrices se introdujeron las probetas de bioplásticos en un horno a 50 ± 2 °C durante 24 horas. Tras este tiempo se introdujeron en agua o en una disolución de CaCl<sub>2</sub>, según corresponda durante el mismo periodo. Finalmente se introdujo la probeta mojada e hinchada en un congelador a -40 °C, durante aproximadamente dos horas, para posteriormente liofilizarlas en un liofilizador Telstar LyoQuest, durante 24 horas.

### *Caracterización de las matrices*

### Ensayos reológicos a probetas:

Se realizaron ensayos reológicos dinámicos a compresión en mismo reómetro utilizado para los bioplásticos, con un sensor placa-placa de 8 mm de diámetro, se realizaron barridos de deformación y frecuencia con los mismos parámetros utilizados anteriormente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

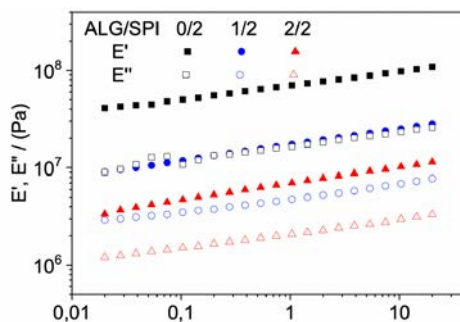
### Mezclado e inyección

En la etapa de mezclado no se observó ningún aumento en torque ni temperatura en el interior de la cavidad mezcladora, por tanto, se deduce que las proteínas en el interior de la mezcladora no han sufrido un importante entrecruzamiento que dificultaría el hinchamiento de la matriz.

Las tres mezclas obtenidas fueron perfectamente inyectables y como condiciones de inyección se utilizaron: temperatura de cilindro de 50 °C, temperatura de molde de 70 °C, una presión y tiempo de inyección de 500 bar y 220 s, respectivamente.

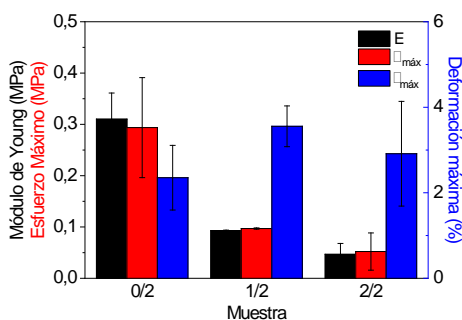
### *Caracterización reológica y mecánica de las probetas ALG/SPI/GL*

En la Figura 1 podemos observar como para todas las muestras se obtuvieron valores de  $E'$  superiores a los de  $E''$ , mostrando espectros paralelos, lo que indica una  $\delta$  serán inferiores a la unidad y permanecerán prácticamente constantes en el intervalo de frecuencias estudiado, mostrando, por tanto, un comportamiento más similar a un sólido que un líquido. Como puede apreciarse se obtienen módulos viscoelásticos menores conforme se aumenta la cantidad de ALG en la muestra, lo que indica que la consistencia de las mismas disminuye conforme aumenta la proporción de alginato presente en los bioplásticos.



**Figura 1.** Barridos de deformación de las probetas con distinto ratio ALG/SPI.

Ensayos de tracción a rotura se llevaron a cabo en las probetas, obteniendo los resultados mostrados en la Figura 2. Se puede observar cómo una disminución en el módulo de Young y en el esfuerzo máximo cuando se incrementa la composición de ALG en la probeta, mientras que no se observó una evolución clara en la deformación máxima.

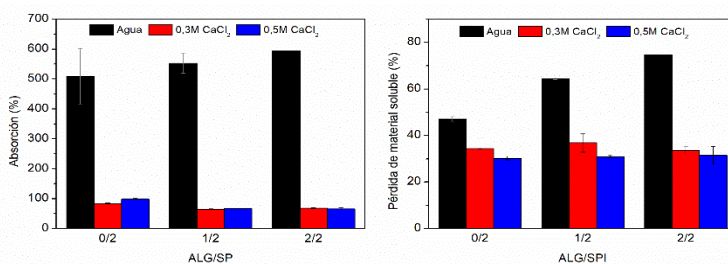


**Figura 2.** Parámetros obtenidos a partir del ensayo hasta rotura para probetas con distinto ratio ALG/SPI.



### Absorción de agua y pérdida de material soluble

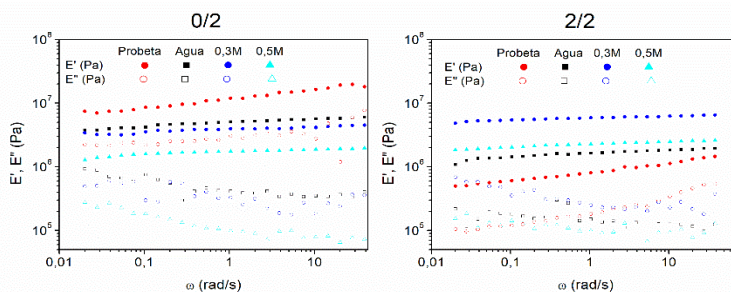
Para cuando las muestras fueron introducidas en agua, se observó un ligero aumento de su capacidad absorbente conforme aumenta el ratio ALG/SPI, mostrando valores superiores al 500 % para cualquiera de las muestras estudiadas (Figura 3). La evolución de la pérdida de material soluble si es más clara y aumenta con la cantidad de alginato contenida en la muestra, ya que para las muestras que contienen el alginato, además de perderse la glicerina contenida en la muestra, se pierde gran cantidad del alginato que poseen. Para evitar esta pérdida de ALG durante el ensayo de absorción, se utilizó como líquido de inmersión una disolución de  $\text{CaCl}_2$  en dos distintas concentraciones 0,3 y 0,5 M.



**Figura 3.** Resultados de absorción de agua (A) y pérdida de material soluble (B) para muestras con distinto ratio ALG/SPI y sumergidas en distintas soluciones de  $\text{CaCl}_2$ .

### Caracterización reológica de las matrices liofilizadas

Las matrices tratadas con el proceso deshidrotérmico fueron sometidas a ensayos de compresión dinámicos de baja amplitud, ilustrados en la Figura 4. Se observó de nuevo como los valores de  $E'$  son superiores a los de  $E''$  para cada muestra.



**Figura 4.** Barridos de frecuencia realizado a matrices provenientes de bioplásticos con distinto ALG/SPI y sumergidas en Agua o disolución de  $\text{CaCl}_2$  (0,3 M y 0,5 M).

Los módulos viscoelásticos de las matrices fueron notablemente menores a los obtenidos del bioplástico inicial cuando las muestras no contenían alginato, independientemente de cual sea el líquido de inmersión (Figura 4A); mientras que

para las muestras cuyo ratio ALG/SPI fue 2/2 (Figura 4B) los resultados obtenidos fueron diferentes, mostrando que todas las matrices obtenidas tuvieron módulos elásticos mayores, acompañado de un mayor comportamiento tipo gel que el del bioplástico del que provenían. Los módulos viscoelásticos de estas últimas aumentaron ostensiblemente cuando fueron sumergidas en una disolución de  $\text{CaCl}_2$ , estos resultados respaldan la hipótesis de que el alginato permanece fijado dentro de la estructura, formando un complejo con los iones  $\text{Ca}^{+2}$ , conformando una matriz más estructurada que aquella formada exclusivamente por SPI. Además, los resultados obtenidos ponen de manifiesto dos efectos contrapuestos: la sustitución de SPI por ALG debilita la estructura en ausencia de iones  $\text{Ca}^{+2}$ . La formación de puentes de calcio produce un reforzamiento estructural que conduce a tener matrices más consistentes, para los sistemas con mayor proporción de ALG. Debe señalarse que la matriz es menos porosa cuando existe  $\text{CaCl}_2$  en el medio, por ello aumenta sus propiedades mecánicas, a la vez que dificultan su hinchamiento con la consiguiente absorción de agua.

## CONCLUSIONES

Las propiedades mecánicas de los bioplásticos ALG/SPI/GL tienen una clara dependencia de la proporción alginato/proteína, de modo que se produce una disminución del módulo de Young y del esfuerzo máximo necesario antes de la rotura cuando la proporción de alginato aumenta en las muestras. Además, se produce una disminución de los módulos viscoelástico al aumentar también la cantidad de alginato en las probetas.

La capacidad de absorción de agua para estos bioplásticos se sitúa alrededor del 500 % y es independiente de la relación alginato/proteína, aunque la pérdida de material soluble aumenta sustancialmente al incrementarse el alginato en la muestra. Al introducir los bioplásticos en una disolución de  $\text{CaCl}_2$  la capacidad de absorción disminuye considerablemente, al igual que la pérdida de material soluble, debido a que el  $\text{CaCl}_2$  retiene el alginato en la muestra

En lo que respecta a las matrices, cuando estas son sumergidas en agua, sus módulos viscoelásticos disminuyen con el contenido en la muestra, mientras que aquellas que fueron obtenidas a partir de las probetas de bioplástico sumergidas en un fluido de inmersión que contiene  $\text{CaCl}_2$ , muestran un incremento en los módulos viscoelásticos cuando la cantidad de alginato utilizado para la obtención de las mismas fue mayor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen el apoyo financiero recibido para la realización de este estudio por parte del Ministerio de Economía y Competitividad y el programa FEDER (Para el proyecto con Referencia: CTQ2015-71164-P).

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] Vacanti, J. P. (2014). Preface. *Principles of Tissue Engineering*, p. xxix.
- [2] Volić, *et al.* (2018). Alginate/soy protein system for essential oil encapsulation with intestinal delivery. *Carbohydrate Polymers*, 200, pp. 15–24.
- [3] Fernández-Espada, L., Bengoechea, C., Cordobés, F. y Guerrero, A. (2016). Protein/glycerol blends and injection-molded bioplastic matrices: Soybean versus egg albumen. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(6).



## **DEEP LEARNING AS A TOOL FOR IMPROVING EFFICIENCY OF GLIAL TUMOR DIAGNOSIS**

**Amaya Rodríguez, Isabel R. \*; Duran López, Lourdes; Civit Masot, Javier; Luna Perejon, Francisco; Civit Balcells, Antón; Vicente Díaz, Saturnino; Linares Barranco, Alejandro**

Arquitectura y Tecnología de Computadores. Escuela Superior de Ingeniería Informática. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: iamaya@atc.us.es

### **RESUMEN**

La aplicación de técnicas basadas en Inteligencia Artificial como apoyo a la detección y diagnóstico de cáncer mediante imagen es una práctica muy extendida hoy día. Además, el reconocimiento por regiones de interés y otros algoritmos constituyen una rama de investigación amplia que mejoran considerablemente la calidad de la clasificación. En este trabajo, se propone como caso de estudio la identificación del tumor glial con Imágenes por Resonancia Magnética de pacientes sanos y enfermos mediante la combinación de algoritmos de Deep Learning de detección de regiones que se basan en la extracción de regiones de interés en la imagen utilizando una red Spatial Pyramid Pooling combinado con la modificación de las imágenes de entrada con el algoritmo Fuzzy c-means. Obteniendo un acierto cercano al del personal sanitario.

### **PALABRAS CLAVE**

Deep Learning, Cáncer, SPP, Fuzzy c-means, MRI.

Amaya Rodríguez, I. R.; Duran López, L.; Civit Masot, J.; Luna Perejon, F.; Civit Balcells, A.; Vicente Díaz, S.; Linares Barranco, A.

## **ABSTRACT**

Nowadays, existing Artificial Intelligent techniques are used as a support for cancer detection and diagnosis. Moreover, regional object interest and other related algorithms have become common place for improving the quality of the classification. Opening a wide field of interest and research. In this work, a deep neural network based on a new pooling strategy and image segmentation (Fuzzy c-means) [1] is proposed for glial tumor in Magnetic Resonance Imaging (MRI) images by using Region of Interests methods as Spatial Pyramid Pooling. The power of SPP-net is the possibility of working with feature maps from images with different sizes, and then subsampling these features to generate a fixed-length set and to implement finally a classification step.

## **KEYWORDS**

Deep Learning, Convolutional Neural Networks, Spatial Pyramid Pooling, MRI, Cancer diagnosis.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

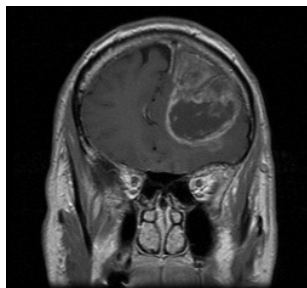
La técnica de aprendizaje Deep Learning es una tendencia creciente en el análisis de datos generales y se ha calificado como una de las tecnologías más innovadoras como una forma de automatizar el análisis predictivo. Concretamente, en el uso para el apoyo al diagnóstico clínico. Las decisiones clínicas con respecto al tratamiento de las neoplasias cerebrales se basan, en parte, en Resonancias Magnéticas (RM en adelante) en varias etapas del proceso de tratamiento. El diagnóstico radiológico se basa en el perfil de imagen multiparamétrico (Tomografía Computarizada (CT), MRI convencional, MRI avanzado). La caracterización del tumor es difícil porque el tejido neoplásico es a menudo heterogéneo en los perfiles espaciales y de imagen [2], y para algunas técnicas de imagen a menudo se superpone con el tejido normal (especialmente la parte infiltrante) [3]. Los gliomas pueden mostrar características mixtas; por ejemplo, demostrando características tanto de bajo como de alto grado. El estándar de referencia para caracterizar las neoplasias cerebrales se basa actualmente en el análisis histopatológico después de una biopsia o resección quirúrgica, pero esto también tiene limitaciones, como el error de muestreo y la variabilidad en la interpretación. [2][4]

En este artículo, se muestra la aplicación de una metodología basada en redes convolucionales como apoyo al diagnóstico clínico de este tipo tumor cerebral.

## **METODOLOGÍA**

### **Dataset**

El conjunto de muestras utilizado para el estudio pertenece a una base de datos pública [5] que contiene 481.158 imágenes con subdivisiones de distintas pruebas por cada paciente. Las imágenes seleccionadas son las obtenidas a partir de RM, aunque dentro del repositorio también hay imágenes de pruebas por tomografía computarizada (CT) y radiografía digital (DX).



**Figura 1.** Imagen RM con tumor glial.

De todas las imágenes en el dataset se clasificaron de forma manual en bruto 509 imágenes con tumor glial y 507 imágenes sin tumor glial.

## Convolutional Neural Networks (CNN)

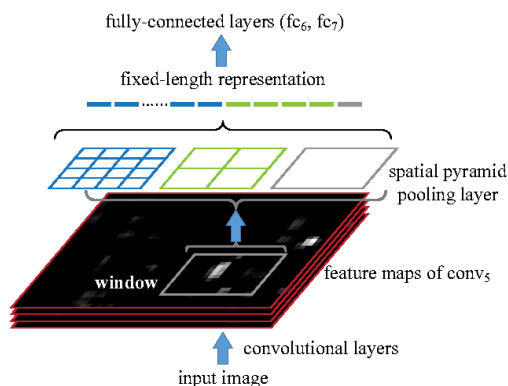
En una primera fase de la investigación se comenzó por implementar una red neuronal convolucional para una clasificación binaria con las etiquetas con y sin tumor. En este tipo de arquitectura se emplean modelización de redes neuronales artificiales donde las neuronas corresponden a campos receptivos similar a las neuronas en la corteza visual de un cerebro humano. Estas redes son muy efectivas para tareas de:

- Detección y categorización de objetos
- Clasificación y segmentación de imágenes

El objetivo de las CNN es aprender características de orden superior utilizando la operación de convolución. Puesto que las redes neuronales convolucionales aprenden relaciones de entrada-salida (donde la entrada es una imagen), en la convolución, cada píxel de salida es una combinación lineal de los píxeles de entrada. [6]

## Spatial Pyramid Pooling Networks

Durante el proceso de reconocimiento tumoral, los resultados tras utilizar CNNs, únicamente no obtuvieron la precisión esperada. Por lo tanto, se hizo uso de la implementación de una capa que funcionaba a partir de una búsqueda de mapa de características, debido a que la diferencia entre los píxeles de tejido sano y tejido enfermo era prácticamente nula respecto a la intensidad. Por lo que se formuló la hipótesis de clasificación sobre la búsqueda de las zonas con condensación de píxeles enfermos con intensidad parecida.



**Figura 2.** Esquema Spatial Pyramid Pooling.



SPP-net, puede generar una representación de longitud fija independientemente del tamaño / escala de la imagen. La agrupación de pirámides también es robusta para deformaciones de objetos. El poder de SPP-net también es significativo en la detección de objetos. Usando SPP-net, calculamos los mapas de características de toda la imagen solo una vez, y luego agrupamos las características en regiones arbitrarias para generar representaciones de longitud fija para entrenar a los detectores. [7]

## **Método de segmentación de imágenes basado en el método Fuzzy c-means**

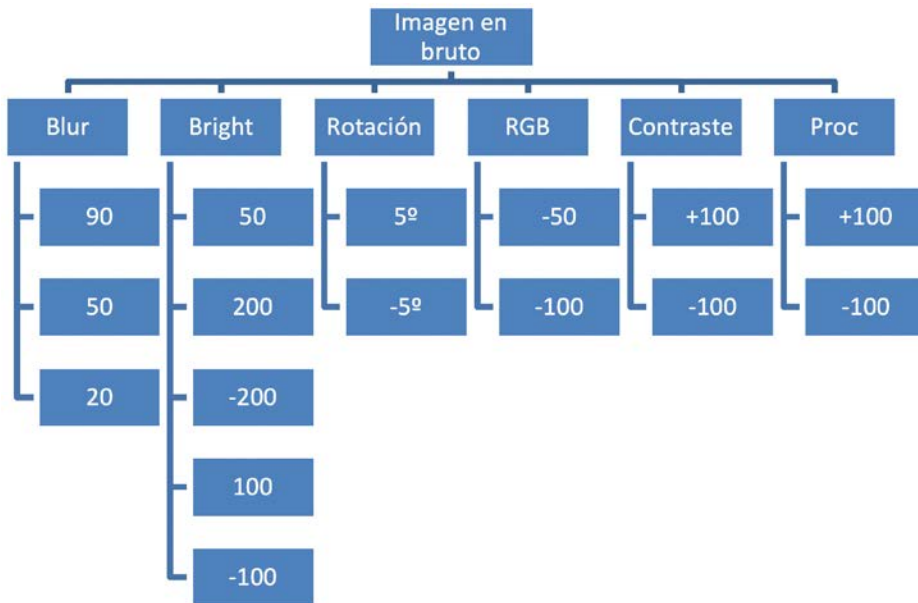
Los métodos de segmentación pueden resultar muy útiles en imágenes donde la zona de interés no tiene mucha diferenciación con otras. La detección asistida por computadora del crecimiento anormal de tejidos está motivada principalmente por la necesidad de lograr la máxima precisión posible. La segmentación manual de estos tejidos anormales no se puede comparar con las máquinas de computación de alta velocidad de hoy en día que nos permiten observar visualmente el volumen y la ubicación de los tejidos no deseados.

La agrupación de datos es un método por el cual grandes conjuntos de datos se agrupan en agrupaciones de conjuntos más pequeños de datos similares. El algoritmo de agrupamiento Fuzzy c-means (FCM) es una de las técnicas de agrupamiento sin supervisión más utilizadas en el campo de la imagen médica. La segmentación de imágenes médicas se refiere a la segmentación de estructuras anatómicas conocidas a partir de imágenes médicas. Fuzzy C-means (FCM) es un método de agrupación en clúster que permite que una parte de los datos pertenezca a dos o más agrupaciones. La lógica difusa es una lógica de múltiples valores derivada de la teoría de conjuntos difusos. FCM se usa popularmente para segmentaciones suaves como el modelo de tejido cerebral. Y también FCM puede proporcionar mejores resultados que otros algoritmos de agrupamiento en clústeres como KM, EM y KNN. [8]

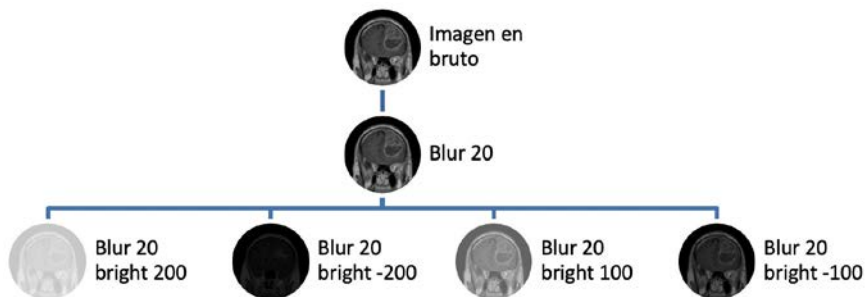
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Operaciones sobre el Dataset**

Partiendo de las 1000 imágenes aproximadamente seleccionadas y etiquetadas de forma manual se hizo un aumento de la base de datos mediante técnicas de data augmentation para tener mayor cantidad de casos de aprendizaje. Entre los que cuentan los siguientes filtros:

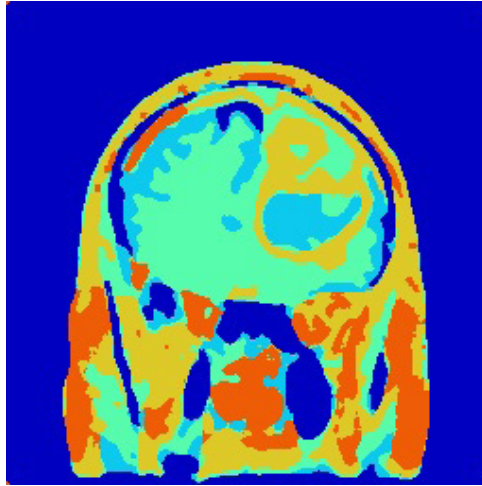


Además, se hicieron conjuntos de datos resultantes de aplicar varios filtros sobre la misma imagen y se redimensionaron las imágenes a 256x256 píxeles.



Fruto de aplicar los filtros, se obtuvieron un total de 46.878 imágenes de entrenamiento y 7.030 imágenes de prueba.

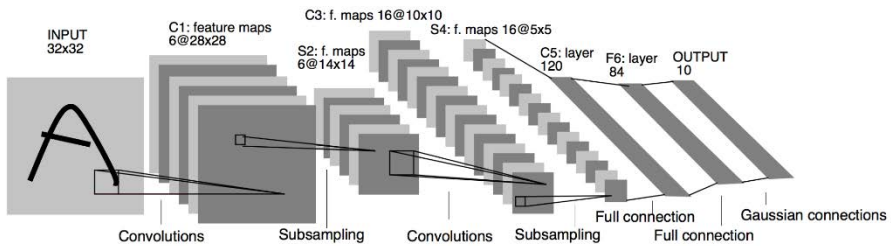
Con el método de segmentación Fuzzy Cmeans se obtuvieron imágenes donde claramente se diferencia en zonas enfermas de las sanas, en este caso tras hacer uso de prueba y error sobre el número de clusters necesarios según el grado de diferenciación de los tejidos elegido fue de cinco clusters debido a la diferenciación de los tejidos que nos interesaban.



**Figura 3.** Imagen segmentada Fuzzy c means cinco clústers.

### Operaciones sobre la red neuronal

Para la aplicación de la red neuronal convolucional se hizo uso de la red básica Lenet-5, que es una red convolucional pionera de 7 niveles propuesta por LeCun *et al.* Fue diseñada para clasificar los dígitos, para reconocer números escritos a mano en cheques (cheques) digitalizados en imágenes de escala de grises de 32x32 píxeles. La capacidad de procesar imágenes de mayor resolución requiere capas más grandes y más convolucionales, por lo que esta técnica está limitada por la disponibilidad de recursos informáticos. [9]



**Figura 4.** Red Lenet-5.

A la red se le añadió la capa de SPP para intentar conseguir una mejora en la captura de características en los resultados.

Los resultados aquí representados son con las imágenes sin segmentar, en primer lugar, tras aplicar la red Lenet-5 sobre las imágenes se obtuvo un accuracy del 52%. En el segundo caso, en el que se aplicó la capa de SPP se mejoró consiguiendo un 60%.

## CONCLUSIONES

Tras emplear una red simple y posteriormente añadir una capa de Spatial Pyramid Pooling, se consiguió mejorar los resultados en la detección de cáncer en la glía. Sin embargo, los resultados son mejorables. Para ello, como propuesta de estudios futuros se propone el uso del método de segmentación Fuzzy Cmeans y de redes más complejas añadiendo la capa SPP. En base a los datos actuales, el accuracy obtenido por médicos expertos en glioblastomas, ronda en torno a un 63-66% cuando el diagnóstico no se apoya en otro tipo de pruebas como, por ejemplo, el análisis de tejidos [10]. Por lo tanto, el nivel de acierto del sistema propuesto, no supera al de una persona, pero se acerca a los resultados. Como mejoras para el futuro, se propone aplicar el algoritmo de segmentación aquí expuesto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Suganya, R. y Shanthi, R. (2012). Fuzzy C-Means Algorithm-A Review. *International Journal of Science and Research*, 2. Recuperado de: [www.ijsrp.org](http://www.ijsrp.org) (accessed December 5, 2018).
- [2] Aronen, H.J., Gazit, I. E., Louis, D. N., Buchbinder, B.R., Pardo, F. S., Weisskoff, R.M., ... Hochberg, F.H. (1994). Cerebral blood volume maps of gliomas: comparison with tumor grade and histologic findings. *Radiology*, 191, pp. 41–51. doi: <https://doi.org/10.1148/radiology.191.1.8134596>
- [3] Krabbe, K., Gideon, P., Wagn, P., Hansen, U., Thomsen, C., y Madsen, F. (1997). MR diffusion imaging of human intracranial tumours, *Neuroradiology*, 39, pp. 483–489. doi: <https://doi.org/10.1007/s002340050450>
- [4] De Wolde, H., Pruijm, J., Mastik, M.F., Koudstaal, J., y Molenaar, W.M. (1997). Proliferative Activity in Human Brain Tumors: Comparison of Histopathology and L-[I-<sup>11</sup>C]TyrosinePET. doi: <https://doi.org/10.1.1.132.5805&rep=rep1&type=pdf> (accessed December 5, 2018).
- [5] The Cancer Imaging Archive (TCIA) - A growing archive of medical images of cancer, (n.d.). Recuperado de: <http://www.cancerimagingarchive.net/> (accessed December 10, 2018).
- [6] Deep learning & Convolutional Neuronal Network: qué es y en qué consiste, (n.d.). Recuperado de: <https://www.itelligent.es/es/deep-learning-convolutional-neuronal-network-cnn-consiste/> (accessed December 10, 2018).

- [7] He, K., Zhang, X., Ren, S., y Sun, J. (n.d.). Spatial Pyramid Pooling in Deep Convolutional Networks for Visual Recognition. Recuperado de: <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/kahe/> (accessed December 5, 2018).
- [8] Christ, M.C.J. y Parvathi, R.M.S. (2011). Fuzzy c-means algorithm for medical image segmentation. En: 2011 International Conference on Electronics Computer Technology, IEEE, pp. 33–36. doi: <https://doi.org/10.1109/ICECTECH.2011.5941851>
- [9] CNN Architectures: LeNet, AlexNet, VGG, GoogLeNet, ResNet and more. Recuperado de: <https://medium.com/@sidereal/cnns-architectures-lenet-alexnet-vgg-googlenet-resnet-and-more-666091488df5> (accessed December 11, 2018).
- [10] Un robot vence a 15 médicos en el diagnóstico de tumores cerebrales. Recuperado de: <https://www.redaccionmedica.com/secciones/tecnologia/un-robot-vence-a-15-medicos-en-el-diagnostico-de-tumores-cerebrales-6435> (accessed December 15, 2018).



## **DEEP LEARNING GLAUCOMA DIAGNOSIS AID**

**Civit, Javier; Amaya, Isabel; Luna, Francisco; Duran, Lourdes; Civit, Antón;  
Linares-Barranco, Alejandro; Vicente, Saturnino**

Grupo de Robótica y Tecnología de Computadores  
Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores. EPS, Universidad  
de Sevilla.

\*E-mail: [javi.civit@gmail.com](mailto:javi.civit@gmail.com)

### **RESUMEN**

El glaucoma es una de las principales causas de ceguera. Cambia la morfología del nervio óptico. La copa es la región central del disco óptico. El CDR (relación del diámetro de la copa y el disco) es un indicador del estado de la enfermedad. Un CDR normal se encuentra entre 0.3 y 0.4. A mayor CDR Glaucoma más avanzado. En este trabajo se pretende demostrar la viabilidad de los algoritmos en los que la forma del disco y la copa son aproximadamente círculos. En estos casos el número de parámetros es mucho menor y, al menos, en nuestras pruebas iniciales la aproximación es más realista que con las formas originales para su implementación en aprendizaje profundo.

### **PALABRAS CLAVE**

Glaucoma, Deep Learning, Ayuda al Diagnóstico, Aproximación por círculos.

## ABSTRACT

Glaucoma is one of the main causes of blindness. It changes the morphology of the optic nerve. The cup is the central region of the optical disc. The CDR (ratio of the diameter of the cup and disc) is an indicator of the state of the disease. A normal CDR is between 0.3 and 0.4. A higher CDR more advanced glaucoma. In this work we try to demonstrate the viability of algorithms in which the shape of the disc and the cup are approximately circles. In these cases, the number of parameters is much lower and, at least, in our initial tests the approach is sometimes more realistic than with the original forms for a Deep learning implementation.

## KEYWORDS

Glaucoma, Deep Learning, Diagnostic Aid, Circle Approximation.



## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

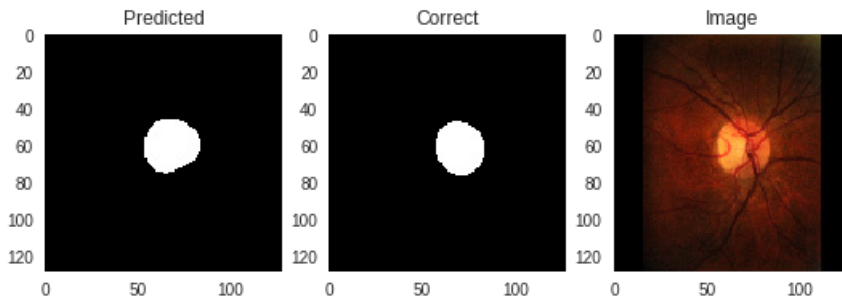
En este trabajo estudiaremos distintas posibilidades para aproximar las formas del disco y la copa óptica por círculos. Más tarde veremos la influencia que tienen estas aproximaciones en la detección mediante Deep learning del disco óptico y lo compararemos con una aproximación con detección directa.

## METODOLOGÍA

Utilizaremos inicialmente el método de detección de disco y copa propuesto en [1]. Este método emplea la red de convolución-deconvolución U-Net [2] que es ampliamente empleada en la detección de imágenes médicas.

El conjunto de datos empleado en nuestras pruebas es RIM-ONE v3.

Inicialmente comenzamos realizando la segmentación del disco. Para ello empleamos nuestro tutorial en Google collaboratory [3]. Un ejemplo de los resultados de la segmentación se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Segmentación del Disco.

Veremos ahora las distintas posibilidades de aproximar la máscara (ground truth) de la figura por un círculo. En principio planteamos tres posibles métodos:

- Detectar el borde de la máscara y ajustar un círculo a dicha curva.
- Detectar la caja contenedora (Bounding Box) de la máscara y aproximar la misma utilizando el centro de la caja como centro y la media de los semilados como radio.
- Detectar el centroide y el área de la máscara y emplear como centro el centroide y como radio la raíz cuadrada del área dividido por pi.

La evaluación de las diferentes alternativas la realizaremos evaluando los coeficientes de intersección sobre unión (Dice) de las distintas aproximaciones con la máscara real. De los métodos propuestos se seleccionará el que proporcione mejores ajustes y con él se entrenará de nuevo el sistema de segmentación para comparar los resultados con la versión inicial.

Ha de tenerse en cuenta que la información necesaria para este caso es mucho menor que para el sistema original al solo tener que obtener el centro y el radio de cada disco o copa.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Para ajustar la aproximación circular a la curva externa de la máscara detectamos la misma empleando el módulo `segmentation` de `scikit-image` [4] para después emplear RANSAC [5] para aproximar el modelo del círculo. En este caso sobre el conjunto de imágenes se logra un valor medio del coeficiente Dice de un 93% con una desviación típica de 4.7 para los discos ópticos.

En el caso del método del centroide empleamos el módulo `measure` de `scikit-image` para obtener las propiedades de la región correspondiente a la máscara. De estas propiedades utilizamos el centroide y el área. Empleando este método obtenemos un valor medio del coeficiente Dice de un 96% con una desviación típica de 1.6 para los discos ópticos.

Para el caso de las cajas contenedoras empleamos también el módulo `measure` de `scikit-image`. En este caso nos quedamos con los datos de la caja que contiene a la máscara. Con este método obtenemos valores del coeficiente prácticamente idénticos a los obtenidos utilizando el centroide.

En la Figura 2 se muestran para la imagen en que el ajuste es mejor y peor los ajustes de los círculos por el método del borde, el del centroide y el de la caja contenedora.

Como última fase procedemos a utilizar los datos de los círculos correspondientes a los discos como máscaras en nuestro notebook en Google colab. Empleamos los discos calculados empleando el método de las regiones contenedoras.

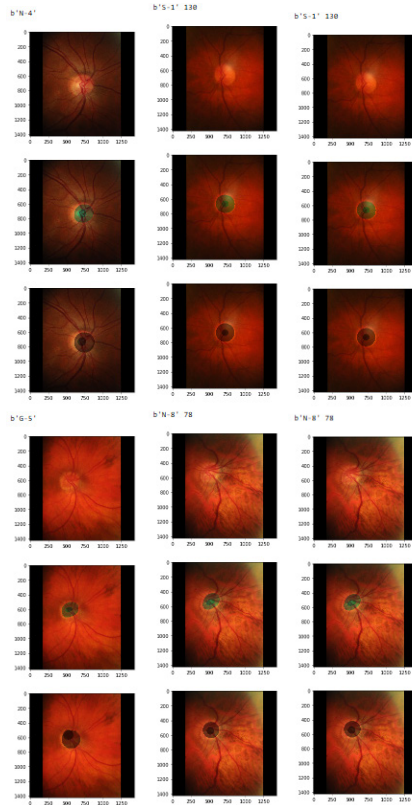


Figura 2. Ajuste de Círculos.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de entrenamiento realizado con máscaras circulares.

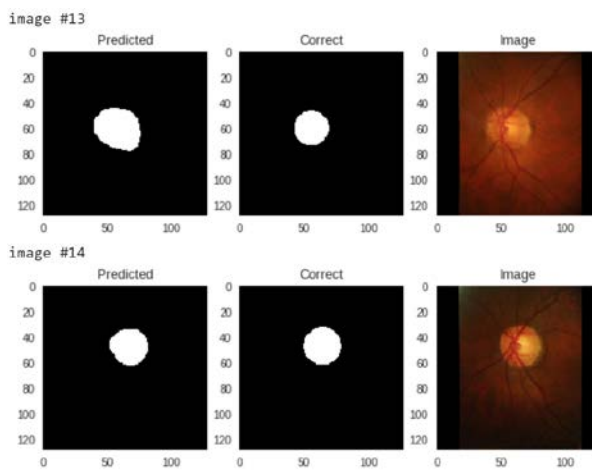


Figura 3. Imágenes ajustadas con círculos.

## CONCLUSIONES

Puede verse que la aproximación mediante círculos reduce, en gran medida el número de parámetros necesarios para representar el círculo y la copa perdiendo poca información útil en esta transformación. Esto nos puede permitir enfocar la segmentación empleando modelos más sencillos.

## AGRADECIMIENTOS

This work was partially supported by the NPP project funded by SAIT (2015-2018) and by the Spanish government grant (with support from the European Regional Development Fund) COFNET (TEC2016-77785-P).

The cloud environment for the project was supported by Google GCP research credits program.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sevastopolsky A. (2017). Optic disc and cup segmentation methods for glaucoma detection with modification of U-Net convolutional neural network. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 27(3), 618–624.
- [2] Ronneberger, O., Fischer, P., y Brox, T. (2015). U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention*. arXiv:1505.04597v1
- [3] Civit-Masot, J., Petkevičius, L., y Civit, A. (2018). The Tensorflow/Keras tutorial on image segmentation. Google colab, Google. Recuperado de: <https://bit.ly/2zLAzv0>
- [4] Van der Walt, S., Schönberger, J. L., Nunez-Iglesias, J., Boulogne, F., Warner, J. D., Yager, N., ... Yu, T. (2014). Scikit-image: image processing in Python. *PeerJ*, 2, e453.
- [5] Derpanis, Konstantinos G. (2010). Overview of the RANSAC Algorithm. *Image Rochester NY*, 4.1, 2-3.

# **DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE CLÚSTER RB-PI PARA EL PROCESAMIENTO DE VISIÓN EN PARALELO**

**Muñoz-Saavedra, Luis; Domínguez-Morales, Manuel\*; Cascado-Caballero, Daniel; Linares-Barranco, Alejandro**

Grupo de Robótica y Tecnología de Computadores.  
Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores. Escuela  
Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: [mjdominguez@us.es](mailto:mjdominguez@us.es)

## **RESUMEN**

En este proyecto se presenta la creación de un clúster de micropcs para análisis de imágenes. Para su creación partimos de cero: el análisis de las herramientas que nos ayuden a conseguir el objetivo, un análisis de las prestaciones, así como los pasos para su creación. Se parte de la base de que se alcanzó el límite de procesamiento monoprocesador desde hace varias generaciones, lo cual ha supuesto una fuerte evolución en el procesamiento paralelo. Para aplicaciones con grandes necesidades (cálculos matemáticos, procesamiento de vídeo, entrenamiento, etc.) se hace uso de clústeres; sin embargo, éstos poseen un coste muy elevado, lo cual provoca que sea uso exclusivo en supercomputación. En este trabajo se presenta el diseño e implementación de clúster de bajo coste basado en computadores empotrados Raspberry Pi. Se describe la configuración del clúster para comunicación por paso de mensajes. Y, finalmente, se realiza una prueba del sistema utilizando aplicación de procesamiento paralelo de vídeo.

## **PALABRAS CLAVE**

Clúster, OpenCV, Raspberry, Cisión artificial, Paralelismo.

## ABSTRACT

This project presents the creation of a micro-pc cluster for image analysis. For its creation we start from scratch: the analysis of the tools that help us achieve the goal, an analysis of the benefits, as well as the steps for its creation. Since the limit of single-processor processing has been reached for several generations, a strong evolution in parallel processing has been experimented in the last years. For applications with great computation power needs (mathematical calculations, video processing, training, ...) clusters are used; however, they have a very high cost, which makes them to be used exclusively in supercomputing. In this paper we present the design and implementation of a low-cost cluster based on Raspberry Pi embedded computers. The configuration of the cluster for communication by message passing is described. And, finally, a system test is performed using a parallel video processing application.

## KEYWORDS

Cluster, OpenCV, Raspberry, Computer vision, Parallelism.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

Un campo en auge y que requiere gran capacidad computacional es la catalogación automática de imágenes. Puede apreciarse, por ejemplo, el proyecto Galaxy Zoo [1] que pretende catalogar imágenes de galaxias, lo cual no es un tema sencillo, ya que las imágenes no suelen ser fácilmente catalogables de manera informática debido al ruido que tienen estas fotos. Para evitar este problema, el programa usa voluntarios para catalogar estas imágenes. Con esta metodología surgen varias preguntas, ¿cuántas fotos puede catalogar una persona por minuto?, ¿qué pasa si no hay voluntarios?, y la más interesante, ¿se podría crear un sistema experto para que, mediante aprendizaje automático pudiese reconocer estas imágenes? ¿Cómo debería ser este sistema?

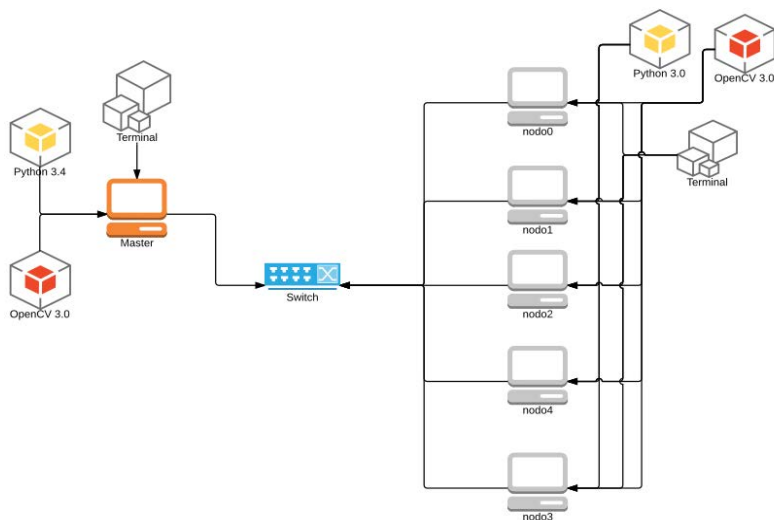
En la temática de este trabajo, se ha obviado la parte de aprendizaje automático, y se ha centrado en la parte arquitectónica del problema, ya que es importante definir correctamente la arquitectura del sistema necesario y probar que sea capaz de realizar las operaciones que se precisan para este tipo de iniciativas. Este trabajo se puede dividir en dos partes, una más general, los sistemas HPC basados en mini PCs, y uno más particular, un clúster HPC para análisis de imágenes.

Un clúster HPC formado por mini PCs podría usarse en estos campos: Infraestructuras, Educativo, Científico, etc. Y ya en un campo más específico: Sanitario, Seguridad, Automoción, etc.

Aunque, en la actualidad, se tiende a llevar los servicios software a la nube, para ello hay que externalizar, y normalmente se simplifican las tareas de mantenimiento, ya que la parte de mantenimiento de las máquinas las hace otra empresa, pero, para poder realizar las pruebas de código, estos clústeres pueden ahorrar dinero y tiempo, ya que normalmente este tipo de servicios tarifica por el tiempo de procesado.

## **METODOLOGÍA**

El sistema que se va a construir es el siguiente:



**Figura 1.** Sistema basado en clúster con un maestro y 5 nodos esclavos.

Como vemos en el dibujo, el sistema está separado en Máster y nodos, aunque tenga una configuración similar, el máster tiene una configuración algo diferente.

- **Máster:** El máster hace uso del sistema operativo completo de Raspbian, es decir cuenta con entorno gráfico, se ha hecho así para poder usar esta Raspberry como entorno de desarrollo en caso de que fuese necesario, ya que incluye un IDE para Python, está Raspberry también ha sido configurada para poder conectarse mediante SSH al resto de nodos, ya que tiene clave pública distribuida entre los nodos.
- **Nodos:** Los nodos, tienen una versión mínima del sistema operativo, ya que están pensadas solo para realizar trabajos. En cuanto al software usado para el procesamiento de las imágenes, es igual en todas las máquinas, se usa Python 3.4 y OpenCV 3.0. En cuanto al software de orquestación, mantenimiento y gestión ha sido rechazado (complicaba más la configuración).

## DESARROLLO

Este proyecto ha sido planteado para ser desarrollado en cuatro fases, la primera ha sido instalación y configuración de un solo nodo, la segunda fase ha sido el estudio de los diferentes softwares para su gestión, la tercera fase ha sido la implementación final del clúster, y finalmente, la cuarta parte ha sido la realización de las pruebas.



- **Primera parte:** Para realizar esta parte, se ha usado la versión de Raspbian completa, incluida en NOOBS, ya que esta Raspberry sería usada para desarrollar el código, cuando se completó la instalación se instaló OpenCV 3.0 para ser usado con Python 3.4. La instalación se ha realizado creando un entorno virtual, esto hace que se aíslen las dependencias, por si hubiera que trabajar con otras versiones de OpenCV o de Python. La instalación de Python requiere que se compilen las librerías de OpenCV este paso puede llegar a tomar en torno a una hora, si todo sale bien, haciendo uso de los 4 núcleos de la Raspberry. Al trabajar en un entorno virtual, para poder trabajar con OpenCV y la versión adecuada de Python, hay que cargar el entorno que necesitábamos, para agilizar el uso del sistema se modificó el fichero RC.local para cargar el entorno virtual al iniciar el sistema. No se hicieron más cambios en la configuración del sistema operativo. Cuando estuvo el sistema listo, se realizó un pequeño código que analizaba las imágenes. Se analizó el uso de gitHub, pero se descartó ya que se empleaba más tiempo en usar la herramienta que en el desarrollo del código. Esta parte se dio por concluida cuando se consiguió procesar una lista de imágenes.
- **Segunda parte:** En esta parte no se volvió a abordar la programación de OpenCV y se empezó a estudiar las diferentes formas de gestionar el clúster, fue en esta parte donde se ha invertido más tiempo. El primer software que se estudió fue Docker, ya que al poder meter OpenCV en un contenedor, se agilizaría el despliegue de la aplicación, ya que la instalación es lenta y delicada. Para construir el clúster, y abaratar costes, se hicieron los cables de red, por otro lado, se imprimió una serie de carcasas para tener las Raspberry montadas, también se consiguió un switch de 16 puertos para interconectar las Raspberry. Cuando ya estaba construido el clúster, físicamente, se comenzó con su configuración, para agilizar las cosas, se analizó el uso de Ansible, pero al ser configuraciones únicas, se descartó su uso. El uso de docker también se justifica con el uso de kubernetes, ya que requiere de docker para poder funcionar, tras ver que el uso de estas tecnologías no aporta lo que se les pedía, se descartó su uso.
- **Tercera parte:** Tras descartar el uso de los diferentes programas para gestionar el clúster, se decidió hacerlo de la manera más sencilla posible. Para ello se usaron las imágenes de Raspbian, la mínima para los 5 nodos y una normal para el máster. En este caso en lugar de trabajar con todas las Raspberry en paralelo, primero se configuró el máster, luego la configuración e instalación de un nodo, para evitar futuros problemas como en el punto

anterior se realizaron copias de seguridad de los dos sistemas operativos, la copia del nodo fue usada en el resto de las Raspberry, de este modo, solo se tarda en torno a 40 minutos en tener una Raspberry totalmente preparada para analizar imágenes. En esta parte se retomó la parte de programación, se depuró el programa y se hizo un programa para aprovechar los 4 núcleos de la Raspberry, también se crearon una serie de códigos para automatizar algunas tareas, como el reparto de imágenes.

- **Cuarta parte:** En esta parte se diseñaron las pruebas, se corrigieron los fallos de código y se llevaron a cabo. En las diferentes pruebas que se realizaron, se recolectaron los siguientes datos de manera secuencial: Tiempo en procesar las imágenes, y tiempo en cargar en memoria RAM las imágenes y procesarlas. Y, en el clúster: Mayor tiempo en procesar las imágenes, mayor tiempo en cargar las imágenes y procesarlas, y tiempo en distribuir las imágenes. Y se calculó la aceleración del mayor tiempo en procesar las imágenes en el clúster, que en teoría rondará 6, y la aceleración contando la transferencia de imágenes contra el tiempo de hacerlo en secuencial.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para hacer las pruebas se ha tenido en cuenta tanto los tamaños de las memorias caché como el número de Raspberry disponibles, siendo el tamaño de caché 32 KB y de 512 KB. Se ha decidido hacer uso de fotos de tamaños de 16 KB a 1 MB. Con esta distribución, con 16KB y con 32Kb las fotos caben en el primer nivel de caché, con 64 KB y 128 KB, las fotos caben en el nivel L2, finalmente con 256 KB, 512 KB y 1 MB no cabrían en L2 y tendremos que ir a RAM. Posteriormente, para seguir probando el sistema, se añadieron fotos de 2 MB, 4 MB y 8 MB ya que aún quedaba margen de mejora. En cuanto al número de imágenes que se usaron fueron, 1, 6, 12, 24, 48, 96, 192 y 196. El número 196 fue elegido por no ser múltiplo del 6; por tanto, el reparto no será equitativo entre los nodos.

Para comparar la aceleración, primero se analizaron las imágenes en secuencial, y guardé el tiempo que se tarda en procesar las imágenes y el tiempo que se tarda en cargar las imágenes y en procesarlas. Luego, se analizaron las imágenes distribuyéndolas por el clúster, se tomaron los tiempos que necesitaba en procesar las imágenes, el tiempo en cargarlas y procesarlas y el tiempo que tardaba en distribuir las imágenes.

Para realizar las pruebas se ha usado la siguiente imagen [20]:



**Figura 2.** Imágenes de prueba.

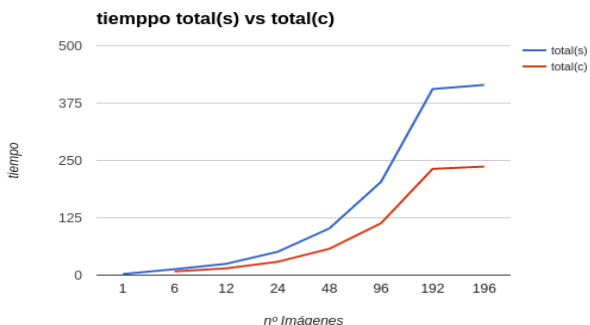
Los resultados de las pruebas se han separado en 3 grupos: secuencial, clúster y aceleración. En la columna secuencial: “proc” es el tiempo en procesar las imágenes y “total” es el tiempo en cargar las imágenes y procesarlas. En la columna de clúster: “proc” es el tiempo de las Raspberry más lenta en procesar las imágenes, “cargas” es el tiempo de las Raspberry más lenta en cargar las imágenes y procesarlas, “trans” es el tiempo en distribuir las imágenes y “total” es la suma de cargas y transmisión de ida y vuelta, el valor de vuelta se ha considerado igual que el de ida. Por último, en la columna de la aceleración: “aceleración” (en verde) es la aceleración de sólo contra procesamiento y “aceleración” (en naranja) es la aceleración de total (clúster) con respecto del total (secuencial). Todos los tiempos están en segundos, indicado entre paréntesis en las etiquetas.

Cuando se estaba analizando que tipo de pruebas se iban a realizar, se pensó que el tiempo de carga de las imágenes podría afectar al rendimiento, por eso se ha tomado ese tiempo. Como veremos en las pruebas, no afecta al rendimiento.

### Imágenes de 256KB

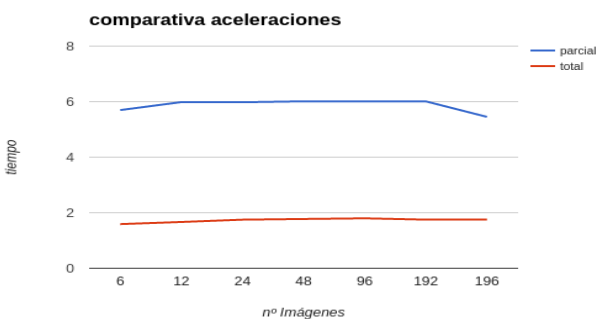
256kb	SECUENCIAL		CLÚSTER				ACELERACIÓN	
	proc (s)	total (s)	proc (s)	cargas (s)	trans (s)	total (s)	Parcial	Total
1	2,1035	2,3853	-	-	-	-	-	-
6	12,5861	12,9292	2,2093	2,5002	2,8138	8,127	5,6968	1,5907
12	25,619	24,6087	4,2816	4,5874	5,0882	14,763	5,9835	1,6668
24	50,3359	50,9133	8,4197	8,672	10,2115	29,095	5,9783	1,7498
48	100,9222	101,8289	16,7868	17,1454	20,1181	57,381	6,0119	1,7745
96	201,8187	203,3095	33,5992	34,0461	39,5084	113,069	6,0066	1,7981
192	403,0051	405,6459	67,0557	67,719	81,9585	231,636	6,0100	1,7512
196	411,8935	414,6502	75,5364	76,2097	80,2309	236,671	5,4529	1,7520

Aunque las fotos van aumentando de tamaño, no afectan a los tiempos de carga, comparados con el procesamiento. Y por primera vez conseguimos acelerar el cómputo al usar el clúster:



**Figura 3.** Comparativa de tiempos entre clúster y secuencial para imágenes de 256KB.

Se ha conseguido mejorar el proceso en torno al 60%- 75%.



**Figura 4.** Comparativa de aceleraciones para imágenes de 256KB.

### Imágenes de 1MB

	SECUENCIAL		CLÚSTER				ACELERACIÓN	
	proc (s)	total (s)	proc (s)	cargas (s)	trans (s)	total (s)	Parcial	Total
1	10,213	10,54	-	-	-	-	-	-
6	61,264	61,84	10,15	15,500	3,447	22,394	6,0358	2,7614
12	122,599	123,48	20,398	20,772	6,2472	33,267	6,010	3,7117
24	244,509	246,509	40,676	41,138	12,112	65,364	6,011	3,7713
48	489,180	492,037	81,765	82,409	23,637	129,68	5,9827	3,7940
96	982,032	987,307	162,686	163,703	48,506	260,71	6,036	3,7869
192	1964,90	1974,805	325,019	326,873	94,637	516,14	6,045	3,8260
196	2005,32	2015,689	366,464	368,418	100,520	569,45	5,4720	3,5396

## Imágenes de 2MB

2Mb	SECUENCIAL		CLÚSTER				ACELERACIÓN	
	proc (s)	total (s)	proc (s)	cargas (s)	trans (s)	total (s)	Parcial	Total
1	24,0345	24,4115	-	-	-	-	-	-
6	144,3368	145,2066	24,1336	24,4998	3,83	32,1598	5,9807	4,5151
12	289,5328	289,9776	48,1788	48,645	7,7606	64,1662	6,0095	4,5191
24	576,0753	578,6906	96,066	96,725	14,9865	126,698	5,9966	4,5674
48	1150,683	1155,6488	191,7229	192,802	32,8888	258,5796	6,0018	4,4692
96	2311,518	2321,758	383,9906	385,8917	68,0996	522,0909	6,0197	4,4470
192			768,1628	771,8428	125,462	1022,767	-	-
196			863,4887	867,6123	127,804	1123,2219	-	-

Las celdas coloreadas en rojo son debido a falta de RAM. Cuando esto pasa, el sistema aborta la ejecución del programa. Esto pasa porque, lo primero que se hace para analizar las imágenes es cargar las imágenes. Por último, en esta gráfica podemos ver todas las aceleraciones juntas:

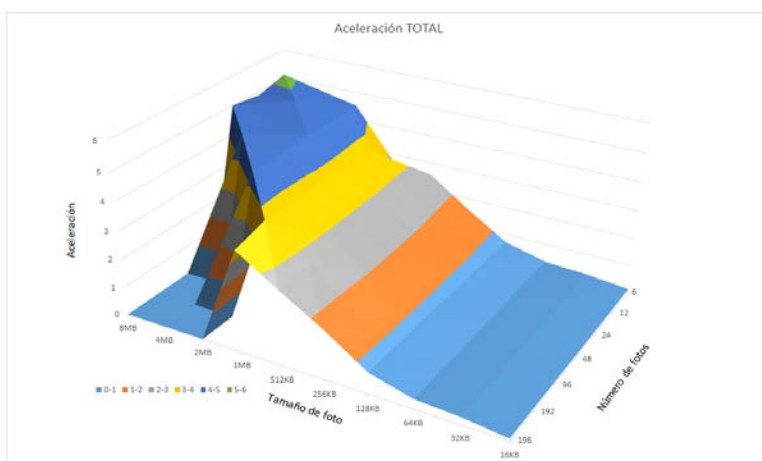


Figura 5. Comparativa global para todos los tamaños de fotos, cantidad de elementos y aceleración resultante.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Raddick, J., *et al.* (2007). Galaxy Zoo: an experiment in public science participation. En *Bulletin of the American Astronomical Society*, p. 892.
- [2] Patterson, D. A., Hennessy, J. L., y Goldberg, D. (1990). *Computer architecture: a quantitative approach*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.
- [3] Culler, D., Singh, J.P., y Gupta, A. (1999). Parallel computer architecture: a hardware/software approach. *Gulf Professional Publishing*.
- [4] Janard, K. y Maruringsith, W. (2015). Accelerating real-time face detection on a raspberry pi telepresence robot. En *Innovative Computing Technology (INTECH), 2015 Fifth International Conference on IEEE*, pp. 136-141.
- [5] Cloutier, M.F., Paradis, C., y Waever, V.M. (2016). A raspberry pi cluster instrumented for fine-grained power measurement. *Electronics*, 5(4), p. 61.
- [6] Pajankar, A. (2015). *Raspberry Pi computer vision programming*. Packt Publishing Ltd.
- [7] Kiepert, J. (2013). *Creating a raspberry pi-based beowulf cluster*. Boise State University, pp. 1-17.

# **MYOARM: PRÓTESIS ROBÓTICA CON SENSADO EMG Y ENTRENAMIENTO CON REDES NEURONALES**

**Pérez-Rodríguez, Alfonso; Domínguez-Morales, Manuel\*; Jiménez-Fernández, Ángel; Linares-Barranco, Alejandro**

Grupo de Robótica y Tecnología de Computadores.

Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores. Escuela  
Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: [mjdominguez@us.es](mailto:mjdominguez@us.es)

## **RESUMEN**

El proyecto consiste en la creación de un brazo robótico controlado remotamente a través de un brazalete desarrollado por Thalmic Labs, el cual es capaz de leer los biopotenciales de los músculos residentes del muñón de los usuarios. Este proyecto, tiene como propósito la creación de una alternativa económica a las prótesis activas no invasivas que existen en la actualidad. Nuestra prótesis es capaz de realizar las mismas funciones, pero a un precio mucho más asequible. Para poder realizar todas las funciones que una articulación normal, el brazo cuenta con varios elementos: Cuerdas que simulan tendones y permiten el movimiento de los dedos, engranajes que permiten el giro de la muñeca y motores, los cuales son capaces de generar el movimiento en función de los datos extraídos del brazalete. El brazalete es el encargado de transmitir la información de la mano al brazo robótico a través de un módulo inalámbrico que lo conecta con el ordenador, donde la señal que extrae el brazalete pasa por un proceso de filtrado para quedarnos con la información que nos interesa y transmitirla mediante el puerto USB a un microcontrolador, el cual será el encargado de mover los motores según las señales que reciba. Para evitar errores en la medida de los sensores, la información recibida por el pc proveniente del brazalete pasa un proceso de entrenamiento mediante redes neuronales antes de ser enviada al brazo robótico.

## **PALABRAS CLAVE**

Redes neuronales, Exoesqueleto, Protésica, EMG.

## ABSTRACT

The project consists of the creation of a robotic arm controlled remotely through a brace developed by Thalmic Labs, which can read the biopotentials of the muscles of the limb of the users. This project aims to create an economic alternative to non-invasive active prostheses that exist today. Our prosthesis can perform the same functions but at a so much affordable price. To perform all the functions of a normal joint, the arm has several elements. Strings that simulate tendons and allow the movement of the fingers, gears that allow the rotation of the wrist and motors, which can generate movement based on the data extracted from the bracelet. The bracelet is responsible for transmitting information from the hand to the robotic arm through a wireless module that connects it with the computer, where the signal that extracts the bracelet goes through a filtering process to keep the information that interests us and Transmit it through the USB port to a microcontroller, which will be in charge of moving the engines according to the signals received. To avoid errors in the measurement of the sensors, the information received from the bracelet is trained in the computer using a Neural Network architecture before sending the information to the robotic arm.

## KEYWORDS

Neural Network, Exoskeleton, Prosthesis, EMG.



## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La evolución de la protésica es larga y está plagada de historias, desde sus comienzos primitivos, pasando por el sofisticado presente, hasta las increíbles visiones del futuro. Al igual que sucede en el desarrollo de cualquier otro campo, algunas ideas e invenciones han funcionado y se han explorado más detalladamente, como el pie de posición fija, mientras que otras se han dejado de lado o se han vuelto obsoletas, como el uso de hierro en las prótesis. El largo y complejo camino hacia el brazo computarizado comenzó alrededor del año 1500 a. C. y, desde entonces, ha estado en constante evolución. Ha habido muchos perfeccionamientos desde las primeras patas de palo y los primeros ganchos de mano, y el resultado ha sido la fijación y el moldeado altamente personalizados que se encuentran en los dispositivos actuales.

Actualmente la biónica es la aplicación de soluciones biológicas a la técnica de los sistemas de arquitectura, diseño, ingeniería y tecnología moderna. Asimismo, existe la ingeniería biónica que abarca varias disciplinas con el objetivo de concatenar (hacer trabajar juntos) sistemas biológicos y electrónicos, por ejemplo, para crear prótesis activadas por los robots controlados por una señal biológica o también crear modelos artificiales de cosas que solo existen en la naturaleza, por ejemplo, la visión artificial y la inteligencia artificial también llamada cibernética. Se podría decir, la biónica es aquella rama de la cibernética que trata de simular el comportamiento de los seres vivos haciéndolos mejores en casi todas las ramas por medio de instrumentos mecánicos.

La Biónica ha tenido un gran desarrollo en países como Alemania que cuenta con cursos titulados de ese mismo modo en distintas escuelas, Japón que tiene un gran desarrollo en Bio robots, Estados Unidos y Reino Unido. En Latinoamérica y España se cuenta también con desarrollos de este tipo. Tenemos que en México se fundó la carrera de Ingeniería Biónica en la UPIITA (Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas) del IPN (Instituto Politécnico Nacional) en 1996 la cual ha rendido frutos en la creación de artefactos biónicos. Tal como se dio con el ingeniero Luis Armando Bravo Castillo, graduado del IPN, al realizar su prótesis de brazo. La cual funciona por medio de señales eléctricas que emite la piel después de realizar contracciones musculares. Así el paciente crea un código que le permite poder mover su brazo.

En Estados Unidos, el 82% de las amputaciones se deben a enfermedades vasculares, el 22% a traumatismos, el 4% son congénitas y otro 4% tienen origen tumoral. Aproximadamente, 1,6 millones de personas en Estados Unidos conviven con una

amputación. 1,5 amputados por 1.000 habitantes en E.E.U.U. y Canadá. Según la Agencia para la Investigación y la Calidad del Cuidado de la Salud (Agency for Healthcare Research and Quality, AHRQ), cada año se hacen alrededor de 113.000 amputaciones de extremidades inferiores.

Existe una proporción de 3:1 entre hombres y mujeres (73.6% vs 26.4%). Las amputaciones ocurren predominantemente en miembros inferiores con un 84%, respecto a los miembros superiores con un 16%.

En miembros superiores la causa predominantemente es traumática con un 70,4% le sigue la causa congénita con un 18%.

En miembros inferiores la causa predominante es vascular con un 69,5% seguido de las traumáticas con un 22,5%.

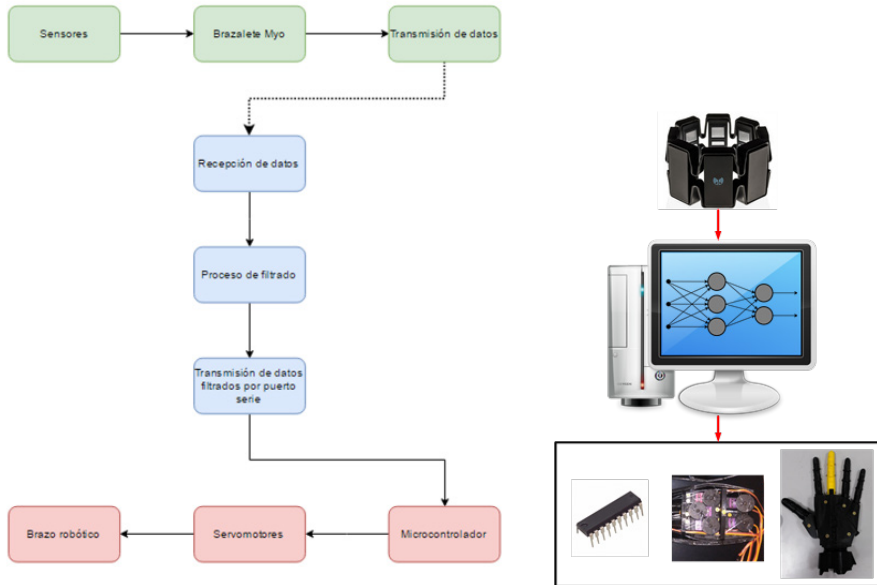
Por lo tanto, vamos a intentar poner solución a un gran problema que afecta a millones de personas en el mundo (extrapolando las cifras antes vistas solamente en E.E.U.U. y Canadá).

El objetivo principal de este trabajo es la creación de prótesis activas no invasivas económicas. El usuario de esta prótesis la podrá manejar mediante un brazalete, el cual lleva integrado varios sensores (giróscopo, acelerómetro y electromiograma). Dicho brazalete, se colocará en el brazo del usuario y leerá los parámetros de las terminaciones musculares residentes del muñón del usuario, transmitiéndoselas a un microprocesador que moverá una serie de motores de la prótesis.

Para lograr este propósito, se ha seguido la técnica de “Divide y Vencerás”. Es decir, se ha separado el objetivo final del proyecto en unos más pequeños, los cuales se pueden realizar de manera individual, para finalmente juntarlos y obtener el objetivo principal.

## **METODOLOGÍA**

El sistema está dividido en tres partes: el brazalete Myo (color verde), el ordenador (color azul) y el microcontrolador y el brazo (color rojo). La primera comunicación (entre el brazalete y el ordenador) se realiza mediante una conexión inalámbrica y la segunda comunicación (entre el ordenador y el microcontrolador) se realiza mediante una comunicación por puerto USB.



**Figura 1.** Arquitectura del sistema.

Desde el brazalete se envía la información obtenida de los sensores al ordenador. En el ordenador se ejecuta una aplicación de filtrado de la señal para quedarnos con los datos que nos interesan para el movimiento del brazo. Una vez la señal ha sido filtrada y tenemos los datos que queremos, transmitimos la señal de control al microcontrolador, el cual se encarga del movimiento de los servomotores y por tanto del movimiento del brazo robótico.

Los sensores del brazalete engloban las tecnologías utilizadas para medir los diferentes valores del brazo:

- Sensores de electromiografía: Son los sensores colocados en cada módulo del brazalete, se encargan de medir los biopotenciales de los músculos del brazo.
- Acelerómetro: Es el sensor encargado de tomar las medidas de las aceleraciones del brazo y muñeca.
- Giróscopo: Es el sensor encargado de tomar las medidas de los cambios de posición y giro de la muñeca y el brazo.

En la transmisión de datos de los valores leídos, se utiliza un módulo USB que proporciona el brazalete. El dispositivo permite enviar los datos a través de él de forma inalámbrica. En nuestro caso, está conectado al ordenador y el brazalete le envía los datos mediante *Bluetooth*.

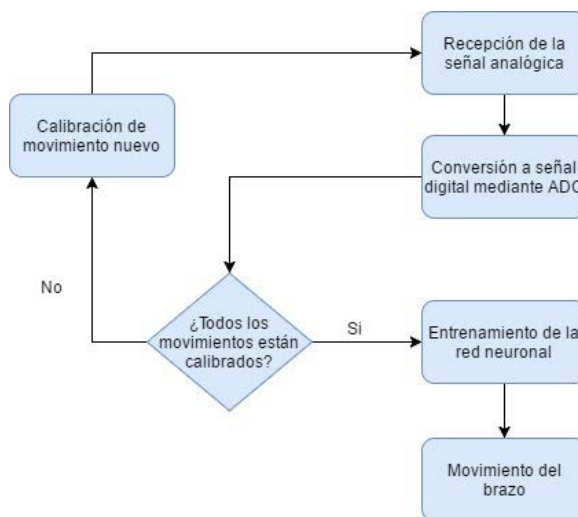
En el ordenador se ejecuta una aplicación creada en Visual Estudio en idioma de programación C#, en la cual se reciben los datos del brazaletes y se realiza un entrenamiento mediante una red neuronal para ser capaz de discretizar la información a aportar al brazo; de esta forma el sistema requiere un proceso previo de entrenamiento, así como una gran cantidad de datos que entrenar antes de comenzar a dar una salida del sistema.

El resultado de la red neuronal se transforma en movimientos programados que se envían al microcontrolador para controlar la recepción de datos. En la placa, la cual se encarga de controlar el brazo completo, se encuentran las conexiones necesarias para el funcionamiento de los distintos dispositivos.

El brazo robótico se encarga de imitar los movimientos que ejercemos nosotros en el brazo que tenemos colocado el brazaletes. En la parte de los motores del brazo, se utilizan servomotores. Este tipo de motor es la mejor alternativa para la aplicación que desempeñara el brazo ya que podemos controlar el movimiento de los dedos y el giro de la mano. Los servomotores se encuentran conectados al microcontrolador a través de los pines de PWM de la placa. En este caso, los dispositivos no se alimentan desde el microcontrolador. Para la alimentación de los servomotores se usa una fuente de alimentación externa.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

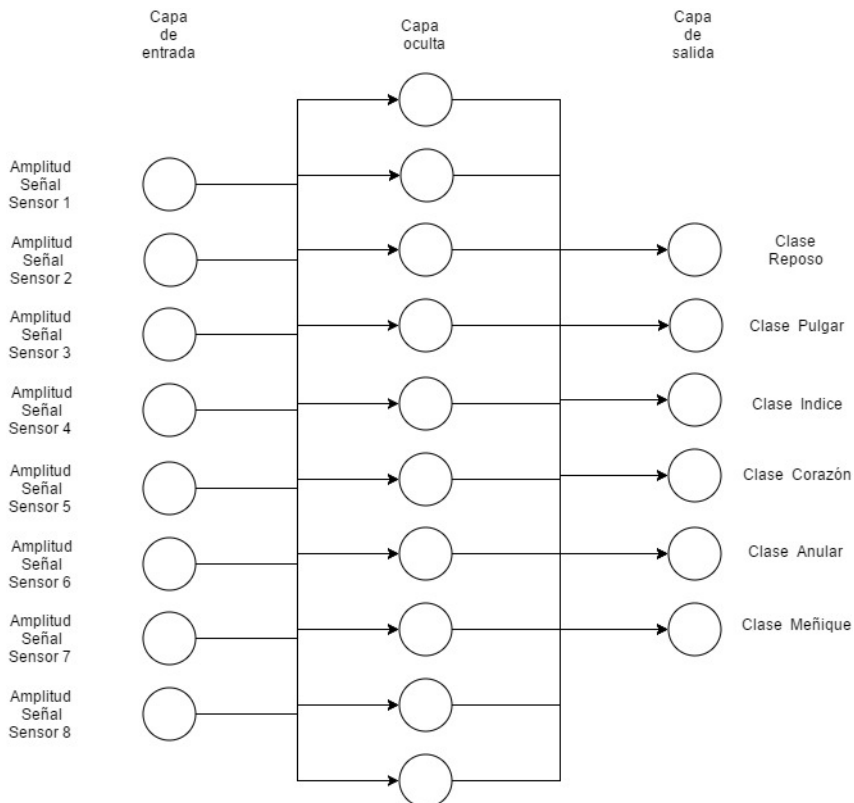
A continuación, podemos ver el diagrama de bloques del funcionamiento del electromiograma:



**Figura 2.** Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema.

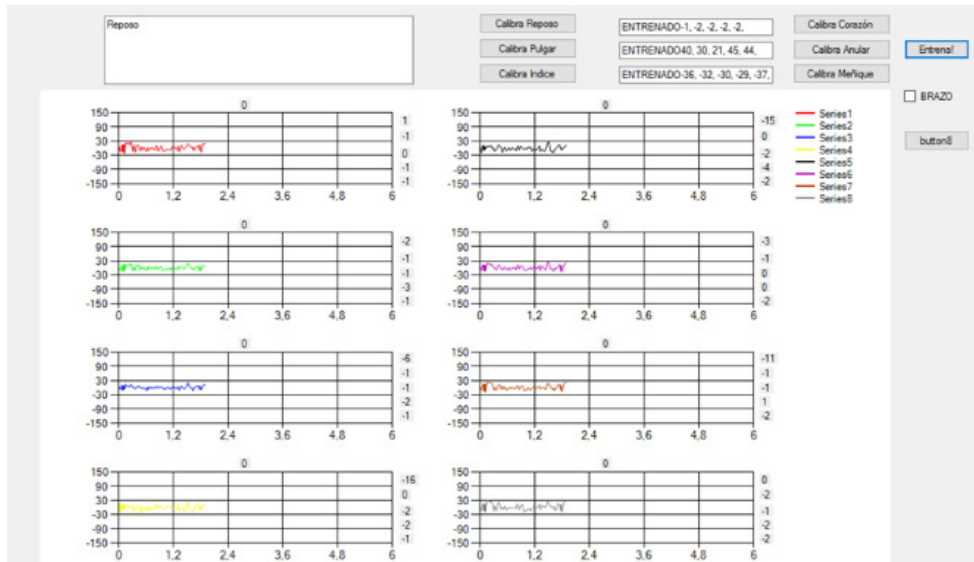
Se recibe la señal analógica de los electrodos colocados en el brazalete, seguidamente, el conversor analógico digital de 8 bits que posee el brazalete, convierte la señal analógica en un rango digital de 0 a 255 bits, si los movimientos no están calibrados, se calibran todos los movimientos primeramente, después de tener todos los sensores perfectamente calibrados, hacemos que las muestras de calibración las entrene el sistema de red neuronal que hemos puesto en el código para que el programa sea capaz de distinguir bien los movimientos automáticamente. Por último, una vez que el sistema está entrenado, las señales se mandan al brazo para que se mueva de la forma que nosotros le mandamos a través de los biopotenciales eléctricos de los músculos.

La estructura de la red neuronal del sistema se compone por una capa de entrada, una de salida y una capa oculta. A continuación, puede observarse la estructura completa:



**Figura 3.** Estructura de la red neuronal.

Por otro lado, la aplicación desarrollada, encargada de la comunicación y el entrenamiento, puede observarse a continuación:



**Figura 4.** Aplicación de usuario.

En cuanto a las pruebas, se realizaron de tres tipos diferentes: en primera instancia se hicieron pruebas de integración del sistema para comprobar el correcto funcionamiento de todas las partes desarrolladas; seguidamente, para el entrenamiento del sistema se obtuvieron los porcentajes de acierto para varios sujetos y en múltiples ocasiones (los resultados del entrenamiento no bajaron en ningún caso del 85%); y finalmente se realizaron pruebas de usabilidad con los pacientes que habían servido de sujetos de prueba para la red neuronal.



**Figura 5.** Prueba de funcionamiento.

## CONCLUSIONES

Una vez finalizado el proyecto completamente, los objetivos del proyecto se han cumplido completamente. Se ha diseñado, integrado y testado un sistema basado en el movimiento de un brazo robótico a través de la lectura de los sensores EMG de un brazalete y el entrenamiento de la información recibida por el pc mediante redes neuronales.

El porcentaje de éxito tras el entrenamiento y testeo con 8 sujetos no disminuyó en ningún caso del 85%; estando la media por encima del 90% de éxito en la clasificación del sistema neuronal. Los resultados son satisfactorios y los usuarios han mostrado interés en la materia.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado y financiado dentro del grupo de investigación TEP-108: Robótica y Tecnología de Computadores de la Universidad de Sevilla.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Langevin, G. (2014). *InMoov-Open Source 3D printed life-size robot*. Recuperado de: [http://www.amputee-coalition.org/spanish/inmotion/nov\\_dec\\_07/history\\_prosthetics.x96942pdf](http://www.amputee-coalition.org/spanish/inmotion/nov_dec_07/history_prosthetics.x96942pdf)
- [2] Escribà Montagut, G., *et al.* (2016). Inmoov robot: building of the first open source 3D printed life-size robot. Tesis de Licenciatura.
- [3] Ciancio, A. L., *et al.* (2016). Control of prosthetic hands via the peripheral nervous system. *Frontiers in neuroscience*, 10, p. 116.
- [4] Ganiev, A., Shin, H.S., y Lee, K.H. (2016). Study on virtual control of a robotic arm via a myo armband for the selfmanipulation of a hand amputee. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(2), pp. 775-782.
- [5] Shin, H.S., Ganiev, A., y Lee, K.H. (2015). Design of a Virtual Robotic Arm based on the EMG variation. Proc. ASTL.
- [6] Yang, C., *et al.* (2015). Teleoperated robot writing using emg signals. En Information and Automation. *IEEE International Conference. IEEE*, pp. 2264-2269.

- [7] Sathiyarayanan, M., y Rajan, S. (2016). MYO Armband for physiotherapy healthcare: A case study using gesture recognition application. En *Communication Systems and Networks (COMSNETS), 8th International Conference*. IEEE, pp. 1-6.
- [8] Byoyali, A., Hashimoto, N., y Matsumoto, O. (2015). Hand posture and gesture recognition using MYO armband and spectral collaborative representation-based classification. En *Consumer Electronics (GCCE), IEEE 4th Global Conference*. IEEE, pp. 200-201.



# **REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON MOVILIDAD REDUCIDA USANDO EXOESQUELETO Y TÉCNICAS DE GAMIFICACIÓN**

**Domínguez-Bobillo, José Miguel; Domínguez Morales, Manuel\*; Miró-Amarante, Lourdes; Linares-Barranco, Alejandro**

Grupo de Robótica y Tecnología de Computadores.

Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: [mjdominguez@us.es](mailto:mjdominguez@us.es)

## **RESUMEN**

Este proyecto denominado consiste en la creación de un prototipo de exoesqueleto para su utilización en personas con movilidad reducida en brazos y manos. Está enfocado en entrenar al paciente con distintos grados de ejercicios y esfuerzos para ayudar en las tareas de recuperación del movimiento y aumentar así la movilidad de estas partes del cuerpo ante mencionadas. Para realizar estas funciones, el prototipo está formado por: una exo-mano que permite mover los dedos del usuario gracias al uso de motores, un exo-brazo que cuenta con un motor en el codo que ayuda al movimiento del brazo y una aplicación software con el que el usuario interactúa con el exoesqueleto y permite el entrenamiento y recolección de datos de éste. La exo-mano es capaz de imitar los movimientos de la mano del usuario a partir de un sensor que mide el grado de actividad del músculo de la mano, mientras que el exo-brazo calcula el grado de curvatura en función de su posición. Los componentes hardware del prototipo se interconectan con las aplicaciones software gracias al microcontrolador conectado al puerto serie del PC. La aplicación software está formada por dos juegos en los que cada uno entrena una parte diferente: un juego estilo Pong con el que el usuario entrena el movimiento del brazo y en función de su grado de movilidad, el exo-brazo se adapta para ofrecer mayor o menor ayuda, y un juego con el que entrenar el movimiento tanto del brazo como de la mano, en el que la exo-mano se adapta al grado de movilidad de la mano.

## **PALABRAS CLAVE**

Rehabilitación, Gamificación, Exoesqueleto.

## ABSTRACT

This project called ExoKit consists on the creation of a prototype of exoskeleton for its use in people with reduced mobility in arms and hands. It's focused on training the patient with different types of exercises and efforts to help in the tasks of recovery of movement and thus increase the mobility of these parts of the body mentioned above. To perform these functions, the prototype consists of: an exo-hand that allows the user's fingers to move thanks to the use of motors, an exo-arm that has a motor in the elbow that helps arm movement and a software application with the one that the user interacts with the exoskeleton and allows the training and data collection of the same. The exo-hand can imitate the movements of the user's hand from a sensor that measures the degree of activity of the hand muscle, while the exo-arm calculates the degree of curvature as a function of its position. The hardware components of the prototype are interconnected with the software applications thanks to the microcontroller connected to the serial port of the PC. The software application consists of two games in which each of them trains a different part: a Pong style game with which the user trains the movement of the arm and depending on their degree of mobility, the exo-arm is adapted to offer more or less help, and a game with which to train the movement of the arm as well as the hand, in which the exo-hand adapts to the degree of mobility of the user's hand.

## KEYWORDS

Rehabilitation, Gamification, Exoskeleton.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

En la actualidad, parte de la población mundial sufre de accidentes o posee enfermedades que le provocan pérdida de movilidad parcial o total en partes de su cuerpo. Es un problema que va en aumento desde hace años, y la medicina trata de solucionarlo mediante diagnósticos y terapias. Existe una rama específica de la medicina enfocada en estos problemas, y se llama fisioterapia.

Es definida como la especialidad que se ocupa de la evaluación, tratamiento y seguimiento de niños y adultos con enfermedades del Sistema Muscular, Esquelético y Neurológico, que produzcan dolor y/o algún grado de limitación funcional, ya sea transitoria o permanente.

La fisioterapia es considerada una rama muy reciente de la medicina, pero que lleva un largo recorrido de investigaciones e ideas que fueron llevando a cabo los seres humanos desde la antigüedad hasta nuestros días. Su origen se remonta a la Prehistoria, donde los hombres primitivos hacían uso de calor o frío para aliviar zonas heridas del cuerpo. Aunque los primeros testimonios escritos aparecen en China y tratan sobre ejercicios terapéuticos y masaje.

En la Grecia y Roma Antigua, se hicieron grandes avances en este campo, ya que se le daba una gran importancia al ejercicio físico y fueron las épocas donde surgieron los estiramientos, termas, gimnasios y lugares de reposo.

Desde entonces, se hicieron más investigaciones, pero hasta el siglo XX no se le dio la debida importancia y se avanzó seriamente en ella. Esto ocurrió por el estallido de la Primera Guerra Mundial, en la que numerosos soldados murieron o sufrieron lesiones que le provocarían incapacidad para el resto de sus vidas. A partir de entonces, hospitales militares y escuelas de distintas partes del mundo, se centraron en investigar este campo.

El objetivo principal de este trabajo es la creación de un prototipo funcional de las partes de un exoesqueleto asociadas a las manos y a los brazos. Con ello, se busca ofrecer apoyo a personas con movilidad reducida.

El proyecto cuenta con una gran componente hardware y software, por lo que el proyecto se encuentra dividido en dos partes, y en cada una de ellas se han seguido unos objetivos para llevar a cabo tanto la finalización del prototipo hardware del exoesqueleto como el software utilizado para interactuar con él.

Las partes de exoesqueleto a implementar en el prototipo son las que se utilizan para las partes de las manos y de los brazos. Por lo que, es necesario construir ambas partes y conectar los sensores y motores que se utilizarán para llevar a cabo su creación y funcionalidad.

Sera necesario desarrollar un exo-brazo que sea ergonómico y permita una fácil colocación para el usuario, así como, que esté preparado para poder hacer uso de sensores y de un motor que permita el movimiento libre del codo sin restringirlo.

Será necesaria la creación de una exo-mano como complejidad hardware añadida al proyecto. Esta exo-mano debe permitir la movilidad de la mano y los dedos, así como ofrecer apoyo al usuario mediante el uso de motores asociados al movimiento de los diferentes dedos de la mano.

Se utilizará un microcontrolador para hacer uso de sensores y controlar las dos partes del exoesqueleto. El microcontrolador debe permitir la conexión con la aplicación software que se desarrollará posteriormente.

Se desarrollará una aplicación que permitirá su control mediante el uso del exoesqueleto y será capaz de enviarle información. Además, deberá ofrecer ayuda al usuario en función de la movilidad que ofrezca tanto en las manos como en los brazos.

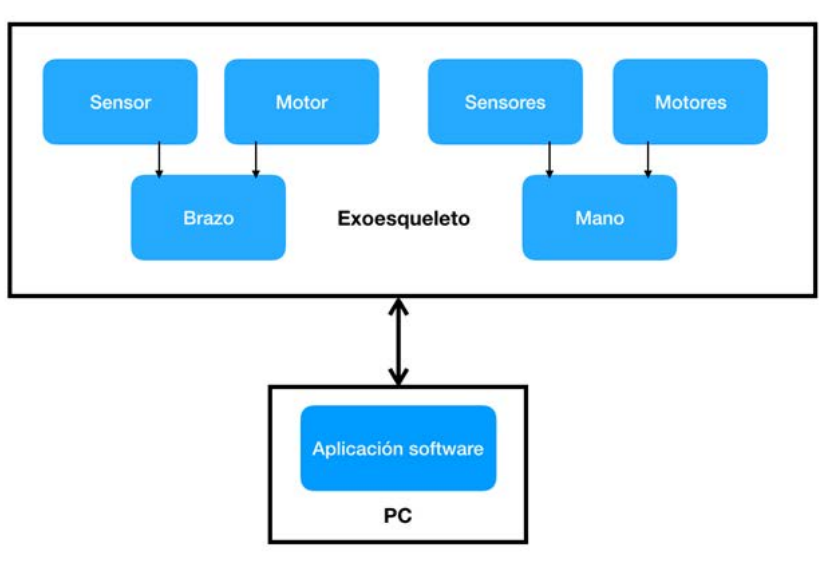
## **METODOLOGÍA**

La arquitectura del sistema está dividida en dos partes principales: el exoesqueleto que engloba la parte del brazo y la mano, y la aplicación software que es un videojuego. Ambas partes están comunicadas mediante conexión puerto serie entre el microcontrolador y el PC.

Cabe destacar que hubo varias iteraciones en el proyecto, y en ellas se fueron probando distintos sensores y cambiando la idea de la utilidad que tendría el exoesqueleto.

El exoesqueleto controla el movimiento dentro del juego, por lo que es el encargado de enviar la información al juego para que sepa el movimiento que debe realizar.

El juego presenta distintas modalidades, y eso afecta a la forma de transmisión de datos, ya que existe un modo automático para ayudar a usuarios que apenas puedan mover los brazos; por lo que, en función del modo de juego, la transmisión de datos puede ser en un único sentido o en dos (esto se ve reflejado en la doble flecha del diagrama).



**Figura 1.** Diseño del sistema.

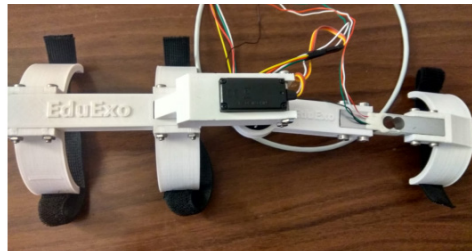
La transmisión de datos entre el exoesqueleto y el juego es realizada a través del puerto serie mediante la conexión del microcontrolador al PC.

El microcontrolador forma parte de una placa ST-Nucleo, que cuenta con un aspecto muy parecido a la Arduino Nano para que sea más fácil su integración en el exoesqueleto, y es la encargada del control y funcionamiento del exoesqueleto; así como del envío y recepción de datos a través del puerto serie.

La parte del exoesqueleto relacionada con el brazo es la encargada del control del movimiento del codo, por lo que permite detectar la posición en la que se encuentra el brazo del usuario y a su vez permite ayudar en el movimiento gracias al servomotor. Los componentes utilizados en el brazo han sido los siguientes:

- Exo-brazo 3D: Modelo 3D de un exoesqueleto para el brazo que permite su colocación mediante tiras de velcro, en él se encuentran integrados el servomotor y el sensor de fuerza.
- Sensor de fuerza: Utilizado en un principio para saber la fuerza que ejercía el usuario al mover el brazo. Estaba pensado para controlar el grado de ayuda que ofrecería el exoesqueleto en el movimiento del brazo, pero como al final se decidió hacer un juego, no era tan necesario un sensor así. Este sensor está más pensado para su uso en tareas externas como trabajo, que, para rehabilitación con un juego, ya que, con la información del juego y su modo de uso, ya es información suficiente para controlarlo.

- **Sensor EMG:** En el brazo se utilizó el Muscle Sensor v3, ya que cuenta con unos cables muy largos que permiten una colocación mucho más sencilla. En un principio se utilizaba para medir la actividad eléctrica del bíceps y controlar el servo a partir de él. En un principio estaba pensado para el envío de información al juego, el problema estaba en que el exoesqueleto en combinación con este sensor colocado era muy incómodo de utilizar, ya que los electrodos son muy grandes, y el exoesqueleto del brazo ocupa mucho espacio, por lo que decidimos descartarlo para el prototipo final.
- **Servomotor:** Es el encargado de controlar el movimiento del codo y de dar la información de la posición en grados en la que se encuentra el exoesqueleto, por lo que es una forma rápida y sencilla de controlar tanto la posición como si el usuario está moviendo el brazo de ascendente o descendente. Se eligió esta opción para el prototipo final por su sencillez y por el ahorro de espacio.

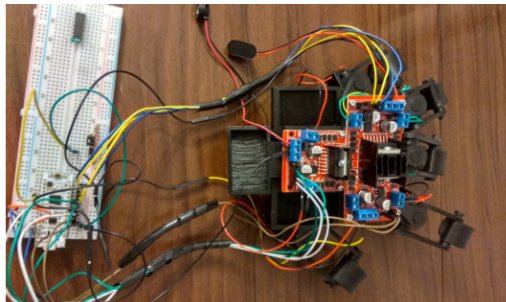


**Figura 2.** Exo-brazo.

La parte del exoesqueleto de la mano es la encargada del control del movimiento de los dedos de la mano, por lo que cuenta con motores en cada dedo para su movimiento y un sensor para controlar el movimiento de ellos. Los componentes utilizados son los siguientes:

- **Exo-mano 3D:** Modelo 3D de un exoesqueleto para la mano, y está diseñada de forma que incluya espacio en los dedos para colocar motores y para poder añadir los circuitos para su control en la parte superior.
- **Motores DC:** Son motores muy pequeños, pensados para el movimiento de los dedos del exoesqueleto. Son controlados a partir de los datos obtenidos del sensor.
- **Sensor EMG:** El sensor utilizado aquí es el Myoware, ya que su tamaño es ideal, y no estorba a la hora de colocar el exoesqueleto al completo. Permite medir el movimiento de la mano del usuario, por lo que se encarga de mandar los datos a los motores para controlar el movimiento y la dirección.

- Puentes en H: Como se explicó en el apartado anterior, son duales, y cada controlador permite conectar dos motores. Están acoplados a la parte superior de la mano y van alimentados con pilas, ya que la energía para alimentar los motores es de mínimo 6V.



**Figura 3.** Exo-mano.

Con respecto a la aplicación software, en un principio no estaba pensada su realización si no hacer simplemente un prototipo que, con el software del microcontrolador, fuera capaz de realizar tareas de rehabilitación, pero viendo las múltiples posibilidades que se habrían para adaptar su uso, se decidió añadir una aplicación software que terminó dando lugar a un juego. Al usar el exoesqueleto junto con un juego, ofrece más funcionalidad y entretenimiento, y encaja más para un producto de cara a ser comercializado.

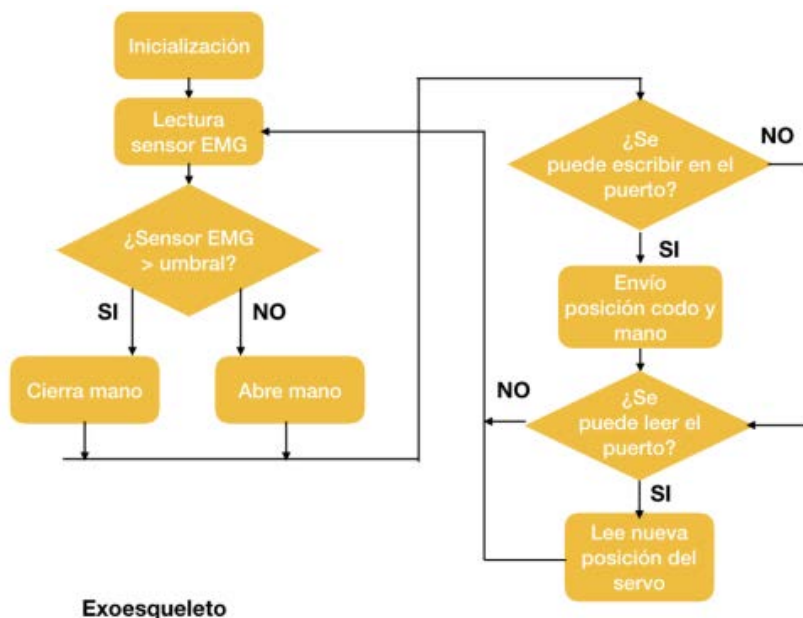
El juego está desarrollado con el motor de desarrollo Unity, ya que es gratuito, rápido de aprender y desarrollar, y permite fácil integración con dispositivos externos, como es en nuestro caso con el exoesqueleto. El juego en realidad son dos juegos por separado: uno de ellos para probar la funcionalidad de apoyo al movimiento para personas con muy poca movilidad, y otro pensado para gente que sigue teniendo un poco de movilidad.

Como la conexión es establecida por puerto serie, es necesario que el microcontrolador siempre esté conectado al PC para poder utilizar el exoesqueleto.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Tras el desarrollo, se presenta a continuación las aplicaciones desarrolladas, así como las pruebas realizadas sobre las mismas.

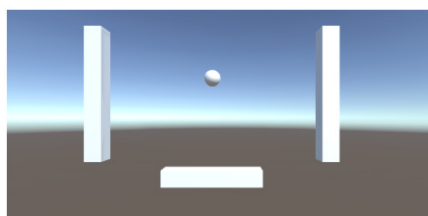
En primera instancia, cabe destacar el esquema de funcionamiento y comunicación del sistema empujado con el ordenador de propósito general; dicho funcionamiento viene descrito en el siguiente esquema:



**Exoesqueleto**

**Figura 4.** Esquema de comunicación del firmware.

Finalmente se desarrollaron dos videojuegos debido a la evolución del proyecto. En primera instancia y haciendo únicamente uso del exo-brazo, se desarrolló un videojuego similar al Pong, en el que el usuario debe estirar y contraer el brazo para mover la plataforma y, de dicha forma, impedir que la pelota toque el suelo. Puede apreciarse a continuación una imagen con el juego y otra con las pruebas realizadas sobre el mismo.



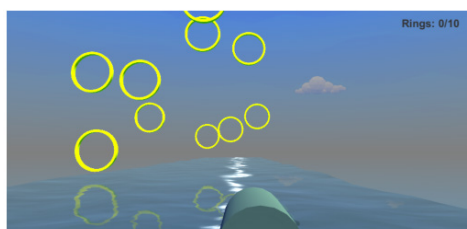
**Figura 5.** Juego Pong.



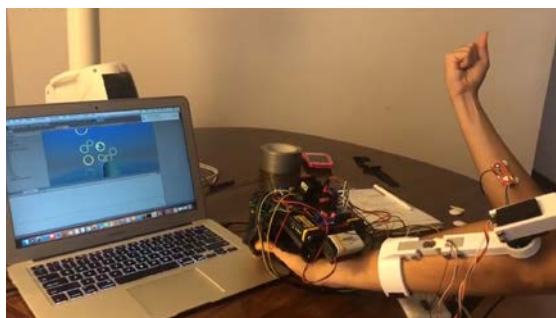


**Figura 6.** Prueba de juego Pong.

De igual forma, se desarrolló un segundo videojuego que integrara el movimiento del brazo y de la mano por igual. Dicho juego consiste en un cañón que dispara bolas y se deben encestar en los anillos que van apareciendo por el aire de forma aleatoria. Mediante el movimiento del brazo se puede subir y bajar el cañón; y, mediante el cierre de la mano se dispara una bola. A continuación, se aprecia el juego en funcionamiento y las pruebas realizadas sobre el mismo.



**Figura 7.** Juego de anillos.



**Figura 8.** Prueba de juego de anillos.

## CONCLUSIONES

Se ha diseñado, fabricado, montado y testeado un exoesqueleto de mano y otro de brazo. Se ha integrado un microcontrolador para controlar los movimientos del paciente y ayudar en el proceso de movilidad. Se le ha añadido al microcontrolador

la funcionalidad de comunicarse con el ordenador de propósito general con el fin de enviar la información del movimiento del paciente y poder integrarlo con la aplicación de pc. Se han desarrollado dos videojuegos para que el usuario ejercite el movimiento de brazo y mano a medida que avanza en los juegos.

Se le han dado funcionalidades al sistema para poder ser tratado como mecanismo de rehabilitación y ejercitación para pacientes con reducción de movilidad en brazo y mano.

El uso con pacientes ha sido satisfactorio y ha suscitado un amplio interés.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado y financiado dentro del grupo de investigación TEP-108: Robótica y Tecnología de Computadores de la Universidad de Sevilla.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bagnall, D.L. (2010). Physiatry: What's the end game? *PM&R*, 2(1), pp. 3-5.
- [2] Greenemeier, L. (2011). Robotic Exoskeletons from Cyberdyne Could Help Workers Clean Up Fukushima Nuclear Mess. *Scientific American*, 9(11), p. 11.
- [3] Backus, S.B., Odhner, L.U., y Dollar, A.M. (2014). Design of hands for aerial manipulation: Actuator number and routing for grasping and perching. En *Intelligent Robots and Systems (IROS 2014), IEEE/RSJ International Conference*. IEEE, 2014. pp. 34-40.
- [4] León, R. y Freddy, J. (2018). *Diseño y validación experimental de un dispositivo de rehabilitación adaptable para los dedos de la mano: DReAM*.
- [5] Manguerra, M.V., et al. (2018). Active Motor Control for an Upper Extremity Exoskeleton. *Advanced Science Letters*, 24(11), pp. 8837-8840.
- [6] Kontadakis, G., et al. (2018). Gamified platform for rehabilitation after total knee replacement surgery employing low cost and portable inertial measurement sensor node. *Multimedia Tools and Applications*, pp. 1-28.
- [7] Komarova, S. (2018). *Design a solution and a prototype for hand rehabilitation after trauma injures and post stroke*.

# **SISTEMA HW-SW DE TELEREHABILITACIÓN Y TELEMEDICINA PARA PACIENTES EPOC CON HIPERINSUFLACIÓN PULMONAR**

**De-Leste-Conde, Chantal; Domínguez-Morales, Manuel\*; Rivas-Pérez, Manuel;  
Linares-Barranco, Alejandro**

Grupo de Robótica y Tecnología de Computadores.  
Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores. Escuela  
Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: [mjdominguez@us.es](mailto:mjdominguez@us.es)

## **RESUMEN**

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica es la cuarta causa de muerte en el mundo. Gran parte de estos enfermos no están diagnosticados y a medida que avanza la enfermedad empiezan a aparecer dificultades en la respiración y cambios en la fisiología pulmonar. Entre estos cambios está la hiperinsuflación, los pacientes hiperinsuflados retienen aire en los pulmones. Por lo tanto, estos pacientes requieren de un seguimiento y necesitan hacer ejercicios específicos con dispositivos PEP (Presión Espiratoria Postiva) para expulsar este aire. En este proyecto se implementa un sistema que comprenda la función de espirometría y la función de telerehabilitación. Para esto se desarrolla por un lado una aplicación móvil que será la interfaz gráfica y el motor de cálculo, por otro se diseña un espirómetro de turbina que mediante bluetooth envía la velocidad del aire exhalado a la aplicación, y por último dos boquillas intercambiables, una para las pruebas de espirometría y otra que será la boquilla PEP para ejercicios de rehabilitación. Para la boquilla PEP, la cual integra la misma turbina para poder contar revoluciones, se diseñará un juego que mediante estimulación visual avisará al paciente de cuando espira demasiado fuerte o demasiado lento, ayudando así a que los ejercicios se hagan correctamente. Para la boquilla de espirometría, se calcularán la FVC, la FEV1, el Índice de Tiffenau y la curva flujo volumen y se almacenarán los resultados para verlos gráficamente en función del tiempo. Con este proyecto, se pretende dar facilidades y solución a las personas que padecen esta patología, cuyas necesidades requieren de ayuda externa de centros médicos para realizar el seguimiento de su enfermedad y llevar a cabo la rehabilitación, de este modo, se ofrece la posibilidad de hacerlo desde casa y con un control equitativo al que podría dar el servicio técnico de un centro médico.

## **PALABRAS CLAVE**

EPOC, Telemedicina, Salud, PEP, Telerehabilitación.

## ABSTRACT

Chronic obstructive pulmonary disease is the fourth leading cause of death in the world. Many of these patients are not diagnosed and as the disease progresses, breathing difficulties and changes in pulmonary physiology begin to appear. Among these changes is hyperinflation, hyperinflation patients retain air in the lungs. Therefore, these patients require follow-up and need to do specific exercises with PEP (Positive Expiratory Pressure) devices to expel this air. In this project we want to implement a system that includes the function of spirometry (calculation of lung function) and telerehabilitation function. For this reason, it is developed on the one hand a mobile application that will be the graphical interface and computer brain, on the other hand is designed a turbine spirometer that by bluetooth sends the velocity of the exhaled air to the application, and finally two replaceable nozzles, one for spirometry tests and another that will be the PEP nozzle for rehabilitation exercises. For the PEP nozzle, which integrates the same turbine to be able to count revolutions, a game will be designed that, through visual stimulation, will alert the patient when exhales too hard or too slow, thus helping the exercises to be performed correctly. For the spirometry nozzle, the FVC, FEV1, Tiffenau Index and volume flow curve will be calculated, and the results stored for graphing as a function of time. With this project, it is intended to provide facilities and solutions to people suffering from this pathology, whose needs require external help from medical centers to follow up their disease and carry out rehabilitation, thereby offering the possibility of do it from home and with equitable control that could give the technical service of a medical center.

## KEYWORDS

EPOC, e-Health, Rehabilitation, PEP.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

El interés hacia la enfermedad obstructiva pulmonar crónica, EPOC, se debe al reconocimiento de la importancia de la EPOC como causa de morbilidad, invalidez y mortalidad a nivel mundial. En el año 2014 (último año que se dispone de datos) se produjeron en España 395.830 defunciones, de las cuales 43.841 fueron a causa de enfermedades del sistema respiratorio, siendo esta la tercera causa de muerte en España.

La principal causa de la aparición de la EPOC es el tabaquismo y la inhalación de partículas. Además de factores de riesgo como las complicaciones perinatales y enfermedades de la infancia, factores genéticos como el déficit de  $\alpha$ 1-antitripsina y la hiperreactividad de la vía aérea (por alérgenos y por infecciones broncopulmonares repetidas). La espirometría es la principal prueba de la función pulmonar, y es imprescindible para el seguimiento de enfermedades respiratorias como EPOC.

La EPOC es una enfermedad obstructiva, donde se tienen las vías respiratorias inflamadas y obstruidas por gases nocivos, mayormente el tabaco. La EPOC, produce dos cambios patológicos importantes, la obstrucción de las vías aéreas y la pérdida de la retracción elástica del pulmón. Normalmente, el parénquima pulmonar tracciona de las vías aéreas para mantenerlas abiertas, y esta pérdida de la retracción elástica como el incremento de la resistencia de las vías aéreas contribuyen a disminuir el flujo espiratorio, puesto que el flujo a través de las pequeñas vías aéreas es inversamente proporcional a su resistencia y directamente proporcional al gradiente de presiones. Debido a estos dos cambios, durante un ciclo respiratorio normal, los alveolos tienen dificultad para vaciarse durante la fase espiratoria, con lo que son incapaces de retornar a la situación previa a la inspiración. Esto produce un trastorno conocido como atrapamiento aéreo y que ocurre en todos los pacientes con EPOC, independientemente de su gravedad. La consecuencia más inmediata del atrapamiento aéreo en la EPOC es el desarrollo de hiperinsuflación. La hiperinsuflación dinámica HD, es una consecuencia del atrapamiento, el volumen pulmonar al final de la espiración, EELV, no se sitúa en el punto pasivo de relajación de la caja torácica y de los pulmones, sino que se establece a una presión positiva al final de la espiración, auto-PEEP, antes de que la espiración pueda llegar al volumen de relajación, Vr.

Lo que se pretende diseñar en el presente proyecto es un sistema software-hardware con aplicación en telerehabilitación y telemedicina para pacientes con EPOC que por consecuencia están hiperinsuflados.

Para hacer realidad este objetivo se creará una aplicación en iOS, parte software del proyecto, que está compuesta de una sección para realizar pruebas de espirometría forzada, donde se podrán almacenar los resultados y enviarlos al profesional que realice el seguimiento del paciente. Otra sección que albergará un ejercicio de telerehabilitación para pacientes hiperinsuflados, y la sección de registro de los datos.

Además, se desarrollará un dispositivo compuesto por una base y dos boquillas sustituibles (boquilla para espirometría y boquilla PEP) para intercambiarlas en función de lo que el usuario vaya a realizar. El dispositivo estará compuesto por sensores y un microcontrolador, informará a la aplicación en tiempo real de la velocidad al que el paciente espira por la boquilla, esto permite crear juegos interactivos y realizar pruebas de espirometría en cualquier lugar.

## **METODOLOGÍA**

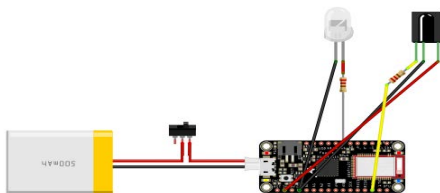
El principio de funcionamiento del espirómetro de turbina es que la velocidad de giro de la hélice es proporcional al flujo; por tanto, a más flujo, más veces se interrumpirá el haz de luz. Esto crea interrupciones en el microcontrolador, es decir vamos a obtener un tren de pulsos. Este tren de pulsos nos da la frecuencia a la que gira la turbina por lo que podemos calcular las revoluciones por minuto para luego calcular el flujo y el volumen.

A la hora de elegir un tipo de espirómetro se han estudiado los diferentes tipos de espirómetros que hay actualmente y se ha decidido en función de las características que más se adecuan a nuestros requisitos. Existen varios tipos de espirómetros, pero se clasifican en dos grupos:

- Espirómetros de Volumen: registran la cantidad de aire exhalado o inhalado en un determinado intervalo de tiempo.
- Espirómetros de flujo: miden que tan rápido fluye el aire cuando se desplaza hacia adentro o hacia afuera del pulmón, conforme se incrementa el volumen de gas inhalado o exhalado.

Dentro de los espirómetros de volumen tenemos el de campana o de agua, de pistón y de fuelle, dentro de los espirómetros de flujo tenemos los neumotacógrafos de tipo fleisch, lilly y desechable, espirómetros de hilo caliente, de ultrasonidos y el espirómetro de turbina. Tras haber estudiado todos estos, se eligió el de turbina porque es entre los que hay el de más fácil implementación, menor coste y más económica reparación.

En la figura siguiente se muestra el esquema de conexiones del prototipo en el PC. El esquema incluye todos los componentes y adaptaciones con el pinout correspondiente de la placa.



**Figura 1.** Conexionado del sistema.

El circuito de adquisición de la señal se compone de dos diodos, un emisor de infrarrojos y un receptor. En el caso del receptor o fotodiodo, se polariza inversamente. Para que el microcontrolador detecte el cambio en ese pin de entrada, se va a conectar el colector del fotodiodo al pin de interrupciones externas. Una vez que tengamos configurada la interrupción, podremos calcular las revoluciones por minuto. Para calcularlas se utiliza la siguiente fórmula:

$$rpm = \frac{n^{\circ} \text{ de pulsos}}{n^{\circ} \text{ de aspas}} * \frac{1 \text{ minuto}}{\text{tiempo entre cada lectura}} \quad \text{Ecuación 1.}$$

El flujo es la cantidad de aire en volumen V expirado en un tiempo determinado. Para calcular el flujo a través de las revoluciones por minuto primero debemos calcular la velocidad angular:

$$\omega = rpm * \frac{2\pi}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ m.}}{60 \text{ s.}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Luego obtenemos la velocidad lineal multiplicando por el radio:

$$v = \omega * r \quad \text{Ecuación 3}$$

El flujo lo obtenemos por la ecuación de continuidad, donde S es la sección de la turbina:

$$\dot{V} = S * v \quad \text{Ecuación 4}$$

$$S = \pi * r^2 \quad \text{Ecuación 5}$$

El volumen V es la integral del flujo en tiempo:

$$V = \int \dot{V} dt \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde: V = Volumen (L), = Flujo (L/s), n° de aspas = 2, Tiempo entre cada lectura: 0.2 segundos.

La aplicación se va a dividir en cuatro secciones de acuerdo con las cuatro diferentes funciones que va a tener:

- Sección de espirometría: El paciente al entrar en esta sección leerá las instrucciones de la prueba, tendrá que poner la boquilla para los tests, luego realizará la prueba 3 veces seguidas tomándose el tiempo que necesite entre una y otra. La aplicación rechazará las pruebas no válidas. Por último, la aplicación calculará en base a los 3 resultados la prueba válida y presentará los resultados en pantalla y mediante una gráfica, luego el usuario podrá enviar dicha gráfica a su médico y guardar los datos si lo cree necesario.
- Sección de ejercicios: El paciente deberá sustituir la boquilla por la boquilla PEP y realizará los ejercicios mediante un juego guiado, deberá mantener una nave espacial entre dos paredes de pinchos que en caso de que toque, la aplicación emitirá un sonido. De esta forma el paciente podrá saber si está realizando el ejercicio correctamente.
- Sección de resultados: En esta sección el usuario podrá ver gráficamente los resultados de sus pruebas. Su fev1 por día, semana, mes o año. Así verá su avance a lo largo del tiempo.
- Sección Bluetooth: Escanea los dispositivos conectados y se conecta automáticamente a nuestro dispositivo si lo encuentra.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras la descripción del sistema; a continuación, se presenta el diseño final del dispositivo hardware.



**Figura 2.** Diseño del prototipo.

Una vez terminada la etapa de impresión, se integraron y soldaron todos los componentes del sistema, y se procedió a la etapa de pruebas. En esta etapa se realizaron pruebas al dispositivo y a la aplicación, en la siguiente figura se puede ver el resultado de realizar una prueba de espirometría (sección de tests) con la aplicación diseñada.



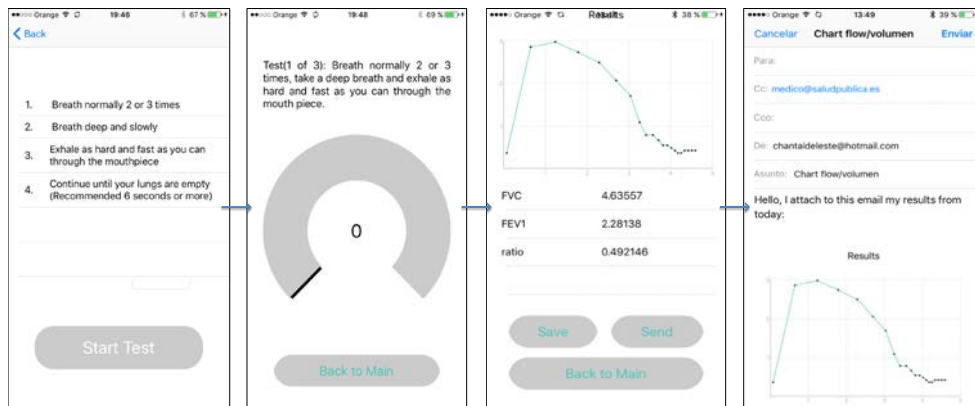


Figura 3. Espirómetro.

La sección de entrenamiento está formada por un juego de móvil en el cual se debe mantener la nave dentro de los límites de la escena sin chocar con los laterales; esto se realiza mediante la espiración del paciente. Como se puede observar en la figura siguiente, la nave se mantiene flotando si el usuario exhala el aire de manera pausada, es decir las revoluciones son las deseadas, si aumenta demasiado se chocará con los pinchos de la parte superior y su exhala muy flojo se chocará con los de abajo, emitiendo un pitido que el usuario escuchará para poder corregir a tiempo.

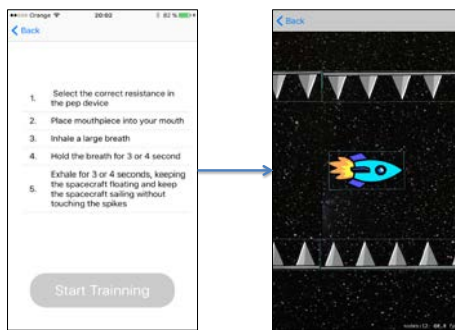


Figura 4. PEP.

Y por último tenemos la sección de resultados. Aquí podremos ver los resultados de las pruebas en gráficas (por horas, semana, mes y año) y sólo tendremos que pulsarlos para generar la gráfica deseada. La gráfica nos mostrara los valores de fev1 que hemos ido registrando. Este valor figura como un índice altamente representativo de la capacidad ventilatoria y es el indicativo habitual de obstrucción de flujo aéreo.



**Figura 5.** Resultados.

Finalmente, se compararon los resultados del prototipo con los resultados un equipo comercial de espirometría, VITALOGRAPH modelo ALPHA Touch en 5 pacientes y así poder medir el error. Los resultados obtenidos están en las siguientes tablas, se puede observar un error bajo y por lo tanto una buena precisión y exactitud de los resultados.

**Tabla 1.** Pruebas FVC.

	Sexo	Edad (años)	Altura (m)	FVC comercial (L)	FVC prototipo (L)	Error (%)
<b>Persona 1</b>	F	24	1.66	5.15	5.00	2.91
<b>Persona 2</b>	M	22	1.70	4.71	4.63	1.69
<b>Persona 3</b>	M	19	1.77	4.51	4.73	4.87
<b>Persona 4</b>	F	25	1.72	4.10	4.21	2.68
<b>Persona 5</b>	M	27	1.82	5.33	5.54	3.93

**Tabla 2.** Pruebas FEV1.

	Sexo	Edad (años)	Altura (m)	FEV1 comercial (L)	FEV1 prototipo (L)	Exactitud (%)
<b>Persona 1</b>	F	24	1.66	3.56	3.8	6.31
<b>Persona 2</b>	M	22	1.70	3.88	3.70	4.64
<b>Persona 3</b>	M	19	1.77	3.71	3.82	2.87
<b>Persona 4</b>	F	25	1.72	3.64	3.72	2.19
<b>Persona 5</b>	M	27	1.82	4.10	4.29	4.63

## CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un espirómetro portátil con transmisión de datos inalámbricos. Permite calcular las variables FEV1, FVC, el índice de Tiffenau, y dibujar la curva flujo volumen. Se ha implementado una aplicación para iOS tanto para la espirometría como para los ejercicios con la boquilla pep. Ha resultado muy útil el uso de un espirómetro de turbina, por su simpleza, por su económico precio en componentes y por la facilidad de limpiar la boquilla. Se diseñó un juego amigable para el usuario para realizar correctamente sus ejercicios con la boquilla pep. Se

han asegurado el registro de los resultados del paciente mediante un apartado en la aplicación que accede a resultados anteriores y los muestra tanto gráfica como numéricamente.

Se ha demostrado que el dispositivo con las aplicaciones desarrolladas posee unos resultados más que aceptables comparados con dispositivos comerciales.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado y financiado dentro del grupo de investigación TEP-108: Robótica y Tecnología de Computadores de la Universidad de Sevilla.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Banner, M., *et al.* (2011). *Effects of expiratory flow resistance on inspiratory work of breathing.*
- [2] Padkao, T., *et al.* (2010). Conical-PEP is safe, reduces lung hyperinflation and contributes to improved exercise endurance in patients with COPD: a randomised cross-over trial. *Journal of Physiotherapy*, 56, pp. 33-39.
- [3] Monteiro, M., *et al.* (2012). Effects of Expiratory Positive Airway Pressure on Dynamic Hyperinflation During Exercise in Patients With COPD. *Respiratory Care*, 57(9), pp. 1405–1412.
- [4] Peces-Barba, G. (2005). Fisiopatología del atrapamiento aéreo en la EPOC. *Patol Respir*, 8 (supl. 2), pp. 255-261.
- [5] García-Río, F. (2005). Importancia del atrapamiento aéreo en la EPOC. *Archivos de Bronconeumología*, 41 (supl 3), pp. 18.
- [6] O'Donnell, D., *et al.* (2015). Lung hyperinflation in COPD: applying physiology to clinical practice. *COPD Research and Practice*, 1(4).
- [7] Russo, D., *et al.* (2016). ¿Cuál es el nivel óptimo de presión espiratoria positiva (PEP) capaz de mejorar la tolerancia a la deambulación de los pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) grave? *Archivos de Bronconeumología*, 52(7), pp. 354–360.
- [8] González-Nieto, V., *et al.* (2005). Rehabilitación respiratoria: aproximación a la situación en España. *Rehabilitación (Madrid)*, 39(3), pp. 128-33.
- [9] Trigo, M. (2003). Principales parámetros de función pulmonar en la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *Atención Primaria*, 32(3), pp. 169-76

- [10] García Río, F. (2007). Evaluación funcional respiratoria (obstrucción y *atrapamiento*). *Archivos de Bronconeumología*, 43 (supl 3), pp. 8-14.

# **TRAVEL PLANNER: SISTEMA EXPERTO EN LA NUBE PARA GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE RUTAS TURÍSTICAS EN BASE AL USUARIO**

**Tavero-Picón, Rubén; Romero-Sánchez, Miriam; Domínguez-Morales, Manuel\*; Linares-Barranco, Alejandro**

Grupo de Robótica y Tecnología de Computadores.  
Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores. Escuela  
Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: [mjdominguez@us.es](mailto:mjdominguez@us.es)

## **RESUMEN**

El turismo es un elemento de ocio en auge que cada vez aglutina a un sector más grande de la población, incluso a determinados sectores que hasta hace poco no podían permitirse este tipo de actividades. Dentro de este ámbito, cuando se realiza un gasto extraordinario en estos viajes se quiere aprovechar los mismos en la mayor medida posible, siendo necesario un proceso previo de planificación y búsqueda de información acerca del lugar que se vaya a visitar. Este proceso previo suele ser más tedioso que el viaje en sí, lo cual provoca innumerables problemas al respecto. Es por ello que surge este proyecto, destinado a desarrollar un sistema experto de ayuda a la planificación de rutas turísticas, permitiendo además almacenar la experiencia del usuario, que será clave para el entrenamiento continuo del sistema. Gracias a esta aplicación el usuario podrá crear un itinerario perfecto y totalmente adaptado a sus necesidades y gustos en cuestión de apenas unos segundos, reduciendo ese 18% del tiempo invertido a un 1%, o en su defecto, a un máximo de un 5% en el caso de que desee investigar más acerca de los lugares recomendados en la ruta planificada, o quiera probar otras configuraciones.

## **PALABRAS CLAVE**

Turismo, Sistema experto, App, Viajes, Planificación.

## ABSTRACT

Tourism is a growing element of leisure that increasingly brings together a larger sector of the population, including certain sectors that until recently could not afford this type of activity. Within this scope, when an extraordinary expense is made in these trips, it is wanted to take advantage of them as much as possible, being necessary a previous planning process and search of information about the place that is going to visit. This previous process is usually more tedious than the trip itself, which causes innumerable problems in this regard. That is why this project arises, aimed at developing an expert system to help with the planning of tourist routes, allowing also to store the user experience, which will be key to the continuous training of the system. Thanks to this application the user can create a perfect itinerary and fully adapted to their needs and tastes in just a few seconds, reducing that 18% of the time spent to 1%, or failing that, to a maximum of 5% In case you want to investigate more about the recommended places in the planned route, or want to try other configurations.

## KEYWORDS

Tourism, Expert system, App, Travel, Planification.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

Hoy día cada vez son más las personas en todo el mundo que aprovechan sus vacaciones para viajar y conocer diferentes lugares tanto a nivel nacional como internacional, convirtiéndose este último en una tendencia en auge, y es que ¿quién se iba a imaginar hace 80 años que viajar a cualquier parte del mundo fuera tan sencillo?, solamente con dos clics de ratón y sin la necesidad de salir de casa se puede organizar un viaje totalmente personalizado a cualquier lugar, y lo que es aún más importante, a precios muy atractivos. En el año 2017 se obtuvo un incremento del 7% en el turismo internacional, registrando uno de los incrementos más altos en los últimos 7 años. En España, según indican los resultados de la “Encuesta de Turismo de Residentes” realizada en el segundo trimestre del año 2017 por el Instituto Nacional de Estadística, se ha incrementado el número de viajes de los residentes españoles a la cifra de 50.4 millones, en el que el 8% de estos viajes se han realizado a países extranjeros y el 92% a zonas del territorio nacional, destacando las comunidades autónomas de Andalucía, Cataluña y la Comunidad valenciana como principales sitios turísticos [1].

Existen diversos factores que han influido de manera directa o indirecta en el crecimiento de estas cifras, como pueden ser:

- La mejora de la situación económica.
- El perfeccionamiento en los transportes, siendo cada vez más rápidos y baratos.
- El uso de las redes sociales para la promoción de ofertas y lugares exóticos a los que viajar.
- Una mayor oferta y variedad turística.
- La creación de aplicaciones de venta directa o agencias online que permiten hacer búsquedas totalmente personalizadas para encontrar vuelos y hoteles a precio “Low Cost”.
- La reducción en tiempo a la hora de realizar las reservas.

Es por esto por lo que el sector turístico se ha convertido en uno de los motores más importantes para el desarrollo económico de cualquier país, ya que estimula la creación de empleos gracias a la alta demanda provocada por los turistas y favorece su enriquecimiento debido a los gastos durante su estancia [2].

Hay que tener en cuenta también, que el turismo actual ha dado un cambio radical en cuanto al concepto de viaje se refiere. Sus preferencias han cambiado y buscan nuevas aventuras que los lleve a una inmersión total por cada nuevo destino a visitar, experimentando otras culturas, estilos de vida e incluso una gastronomía diferente, todo esto en un corto periodo de tiempo.

Sin importar la tipología de turista a la que pertenezca, todos ellos hacen un uso masivo de las redes sociales y las tecnologías a la hora de elegir y reservar un destino, el alojamiento o el transporte. Booking, Dreaming o TripAdvisor son solamente algunos ejemplos de páginas más visitadas junto con los blogs de viajes [3].

Del tiempo total destinado para el viaje, estos nuevos turistas dedican:

- Un 18% a la búsqueda de un nuevo destino. Investigan en diversas páginas webs y blogs cual puede ser el lugar más idóneo para la realización del viaje.
- Un 9% a la realización de la reserva. Esta reserva se hace mediante portales de venta directa o agencias online.
- Un 18% a la planificación del viaje. Buscan información sobre los diferentes sitios a visitar y que rutas realizar, contrastándolas con fotos, opiniones y puntuaciones de otros usuarios que han compartido su experiencia en esos lugares.
- Un 45% al disfrute del viaje.
- Un 10% a compartirlo en redes sociales.

La planificación del viaje se ha convertido a la vez que la búsqueda del destino en una fase donde el turista invierte una parte importante del tiempo. Esto puede deberse a la corta duración de los viajes y a la amplia oferta de sitios de interés cultural disponibles como posible lugar de destino para el viaje, lo que provoca que en ocasiones se haga tediosa o complicada la realización de un itinerario que permita aprovechar al máximo posible la estancia en el lugar.

Tras analizar y estudiar esta fase se han encontrado tres problemas principales que presentan todos los turistas a la hora de realizar la planificación de un itinerario para un destino:

- Quiero ver cosas en mi viaje, pero no quiero tener que planificarlo.
- Quiero ver lo máximo posible en lo que dure el viaje.



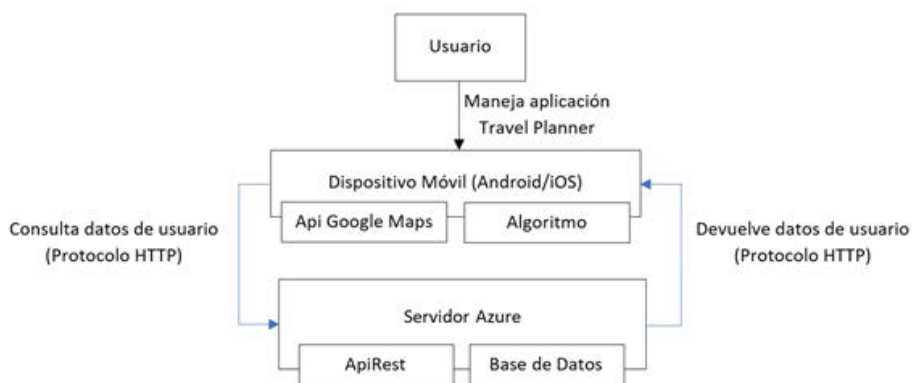
- Quiero que se ajuste a mis necesidades, presupuesto, gustos, requisitos, etc.

Como solución a esas tres problemáticas surge el proyecto emprendedor denominado Travel Planner, que consiste en una aplicación multiplataforma basada en un sistema de recomendación para ofrecer planificaciones de rutas de distintos lugares de forma automática y eficiente, en función de una serie de configuraciones establecidas por el usuario.

El objetivo principal de este proyecto es la creación de una aplicación multiplataforma basada en un sistema de recomendación que permita ofrecer una planificación de rutas de distintos lugares de forma automática y eficiente, en función de una serie de configuraciones establecidas por el usuario. Como subobjetivos, tenemos: Planificación dinámica de rutas de turismo en base al tiempo disponible, número de integrantes, etc.; Sistema de recomendaciones en base a la posición y la franja horaria; Seguimiento en tiempo real con avisos puntuales de cercanía y modificación de la planificación en base al tiempo restante; Almacenamiento de rutas realizadas para su posible repetición; Sistema de puntuaciones para futuras rutas.

## METODOLOGÍA

Todo el sistema se comunica a través de Internet mediante el protocolo HTTP para poder realizar el envío y la recepción de los datos.

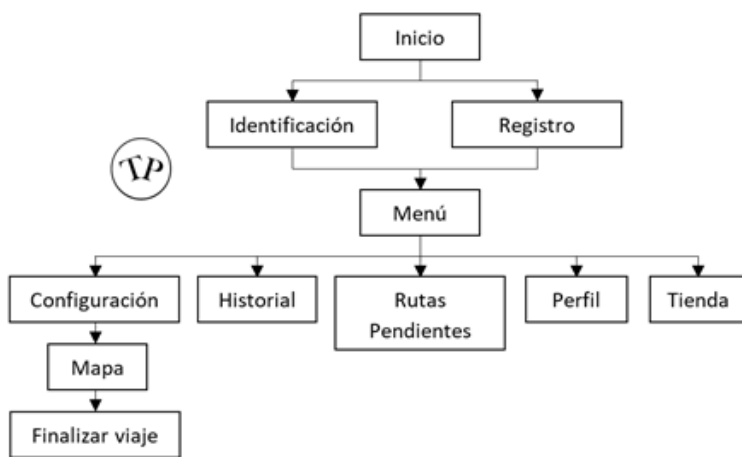


**Figura 1.** Diagrama de bloques.

Tal y como se aprecia en el diagrama de bloques anterior, lo primero que hará la aplicación será consultar los datos del usuario si este ya está registrado, o enviar los datos del formulario de registro que el usuario ha introducido. El servidor gestionará dichas consultas y devolverá los resultados o bien guardará los datos enviados en la propia base de datos alojada en el servidor.

Una vez realizado el envío y la posterior carga de datos, el usuario procederá a hacer uso de la propia funcionalidad para la que ha sido creada esta aplicación, es decir, procederá a crear nuevas planificaciones de viajes o consultar algunas de las rutas que ya se han almacenado previamente en su historial de rutas realizadas o en su lista de rutas pendientes de realizar.

El siguiente diagrama muestra una visión general del contenido de la aplicación, centrándose en cada una de las vistas que se han generado para ella y que posteriormente se describirán con mayor detalle en el presente documento.



**Figura 2.** Contenido de la aplicación.

Para que la aplicación genere un mapa que se ajuste a las preferencias seleccionadas por el usuario se ha decidido crear un algoritmo que, en base a dichas preferencias elegidas, devuelva unas localizaciones en el mapa por sus coordenadas.

El algoritmo será el encargado de ajustar la búsqueda de localizaciones, ya que previamente comprobará cuales son las localizaciones destacadas para que estas sean las primeras candidatas para pertenecer al mapa generado para el usuario.

El algoritmo constará dos partes: una primera parte que será la encargada de destacar unas localizaciones u otras en base a la puntuación de los usuarios y las categorías más demandadas; y una segunda parte que será la encargada de buscar en la base de datos las localizaciones, y filtrarlas en base a lo que el usuario desee.



Figura 3. Sistema generador de rutas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema desarrollado se ha sometido a múltiples pruebas de usuarios vía uso de la aplicación in situ y mediante encuestas anónimas online a través de una web diseñada a tal efecto (la aplicación se encuentra gratuita para que estos usuarios puedan probarla).

El resultado final de la aplicación se muestra en el siguiente diagrama de funcionamiento:

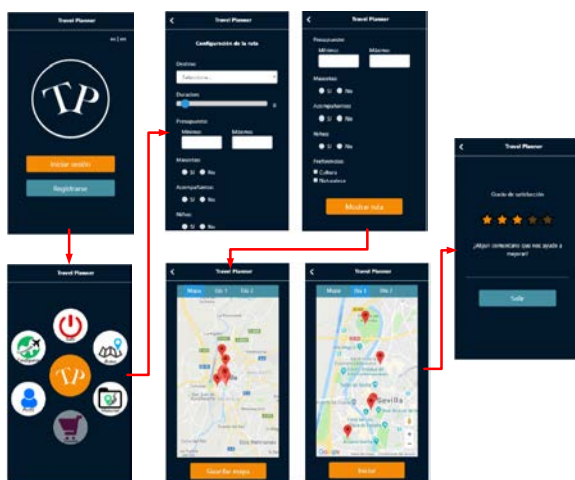


Figura 4. Aplicación final.

En cuanto a los resultados de las encuestas, puedes ser observado a continuación.



Figura 5. Resultados de las encuestas.

## CONCLUSIONES

El sistema desarrollado integra aplicación móvil, almacenamiento en la nube y sistema experto, convirtiéndolo en un proyecto novedoso y puntero en su sector.

Se ha desarrollado un sistema de planificación de rutas que ha demostrado ser funcional y útil. El sistema ha sido sometido a innumerables pruebas de estrés y a la crítica pública de los usuarios, obteniendo múltiples datos satisfactorios.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] Instituto Nacional de Estadística (28 de septiembre de 2017). Encuesta de Turismo de Residentes (ETR/FAMILITUR) Segundo trimestre de 2017.
- [2] Organización Mundial del Turismo (15 de enero de 2018). Resultado del turismo internacional en 2017: los más altos en siete años.
- [3] Garcia Butragueño, Angel y Brell, Jose Manuel (24 de octubre de 2017). ¿Qué tiempo dedicamos a cada viaje de ocio?
- [4] Europapress Andalucía (11 de diciembre de 2017). La empresa andaluza Past View, reconocido en los Luxury Travel Guide Awards.
- [5] Consejería de Turismo y Deporte. Junta de Andalucía (2016). Balance del Año Turístico en Andalucía. Año 2016.
- [6] Empresa Pública para la Gestión del Turismo y del Deporte de Andalucía. Junta de Andalucía (varios años). Segmentos turísticos.
- [7] Junta de Andalucía (31 de diciembre de 2011). Boletín Oficial de la Junta de Andalucía- Histórico del BOJA. Disposiciones generales.
- [8] Comisión Europea. La protección de datos en la UE.
- [9] Jefatura del Estado. BOE (12 de julio de 2002). Disposiciones generales.
- [10] Gobierno de España (Anualidad 2018). Guía dinámica de Ayudas e Incentivos para el emprendedor (14 de agosto de 2018).
- [11] Gobierno de España (Anualidad 2018). Ayudas e incentivos para empresas (17 de abril de 2018) Referencia: 62602.
- [12] Gobierno de España. Enisa. Jóvenes emprendedores.
- [13] Gobierno de España (Anualidad 2018). Ayudas e incentivos para empresas (17 de abril de 2018) Referencia: 62601.
- [14] Gobierno de España (Anualidad 2018). Guía dinámica de Ayudas e Incentivos para empresas por Comunidad Autónoma.



# **CLASIFICACIÓN DE TUMORES EN CÁNCER DE MAMA BASADO EN REDES NEURONALES DE CONVOLUCIÓN**

**Durán-López, Lourdes\***; **Domínguez-Morales, Juan P**; **Luna-Perejón, Francisco**;  
**Amaya-Rodríguez, Isabel**; **Civit-Masot, Javier**; **Vicente-Díaz, Saturnino**; **Linares-Barranco, Alejandro**

Robótica y Tecnología de Computadores  
Arquitectura y Tecnología de Computadores. Escuela Técnica Superior de  
Ingeniería Informática. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: lduran@atc.us.es

## **RESUMEN**

El cáncer de mama es una de las causas más frecuentes de mortalidad en las mujeres. Con la llegada de los sistemas inteligentes, la detección automática de tumores en mamografías se ha convertido en un gran reto y puede jugar un papel crucial para mejorar el diagnóstico médico. En este trabajo, se propone un sistema de diagnóstico asistido por ordenador basado en técnicas de Deep Learning, específicamente en redes neuronales de convolución (CNN). El sistema está dividido en dos partes: en primer lugar, se realiza un preprocesamiento sobre las mamografías extraídas de una base de datos pública; posteriormente, las CNNs extraen características de las imágenes preprocesadas para finalmente clasificarlas en función de los dos tipos de tumores existentes: benignos y malignos. Los resultados de este estudio muestran que el sistema tiene una precisión del 80% en clasificación de tumores.

## **PALABRAS CLAVE**

Cáncer de mama, Mamografía, Deep Learning, Redes neuronales de convolución.

## **ABSTRACT**

Breast cancer is one of the most frequent causes of mortality in women. With the arrival of the artificial intelligent, the automatic detection of tumors in mammograms has become a big challenge and can play a crucial role in improving medical diagnosis. In this work, a computer-aided diagnosis system based on Deep Learning techniques, specifically in Convolutional Neural Networks (CNN), is proposed. The system is divided into two parts: first, a preprocessing is performed on mammograms taken from a public database; then, the CNN extracts features of the preprocessed images to finally classify them accordingly to the type of tissue. The results of this study show that the system has an accuracy of 80% in the classification.

## **KEYWORDS**

Breast cancer, Mammography, Deep Learning, Convolutional Neural Network (CNN).



## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El cáncer de mama es una de las causas más frecuentes de mortalidad en las mujeres [1]. Se origina cuando se produce una multiplicación anormal de células en el tejido mamario.

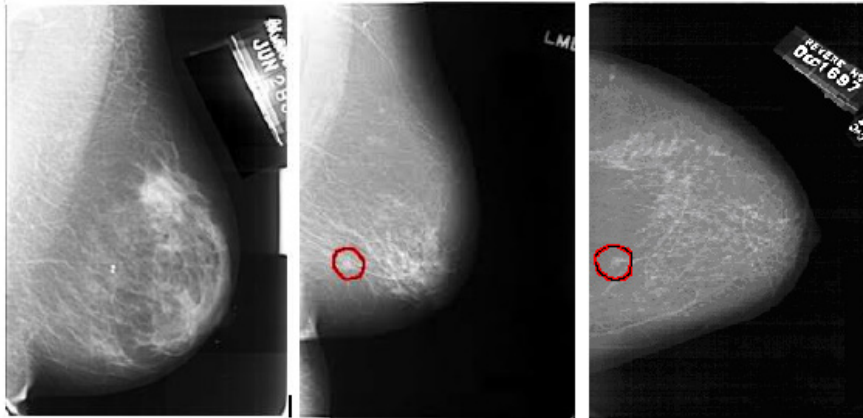
Actualmente, la mamografía es el método más eficaz para la detección de esta enfermedad. Sin embargo, el diagnóstico por un experto de este tipo de técnica no es siempre efectivo debido a razones incluyendo factores relacionados con el propio experto, como descuido o fatiga ocular, y factores externos, como la calidad de la imagen mamográfica [2]. Un diagnóstico computarizado (CAD) puede proporcionar una segunda opinión reproducible para un radiólogo, que puede reducir los diagnósticos falsos negativos, mejorando así la calidad de vida de los afectados.

Existen varios tipos de anomalías en mamografías. Los tumores y las microcalcificaciones son los principales indicadores de malignidad en las mamografías. Los tumores se atribuyen a cualquier lesión o protuberancia en la mama, pudiendo ser benignas o malignas; mientras que las microcalcificaciones son zonas donde se acumula una gran cantidad de calcio. En este trabajo, estudiaremos un sistema de diagnóstico computarizado para la clasificación de regiones de interés, en este caso de los dos tipos de tumores y tejido sano, aplicando algoritmos de Deep Learning como son las redes neuronales de convolución (del inglés *Convolutional Neural Network*, CNN).

## METODOLOGÍA

### Base de datos

Las mamografías se obtuvieron de la base de datos pública llamada Digital Database for Screening Mammography (DDSM). La DDSM [3][4] contiene 2.620 mamografías escaneadas. Incluye casos sanos, benignos y malignos con información patológica verificada (Figura 1).

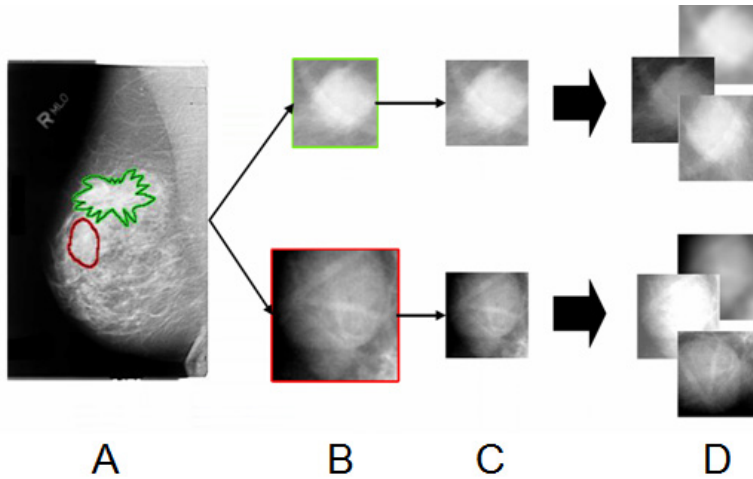


**Figura 1.** Mamografías extraídas de la DDSM. De izquierda a derecha: mama sin evidencia de anomalía, mama con presencia de tumor maligno y mama con tumor benigno. En rojo: localización del tumor en la imagen.

Estas mamografías se procesaron para obtener el conjunto de datos de entrenamiento (Figura 2). En primer lugar, se extrajeron los tres tipos de regiones de interés (ROIs) de este estudio: tumores benignos, malignos y tejido sano. Debido a que cada tumor tiene un tamaño particular, las imágenes de las ROIs se redimensionaron a 100x100 píxeles con el fin de que tuvieran el mismo tamaño.

Puesto que los algoritmos de Deep Learning requieren una gran cantidad de datos para un entrenamiento adecuado, se utilizó una técnica para aumentar el número de datos de entrenamiento. Este método es un proceso que genera nuevos datos a partir de los originales utilizando diferentes técnicas de transformación [5,6]. Así, aumentamos 9 veces nuestro conjunto de datos de partida al aplicar los siguientes tipos de transformaciones: tres rotaciones con ángulos de 90º, 180º y 270º, modificaciones de brillo y cambios de enfoque, dando lugar a un conjunto de datos de 80.500 imágenes.

Todas las imágenes obtenidas tras realizar el aumento de datos se mezclaron al azar para evitar cualquier sesgo de clasificación.



**Figura 2.** Esquema del procesamiento de las mamografías. A: mamografía de partida. B: proceso de extracción de la ROI. C: redimensionado. D: técnica de aumento del conjunto de datos.

## Red Neuronal de Convolución

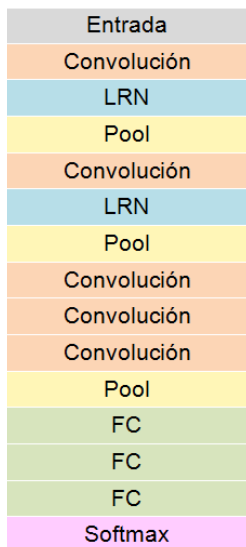
La red neuronal de convolución consiste en un conjunto de capas, que, en primer lugar, extraen características de una imagen, y, posteriormente, realizan su clasificación en base a las características extraídas.

### I. Arquitectura de la red

La organización de cada una de las capas de la red neuronal constituye la arquitectura de la red. Existen arquitecturas ya definidas, como la AlexNet [7], la cual consta de 15 capas (Figura 3) entre las que figuran:

- **Convoluciones:** conjunto de filtros que se ajustan para la extracción de características de una imagen.
- **LRN (Local Response Normalization):** su función está inspirada en el concepto biológico de inhibición lateral en el cual una neurona se activa con respecto a sus vecinas, permitiendo un aumento en la percepción sensorial, es decir, detecta altas frecuencias en las características de la imagen.
- **Pool:** se encargan de extraer información más profunda, después de recibir las características convolucionales. Realizan un barrido de la imagen de entrada, definido por una ventana de  $M \times N$ .

- **FC (Fully Connected):** las neuronas en una capa FC tienen conexiones con todas las activaciones en la capa anterior, como se ve en las redes neuronales artificiales no convolucionales, para crear así un modelo.
- **Softmax:** es la capa de salida de la red neuronal, cuyo objetivo es asignar probabilidades decimales a cada clase.



**Figura 3.** Arquitectura de AlexNet.

En este estudio, aplicamos esta arquitectura como red para clasificar los tres tipos de regiones de interés del estudio.

## II. Entrenamiento y testeo

Para entrenar la red, se utilizó el 75% del conjunto total de los datos. Para testar la red una vez ya entrenada y ver su capacidad de clasificación se usó el 15% restante.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

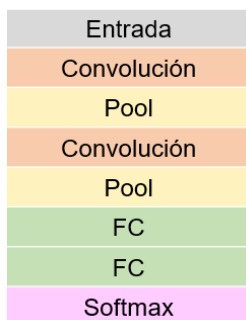
Tras entrenar la AlexNet, se obtuvo un 80% de acierto (accuracy) en clasificación de las imágenes del conjunto de test. En la Tabla 1 se resumen los resultados.

**Tabla 1.** Resumen de resultados.

	Accuracy			Total
	Tejido sano	Tumor benigno	Tumor maligno	
<b>AlexNet</b>	98%	70%	71%	<b>80%</b>

Los resultados obtenidos muestran que la red es capaz de clasificar con un 98% de acierto las imágenes de tejido sano, mientras que para diferenciar los dos tipos de tumores gira en torno al 70% de acierto. Esto demuestra que es mucho más eficaz distinguiendo de forma binaria entre tejido sano y anómalo.

Se llevó a cabo un estudio comparativo con otras arquitecturas conocidas, como la LeNet [8] (Figura 4).



**Figura 4.** Arquitectura de LeNet.

Como se puede observar en la Tabla 2, AlexNet es capaz de obtener mejores resultados en cuanto a la clasificación comparando con LeNet, la cual alcanza un 69% de acierto. Es importante mencionar que la primera, AlexNet, está formada por un mayor número de capas de convolución, dando lugar a una estructura mucho más compleja que la que posee LeNet. Esto da lugar a que la red sea capaz de extraer no sólo más características, sino también más complejas y variadas, permitiendo que el clasificador distinga con mayor certeza las distintas clases que se han estudiado para esta aplicación.

**Tabla 2.** Comparativa de resultados obtenidos.

	Accuracy			Total
	Tejido sano	Tumor benigno	Tumor maligno	
<b>AlexNet</b>	98%	70%	71%	<b>80%</b>
<b>LeNet</b>	90%	59%	60%	<b>69%</b>

## CONCLUSIONES

En este trabajo, se ha estudiado la aplicación de algoritmos de Deep Learning para la clasificación de tumores y tejido sano en mamografías. En particular, se ha aplicado una red neuronal de convolución llamada AlexNet, con la cual se ha llegado al 80% de acierto de clasificación para las tres regiones de interés. El sistema ha demostrado tener una gran capacidad de diferenciación entre tejido sano y tumor, con un 98% de

Durán-López, L.; Domínguez-Morales, J. P.; Luna-Perejón, F.; Amaya-Rodríguez, I.; Civit-Masot, J.; Vicente-Díaz, S.; Linares-Barranco, A.

acierto, aunque la clasificación entre los dos tipos de tumores es mejorable. Para la mejora de este sistema, estamos actualmente estudiando la aplicación de otras redes más complejas que se adapten mejor al problema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bray, F., Ferlay, J., Soerjomataram, I., Siegel, R. L., Torre, L. A., y Jemal, A. (2018). Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: a cancer journal for clinicians*.
- [2] Singh, H., Sethi, S., Raber, M., y Petersen, L. A. (2007). Errors in cancer diagnosis: current understanding and future directions. *Journal of clinical oncology*, 25(31), 5009-5018.
- [3] Heath, M., Bowyer, K., Kopans, D., Moore, R., y Kegelmeyer, W. P. (2000). The digital database for screening mammography. En *Proceedings of the 5th international workshop on digital mammography*, pp. 212-218. Medical Physics Publishing.
- [4] Heath, M., Bowyer, K., Kopans, D., Kegelmeyer, P., Moore, R., Chang, K., y Munishkumar, S. (1998). Current status of the digital database for screening mammography. *Digital mammography*, pp. 457-460.
- [5] Jiao, Z., Gao, X., Wang, Y., y Li, J. (2016). A deep feature based framework for breast masses classification. *Neurocomputing*, 197, 221-231.
- [6] Kooi, T., Litjens, G., van Ginneken, B., Gubern-Mérida, A., Sánchez, C. I., Mann, R., ... Karssemeijer, N. (2017). Large scale deep learning for computer aided detection of mammographic lesions. *Medical image analysis*, 35, 303-312.
- [7] Krizhevsky, A., Sutskever, I., y Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, pp. 1097-1105.
- [8] LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., y Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), pp. 2278-2324.

# **GESTIÓN INTEGRADA DE LA CALIDAD, MEDIO AMBIENTE, SEGURIDAD Y SALUD LABORAL BAJO LA TRIPLE E Y EL PARADIGMA HOLÓNICO FRACTAL**

**Acuña-Quintana, Juan Francisco; De las Heras-García de Vinuesa, Ana\*;  
Aguayo-González, Francisco; Córdoba-Roldán, Antonio**

Grupo de Investigación: TEP-022.: Diseño Industrial e Ingeniería del Proyecto y la Innovación.

Ingeniería del Diseño. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: [adelasheras@us.es](mailto:adelasheras@us.es)

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo plantear una propuesta que contribuya a la creación de un Sistema Integrado de Gestión de calidad, medioambiente, seguridad y salud laboral apoyándose en el paradigma holónico y construyendo una propuesta incardinada en la Triple E. Con la implantación de las normas ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001 (ISO 45001) desde un enfoque sistémico, las empresas son consideradas como un conjunto de procesos que tienen que ser gestionados con todas sus variables, de manera eficaz y eficiente, para así visibilizarse en el mercado como actuante responsable a lo que demandan todas las partes interesadas.

Esta situación promueve dar respuesta a la necesidad que poseen en la actualidad las empresas de encontrar herramientas que faciliten la gestión de los procesos de manera responsable e integral. Se propone un marco de trabajo donde desarrollar una propuesta a través de una herramienta informática que haga realidad esta integración.

## **PALABRAS CLAVE**

Sistema de Gestión Integrada (SGI), Triple E, Holónica, Seguridad.

## **ABSTRACT**

The objective of this work is to develop a proposal that contributes to the creation of an Integrated Management System for quality, environment, safety and occupational health, based on the holonic paradigm and building a proposal included in the Triple E. With the implementation of the ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001 (ISO 45001) standards from a systemic approach, companies are considered as a set of processes that have to be managed with all their variables, in an effective and efficient manner, in order to become visible in the market as a responsible actor to what all interested parties demand.

This situation promotes a response to the need that companies currently must find tools that facilitate the management of processes in a responsible and comprehensive manner. It proposes a framework where to develop a proposal through a computer tool that makes this integration a reality.

## **KEYWORDS**

Integrated Management System (IMS), Triple E, Holonics, Security.



## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

Cualquier empresa, puede ser entendida como un conjunto de procesos que interactúan para ofrecer un producto o prestar un servicio a un cliente. Estos procesos, que tienen lugar en distintos ámbitos de la organización y a distintos niveles, deben ser planificados, realizados y controlados con el fin de conseguir los resultados que se proponen, es decir, deben ser gestionados.

Si se entiende la empresa como un conjunto de procesos, la gestión de empresa entonces equivale a la de todos los procesos que en ella tienen lugar. Deben ser administrados para conseguir la máxima eficacia y eficiencia empresarial y, en la medida en que se consideren las distintas variables de cada proceso (ambiente, personas, procesos, materiales, equipos, productos, etc.) y se gestionen de la mejor forma, se estará optimizando su funcionamiento.

Con la implantación de las normas entre ellas la ISO 9001, se ha propiciado que las organizaciones se familiaricen con la estructura de un sistema de gestión, documentando los distintos procesos, asignando responsabilidades y formalizando registros que permitan evidenciar el funcionamiento del sistema ante terceros.

Desde el ámbito de la responsabilidad social el concepto de una empresa con un buen desempeño se amplía, abarcando otros aspectos relacionados con la salubridad y la higiene ambiental. Aspectos que en la actualidad son de gran importancia para las comunidades, por involucrar la salud y el medio ambiente y por permitirles destacarse en el mercado para las empresas que los protegen.

Movidas por este interés, algunas organizaciones han comenzado a implantar otros sistemas de gestión para controlar y mejorar los aspectos más sensibles de la organización relacionados con el medio ambiente, la seguridad y salud laboral, con la implantación de normas ISO 14001 y OHSAS 18001 respectivamente. Esto supone una multiplicación de recursos, costes y esfuerzos para los empresarios.

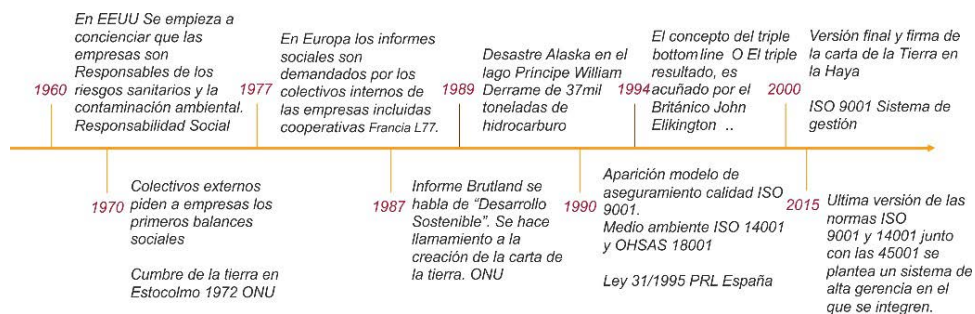
Existe una gran variedad de iniciativas internacionales en materia de normas y presentación de informes que contemplan los temas sociales y medioambientales a partir de los cuales las empresas pueden diseñar planes de gestión, en términos de sostenibilidad económica, ecológica y de equidad social. Sin embargo, existe un riesgo en la forma en que se viene afrontando esta triada; el manejar cada sistema por separado les representa duplicación de esfuerzos y costos.

Bajo el anterior marco, se entiende que las empresas requieren de herramientas que les permitan encontrar un cómo, en la difícil tarea de enfrentar todos estos retos.

Este trabajo centra su atención en resolver un cómo integrar los sistemas de Calidad, Medio ambiente, Seguridad y Salud Laboral, a través de una propuesta que sirva de espacio para la gestión documental de los sistemas y espacio de interacción entre los actores involucrados con el Sistema de gestión. Se trata de una propuesta en su etapa de diseño que contribuya en la integración de los sistemas de calidad, medio ambiente, seguridad y salud laboral, bajo el paradigma holónico fractal y el triple resultado.

## ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

La gestión de la calidad, el medio ambiente, la seguridad y la salud laboral, deben ser los pilares fundamentales de las empresas sostenibles, a continuación, se presenta en la Figura 1 un recorrido de los principales hechos que han dado paso a los sistemas de gestión integrada en el concepto de sostenibilidad, en la responsabilidad social corporativa en la Triple bottom line y en la integración de los sistemas de gestión.



**Figura 1.** Timeline acontecimientos más importantes.

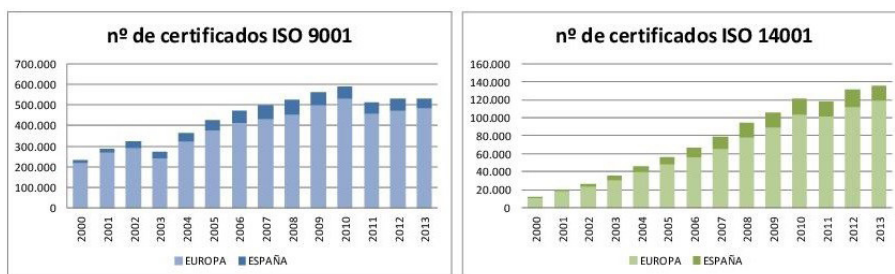
Según Ferguson, García y Bornay [1], durante los años noventa fueron apareciendo las normas nacionales, europeas e internacionales para la calidad (ISO 9000), la protección medio ambiental (ISO 14001 y Reglamento EMAS) y para la seguridad e higiene en el trabajo (BS 8800 y BSI- UK; OHSAS 18001 y 18002- USA).

La existencia de separación entre los tres tipos de sistemas de gestión ocasiona dificultades y duplicidades de esfuerzo, por lo que ciertas empresas se están planteando la integración como un modo de disminuir los costes y simplificar las actuaciones, gracias a la generación de sinergias, y la eliminación de la confusión y la suboptimización [2]. El interés por la aplicación de los SGI se está comprobando tanto en la literatura sobre la práctica directiva [3, 4] como en la más académica [5, 6, 7].

No obstante, la lentitud con la que se están produciendo las aplicaciones empresariales de los SGI tiene que ver, en primera instancia, con la ausencia de una normativa específica que hace que sean las propias empresas las que tengan que realizar diseños ad hoc según sus características y contingencias. El SGI, por tanto, es un sistema de sistemas” que retiene en todo caso la identidad propia de los sistemas individuales [8]. Es en este punto donde nace la necesidad de la aportación de este trabajo, que parte de las normativas UNE EN 66177 y la PAS99, vigentes actualmente en España sobre SGI.

## Situación ISO en España

Actualmente España se encuentra entre los primeros diez países del mundo con mayor número de certificados, siendo en ISO 9001 el 4º en Europa y el 8º en el mundo. En ISO 14001 3º en Europa y el 5º en el mundo. Sin embargo, en ISO 9001 se ha reducido considerablemente desde 2008, pasando de 69.000 a 32.700 empresas certificadas. Esto representa el 52% de los certificados



**Figura 2.** Certificados ISO 9001 y 14001 al año 2013 España y Europa.

## PARADIGMAS DE INTEGRACIÓN

Dado el concepto de integración de los sistemas y los diferentes aportes de los autores en donde se muestran los beneficios que representa para las empresas, se desea encontrar referentes sustentables en la naturaleza que nos ayuden a entender a facilitar el proceso de integración.

Es viable tener en cuenta ejemplos de la naturaleza que nos ayuden a encontrar una dinámica de interacción para facilitar su aplicación en el mundo empresarial, la pregunta sería ¿Puede encontrarse en la naturaleza la integración de características análogas al triple resultado?, de la misma forma que modelos como los algoritmos genéticos como paradigma fractal han ayudado a resolver la complejidad en la economía y la administración.

## **Paradigma holónico**

El holismo considera que el “todo” de un sistema es más complejo que la simple suma de cada una de sus partes. El holismo defiende el sinergismo entre las partes y no la individualidad de cada una. Un Sistema Holónico es conceptualizado a partir de una serie de entidades abstractas, denominadas holones. El término “holón” fue acuñado Arthur Koestler y lo definió como una entidad que era todo y al mismo tiempo una parte.

Un sistema de holones que operan para conseguir un objetivo se llama Holarquía. Un holón puede formar parte de varias holarquías y, a su vez, es una en sí mismo [9].

Un sistema holónico se basa en un sistema de jerarquía “hacia arriba” o “hacia abajo” y que combina las mejores características de las estructuras de dirigir con las de cooperar. En este modelo lo importante es la estructura de las partes que componen el sistema, así como sus interacciones.

## **Paradigma fractal**

El término fractal proviene del latín fractus que significa “fragmentado”. Se aplica al conjunto de formas generadas normalmente por un proceso de repetición, se caracteriza por poseer similitud en toda escala. En términos sencillos, un fractal es una estructura que está compuesta por pequeñas partes, las cuales son parecidas a la figura original, que se repite en diferentes escalas, desde grandes (macro) hasta pequeñas (micro).

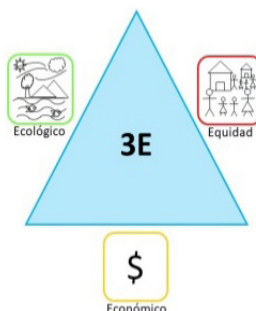
La unidad básica en este modelo es el fractal. El modelo de arquitectura fractal representa una estructura construida por fractales. Un fractal es una estructura cuyo diseño se puede representar completamente a cualquier nivel de la jerarquía, es decir, posee invariancia escalar.

El término fractal puede representar un sistema entero de fabricación al más alto nivel o una máquina física al nivel inferior. Cada fractal proporciona servicios de acuerdo con un objetivo a nivel individual y actúa independientemente mientras trata de conseguir el fin de todo el sistema.

En un sistema fractal no existe organización predefinida, cada fractal tiene sus propios recursos con capacidades de autoorganización. Esta característica permite un entorno dinámico dentro de la unidad, lo que hace posible el trabajo con constantes cambios en la estructura de la empresa y una rápida reacción ante requisitos externos.

## Triple E

El concepto de sostenibilidad que abarca tres pilares fundamentales, el primero la sostenibilidad económica, cuando la empresa concentra su atención a la rentabilidad del negocio, el segundo la sostenibilidad social cuando actúa con una visión de equidad, atendiendo a los diferentes segmentos del mercado, buscando trabajar en pro de la creación de riqueza social y atención de los grupos desfavorecidos, y la tercera la sostenibilidad ambiental, cuando su actuar es responsable en la protección del medio ambiente.



**Figura 3.** Estructura fractal de la sostenibilidad.

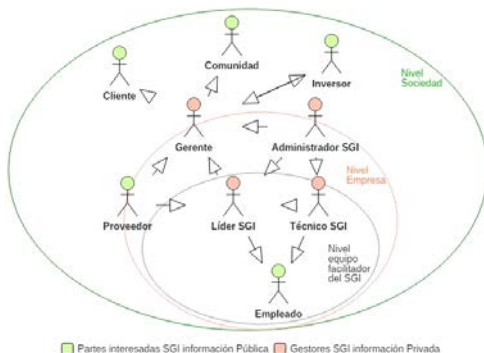
## PROPUESTA

La parte central de la propuesta se centra en establecer un marco de trabajo para desarrollar una herramienta informática que permita crear un SGI con una gestión sencilla, incluyendo roles a los diferentes actores. Para ello, se realiza una Analogía de un Sistema Inmunológico con una Empresa SGI

Aspecto	Sistema Inmunológico	Empresa
Económico	Hacer el sistema resistente y eficiente. Facilitar su adaptación y supervivencia. Organizado en 3 líneas de defensa según la complejidad.	Direccionamiento estratégico. Mejora continua.
Ecológico	Autorregulación del sistema y depuración. Haciendo más sensibles y receptivos a sus actores, estimulando la comunicación.	Plan de manejo ambiental.
Equidad	A nivel externo se asocia con bacterias (micro biota). A nivel interno asegura la actualización de todos sus actores para hacerlos más eficientes frente a nuevos ataques.	Integración con la comunidad de su entorno, (partes interesadas). Plan de formación.

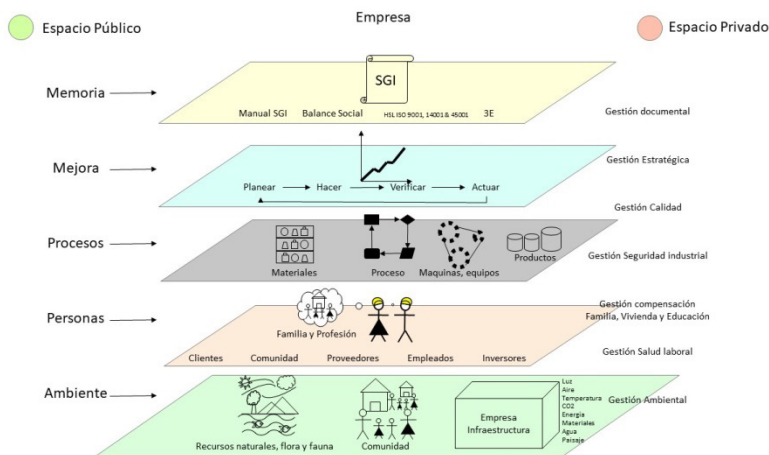
**Figura 4.** Analogía sistema inmunológico – empresa.

De aquí se definen los holones dentro de la holarquia partes interesadas: Externos (todas las personas al exterior de las instalaciones de la empresa que se relacionan con ella), Miembro del equipo gerencial, Administrador SGI (encargado de administrar la herramienta de gestión), Técnico SGI (técnico especializado), Líder SGI y Empleado.



**Figura 5.** Analogía sistema inmunológico – empresa.

Ahora se definirán las clases que contendrán la información que utilizarán los usuarios en el protomodelo, se hará a partir de un diagrama de clases. Primero que todo se agrupan todos los elementos que son de interés en el SGI, para ello se en la Figura 6 se muestra el conjunto de elementos Empresa SGI.



**Figura 6.** Diagrama de clases.

Para llevar a cabo toda la gestión se propone la creación de una herramienta informática que pueda albergar toda la información y donde puedan acceder con diferentes roles los actores. Este último paso de la investigación, así como la aplicación a un caso estudio de una empresa se está llevando a cabo en la actualidad para su implementación.

## CONCLUSIONES

Existen muchos modelos de gestión integrada y propuestas de informes de reporte de responsabilidad social; pero en ellos no se plantea métodos para la recogida de la información ni cómo integrar esta acción con el quehacer de la empresa sin que parezca una tarea adicional que le representa un esfuerzo adicional.

Los paradigmas holónico y fractal, permiten hacer un análisis del funcionamiento del sistema empresa y la posibilidad de compararle con otros sistemas en la esfera natural. En el ejercicio de esto se encuentra similitud a nivel macro en cuanto a cómo se encuentra organizados los ecosistemas, con la forma en que se organizan los procesos de sistemas a nivel micro. Se concluye entonces que solamente en la esfera humana se considera posible manejar por separado acciones del orden natural como el estar en equilibrio con los demás sistemas naturales, el uso suficiente de recursos, la protección del sistema y orientación al mejoramiento continuo.

El planteamiento de una herramienta informática no constituye la solución al problema de integrar los sistemas de gestión de una organización, pero si ofrece una alternativa para integrar los esfuerzos humanos que son en realidad los que necesitan de una integración para el éxito de un SGI.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ferguson, M.E. y García, M. (2002). *Modelos De Implantación De Los Sistemas Integrados De Gestión De La Calidad, El Medio Ambiente Y La Seguridad Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*. Cádiz: Universidad de Cádiz.
- [2] Beechner, A. B. y Koch, J.E. (1997). Integrating ISO 9000 and ISO 14000. *Quality Progress*, 30(2), pp.33-36.
- [3] Kaerkes, W.M. (1999). Sistemas integrados de gestión: actualidad y perspectiva futura. Una contribución a la eficiencia y desarrollo sostenido de la empresa. *Fórum Calidad*, 103, pp. 48-52.
- [4] Arteché, F. (2000). Los sistemas de Calidad, medio ambiente y prevención de riesgos laborales: un enfoque integrador. *Fórum Calidad*, 112, pp. 34-38
- [5] Bamber, C.J., Srarp, J.M., y Hides, M.T. (2010). Developing management systems towards integrated manufacturing: a case study perspective. *Integrated Manufacturing System*, 11(7), pp. 454-461.

- [6] Pheng, L.S. y Shiua, S.CH. (2010). The maintenance of construction safety: riding on ISO 9000 quality management systems. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 6(1), pp. 28-44
- [7] Scipioni, A., Arena, F., Villa, M., y Saccarola, G. (2011). Integration of management systems. *Environmental Management and Health*, 12(2), pp. 134-145
- [8] Wilkinson, G. y Dale, B.G. (2009). Integrated management systems: An examination of the concept and theory. *The TQM Magazine*, 11(2), pp. 95-104.
- [9] Aguayo González, F., Marcos Bárcena, M., Sánchez Carrilero, M., y Lama Ruiz, J.R. (2007). *Sistemas avanzados de fabricación distribuida*. Madrid: RA-MA EDITORIAL.



# **DETERMINACIÓN DEL MODELO DE COMPORTAMIENTO HASTA ROTURA DE LOS ACEROS CORRUGADOS TEMP CORE MEDIANTE MODELADO 3D**

**Herrera, MA\*; Hortigón, B; Ancio, F**

Departamento: Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Escuela  
Politécnica Superior. Universidad de Sevilla

\*E-mail: mariaaherreraa@gmail.com

## **RESUMEN**

El estudio del comportamiento real hasta rotura de los metales resulta de gran interés en la industria ya que permite determinar la tenacidad o energía absorbida durante el proceso de deformación y rotura. En cuanto a los aceros estructurales, existe el interés añadido de conocer su respuesta real ante cargas asociadas a situaciones límites como son los movimientos sísmicos.

En este trabajo se aborda el comportamiento tenso-deformacional de los aceros corrugados Tempcore. La peculiar geometría de estas barras, diseñadas a tal efecto para aumentar la adherencia acero-hormigón, dificulta el análisis de la fase de estricción desde la metodología que tradicionalmente se sigue para probetas cilíndricas, basada en diversas hipótesis de partida que no se cumplen en probetas corrugadas. Por tanto, se hace necesario el planteamiento de nuevos principios y, por ende, de nuevos procesos que permitan abordar su estudio. En este trabajo se presentan algunos de los avances realizados referentes a la evolución del perfil del cuello y a las deformaciones sufridas por las diferentes secciones transversales del mismo para estas barras.

## **PALABRAS CLAVE**

Tempcore, Corrugado, Comportamiento mecánico, Estricción, Fractura.

## ABSTRACT

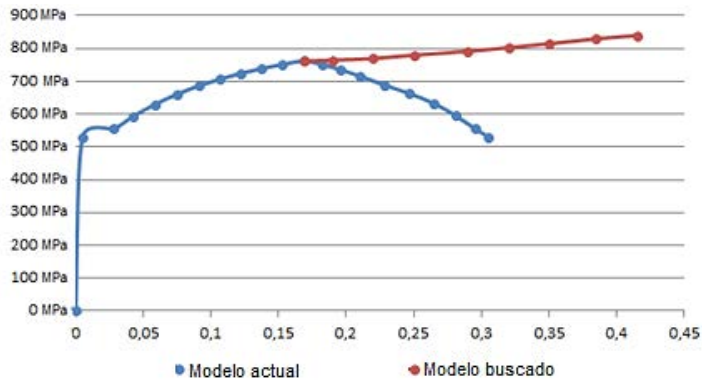
The real tensile behavior of metals beyond the UTS must be considered to calculate toughness or absorbed energy till fracture. Structural steels, designed to withstand earthquakes, are the typical material where post necking behavior can be of paramount importance. This paper deals with the tensile stress-strain behavior of TEMPCORE Rebar, a specifically shaped structural steel. Helical, short ribs, formed by rolling, protrude from the cylindrical basic shape of the Rebar. This help in increasing concrete/steel adherence in reinforced structures. On the other hand, those ribs make it difficult to assess strain distribution in the necking area, according to well-known theories describing neck shape. New or modified experimental methods, along with new theoretical approaches must be developed to help in studying neck shape evolution and corresponding stresses in Rebar. Advances in such methods and theories are presented in this paper.

## KEYWORDS

Tempcore, Rebar, Mechanical behavior, Necking, Fracture.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es **definir una metodología para estudiar el comportamiento mecánico real hasta rotura de los aceros corrugados Tempcore B500-SD**, basado en un análisis 3D de la geometría de la estricción.

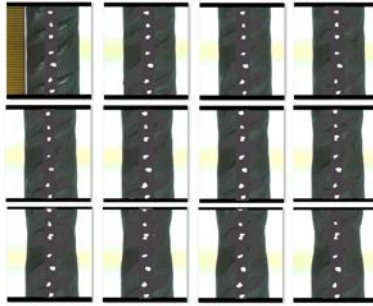


**Figura 1.** Diagrama Tensión-Deformación, comparación modelo actual y modelo objetivo.

El modelo que en la actualidad la mayoría de los autores utilizan para el cálculo de la tensión y la deformación durante la fase de estricción en probetas cilíndricas es el modelo planteado por Bridgman [2], [3] en 1944, basado en las siguientes hipótesis:

- El contorno del cuello se aproxima a un arco de circunferencia, quedando un perfil del cuello simétrico respecto a la sección mínima de la zona de estricción que se produce en cada momento.
- La sección transversal en la zona de la estricción permanece circular durante el ensayo, lo que implica una deformación axisimétrica.
- Las deformaciones en la dirección axial son constantes en todos los puntos de cada sección transversal del cuello.

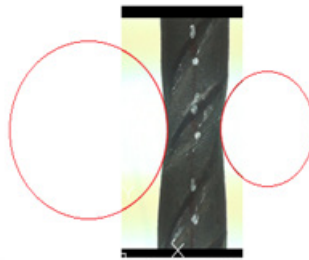
Para comprobar el comportamiento del acero Tempcore B500SD, se realizaron ensayos a tracción a 30 probetas. Estos ensayos fueron grabados enfocando el perfil de la distancia entre aletas, de esta manera se obtuvieron fotogramas como los mostrados en la Figura 2 a lo largo del ensayo con los que poder estudiar la evolución de la zona de estricción.



**Figura 2.** Evolución del cuello de una barra de acero B500SD durante la estricción.

El primer paso una vez obtenidos los fotogramas, fue la comprobación de las hipótesis de Bridgman [2], [3] para así aceptar o descartar para este tipo de probetas el modelo planteado por dicho autor.

Como se puede ver en la Figura 3 no se cumple la simetría en el cuello, por lo tanto, hay que plantear un modelo nuevo.



**Figura 3.** Demostración de la asimetría en el cuello de estricción de una probeta B500SD.

Descartada la metodología propuesta por Bridgman [2],[3], se ha utilizado como ecuación alternativa para el cálculo de tensiones de plastificación la planteada por La Rosa [4], (Ec. 1), independiente de la geometría del cuello.

$$\sigma_f = \overline{\sigma}_z * MLR = \overline{\sigma}_z * (0,9969 - 0,6058 (\epsilon_{eq} - \epsilon_{maxreal})^2 + 0,6317 (\epsilon_{eq} - \epsilon_{maxreal})^3 - 0,2107 (\epsilon_{eq} - \epsilon_{maxreal})^4) \quad (Ec.1)$$

Para obtener la tensión media axial:

$$\sigma_z = \frac{F}{A} \quad (Ec.2)$$

Y para la deformación equivalente:

$$\epsilon_{eq} = Ln \frac{A_0}{A} \quad (Ec.3)$$

La no existencia de simetría axisimétrica obligó a complementar los datos de las grabaciones de los ensayos con un análisis en tres dimensiones para encontrar una **relación entre el área transversal y la distancia entre aletas en la sección mínima**, consistente en un escaneado de la zona del cuello y posterior tratamiento con los softwares “Catia” y “AutoCad”.

## **METODOLOGÍA**

Para la realización de este estudio se siguieron 4 métodos diferentes que se fueron ideando según se presentaba un problema en el método anterior. A continuación, se detallarán las diferentes aproximaciones y se explicarán los motivos por los que se descartaron hasta llegar a la metodología final.

### **Primer método:**

La primera idea para afrontar este estudio fue partir del material ya ensayado del que se habló anteriormente.



**Figura 4.** Barra ya ensayada hasta rotura B500SD-7 preparada para escaneado.

Al partir de una barra previamente fracturada, para poder escanearla en su totalidad se intentó mediante adhesivo tipo EPOXY, Nural 21, unir ambas partes por la zona de rotura. Tras dejar secar el producto durante más de 24 horas, debido a la forma de la rotura y a la esbeltez de la barra, no se consiguió mantener la unión el tiempo suficiente para escanearla, descartando por ello este método.

### **Segundo método:**

Para evitar el problema que causaba unir ambas partes, se pensó en escanear las partes de la probeta por separado, para después intentar mediante el software “Catia” unir digitalmente ambas partes.



**Figura 5.** A la izquierda modelo escaneado de la barra mostrada en la imagen de la derecha.

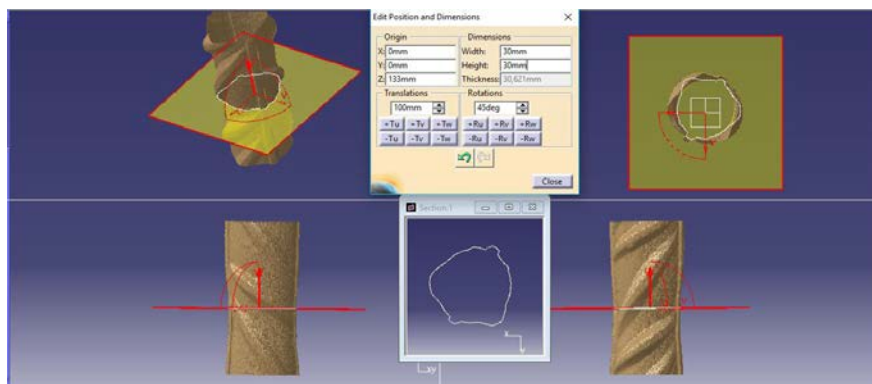
Una vez secas se introdujeron en el escáner 3D existente en el Taller de Prototipos de la Escuela Politécnica Superior de Sevilla. A pesar de la exactitud del escaneado en la mayor parte de la probeta, se observan superficies inexactas en la parte superior, debido a que el escáner es rotacional, lo que imposibilita el escaneado de la parte superior y, por tanto, la unión digital de ambas partes.

Por todo ello, se descartó igualmente este método.

### **Tercer método:**

Tras los dos intentos anteriores de partir de barras ensayadas hasta rotura, se pasó a ensayar 5 probetas del mismo material, B500SD, deteniendo dichos ensayos en un instante próximo a rotura.

Se procedió a la obtención de diferentes secciones a lo largo del eje longitudinal de la probeta. Estas secciones se realizaron distanciadas unas de otras por un milímetro. De forma que se obtuvieron de 30 a 35 secciones por barra, dependiendo de la longitud escaneada, para su posterior estudio, Figura 6 y 7.



**Figura 6.** Captura de pantalla de obtención de una sección.

A partir de la sección obtenida en "CATIA", se en "AutoCAD" el área de la sección y la distancia entre aletas

Con estos dos datos obtenidos en AutoCad para cada sección de las 5 barras, se llegó a la relación área transversal-distancia entre aletas, la cual se presenta en la Figura 8.

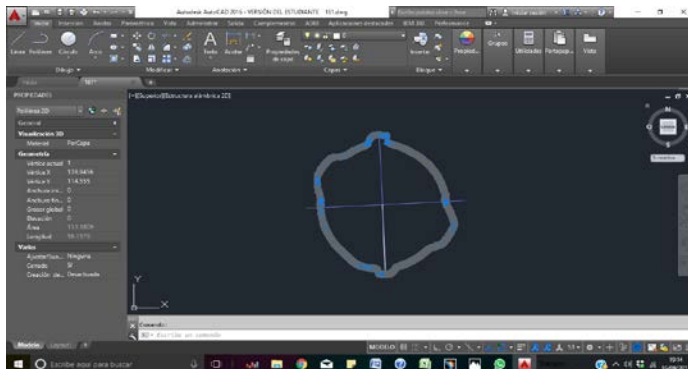


Figura 7. Cálculo del área de la sección mediante software AutoCad.

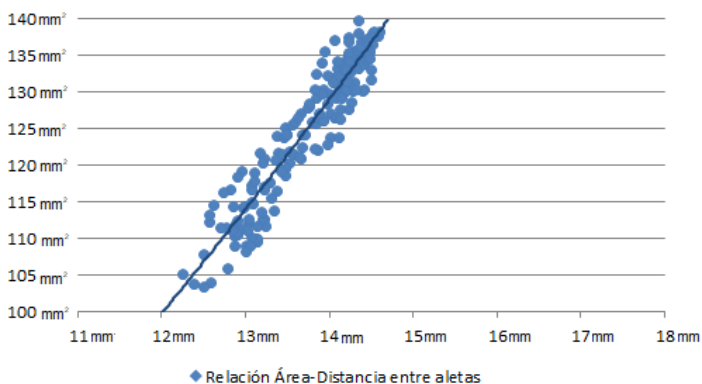


Figura 8. Gráfica relación Área-Distancia entre aletas de la probeta B500SD-A.

La ecuación obtenida resulta, con un factor de ajuste  $R^2 = 0.8844$ :

$$A = 0.55306599 * d_{aleas}^2 + 20.67624956 \quad (\text{Ec.4})$$

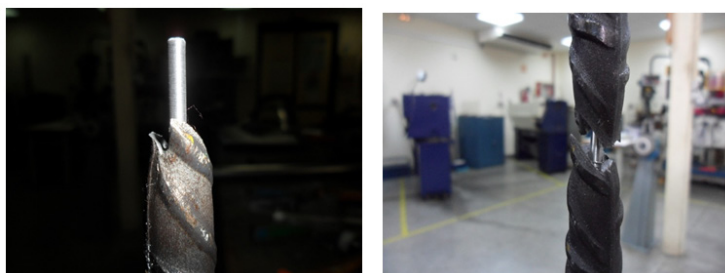
Una vez conseguida la relación área distancia entre aletas, se volvió al análisis de las 30 probetas que se ensayaron hasta rotura, obteniendo el área transversal a partir de la evolución de la distancia entre aletas grabada en los ensayos.

Con esta área y la fuerza instantánea asociada, se obtiene tensión axial y como se dijo anteriormente, con la tensión axial y el coeficiente de la Rosa la tensión de fluencia (Ec.1).

Además, con el área obtenemos los datos de deformación equivalente (Ec.3). Al plantear estos datos en una gráfica se obtiene una caída en los datos de tensión de fluecia, al no ser este un comportamiento real no se puede dar por válido este modelo.

#### **Cuarto método:**

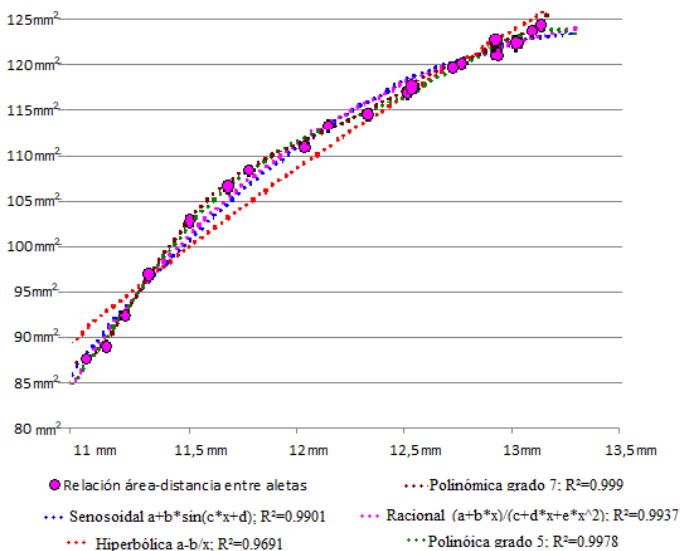
Se volvió a las barras ensayadas hasta rotura y se planteó un mejor método para la unión, uniendo ambas partes de las barras mediante un perno. Posteriormente se siguió la misma metodología que en método anterior.



**Figura 9.** Detalle de la unión de la probeta gracias a un perno.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Introduciendo los valores área distancia entre aletas en una gráfica, se puede observar que en este caso hay menor dispersión en los valores obtenidos. A estos datos se les ajustaron varios tipos de ecuaciones todos con ajustes superiores al 0,95.

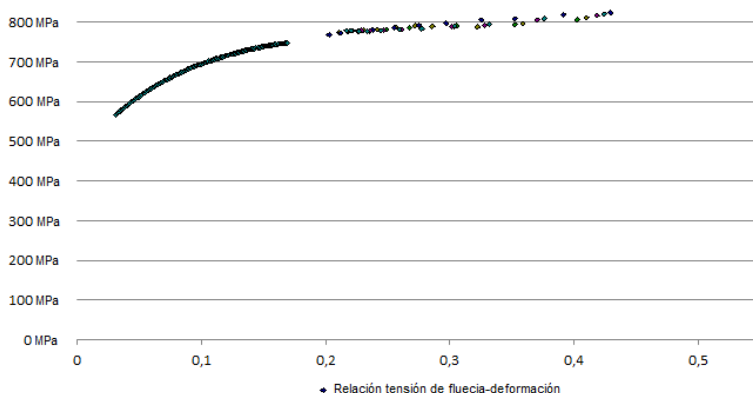


**Figura 10.** Diferente ajustes Área-Distancia entre aletas.



Siguiendo la metodología descrita anteriormente se obtienen los valores de tensión de fluencia frente a deformación equivalente durante la estricción. Introduciendo los datos correspondientes a la zona de endurecimiento por deformación, la ecuación final que define el comportamiento del material hasta rotura es:

$$f(x) = 975.0207 * x^{0.143}; \quad R^2 = 0.9695 \quad (\text{Ec.4})$$



**Figura 11.** Curva completa Tensión de Fluencia frente a Deformación de la barra B500SD-14.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo son las siguientes:

- La metodología de Bridgman no se ajusta al acero TEMP CORE B500SD ya que el perfil del cuello en la estricción no mantiene la simetría.
- Se ha puesto en marcha una nueva metodología experimental para determinar el comportamiento mecánico de estos aceros corrugados mediante un modelado 3D

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Eurocódigo 2-92. (1992). Proyecto de estructuras de hormigón armado. Parte 1-1: Reglas generales y reglas de edificación. Bruselas: Comité Europeo de Normalización (CEN).
- [2] Bridgman, P.W. (1944). The stress distribution at the neck of a tension specimen. *Transaction of the American Society for Metals*, 32, pp. 553–574.
- [3] Bridgman, P.W. (1952). *Studies in large plastic flow and fracture*. Nueva York: McGraw Hill.

- [4] La Rosa, G., Mirone, G., y Risitano, A. (2003). Postnecking elastoplastic caracterizacion: Degree of approximation in the Bridgman method and properties of the flow-stress/true-stress ratio. *Metallurgical and Materials Transactions*, 34(3), pp. 615–624.

# **EVALUACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS DE DESARROLLO DE MATRICES PROTEICAS DE SOJA CON ZINC INCORPORADO PARA SU USO EN HORTICULTURA**

**Jiménez-Rosado, Mercedes\*;** Pérez-Puyana, Víctor; Cordobés, Felipe; Romero, Alberto; Guerrero, Antonio

TEP-229: Tecnología y Diseño de Productos Multicomponentes  
Departamento de Ingeniería Química. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: [mjimenez42@us.es](mailto:mjimenez42@us.es)

## **RESUMEN**

En la actualidad existe una gran demanda de productos hortícolas, lo que se traduce en una alta tasa de producción que provoca una excesiva explotación de los suelos, causando en ellos un descenso en el nivel de nutrientes y energía, no pudiéndose obtener rendimientos óptimos en sus cultivos. Una posible solución a estos problemas podría ser el uso de matrices de base proteica que contienen los elementos esenciales que requiere el suelo, siendo, además, una materia prima renovable y biodegradable. El objetivo de este trabajo es la evaluación de diferentes métodos de introducción de un micronutriente seleccionado (zinc, Zn), en matrices de base proteica de soja. Los resultados confirman que se pueden incorporar grandes cantidades de micronutrientes en las matrices, siendo sus propiedades mecánicas, microestructura y nivel de carga dependientes del método usado. En todos los casos, los resultados muestran un gran potencial para el uso de matrices como fuente de suministro de micronutrientes en horticultura.

## **PALABRAS CLAVE**

Matrices proteicas, Soja, Micronutrientes, Zinc, Horticultura.

## ABSTRACT

Recently, there is a high demand for horticultural products, which translates into a raised production that causes an excessive exploitation of the soil, leaving them poor in nutrients and energy and to be able to have optimum yield in their crops. A possible solution to these problems could be the use of protein-based matrices, which can contain the essential elements required by the soil, being, in addition, a renewable and biodegradable raw material. The objective of this work is the evaluation of different methods of introducing a selected micronutrient (zinc, Zn) in soy protein-based matrices obtained. The results confirm that a high level of essential micronutrient can be incorporated in the matrices, being its mechanical properties, microstructure and load level dependent on the method used. In all cases, results show a great potential for the use of matrices as a source of supplying micronutrients for horticulture.

## KEYWORDS

Protein-based matrices, Soy, Micronutrients, Zinc, Horticulture.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

La horticultura es definida como la rama de la agricultura dedicada al crecimiento de plantas para el consumo humano, medicina y uso estético [1]. Su interés ha ido creciendo en los últimos años llegando a registrarse una producción en España de 7155 millones de kilos en 2017 [2]. Esta alta demanda ha llevado a la necesidad de crear un sistema de plantación masiva, que tiene asociado la desventaja de la excesiva degradación de los suelos. Esta degradación hace que el suelo sea incapaz de realizar una regeneración efectiva de nutrientes y energía, teniendo estos que ser suministrados por los humanos [3].

Los nutrientes son elementos necesarios para las plantas. Entre ellos, los micronutrientes, aunque se necesitan en pequeñas cantidades, son muy importantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Normalmente, estos micronutrientes son incorporados directamente en los sustratos en forma de sales para cubrir carencias de los mismos, aunque esto causa problemas derivados de la baja asimilación por parte de la planta, ya que esta solo asimila lo que necesita en ese preciso momento, siendo el resto arrastrado por el agua del riego o lluvia, lo que lleva a la contaminación de los suelos y aguas subterráneas por exceso de nutrientes [4]. Entre todas las sales incorporadas, las de zinc son las más solubles por lo que son las que más problemas de arrastre por agua causan. Una posible alternativa que podría solucionar este inconveniente es el uso de matrices con base proteica que contengan los micronutrientes necesarios, haciendo que estos se liberen de manera controlada durante la degradación de la matriz o el riego de las plantas, incrementando así la eficacia de asimilación por parte de la misma.

Además, el uso de estos materiales podría brindar grandes ventajas debido a su nula toxicidad y alta biodegradabilidad [5], así como el aporte extra de nutrientes tras su degradación [6]. Por otro lado, estos materiales tienen la habilidad de retener agua incrementando la eficiencia del ciclo del agua.

Dentro de este contexto, el objetivo global del presente trabajo es el desarrollo de diferentes métodos de incorporación de un micronutriente (Zn) en matrices proteicas de soja. En este sentido, se evaluará la cantidad de zinc incorporado en la matriz, así como su distribución, y las propiedades mecánicas y morfológicas de las diferentes matrices obtenidas.

## **METODOLOGÍA**

### **Materiales**

Como base proteica se utilizó el aislado proteico de soja (SPI), con un porcentaje mínimo en proteína del 91% en peso, un 6% en peso de cenizas y un 3% en peso de humedad, el cual fue suministrado por Protein Technologies International (SUPRO 500E, Bélgica). La glicerina (Gly) se usó de plastificante y el zinc se incorporó a la matriz mediante sales de sulfato de zinc ( $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  y  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , MN), todos estos suministrados por Panreac Química Ldt. (España).

### **Preparación de masas con base proteica de soja**

Esta etapa se utiliza para conseguir masas homogéneas de SPI y Gly (en relación 1:1), con o sin la adición de  $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (MP). El proceso de mezclado de este estudio se llevó a cabo en un reómetro discontinuo de mezclado Haake PolyLab QC (ThermoHaake, Alemania) a temperatura ambiente ( $25 \pm 5$  °C) y 50 rpm durante 10 min, en condiciones adiabáticas.

### **Preparación de bioplásticos con base proteica de soja**

Las masas obtenidas después del mezclado fueron procesadas mediante un moldeo por inyección (MI), a escala de laboratorio, usando una Inyectora MiniJet Piston Injection Moulding System II (ThermoHaake, Alemania). Así se obtuvieron bioplásticos con base proteica de soja. Los parámetros definidos para dicha inyección fueron: temperatura del cilindro (40 °C), temperatura del molde (70 o 90 °C), presión de inyección (550 bar aprox. durante 20 s) y presión de post-inyección (200 bar durante 300 s), dependiendo de las masas obtenidas.

Después del moldeo por inyección, los bioplásticos se sometieron a un tratamiento dehidrotérmico (DHT), que consiste en una etapa de calentamiento llevada a cabo en un horno convencional a 50 °C durante 24 h obteniendo bioplásticos secos (BPS). Esta etapa implica cierto grado de fortalecimiento de la red que ayuda a mantener la integridad de las matrices en la posterior etapa de inmersión.

### **Preparación de matrices con base proteica de soja**

Con la finalidad de preparar las matrices con base proteica de soja, primero, se llevó a cabo una etapa de inmersión del bioplástico BPS en un recipiente cerrado durante 24 h. En esta etapa, prácticamente toda la glicerina se liberó al agua (AGM) como en estudios previos [7]. Además, algo de proteína y/o micronutriente también

pudo liberarse. Finalmente, las matrices proteicas hinchadas (MPH) después de la inmersión se sometieron a un tratamiento de liofilización, consistente en una primera etapa de congelación de la matriz durante 2 h a -40 °C y una etapa de liofilizado en un equipo liofilizador LyoQuest (Teslar, España) a -80 °C y vacío durante 24 h con el objetivo de eliminar toda el agua por sublimación y obtener así las matrices proteicas secas (MPS).

### **Caracterización de las matrices proteicas de soja con zinc**

En primer lugar, se realizaron medidas de espectroscopía de emisión atómica plasmática acoplada inductivamente (ICP-AES) con la finalidad de determinar el contenido de zinc de las matrices finales, usando un ICP SpectroBlue TI (Spectro, Alemania). Las matrices secas (MPS) se sometieron a un tratamiento previo de digestión por microondas con la ayuda de ácidos ( $\text{HNO}_3$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$  en proporción 7:1), y, seguidamente, la muestra pasó a una antorcha de plasma a una temperatura alrededor de los 6000 K, midiendo las longitudes de onda características de los átomos e iones de la muestra.

Por otro lado, también se realizaron medidas reológicas en modo de compresión, usando un analizador dinámico-mecánico RSA3 (TA Instrument, EE.UU.) con una geometría plato-plato de 8 mm de diámetro. Se realizaron, en primer lugar, barridos de deformación entre 0,002 y 2% a una frecuencia constante de 1 Hz para determinar el intervalo viscoelástico lineal. A continuación, se llevaron a cabo barridos de frecuencia desde 0,02 a 2 Hz y a una deformación dentro del intervalo viscoelástico lineal antes estudiado. Así, se comparó el módulo elástico y la tangente de pérdidas a 1 Hz ( $E'_1$  y  $\tan(\delta_1)$ , respectivamente) para realizar una adecuada comparación de los sistemas.

Por último, la distribución de la concentración de zinc para las matrices MPS estudiadas se analizó mediante análisis dispersivos de energía de rayos X (EDAX), usando un microscopio electrónico de barrido JEOL 6460LV (EE.UU.). El objetivo de estas medidas es la detección del zinc tanto en la superficie como en el interior de la matriz. Los análisis se realizaron por duplicado en diferentes áreas de la matriz, que se recubrió de oro/paladio y se aumentó 100 veces.

### **Análisis estadísticos**

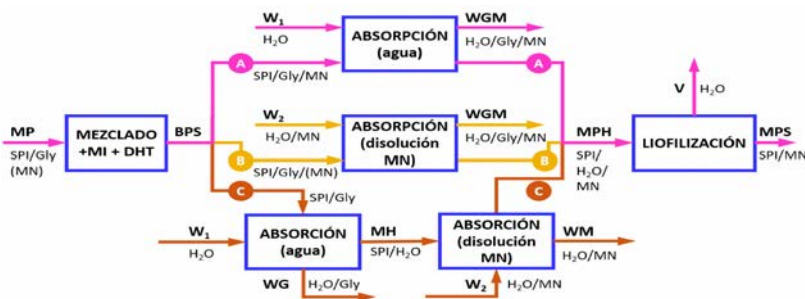
Se realizó al menos tres medidas de casa muestra. El análisis estadístico se obtuvo mediante un test de comparación de medias (test de t de Student) y realizando un análisis de varianza (ANOVA,  $p < 0,05$ ) mediante el paquete estadístico SPSS

18. Además, se calcularon las desviaciones estándar de algunos parámetros seleccionados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Métodos de preparación de matrices proteicas de soja con zinc incorporado

Los distintos procesos usados para incorporar la sal de zinc a las matrices proteicas de SPI están delineados en el diagrama de la Figura 1.



**Figura 1.** Diagrama de los diferentes procesos de obtención de matrices proteicas de soja con zinc incorporado. SPI: aislado proteico de soja. Gly: glicerina. MN: sal que contiene el micronutriente ( $ZnSO_4 \cdot H_2O$  en el mezclado y  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  en la absorción).

En el método A, se mezcló junto con SPI y Gly (1:1) un 10% en peso de  $ZnSO_4 \cdot H_2O$  (MP), seguidamente la masa se inyectó usando una temperatura de molde de 90 °C, al considerarse la temperatura óptima de trabajo para esta masa evaluados en estudios previos [7]. A continuación, el bioplástico pasó por un tratamiento dehidrotérmico, una inmersión en agua y una etapa de liofilización obteniendo así las matrices MPS con zinc incorporado.

En el método B-1, se mezcló solamente SPI y Gly (1:1), inyectándose a una temperatura de molde de 70 °C y sometiéndose seguidamente a un tratamiento dehidrotérmico. A continuación, el bioplástico BPS se sumergió en una disolución de  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  obteniendo la matriz hinchada que luego se seca mediante un proceso de liofilización.

Otro de los métodos usados se denomina B-2, este método consiste en una combinación de los métodos A y B-1, incorporando el zinc tanto en la etapa de mezclado como en la de inmersión.

Por último, se probó un método alternativo (método C), en el que el zinc se incorporó mediante una inmersión en una disolución saturada de  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ , pero



incorporando una etapa previa de inmersión en agua. El objetivo de esta etapa previa es que la matriz se hinche antes de la incorporación de zinc, con la finalidad de que pueda incorporar más micronutriente en su interior.

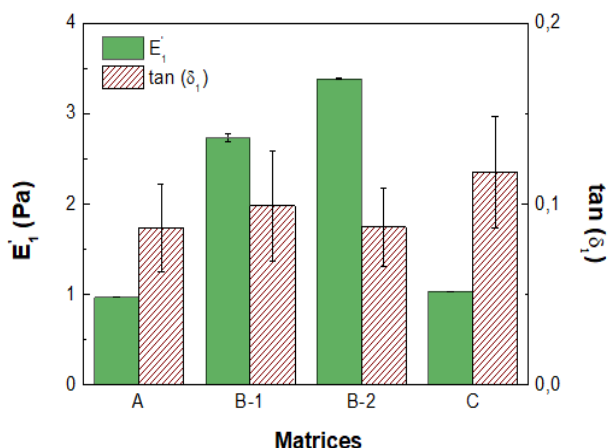
La cantidad de zinc incorporada en cada matriz MPS, medido mediante ensayos de ICP-AES, se muestra en la Tabla 1. Se puede observar como el método A es el que menos zinc incorpora, debido posiblemente a que la mayor parte del zinc se pierde en la inmersión con agua ya que se incorpora en forma de sal muy soluble. El método B-1 y B-2 tienen porcentajes de incorporación parecidos, donde el método B-2 registra un poco más de zinc debido a la doble incorporación (mezclado e inmersión). Por último, el método C es el que más zinc incorpora debido, posiblemente, a la incorporación de la etapa previa de inmersión con agua, que abre los poros de la matriz permitiendo que haya más espacio libre para la incorporación del zinc.

**Table 1.** Concentración en peso de  $Zn^{2+}$  obtenidos en los análisis de ICP-AES y EDAX de las matrices proteicas secas (MPS) obtenidas por los diferentes métodos de incorporación de zinc.

Matrices MPS	ICP-AES	EDAX	
	% $Zn^{2+}$	% $Zn^{2+}$ Superficie	% $Zn^{2+}$ Interior
Método A	1,8	5,0 ± 0,1 <sup>a</sup>	4,2 ± 0,6 <sup>b</sup>
Método B-1	10,5	27,2 ± 2,6 <sup>ce</sup>	19,6 ± 3,5 <sup>d</sup>
Método B-2	12,6	27,5 ± 0,5 <sup>c</sup>	24,0 ± 0,7 <sup>e</sup>
Método C	18,4	30,2 ± 0,2 <sup>f</sup>	32,2 ± 2,3 <sup>f</sup>

### Caracterización de las matrices proteicas de soja con zinc

La Figura 2 muestra los valores del módulo elástico y la tangente de pérdidas a 1 Hz ( $E'_1$  y  $\tan(\delta_1)$ , respectivamente) obtenidos a partir de los barridos de frecuencia. Se puede observar como las matrices obtenidas por una inmersión directa en una disolución saturada de  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  (B-1 y B-2) exhiben valores similares de  $E'_1$ , los cuales son mayores que los valores de  $E'_1$  obtenidos para las matrices que tuvieron una etapa de inmersión en agua (A y C), los cuales también son similares entre sí. Este comportamiento puede atribuirse al grado de hinchamiento presentado por las matrices cuando se introducen en la inmersión con agua (A y C), ya que al ser significativamente mayor hace que el espacio libre de la matriz también lo sea. Este efecto no se produce en las matrices introducidas en la inmersión con sal (B-1 y B-2), mostrando así estas últimas una estructura más rígida. En cuanto a los valores de  $\tan(\delta_1)$ , son todos menores a 0,2, lo que demuestra que, independientemente del grado de hinchamiento de la matriz, estas presentan un remarcable carácter sólido. Además, los valores de  $\tan(\delta_1)$  no presentan diferencias significativas entre ellos, demostrando que la relación entre  $E'$  y  $E''$  no se ve afectada por el cambio de procesado.



**Figura 2.** Módulo elástico ( $E'_1$ ) y tangente de pérdidas ( $\tan(\delta'_1)$ ) obtenidos a 1 Hz a partir de los barridos de frecuencia realizados las matrices proteicas secas (MPS) procesadas por los diferentes métodos.

En cuanto a la distribución del zinc en las diferentes matrices, esta se puede observar en la Tabla 1. Se puede observar que, en la matriz obtenida por el método A, el zinc se distribuye homogéneamente a través de la matriz debido a que este se introduce en la etapa de mezclado homogeneizándose con el resto de las materias primas. En la matriz obtenida por el método B-1, el porcentaje de zinc que entra en el interior de la matriz es mucho menor que el que se queda en la superficie. Este resultado, puede ser debido a un posible recubrimiento del zinc, el cual no permite la introducción del mismo en el interior de la matriz. En el caso de la matriz procesada por el método B-2, se observa el mismo efecto, sin embargo, de manera menos pronunciada, posiblemente por la incorporación de zinc que se realizó también en el mezclado. Finalmente, la matriz obtenida por el método C, es la que presenta más zinc, siendo homogénea su distribución tanto en la superficie como en el interior. Este resultado puede ser debido a un incremento del tamaño de poro en la inmersión con agua previa, que ayuda a que el zinc se incorpore dentro de la matriz, previniendo la formación del recubrimiento.

## CONCLUSIONES

Las matrices proteicas de soja pueden considerarse materiales naturales y renovables con gran atractivo para la incorporación y posterior liberación de micronutrientes que son esenciales para el desarrollo y salud de las plantas, evitando los típicos excesos de los fertilizantes convencionales. Se han obtenido resultados prometedores de carga de micronutriente en las matrices con base proteica de soja, con propiedades mecánicas adecuadas para su posterior tratamiento industrial y comercialización.

Así, se ha incorporado a la matriz una cantidad importante de un micronutriente esencial para la planta (Zn). No obstante, se plantean, en el futuro, estudios sobre la liberación controlada de este micronutriente a las plantas, así como la asimilación por las mismas, de manera que permita evaluar la funcionalidad de estas matrices con micronutriente incorporado.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de un proyecto financiado por MINECO/FEDER, EU (CTQ2015-71164-P). Los autores agradecen su financiación. A su vez, los autores agradecen la beca predoctoral FPU17/01718 de Mercedes Jiménez y la beca predoctoral del VPPI-US de Víctor Pérez. Los autores también agradecen el acceso y la asistencia del servicio de microscopía y microanálisis del CITIUS (Universidad de Sevilla).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] The Agricultural Act (2014). Sección 10010, *Public Law 113-79*. EE.UU.
- [2] FEDEX (2018). Seguimiento mensual del consumo hortifrutícola 2017 en hogares. Recuperado de: <http://www.fepex.es/datos-del-sector/consumo-frutas-hortalizas> (08/11/2018).
- [3] Hazell, P. y Wood, S. (2008). Drivers of change in global agriculture. *Philosophical Transaction of Royal Society of London: Biological Sciences*, 363, pp. 495-515.
- [4] Muscanescu, A. (2013). Organic versus conventional: advantages and disadvantages of organic farming. *Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 13, pp. 253-256.
- [5] Guo, G., Zhang, C., Du, Z., Zou, W., Tian, H., Xiang, A. y Li, H. (2015). Structure and property of biodegradable soy protein isolate/PBAT blends. *Industrial Crops and Products*, 74, pp. 731-736.
- [6] Saenghirunwattana, P., Noomhorm, A., y Rungsardthong, V. (2014). Mechanical properties of soy protein based "green" composites reinforced with surface modified cornhusk fiber. *Industrial Crops and Products*. 60, pp. 144-150.
- [7] Jiménez-Rosado, M., Pérez-Puyana, V., Cordobés, F., y Romero, A. (2018). A development of soy protein-based matrices containing zinc as micronutrient for horticulture. *Industrial Crops and Products*. 121, pp. 345-351.



# **CONTROL NEUROMÓRFICO DEL BRAZO ROBÓTICO BIOROB DEL CITEC DE LA UNIVERSIDAD DE BIELEFELD**

**Linares Barranco, Alejandro\*; Jiménez Fernández, Angel F.; Jiménez Moreno,  
Gabriel, Gutiérrez Galán, Daniel, Ríos Navarro, José Antonio**

Robótica y Tecnología de Computadores.  
Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores. Escuela  
Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: [alinares@atc.us.es](mailto:alinares@atc.us.es)

## **RESUMEN**

Los sistemas neuronales biológicos responden a estímulos de una forma rápida y eficiente en el movimiento motor del cuerpo, comparado con los sistemas robóticos clásicos, los cuales requieren una capacidad de computación mucho más elevada. Una de las claves de estos sistemas es la codificación de la información en el dominio pulsante. Las neuronas se comunican por eventos con pequeños pulsos de corrientes producidas por intercambio de iones entre las dendritas y los axones de las mismas. La configuración en redes de neuronas permite no sólo el procesado de la información sensorial y su procesamiento en el dominio pulsante, sino también la propia actuación sobre los músculos en el formato pulsante. Este trabajo presenta la aplicación de un modelo de control motor basado en el procesado de pulsos, incluyendo la propia actuación sobre motores en el contexto de los pulsos. Se ha desarrollado un sistema de control en lazo cerrado por pulsos, denominado spike-based PID controller para FPGA, el cual se ha integrado en el esqueleto de un robot bioinspirado, BioRob X5 del CITEC de la Universidad de Bielefeld, para su uso en el desarrollo de modelos bioinspirados. El Robot, de más de 1m de largo, permite controlar las posiciones de las articulaciones usando control por pulsos y con un consumo menor de 1A para todos los grados de libertad funcionando al mismo tiempo.

## **PALABRAS CLAVE**

Procesado por eventos, Modelado neuronal, Robótica, Actuación motora pulsante, FPGA.

## ABSTRACT

Compared to classic robotics, biological nervous systems respond to stimulus in a fast and efficient way regarding to the body motor movement. Classic robotic systems usually require higher computational capacity. One of the main keys of biological systems respect to robotic machines is the way the information is coded and transmitted. They use spikes. A neuron is the “basic” element that form biological nervous systems. Neurons communicate in an event-driven way through small current pulses (spikes) produced when ions are interchanged between dendrites and axons of different neurons. When neurons are arranged in networks, they allow not only the sensory information processing, but they also allow the actuation over the muscles in a spiking way. This paper presents the application of a motor control model based on spike processing, including the motor actuation in the spike domain. A close-loop control system, called spike-PID controller, has been developed for FPGA. This controller has been embedded into a bioinspired robot, called BioRob X5, at CITEC of the University of Bielefeld during a “Salvador de Madariaga” grant for a research visit in the July-September 2018 term. The robot, longer than 1 meter tall, allows the joint position control through spiking signals with a power consumption below 1A for the 4 DoF working at the same time.

## KEYWORDS

Event-based processing, Spiking systems, Neuromorphic engineering, Neuronal modeling, Robotic, Spiking motor actuation, FPGA.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Este trabajo se enmarca en el campo de la ingeniería neuromórfica, la cual busca inspiración en la biología, y concretamente en el sistema nervioso central, para resolver problemas de ingeniería imitando la forma en que se resuelven tan eficientemente en un cerebro. La implementación hardware de dispositivos neuromórficos requiere una base tecnológica que se elige para cumplir los requisitos de la aplicación deseada. Las bases tecnológicas más comunes son los diseños de chips “full custom” (ASIC) [1], las FPGAs (Field Programmable Gate Arrays) [2] o los FPAAs (Field Programmable Analog Arrays) [3]. El hardware neuromórfico desarrollado en la última década se puede clasificar en dos clases principales: los sensores y las redes neuronales. En el campo de los sensores, los ejemplos más representativos son los sensores de visión [4][5], de audición [6][7] y de olfato [8]. Los últimos procesadores neuronales analógicos son: ROLLS (procesador neuromórfico pulsante con aprendizaje reconfigurable on line) [9], Neurogrid [10], los dispositivos desarrollados en el HBP (Human Brain Project) basados en resultados de los proyectos EU BrainScaleS [11] o SpiNNaker [12], o los procesadores pulsantes digitales como Loihi de Intel [13] o Neurovision; o el chip de IBM TrueNorth que es un chip híbrido (analógico y digital) [14].

Para integrar e implementar arrays de neuronas pulsantes y arquitecturas neuromórficas complejas, una estrategia de comunicación para el envío de eventos es necesaria. Para ello se desarrolló el protocolo AER (Address-Event-Representation) [15], y hoy día es un estándar en la comunidad neuromórfica. AEs (Address Events) son eventos digitales con una etiqueta asociada (dirección). El tiempo se representa a sí mismo y las etiquetas asociadas identifican la fuente del evento (neurona que emite el impulso). El uso de ROMs permite el mapeo de eventos hacia diferentes destinos, habilitando así la construcción de topologías de redes arbitrarias.

La robótica actual no está adaptada o no ofrece soluciones específicas para los sistemas neuromórficos, ya que los productos en el mercado incluyen controladores de motores en cada articulación del robot, siendo normal encontrar dispositivos de comunicación entre los grados de libertad del robot y la controladora (por ejemplo, usando el bus CAN), lo cual no permite ni llegar, ni conocer, las señales que se usan para el control directo del motor. En este trabajo se presenta un robot que se ha adquirido sin controladora alguna. Está compuesto por 4 grados de libertad que se manejan con 4 motores de corriente continua (DC motors) y que incluye un *encoder* óptico por articulación para informar sobre el estado actual de cada articulación.

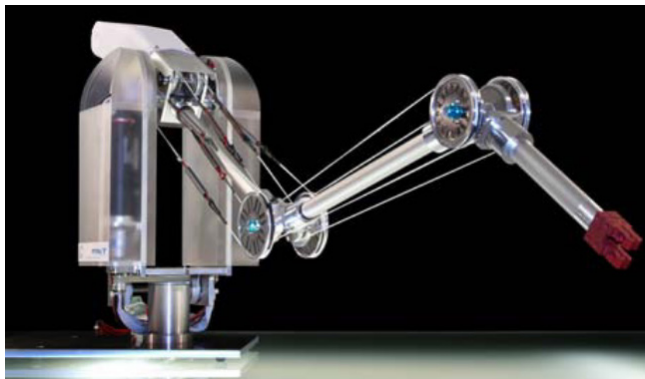
Mediante el uso de tarjetas de circuito impreso basadas en FPGAs y microcontroladores se ha implementado e implantado un sistema de control motor pulsante para los 4 DC motors del robot usando controladores PID en el dominio pulsante. Así mismo se ha desarrollado el software necesario para comandar al robot desde un portátil. El controlador se ha caracterizado. Y, por último, se ha dotado al controlador de una interfaz hacia sistemas pulsantes implementados en la plataforma Dynap-SE.

## METODOLOGÍA

En esta sección se procede a describir las características del robot utilizado en este trabajo, posteriormente se expone un resumen del controlador PID basado en impulsos que se integra en el robot, y por último, se expone la arquitectura de la plataforma final del robot con la integración del controlador neuroinspirado.

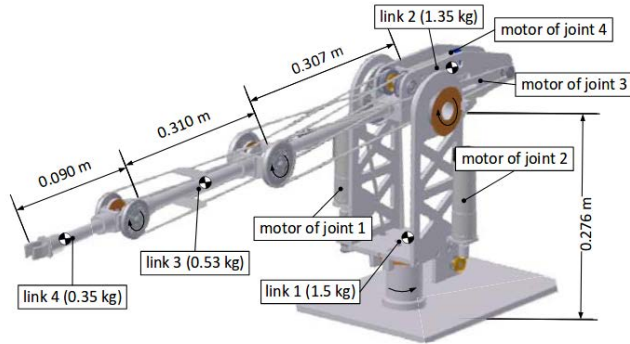
### El brazo robótico BioRob

El robot BioRob [16] está basado en el concepto de actuación elástica y antagonista que se inspira en el aparato elástico músculo-tendón (ver Figura 1). Cada articulación dispone de un motor DC acoplado mediante cuatro cables o cuerdas que contienen muelles y otros componentes elásticos. De esta forma cada articulación posee características de resortes progresivos y no lineales. Adicionalmente, las articulaciones están dotadas de dos sensores: un sensor de posición del motor DC de tipo *encoder* óptico, y un sensor de posición angular de la articulación. El diseño de la actuación está descrito en detalle en [17] [18].



**Figura 1.** Brazo robótico BioRob X4.





**Figura 2.** Diagrama de arquitectura del BioRob: articulaciones y motores.

La Figura 2 indica la ubicación de cada motor y cada sensor en el brazo robótico. Los *encoders* de los motores y los sensores de posición de las articulaciones aseguran una resolución cartesiana por debajo de 1mm. Los sensores de posición de las articulaciones permiten la medida de las fuerzas elásticas de las articulaciones mediante el uso de las curvas características de la rigidez de la articulación. Esto habilita el control de fuerzas, la detección de colisiones y la reacción ante estos efectos.

### El control motor pulsante

El controlador PID pulsante de motor es un controlador en lazo cerrado PID totalmente diseñado en el dominio pulsante. Tanto su señal de referencia de entrada, la señal de salida hacia el motor, así como la señal de sensado del motor para el cálculo del error, son señales codificadas en pulsos. Se utiliza la modulación por frecuencia de pulsos (PFM) incluso para atacar a las bornas de los motores. De esta manera se permitiría que cualquier sistema neuro-inspirado pueda producir una señal que sea directamente usada para mover un motor a una velocidad determinada o a una posición concreta.

Un controlador motor PID clásico se compone de tres bloques que ajustan la proporcionalidad, la integración y la deriva del error del sistema de control en lazo cerrado. Para implementar en el dominio pulsante un controlador PID se requiere del uso de una serie de elementos de procesamiento pulsante que nos permitan realizar las mismas funciones. Para ello se han diseñado e implementado una serie de elementos de procesamiento pulsante cuya formulación se realiza en el dominio S. Los bloques básicos son:

- **Spike-Generator o Generador de impulsos:** se utiliza para convertir una señal digital en una secuencia de pulsos con una frecuencia determinada.
- **Integrate & Generate (I&G) o Integrador y Generador de pulsos:** Este bloque se compone de dos partes: la primera es un contador de pulsos de entrada, y la segunda es un generador de pulsos (descrito en el epígrafe anterior). De esta forma, y teniendo en cuenta los pulsos de polaridad positiva y negativa, la señal pulsante de salida de este bloque está representando la integral de la señal de entrada. En el dominio S, este bloque se representa con una función de transferencia como la siguiente:

$$out = \frac{count}{2^{NBITS}-1} \times \frac{f_{CLK}}{genFreqDiv}$$

$$out = \int in dt \times \frac{f_{CLK}}{2^{NBITS}-1 \cdot genFreqDiv}$$

$$F(s) = \frac{Ki}{s}$$

Donde *out* es la frecuencia en pulsos de la señal de salida, *count* es el valor de contador de pulsos de entrada, *in* es la frecuencia de la señal de entrada,  $N_{BITS}$  es la resolución en bits del generador de pulsos, *genFreqDiv* es el divisor del reloj del generador de pulsos y  $f_{CLK}$  su frecuencia de reloj.

- **Hold & Fire (H&F) o retén y dispara:** Este bloque permite la fusión de dos señales pulsantes en una nueva señal que representa la diferencia de ambas o la suma de ambas, de una forma intuitiva y sencilla. Teniendo en cuenta las polaridades de los impulsos y el origen de la señal, se usa una máquina de estados para, una vez llegado un pulso por una de las entradas, esperar un próximo pulso y, teniendo en cuenta las polaridades de ambos, así como la operación a realizar (por ejemplo, restar señales pulsantes o sumarlas), se cancelarán los dos pulsos o se mandará el primero que se recibió para retener el último en llegar.
- **Spike Expanse block o Expansor de pulsos:** Debido a que los pulsos de los sistemas neuromórficos son muy estrechos, este bloque se usa para expandir la anchura de los pulsos antes de ser enviados a las bornas de los motores. En este sentido, este bloque permite aplicar un factor multiplicativo o proporcional a la señal de salida de un controlador.
- **Spike Derivative block o derivador de pulsos:** Mediante el uso combinado de un I&G y un H&F, tal como muestra la Figura 3, se puede obtener la función de transferencia en el dominio S de un derivador para su uso en un controlador PID.

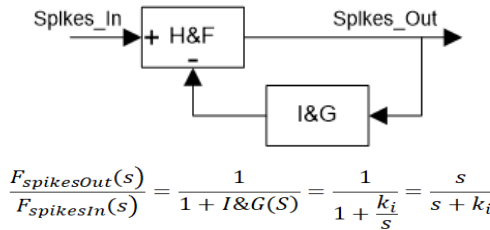


Figura 3. Diagrama del derivador y formulación en S.

- Spike PID:** La Figure 4 muestra el diagram de bloques de un controlador PID clásico, así como la solución adoptada para su implementación en el dominio pulsante. Se incluye la formulación en el dominio S.  $X(s)$  representa la señal enviada al motor, mientras que el estado actual del motor se representa por  $Y(s)$ , la cual es enviada al controlador una vez medida por el sensor que cierra el lazo, y se representa como  $FB(s)$ . La función de transferencia del controlador PID es  $TF(s)$  y la señal de referencia es  $U(s)$ . En la solución pulsante, los bloques de integración y derivación trabajan sobre la señal de error del sistema (referencia menos realimentación), mientras que la proporcionalidad se aplica al expandir los pulsos.

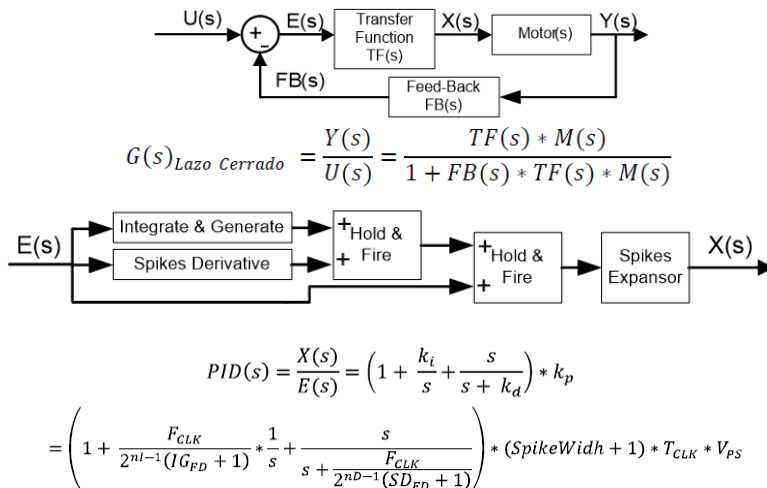
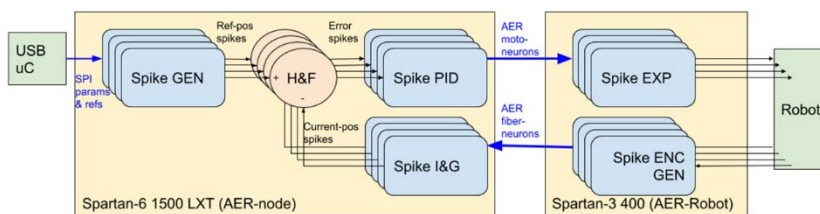


Figura 4. Arriba: controlador PID clásico y formulación. Abajo: Solución pulsante.

Este controlador PID permite controlar en velocidad a un motor. Para poder aplicarlo al robot del CITEC se debe añadir un bloque I&G al sensor que mide el estado actual del motor para poder tener control sobre la posición actual del motor, que reflejará la posición actual de la articulación del robot. En la Figura 5 se muestra un diagrama de bloques que representa la solución implementada para el control del robot de cuatro articulaciones del CITEC.

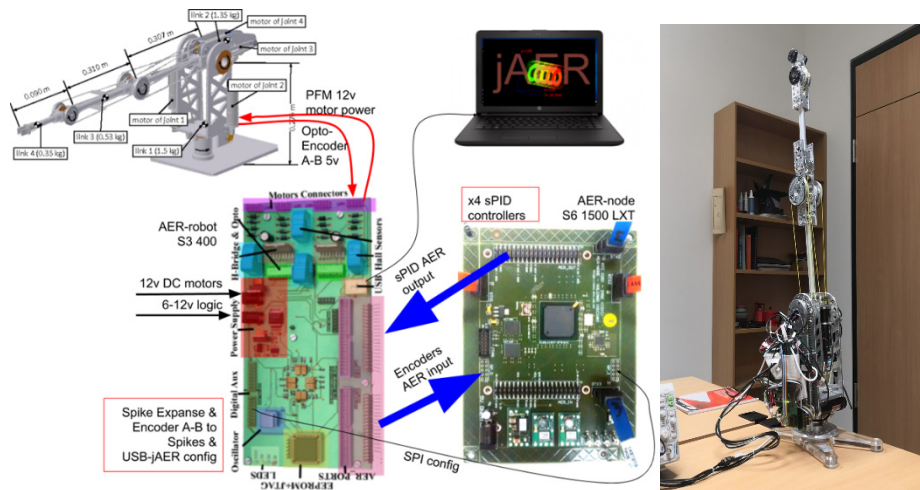
Se han utilizado dos plataformas basadas en FPGA con la intención de mantener en la Spartan-3 la expansión de los pulsos y la adaptación de los sensores al dominio pulsante, lo cual es necesario para cualquier controlador pulsante que se realice. Por otro lado, en la Spartan-6, de mayor capacidad, se ha implementado el controlador pulsante PID en un porcentaje reducido de sus recursos, con la intención de permitir que la plataforma final permita probar e implementar nuevos controladores neuro-inspirados en este robot.



**Figura 5.** Diagrama de bloques del controlador pulsante PID del brazo robótico BioRob del CITEC.

## La infraestructura desarrollada

La Figura 6 muestra el Sistema completo, su configuración y una fotografía. La tarjeta AER-Robot es capaz de alimentar hasta 4 motores DC con señales de potencia que se manejan desde una FPGA Spartan-3. Además, permite la lectura de los sensores. Se han usado dos buses paralelos AER para comunicar esta tarjeta con la segunda, la AER-node, que implementa los controladores pulsantes para todas las articulaciones. Se usa un bus SPI para enviar la configuración desde la placa AER-Robot hacia la AER-node. Esta configuración llega al sistema a través del bus USB que conecta el computador con la tarjeta AER-Robot.



**Figura 6.** Configuración HW de la plataforma BioRob para control pulsante y fotografía del robot con el controlador (derecha).

- **AER-Robot:** esta tarjeta ha sido desarrollada en el grupo RTC durante el proyecto SAMANTA-2 (2008) para controlar una mano robótica antropomórfica. Se centra en una FPGA Spartan-3 y un microcontrolador 8051 con conexión USB. Dispone de puentes de potencia opto-acoplados para controlar hasta 4 motores DC. En este escenario la FPGA está recibiendo impulsos en formato AER para poder controlar los motores. Se usan en total 8 direcciones para codificar los dos posibles sentidos de cada uno de los motores. Estas direcciones son decodificadas y se generan pulsos expandidos que se envían directamente a los motores a través de puentes de potencia. Al mismo tiempo, señales de los *encoders* anexados a los motores se usan, gracias a parejas desfasadas, para detectar el sentido de giro del motor y su velocidad. Estas señales se convierten a pulsos y se envían en formato AER a la AER-node. La longitud de expansión de los impulsos es configurada a través de comandos recibidos por el microcontrolador 8051, que se conecta al software del PC mediante USB. El software del PC usado es el jAER, de libre distribución, al que se le ha añadido un filtro para controlar el robot. Estos comandos de configuración se envían a la FPGA de la placa AER-Robot y también a la FPGA de la placa AER-node a través del bus SPI.
- **AER-Node:** Esta segunda tarjeta dispone de una FPGA de mayor capacidad, la Spartan-6, para poder albergar holgadamente los cuatro controladores pulsantes PID para fijar las articulaciones en una posición concreta. Además, esta tarjeta deja abierta la posibilidad de implantar nuevos modelos de controladores motores pulsantes, como puede ser el SVITE [20] u otros por

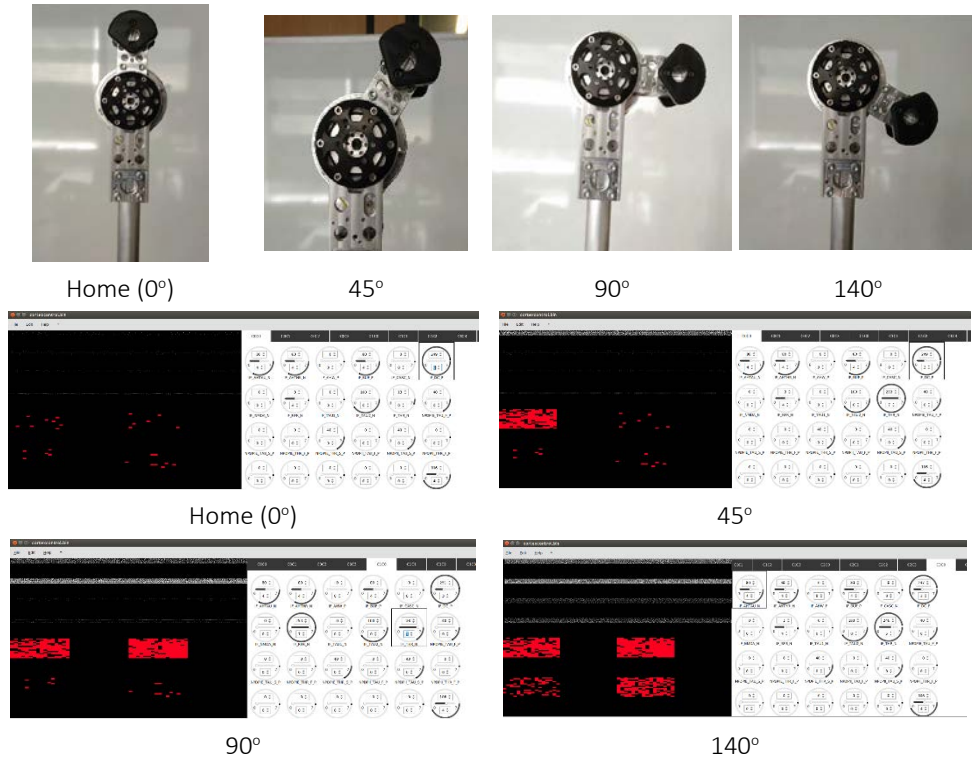
llegar. El bus de entrada AER trae información sensorial del robot en formato pulsante, proveniente de la AER-Robot, la cual se usa para cerrar el lazo de control. Existe un bus SPI para configurar los controladores. Este bus es el mismo que se tenía en la AER-Robot. Gracias al formato de 16-bits dirección más dato, cada bloque del controlador recibe de forma distribuida sus parámetros. Por último, la salida pulsante de los controladores se envía en formato AER a la tarjeta AER-Robot para su tratamiento y envío a los motores.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez montado, programado y configurado tanto el robot como el controlador pulsante expuesto anteriormente se procedió a la realización de varias pruebas para la validación del sistema para su uso en los proyectos del CITEC. La validación fue doble: en primer lugar, se programó el filtro desarrollado en el jAER, para que se pudiera comandar al robot una secuencia de posiciones con unos tiempos de espera entre cada una y se realizó una medida del consumo de la lógica y los motores, no llegando a 1A al tener en funcionamiento los 4 motores. Este bajo consumo se ha conseguido gracias al diseño del robot, que está fabricado en aluminio y por tanto es de bajo peso, pero también a los controladores pulsantes, los cuales reducen considerablemente el gasto energético por adaptarse la cantidad de pulsos que envían energía a los motores al error de posición de los mismos. Actualmente se están realizando trabajos para poder comparar cuantitativamente los controladores pulsantes con los tradicionales en este robot.

Por otro lado, ya que el objetivo del trabajo es poder disponer de una actuación robótica manejable desde un sistema de control neuroinspirado que emule las funcionalidades del cerebro, se trabajó en la integración del controlador con la plataforma Dynap-SE. Esta plataforma está compuesta por cuatro chips que integran numerosas neuronas de silicio distribuidas en cuatro núcleos (cores) en cada chip. Una interfaz con Linux permite programar las conexiones entre las neuronas y sus pesos para poder implementar redes neuronales pulsantes de la complejidad que se desee hasta 1M de neuronas. La plataforma cuenta con una interfaz gráfica que permite activar conjuntos de neuronas para que produzcan una actividad en la salida regulable. En esta prueba se ha aprovechado el mismo *core* de los 4 chips para unir poblaciones de neuronas suficientes para generar actividad de salida que pueda usarse como señal de referencia para las cuatro articulaciones del robot. En la Figura 7 se muestran fotografías de la articulación 4ª en diferentes grados como resultado de la actividad de las poblaciones de neuronas del mismo *core* de cada chip, dejando el resto de *cores* inactivos para este experimento y por tanto el resto de las articulaciones

en su posición de *home*. El experimento fue repetido numerosas veces sin observar una deriva en la posición alcanzada. Se tiene como trabajo futuro la caracterización del posible error de deriva tras realizar el experimento repetidamente.



**Figura 7.** Activaciones de neuronas de 1 núcleo de 4 chips del Dynapse para generar impulsos de referencia al controlador pulsante para 4 posiciones de la articulación 4.

## CONCLUSIONES

Este trabajo describe la integración de controladores pulsantes de motores DC para un brazo robótico de la Universidad de Bielefeld utilizando tarjetas basadas en FPGA diseñadas por el grupo RTC (TEP-108) para el procesamiento y control neuroinspirado de robots. Además, se han adaptado los circuitos de las FPGAs para recibir la señal de referencia pulsante de un sistema de redes neuronales pulsantes implementado en la plataforma Dynap-SE, diseñada en la Universidad de Zurich y comercializada por la empresa AI-Cortex.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado gracias a la financiación dentro del programa de movilidad para investigadores Senior Salvador de Madariaga del Ministerio de Educación y Ciencia del Gobierno de España. Las tareas realizadas se encuadran dentro del trabajo del Proyecto COFNET (TEC2016-77785-P) del plan nacional de I+D del Ministerio de Educación y Ciencia del Gobierno de España con el soporte de los Fondos FEDER de la Unión Europea.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Chicca, E., *et al.* (2014). Neuromorphic electronic circuits for building autonomous cognitive systems. *Proceedings of the IEEE*, pp. 1–22.
- [2] Maguire, L. P., *et al.* (2007). Challenges for large-scale implementations of spiking neural networks on FPGAs. *Neurocomputing*, 71, pp. 13–29.
- [3] Rocke, P., *et al.* (2008). *Evolvable Systems: From Biology to Hardware* (Eds. Hornby, G., *et al.*) pp. 118–129.
- [4] Lichtsteiner, P., *et al.* (2008). A 128x128 120 dB 15 us latency asynchronous temporal contrast vision sensor. *Solid-State Circuits. IEEE Journal*, 43, pp. 566–576.
- [5] Serrano-Gotarredona, T. y Linares-Barranco, B. (2013). A 128x128 1.5 Contrast Sensitivity 0.9 FPN 3 us Latency 4 mW Asynchronous Frame-Free Dynamic Vision Sensor Using Transimpedance Preamplifiers. *Solid-State Circuits. IEEE Journal*, 48, pp. 827–838
- [6] Chan, V., *et al.* (2007). AER EAR: A matched silicon cochlea pair with address event representation interface. *Circuits and Systems, I: Regular Papers. IEEE Transactions*, 54, pp. 48–59.
- [7] Jiménez-Fernández, A., *et al.* (2017). A Binaural Neuromorphic Auditory Sensor for FPGA: A Spike Signal Processing Approach. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning System*, s28(4), pp. 804–818.
- [8] Koickal, T. J., *et al.* (2007). Analog VLSI circuit implementation of an adaptive neuromorphic olfaction chip. *Circuits and Systems, I: Regular Papers. IEEE Transactions*, 54, pp. 60–73.
- [9] Qiao, N., *et al.* (2015). A Re-configurable On-line Learning Spiking Neuromorphic Processor comprising 256 neurons and 128K synapses. *Frontiers in Neuroscience*, 9.



- [10] Benjamin, B. V., *et al.* (2014). Neurogrid: A Mixed-Analog-Digital Multichip System for Large-Scale Neural Simulations. *Proceedings of the IEEE*, 102, pp. 699–716,
- [11] Calimera, A., *et al.* (2013). The human brain project and neuromorphic computing. *Funct Neurol* 28, pp. 191– 196
- [12] Furber, S.B., *et al.* (2014). The SpiNNaker Project. *Proceedings of the IEEE* 102, pp. 652–665.
- [13] Davies, M., *et al.* (2018). Loihi: A neuromorphic manycore processor with on-chip learning. *IEEE Micro*, 38(1), pp. 82-99.
- [14] Cassidy, A.S., *et al.* (2013). Cognitive computing building block: A versatile and efficient digital neuron model for neurosynaptic cores. En *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. *IEEE*.
- [15] Sivilotti, M.A. (1990). Wiring considerations in analog VLSI systems, with application to field programmable networks. PhD thesis (California Institute of Technology, July 1990)
- [16] Lens, T., Kunz, J., von Stryk, O., Trommer, C. y Karguth, A. (2010). BioRob-Arm: A Quickly Deployable and Intrinsically Safe, Light- Weight Robot Arm for Service Robotics Applications. *ISR 2010 (41st International Symposium on Robotics) and ROBOTIK 2010 (6th German Conference on Robotics)*, Munich, Germany, pp. 1-6.
- [17] Klug, S., Lens, T., von Stryk O., Möhl, B., y Karguth, A. (2008). Biologically inspired robot manipulator for new applications in automation engineering. En *Proceedings of Robotik 2008, ser. VDI-Berichte, no. 2012. Munich, Germany: VDI Wissensforum GmbH, June 11-12.*
- [18] Möhl, B. (2000). Bionic robot arm with compliant actuators. En *Proceedings of SPIE - Sensor Fusion and Decentralized Control in Robotic Systems III, vol. 4196*, pp. 82–85.
- [19] Jimenez-Fernandez, A., Jimenez-Moreno, G., Linares-Barranco, A., Dominguez-Morales, M.J., Paz-Vicente, R. y Civit-Balcells, A. (2012). A Neuro-Inspired Spike-Based PID Motor Controller for Multi-Motor Robots with Low Cost FPGAs. *Sensors*, 12, pp. 3831-3856. Recuperado de: <http://www.mdpi.com/1424-8220/12/4/3831>

Linares Barranco, A.; Jiménez Fernández, A. F.; Jiménez Moreno, G.; Gutiérrez Galán, D.; Ríos Navarro, J. A.

- [20] Perez-Peña, F., Morgado-Estevez, A., Linares-Barranco, A., Jimenez-Fernandez, A., Gomez-Rodriguez, F., Jimenez-Moreno, G., y Lopez-Coronado, J. (2013). Neuro-Inspired Spike-Based Motion: From Dynamic Vision Sensor to Robot Motor Open-Loop Control through Spike-VITE. *Sensors*, 13, pp. 15805-15832.

# LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE PÓLIPOS MEDIANTE UNA RED NEURONAL CONVOLUCIONAL POR REGIONES

**Luna Perejon, Francisco\***; Duran López, Lourdes; Amaya Rodríguez, Isabel R., Civit Masot, Javier; Civit Balcells, Antón; Vicente Díaz, Saturnino; Linares Barranco, Alejandro

Robotics and Technology of Computers.

Arquitectura y Tecnología de Computadores. Escuela Superior de Ingeniería Informática. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: [fralunper@atc.us.es](mailto:fralunper@atc.us.es)

## RESUMEN

Este trabajo expone la metodología llevada a cabo para la aplicación de un modelo *Deep Learning* con el fin de detectar pólipos de forma automática, así como su posición en videos de colonoscopia. Se plantearon diferentes métodos y diversas técnicas que pudieran aplicarse sobre el conjunto de datos proporcionado por el *2018 Sub-challenge Gastrointestinal Image ANALYSIS*. Seleccionamos el método *Faster Regional Convolutional Neural Network* para abarcar el problema planteado. Para la extracción de características empleamos el modelo *ResNet50*. Aplicamos técnicas de *data augmentation* para incrementar el conjunto de datos empleado en el entrenamiento del modelo. También aplicamos *hard negative mining* para reforzar el aprendizaje del *background* o fondo, reducir el porcentaje de falsos positivos y mejorar el rendimiento.

## PALABRAS CLAVE

Colonoscopia, Detección de pólipos, R-CNN, Regiones de interés.

## ABSTRACT

This work exposes the methodology carried out for the application of a *Deep Learning* model in the context of automatic polyp detection and its location in colonoscopy videos. Different methods were proposed as well as the different techniques that can be applied on the given dataset provided by the *2018 Sub-challenge Gastrointestinal Image ANALysis*. We chose the *Faster Regional Convolutional Neural Network* method to solve this problem. We used *ResNet50* in the first part of this algorithm to extract the main image features. We applied *hard negative mining* and *data augmentation* techniques to increase the dataset used in the training of the model. We also used *hard negative mining* to get a better learning of background, reducing false negatives and improving the performance.

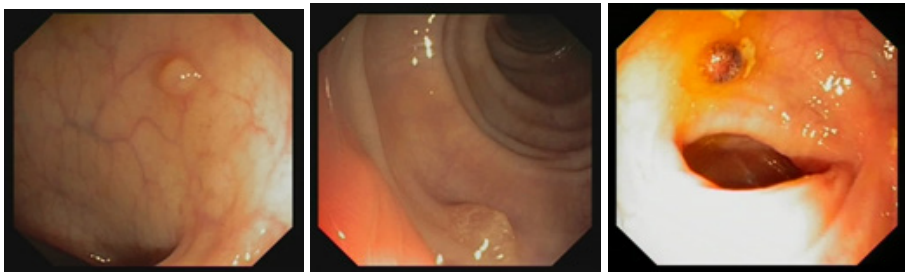
## KEYWORDS

Colonoscopy, Polyp detection, R-CNN, Regions of interest.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los algoritmos de *Deep Learning* (DL en adelante) en la última década han demostrado poseer un elevado rendimiento al aplicarlos a problemas de clasificación [1]. Esto ha causado que en la actualidad se erija como la tecnología emergente de mayor expectación [2]. Destacan principalmente en el análisis y procesado de imágenes [3,4]. Uno de los campos de investigación es su aplicación al apoyo al diagnóstico con imágenes biomédicas [5].

Un ámbito de aplicación es el apoyo durante un reconocimiento invasivo. *Gastrointestinal Image ANALysis*, GIANA en adelante, es un evento que propone una serie de desafíos, entre los que se encuentra la localización de pólipos durante una colonoscopia [6,7]. Se denomina pólipo al tejido que crece de forma anormal por debajo de la pared del músculo peristáltico y que puede llegar a ser canceroso. Su presencia puede verse reflejada en el tracto del colon como una protuberancia, pero con diversas apariencias. Muchas de estas apariencias son poco apreciables y puede confundirse con otros elementos naturales o patológicos de otra índole (Figura 1).



**Figura 1.** Muestras de pólipo. Se manifiestan como pequeñas protuberancias que pueden pasar desapercibidas (de izquierda a derecha, los dos primeros – en la parte superior central de la imagen y en la inferior central, respectivamente –).

El objetivo de este trabajo fue la selección y creación de una metodología que pueda afrontar el problema planteado por GIANA 2018 para la detección de pólipos empleando un método de DL. El presente documento plasma este trabajo en tres partes. En primer lugar, se definen los datos proporcionados, los métodos de DL considerados para afrontar el problema, así como las técnicas planteadas para la manipulación y adaptación de los datos al modelo. En segundo lugar, se justifica el método escogido, la arquitectura concreta que se va a emplear, las técnicas que se van a aplicar sobre el conjunto de datos y sobre el modelo para entrenarlo. Finalmente, se exponen las conclusiones.

## METODOLOGÍA

### Conjunto de datos

GIANA proporcionó en su edición de 2018 un conjunto de 18 vídeos de colonoscopia. En todos los vídeos se descubre la existencia de un pólipo, y sólo uno. Los pólipos no se visualizan durante toda la duración del vídeo, sino que puede pasar un intervalo de tiempo hasta localizarse y ser enfocado por la cámara, o seguir haciendo un reconocimiento de otras zonas tras haber localizado el pólipo. Los videos se proporcionan segmentados en los fotogramas que lo componen, 11954 imágenes en total. Asociado a cada fotograma se proporciona una máscara, una imagen binaria de misma resolución que marca una región circular donde se encuentra el pólipo si existiera en la imagen.

### Métodos de detección de objetos

Se estableció realizar en una primera fase una investigación para analizar los métodos de DL surgidos en los últimos 3 años (desde inicios de 2015). Se seleccionaría un modelo a utilizar para nuestro problema en base al rendimiento demostrado, la rapidez de ejecución, la facilidad para adaptar el conjunto de datos al modelo y la flexibilidad del método para adaptarlo al problema. Una vez seleccionado el método, seleccionamos una arquitectura ya probada para la parte configurable del método y así establecer un modelo.

### Variaciones en la base de datos y control de parámetros

Se investigaron las modificaciones que pudieran realizarse al conjunto de datos para adaptarlo al modelo establecido, así como para alcanzar un mejor rendimiento durante el entrenamiento. Se establecieron los cambios a probar en la base de datos y se determinaron técnicas a aplicar al modelo con los que se hicieran diferentes entrenamientos del modelo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

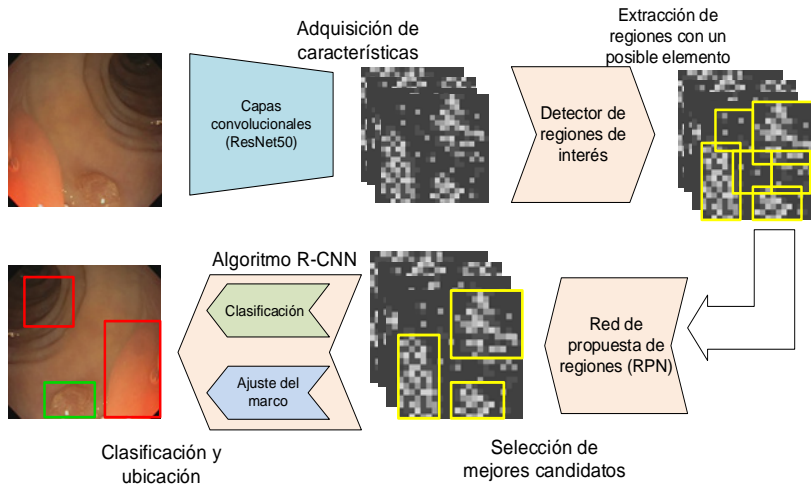
### Análisis de métodos de detección de objetos

Son varios los métodos de DL surgidos en los últimos 3 años para identificar objetos en regiones de imágenes. Se investigaron *Faster Regional Convolutional Neural Network (Faster R-CNN)* [8], *Mask Regional Convolutional Neural Network (Mask R-CNN)* b [9], *Regional Fully Convolutional Network (R-FCN)* [10], y *Single Shot Multibox Detector (SSD)* [11] por ser los más consolidados en la actualidad.

*Faster R-CNN* es un método que surgió con el objetivo de mejorar la eficiencia de su antecesor *Fast R-CNN* mediante el reaprovechamiento del cómputo realizado en la primera etapa del algoritmo para evitar cálculo repetitivo. *Mask R-CNN* es un modelo basado en *Faster R-CNN* cuya mejora reside en la capacidad de devolver un contorneado preciso del objeto detectado. *R-FCN* es un método también basado en *Faster R-CNN* que mejora considerablemente la velocidad al hacer todas sus etapas del algoritmo con capas de convolución. *SSD* es un método similar a los anteriores que se caracteriza por no tener fases separadas en ejecución, sino que se realizan todas a la vez, lo que confiere una eficiencia superior a los otros métodos.

Dado que la capacidad de devolver contornos de *Mask R-CNN* supone un coste computacional mayor y que nuestro objetivo es el de localizar la región donde se localiza cada pólipo en vídeos, este método fue descartado. *Faster-RCNN* supera en rendimiento al resto de los algoritmos que consideramos [12]. A costa de una reducción en la exactitud, *SSD* y *R-FCN* poseen una velocidad mayor, debido al aprovechamiento de la capacidad de cómputo paralelo que de unidades de procesamiento avanzadas. *Faster-RCNN* en cambio posee una flexibilidad mayor al permitir seleccionar el número de regiones que se quiere considerar en el entrenamiento, lo que permite una adaptación mejor a problemas diferentes en los que, como es nuestro caso, no se requiera detectar muchos objetos en una misma imagen.

Se escogió el método *Faster R-CNN* por su flexibilidad a la hora de personalizar cada una de sus etapas, así como la capacidad para especificar la cantidad de regiones que se quiere analizar en cada imagen, que posibilita reducir el coste computacional. Este método, esquematizado en la Figura 2, extrae las características generales de la imagen en una primera fase. Posteriormente decide qué regiones puede contener un objeto o ítem a identificar en base a las características previamente calculadas. Seguidamente emplea una técnica denominada Region Proposal Network (RPN), que va analizando qué regiones de interés -tantas como previamente se hayan establecido- son las mejores candidatas para contener un ítem. Finalmente, una combinación de dos redes neuronales se encarga de clasificar dicho objeto y reajustar la región propuesta para que abarque el objeto de forma más precisa. Esta última fase consiste en la fase característica de su método predecesor *Fast-RCNN* [13]. El modelo escogido a partir de este método emplea una arquitectura *ResNet50* [14] en su primera etapa de extracción de características. Las arquitecturas *ResNet* resuelven el problema de rendimiento que poseen las redes convolucionales que tienen una gran cantidad de capas, introduciendo entre ellas lo que se denomina capas residuales.



**Figura 2.** Diagrama de la arquitectura de Faster-RCNN empleada con ResNet50 aplicada en la adquisición de características.

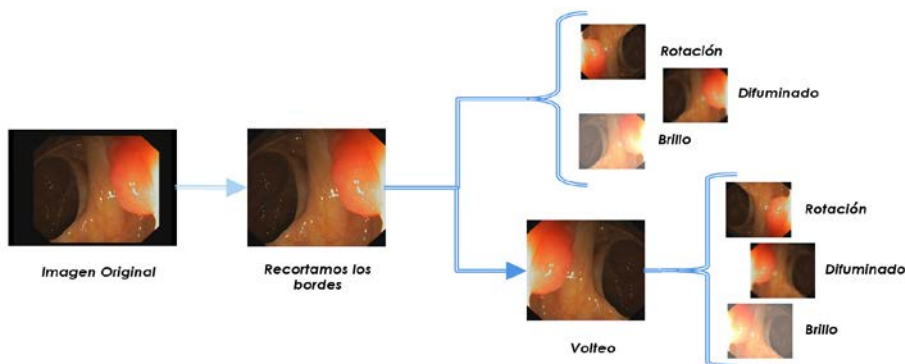
## Modificaciones en la base de datos y parámetros

El método usado devuelve regiones rectangulares determinados por coordenadas, por lo que requiere las coordenadas de las imágenes del conjunto de entrenamiento. Se generaron las coordenadas del rectángulo de área mínima que recubriese la región circular proporcionada por cada imagen de los vídeos de colonoscopia.

Las imágenes originales poseen un marco negro que fue eliminado para el entrenamiento del modelo (conjunto A), por lo que se hizo un recalcu de las coordenadas de la región que contiene un pólip.

Habitualmente para aumentar la variedad del conjunto de datos y combatir el sobreajuste del modelo se recurre a técnicas de data augmentation. Consisten en manipulaciones de las imágenes del subconjunto original tales como cambio de orientación o brillo. Para nuestro conjunto de datos se aplicó una secuencia de operaciones para ampliarlo (Figura 2). Se creó una imagen volteada horizontalmente de todo el conjunto A (conjunto B). Sobre los conjuntos A y B se aplicó aleatoriamente una modificación del brillo, un difuminado o una rotación de 180°. Se aplicó una y solo una de estas operaciones por cada imagen. Con este procedimiento se obtuvo un conjunto de datos compuesto por 47816 imágenes diferentes.





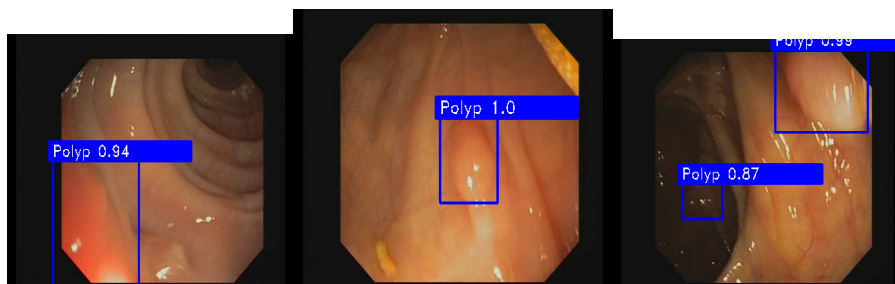
**Figura 3.** Operaciones realizadas sobre el conjunto de datos original.

El algoritmo *Faster R-CNN* en una de sus etapas de entrenamiento aprende a detectar el fondo de la imagen, que se interpreta como un tipo de objeto auxiliar. No obstante, es posible incluir el aprendizaje de este tipo de objetos en las demás etapas proporcionando como entrada regiones que contengan solo fondo. Se ha aplicado esta técnica, denominada *hard negative mining*, utilizando para ello las imágenes que no contienen pólipo.

## CONCLUSIONES

Se ha empleado un algoritmo *Faster R-CNN* para afrontar el problema de detección y ubicación de pólipos en videos de colonoscopia propuesto por GIANA en su edición de 2018. Se ha usado *ResNet50* como arquitectura en la fase de extracción de características de imagen que posee el método. Se han realizado técnicas de data augmentation para obtener un conjunto de datos mayor que combata el sobreajuste y mejore el rendimiento del modelo. Se ha empleado *hard negative mining* para reforzar el aprendizaje del fondo y que influya favorablemente en los resultados.

Algunos de los resultados preliminares, en los que se ha empleado parte de los videos de entrenamiento (15 videos de entrenamiento y 3 para evaluación), han alcanzado una precisión del 74.87% y una exactitud de 84.46%. Algunas muestras se ilustran a continuación.



**Figura 4.** Ejemplos sobre el subconjunto de videos empleado en estudios preliminares. A la izquierda se ilustran un caso de falso positivo y un falso negativo (pólipo no identificado en la parte inferior central). En el centro, un caso de verdadero positivo. A la derecha, un caso de falso positivo al fondo y un caso de verdadero positivo.

Los resultados del desafío GIANA serán publicados en el artículo resumen del evento.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los doctores Jorge Bernal y Aymeric Histace su labor como organizadores del *challenge Gastrointestinal Image ANALysis*, así como por proporcionar el conjunto de datos necesario para llevar a cabo nuestra labor investigadora.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Touretzky, D. S., Mozer, M. C., y Hasselmo, M. E. (1996). *Advances in Neural Information Processing Systems 8: Proceedings of the 1995 Conference*, 8
- [2] Kasey, P. (2017). *Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies*. Recuperado de: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/>
- [3] LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., y Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings IEEE*.
- [4] Krizhevsky, A., Sutskever, I., y Hinton, G. E. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Advances in neural information processing systems*, 25(2).
- [5] Greenspan, H., Van Ginneken, B., y Summers, R. M. (2016). Guest Editorial Deep Learning in Medical Imaging: Overview and Future Promise of an Exciting New Technique. *IEEE Transactions on Medical Imaging*.

- [6] Angermann, Q. *et al.* (2017) Towards Real-Time Polyp Detection in Colonoscopy Videos: Adapting Still Frame-Based Methodologies for Video Sequences Analysis. En Cardoso, M., *et al.* (eds). Computer Assisted and Robotic Endoscopy and Clinical Image-Based Procedures. CARE 2017, CLIP 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10550. Springer, Cham.
- [7] Bernal, J., *et al.* (2018). Polyp detection benchmark in colonoscopy videos using gcreator: A novel fully configurable tool for easy and fast annotation of image databases. Proceedings of 32nd CARS conference, June 2018, Berlin, Germany. (hal-01846141)
- [8] Ren, S., He, K., Girshick, R., y Sun, J. (2017). Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*.
- [9] He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., y Girshick, R. (2017). Mask R-CNN. En *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*.
- [10] Dai, J., Li, Y., He, K., y Sun, J. (2016). R-FCN: Object Detection via Region-based Fully Convolutional Networks. arXiv:1605.06409v2
- [11] Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C. Y., y Berg, A. C. (2016). SSD: Single shot multibox detector. En *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*,
- [12] Huang, J., Rathod, V., Sun, C., Zhu, M., Korattikara, A., Fathi, A., ... Murphy, K. (2017). Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors. En *Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017*.
- [13] Girshick, R. (2015). Fast R-CNN. En *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*.
- [14] He, K., Zhang, X., Ren, S., y Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. *Multimedia Tools and Applications*, arXiv:1512.03385v1.



# **TÉCNICAS DE PREDICCIÓN MEDIANTE MINERÍA DE DATOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA BAJO EL PARADIGMA DE INDUSTRIA 4.0**

**Guerrero, Manuel; Luque, Amalia\*; Lama, Juan Ramón**

Grupo TEP022

Diseño Industrial e Ingeniería del Proyecto y la Innovación. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: [aluque2@us.es](mailto:aluque2@us.es)

## **RESUMEN**

Un objetivo del paradigma de Industria 4.0 es convertir los datos en información útil para la toma de decisiones. Tras el término de minería de datos (Data Mining) se engloba un conjunto de técnicas dirigidas a la extracción de conocimiento procesable y que se encuentra implícito en los datos analizados. Las técnicas de minería de datos se emplean para mejorar el rendimiento de procesos productivos o industriales en los que se manejan grandes volúmenes de información estructurada. Las técnicas de predicción se basan en el análisis de datos para predecir funciones de valores continuos. La industria alimentaria es una industria de especial relevancia en nuestro país. Poder ajustar el proceso de producción al volumen de demanda, tipo de materia prima, composición y a las condiciones de funcionamiento de la fábrica permitirá tomar decisiones que lleven a la reducción de costes, a la mejora del control y a la reducción de las incidencias técnicas con clientes. En este trabajo se mostrarán como las principales técnicas de predicción pueden ser aplicadas a la industria alimentaria, en aras de avanzar hacia los objetivos que propone la Industria 4.0.

## **PALABRAS CLAVE**

Industria alimentaria, Industria 4.0, Técnicas de predicción, Minería de datos.

## ABSTRACT

One objective of the Industry 4.0 paradigm is to convert data into useful information for decision making. After the term of Data Mining, a set of techniques is included, aimed at the extraction of processable knowledge and that is implicit in the analyzed data. Data Mining techniques are used to improve the performance of productive or industrial processes in which large volumes of structured information are handled. Prediction techniques are based on data analysis to predict continuous value functions. The food industry is an industry of special relevance in our country. Being able to adjust the production process to the volume of demand, type of raw material, composition and the operating conditions of the factory will allow decisions to be taken that reduce costs, improve control and reduce technical incidents with customers. In this paper we will show how the main prediction techniques can be applied to the food industry, to advance towards the objectives proposed by Industry 4.0.

## KEYWORDS

Food industry, Industry 4.0., Prediction techniques, Data mining.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

En cualquier aplicación de Minería de Datos nos encontramos con el problema de diseño de la aplicación, procesamiento y transformación de datos que dan como resultado una representación del problema. El objetivo último es convertir los datos en información útil para la toma de decisiones.

El procesamiento de datos apunta a abordar una serie de problemas, como la redundancia de datos, la inconsistencia, el ruido, la heterogeneidad, la transformación, el etiquetado, el desequilibrio de datos y la representación/selección de características [1]. La preparación y el procesamiento de los datos suelen ser costosas, debido al requerimiento, presencia e intervención de un humano y una gran cantidad de opciones para elegir.

Este trabajo aborda los desafíos que se deben afrontar al hacer uso de la Minería de datos que más tarde será de utilizada para diversas técnicas predictivas.

## **METODOLOGÍA**

Para la elaboración de este trabajo se han utilizado fuentes internacionales como Scopus, Web of Science y ScienceDirect; para buscar literatura relacionada. Con la literatura relevante encontrada, se ha realizado un análisis para determinar el papel de la Minería de Datos en la Industria 4.0.

En los siguientes apartados se pueden encontrar procesos por los que deben pasar los datos para poder ser utilizado y diferentes técnicas predictivas. Por último, una aplicación práctica para industria de alimentaria.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La preparación y el procesamiento de los datos suelen ser costosas, debido al requerimiento, presencia e intervención de un humano y una gran cantidad de opciones para elegir. Además, algunos supuestos de datos convencionales no son válidos para el Data Mining, por lo que algunos métodos tradicionales de procesamiento se vuelven inviables.

Por otro lado, la minería de datos crea la oportunidad de reducir la dependencia de la supervisión humana al obtener información de fuentes de datos extensas, diversas y de transmisión directa.



**Figura 1.** Técnicas de Minería de Datos.

Los datos deben ser transformados en información, deben ser tratados antes de poder hacerse uso de ellos. La Minería de datos nos proporciona las herramientas para gestionarlos.

### Redundancia de datos

La duplicación surge cuando dos o más muestras de datos representan la misma entidad. El impacto de la duplicación de datos o la inconsistencia puede ser grave [2].

### Ruido de datos

La falta de valores, valores incorrectos, dispersión de datos y valores atípicos pueden introducir ruido en el tratamiento de los mismos [3].

### Heterogeneidad de datos

Las bases de datos actuales ofrecen datos de múltiples vistas y diferentes tipos de repositorios, en formatos dispares y de diferentes muestras de la población y, por lo tanto, muy heterogéneos [4].

### Discretización de datos

Algunos algoritmos, como los árboles de decisión, solo pueden tratar con atributos discretos. La discretización convierte los datos cuantitativos en datos cualitativos, obteniendo una división no superpuesta de un dominio continuo [5].



## **Datos desequilibrados**

El problema de los datos desequilibrados se ha abordado mediante métodos tradicionales de muestreo aleatorio y estratificado. Sin embargo, el proceso puede llevar mucho tiempo si involucra iteraciones en la generación de submuestras y cálculo de métricas de error [6].

## **Técnicas Predictivas**

Con las técnicas predictivas se pretenden obtener información valiosa para la toma de decisiones. Existen multitud de herramientas, aquí presentamos algunas de ellas:

### **Red neuronal artificial (ANN, Artificial Neural Network)**

Una red neuronal es una red de neuronas no lineales interconectadas inspiradas en los estudios del sistema de neuronas de organismos biológicos. Una red neuronal produce un patrón de salida cuando se presenta con un patrón de entrada. Tiene una arquitectura distribuida en paralelo con un gran número de nodos (neuronas) y conexiones [7].

### **Algoritmo genético (GA, Genetic Algorithm)**

Es una forma de técnicas de investigación de función común adaptativas motivadas por la evolución natural sugerida por Holland [8]. Pretenden modelar el procedimiento de evolución en la naturaleza. Cada cromosoma consta de varios genes y presenta el resultado candidato a la dificultad presentada. El cruce produce dos nuevos cromosomas al cruzar dos elementos de la población. La mutación cambia arbitrariamente los genes de los individuos [9].

### **Árbol de regresión**

Es una herramienta de análisis que puede ser utilizada para clasificar, predecir, interpretar y manipular datos [10]. Características: simplifica relaciones complejas, relativamente fácil de interpretar, se construye con un enfoque no requiere el cumplimiento de supuestos estadísticos, maneja distribuciones sesgadas sin la necesidad de realizar transformaciones sobre los datos y es robusta a las puntuaciones extremas [11].

Los árboles ayudan a buscar subgrupos específicos y relaciones que tal vez no se encontrarían con los estadísticos tradicionales; de esta manera, ayudan a revelar información oculta [12].

## **Método ARIMA**

La metodología ARIMA (Autorregresivos Integrados de Medias Móviles) fue desarrollada en 1970 [16]. Tienen la ventaja que es usualmente plausible encontrar un proceso que proporcione una descripción adecuada de los datos [13].

La metodología involucra un proceso iterativo [14]: análisis de Estacionalidad, identificación del Modelo, estimación de Parámetros del Modelo, verificación del Modelo, pronóstico y validación del pronóstico.

## **Modelos de Alisado Exponencial**

Son procedimientos para ajustar una curva apropiada a datos históricos de una determinada serie de tiempo. Hasta hace relativamente poco tiempo aun no se desarrollaba un procedimiento que incorporara una estructura de modelado [15].

## **Regresión multivariable**

Más conocida como Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS), pretende aproximar de manera eficiente la relación de más de dos variables para la obtención de una variable de predicción [16]. Se utiliza cuando se estudia la posible relación entre varias variables independientes entre sí (variables predictoras o explicativas) y otra variable dependiente (variable de respuesta).

## **Sector Agroalimentario: alimentación y bebidas.**

El objetivo de este trabajo es señalar la relevancia que pueden tener la Minería de Datos y técnicas predictivas como herramientas que favorezcan la gestión de la producción en el sector agroalimentario, más concretamente en el sector de alimentación y bebidas.

Fruto del crecimiento de las industrias de alimentos y bebidas nos encontramos un sector especialmente exigente con la gestión de la producción: comportamiento económico (oferta rígida, demanda inelástica), intervención administrativa en las producciones primarias, requerimientos en seguridad alimentaria, diversidad de productos, variabilidad de las producciones... a las que hay que añadir las que también afectan al resto de la economía: fluctuaciones financieras, aceleración de las tecnologías aplicables, globalización de los mercados... [17]

La industria alimentación y bebidas es un sector estratégico muy importante para nuestra economía. Genera más de medio millón de empleos directos, por encima del total de la industria manufacturera y del conjunto de la economía española [18]. Por

este motivo se ha centrado el caso de estudio en este sector, debido al gran potencial que muestran estas empresas y las posibilidades que facilitan.



**Figura 2.** Tratamiento de datos para determinar patrones.

## CONCLUSIONES

Gracias al nuevo paradigma de Industria 4.0, haciendo uso de la tecnología de la información, ahora es más fácil convertir los datos en información útil para la toma de decisiones.

Herramientas como la minería de datos y técnicas predictivas las organizaciones disponen de información que les ayuda a plantear estrategias empresariales más precisas, efectivas y aplicables en periodos de tiempos más cortos.

Antes de poder interpretar los datos de los procesos, las empresas deben tratarlos para reducir el problema a tratar y optimizar los recursos disponibles. La Minería de datos proporciona los medios para el tratamiento de los datos productivos.

Por otro lado, existen distintas técnicas predictivas, cada una con sus bondades y deficiencias, que proporcionan una nueva vía a las empresas para la toma de decisiones.

La industria agroalimentaria española es susceptible de beneficiarse del paradigma de Industria 4.0. En un mercado globalizado, cualquier ventaja pequeña respecto a la competencia puede marcar una gran diferencia.

Siendo el mercado de la alimentación y bebidas muy exigente respecto a la gestión de la producción, las herramientas que se han discutido más arriba ofrecen a las organizaciones una ventaja competitiva a valorar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bengio, Y., Courville, A., y Vincent, P. (2013). Representation learning: A review and new perspectives. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 35(8), pp. 1798-1828.
- [2] Chen, Q., Zobel, J., y Verspoor, K. (2015). Evaluation of a machine learning duplicate detection method for bioinformatics databases. En *Proceedings of the ACM Ninth International Workshop on Data and Text Mining in Biomedical Informatics* (pp. 4-12). ACM.
- [3] Cao, L., Wei, M., Yang, D., y Rundensteiner, E. A. (2015). Online outlier exploration over large datasets. En *Proceedings of the 21th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 89-98). ACM.
- [4] Gandomi, A., y Haider, M. (2015). Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. *International Journal of Information Management*, 35(2), pp. 137-144.
- [5] Ramírez S., García, S., Mouriñon, H., Martínez, D., Bolón V., Alonso, A., y Herrera, F. (2016). Data discretization: taxonomy and big data challenge. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 6(1), pp. 5-21.
- [6] Su, Y., Agrawal, G., Woodring, J., Myers, K., Wendelberger, J., y Ahrens, J. (2014). Effective and efficient data sampling using bitmap indices. *Cluster computing*, 17(4), pp. 1081-1100.
- [7] Lakshmanan, I., y Ramasamy, S. (2015). An artificial neural-network approach to software reliability growth modeling. *Procedia Computer Science*, 57, pp. 695-702.
- [8] Holland John, H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. USA: University of Michigan.
- [9] Kalavathi, J., Balamurali, S., y Venkatesulu, M. (2015). An efficient evolutionary approach for identifying evolving groups in dynamic social networks using genetic modeling. *Procedia Computer Science*, 57, p. 428.
- [10] Song, Y. Y., y Ying, L. U. (2015). Decision tree methods: applications for classification and prediction. *Shanghai archives*, 27, p. 130.

- [11] Hernández, R. V. R., Quintero, J. M. M., Mendoza, A. L., y Almazán, D. Á. (2018). Identificación de perfiles en la satisfacción de los usuarios de repositorios digitales a través de un árbol de regresión. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 9(17), pp. 1-19.
- [12] Berlanga, S. V., Rubio, H. M. y Vilá Baños, R. (2013). Cómo aplicar árboles de decisión en SPSS. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca in Educació*, 6(1), pp. 65-79.
- [13] Box, G., y Jenkins, G. (1970). *Time Series Analysis-Forecasting and Control*. San Francisco: Holden Day. p. 553.
- [14] Hyndman, R., Koehler, A. B., Ord, J. K., y Snyder, R. D. (2008). Forecasting with exponential smoothing: the state space approach. *Springer Science & Business Media*.
- [15] Ord, K., y Lowe, S. (1996). Automatic forecasting. *The American Statistician*, 50(1), pp. 88-94.
- [16] Ramírez, A. M. A. (2013). *Métodos utilizados para el pronóstico de demanda de energía eléctrica en sistemas de distribución*. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [17] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2018). Marco Estratégico para la Industria de Alimentación y Bebidas. Recuperado de: <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/industria-agroalimentaria/marco-estrategico/>
- [18] Federación Española de Industrias de la Alimentación y Bebidas (FIAB). (2018). Sector alimentación y bebidas. Recuperado de: <http://fiab.es/sector/>



# **REPRESENTACIÓN ÓPTIMA DEL ESPECTRO DE LLAMADAS DE ANUROS EN SISTEMAS DE CONTROL AMBIENTAL UTILIZANDO REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS**

**Gómez Bellido, Jesús\* ; Luque Sendra, Amalia; Carrasco Muñoz, Alejandro**

Grupo de investigación TEP022 y TIC150.

Departamentos de Ingeniería del Diseño y Tecnología Electrónica. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: aluque2@us.es

## **RESUMEN**

El análisis y la clasificación de los sonidos producidos por determinadas especies animales, en particular los anuros, han revelado que son un potente indicador de la existencia del cambio climático. Es por lo que los sistemas de monitorización ambiental que utilizan redes de sensores inalámbricos son de gran interés para obtener indicadores del calentamiento global. El presente documento se centra en este proceso de extracción de características explorando tres alternativas: el MPEG-7 estandarizado, los Filter Bank Energy (Energía de Bancos de Filtros, FBE) y los Mel Frequency Cepstral Coefficients (Coeficientes Cepstrales de Frecuencia de Mel, MFCC). Además, se consideran diferentes valores para cada opción en la extracción de las características del espectro.

## **PALABRAS CLAVE**

Sensores, Sonidos, Ambiental, Control, Clasificación.

## **ABSTRACT**

The analysis and classification of the sounds produced by certain animal species, in particular anurans, have revealed that they are a powerful indicator of the existence of climate change. Environmental monitoring systems using wireless sensor networks are of great interest for global warming indicators. This paper focuses on this feature extraction process by exploring three alternatives: the standardised MPEG-7, Filter Bank Energy (FBE) and Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC). In addition, different values are considered for each option in the extraction of spectrum characteristics.

## **KEYWORDS**

Sensors, Sounds, Environment, Control, Classification.



## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

Según *Global Shapers Community*, uno de los problemas más serios que afectan al mundo hoy en día es el cambio climático. Una de las consecuencias conocidas del cambio climático es su impacto en el desarrollo de las funciones fisiológicas básicas de varias especies [1], [2], como el sonido producido en la llamada de apareamiento, que juega un papel fundamental en la selección y reproducción sexual de numerosas especies ectotérmicas [3], [4]. Sonidos, por lo tanto, críticos para la adaptación de las especies al medio ambiente.

La producción de sonido en animales ectotérmicos está fuertemente influenciada por la temperatura ambiente [5], [6], que también puede afectar a varias características del sistema de comunicación acústica. Como resultado, la temperatura puede afectar significativamente a los patrones de llamada, influyendo en la actividad reproductiva del anuro.

El análisis y la clasificación de los sonidos producidos por ciertas especies de anuros han revelado que son un fuerte indicador de las fluctuaciones de temperatura y, por lo tanto, de la existencia del cambio climático [7].

Sin embargo, estos estudios tienen que estar respaldados por un gran número de grabaciones de audio, que normalmente se recogen sobre el terreno y se analizan de forma individualizada en un momento posterior. Se estima que, en promedio, un experto necesita 2 minutos de escucha para identificar una especie en 1 minuto de audio [8], por lo que resulta poco práctico analizar manualmente los grandes volúmenes de datos acústicos proporcionados por las modernas redes de sensores. Por este motivo, es imprescindible desarrollar sistemas inteligentes que simplifiquen, automaticen y agilicen la tarea de análisis y etiquetado de las grabaciones sonoras.

## **TRABAJOS PREVIOS**

Desde hace varios años, en colaboración con el Parque Nacional de Doñana, se está trabajando en el problema de la clasificación de los anuros como indicadores del calentamiento global, desplegando una Red de Sensores a través del parque para diversos fines.

En una primera contribución [9], se demostró que es posible realizar una clasificación automática de los sonidos de anuros en su hábitat natural (ambiente “ruidoso”). En [10] se amplió el estudio a más algoritmos de clasificación, para superar algunas dificultades encontradas en [9], continuando con la caracterización del sonido basado

en MPEG-7 y tratando cada *frame* como independiente. En [11] se propusieron seis métodos de clasificación, con la intención de explotar la información contenida en el orden de los *frames*. En [12], se estudió el tiempo necesario para calcular cada paso del proceso de clasificación: extracción de características; clasificador de la formación; y clasificación no secuencial y secuencial.

## OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Basándonos en estos antecedentes, el objetivo principal de este trabajo es explorar el proceso de extracción de características, analizando la mejor manera de representar la información contenida en un *frame* de sonido. Además de las características MPEG-7 utilizadas en trabajos anteriores, se considerarán otras formas de representar cada espectro de trama, desde Filter Bank Energy (FBE) hasta los Coeficientes Cepstrales de Frecuencia de Mel (MFCC) comúnmente utilizados.

En los experimentos se ha empleado un amplio conjunto de datos, se cuenta con grabaciones del Museo Nacional de Ciencias Naturales, correspondiente a dos especies: sapo corredor (*epidalea calamita*) y sapo partero común (*alytes obstetricans*), con un total de 868 grabaciones que contienen 4 clases de sonidos. Dentro de este conjunto, se han seleccionado 13 grabaciones que para ser utilizadas como conjunto de entrenamiento. Estas grabaciones además de patrones de los cantos también contienen secciones de silencio y/o ruido. Para la realización de este estudio, se han utilizado 10 clasificadores y siete métricas de rendimiento diferentes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Extracción de características MPEG-7

Un primer enfoque para reducir significativamente el número de valores que representan un espectro es utilizar algún tipo de firma de éste. La idea no es almacenar la amplitud espectral en cada frecuencia, sino determinar ciertas características generales de la forma del espectro. Con este propósito, para la extracción de características se ha utilizado la norma ISO MPEG-7 [13]. De esta recomendación se ha seleccionado los parámetros más significativos para la clasificación, obteniendo del análisis 18 parámetros de 3 procesos diferentes.

Una de las principales ventajas del uso de las características MPEG7 es su estandarización, por lo que no es necesario ajustar ni seleccionar parámetros opcionales. Por lo tanto, utilizando los valores recomendados reflejados en la columna MPEG-7 de la Tabla 1, el rendimiento de la clasificación puede resumirse en la Figura

1. Como se puede observar, los mejores resultados lo obtienen el clasificador de Distancia Mínima con un resultado del 85%.

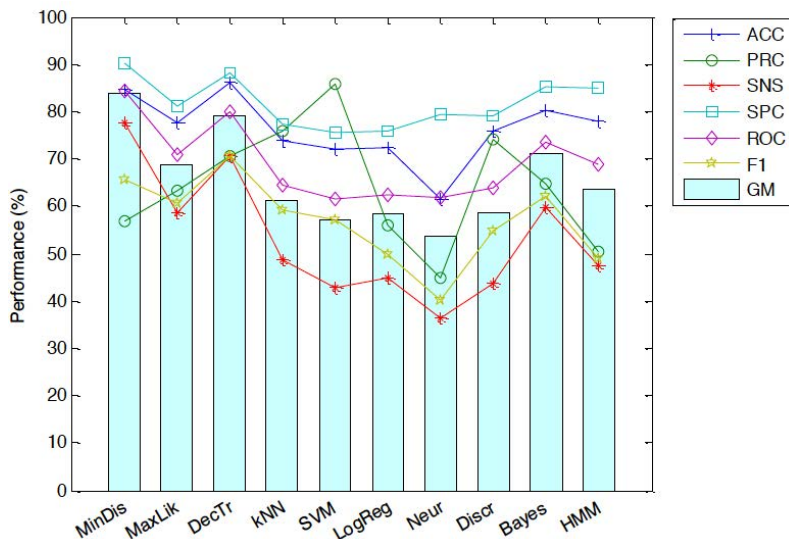


Figura 1. Representación de la clasificación usando características MPEG-7.

### Banco de Filtros de Energía (FBE)

El segundo enfoque representa los sonidos usando el *Filter Bank Energy*, FBE. Como no existe una práctica estándar o común en la selección de opciones para FBE, con el objetivo de facilitar la comparación, hemos utilizado las mismas opciones que en MPEG-7. El desempeño en la clasificación obtenida usando esta estrategia puede resumirse en la Figura 2. Observamos que los mejores resultados se obtienen utilizando el clasificador de Máxima Probabilidad con un resultado del 92,69%.

### Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)

Las características MFCC no están estandarizadas por lo que de forma inicial se han usado los valores por defecto de la implementación MFCC-HTK (Hidden Markov Model Toolkit), valores reflejados en la columna MFCC de la Tabla 1.

Los resultados de los distintos métodos de clasificación estudiados con este conjunto de características se resumen en la Figura 3, concluyendo el mejor comportamiento lo obtiene el clasificador Bayes con un resultado del 94,85%.

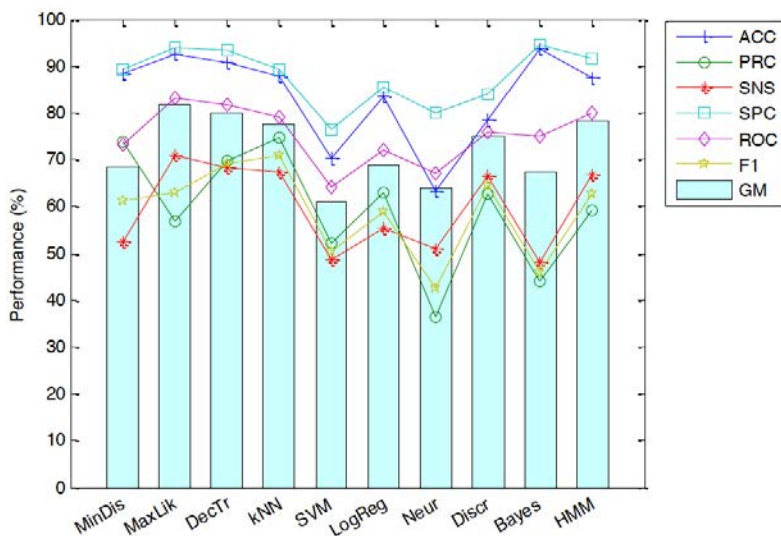


Figura 2. Representación de la clasificación usando características FBE.

### MFCC Optimizado

El proceso de extracción de estas características del MFCC deja abierta muchas opciones, se va a estudiar si un conjunto diferente de valores para las opciones de extracción podría lograr mejores resultados de clasificación.

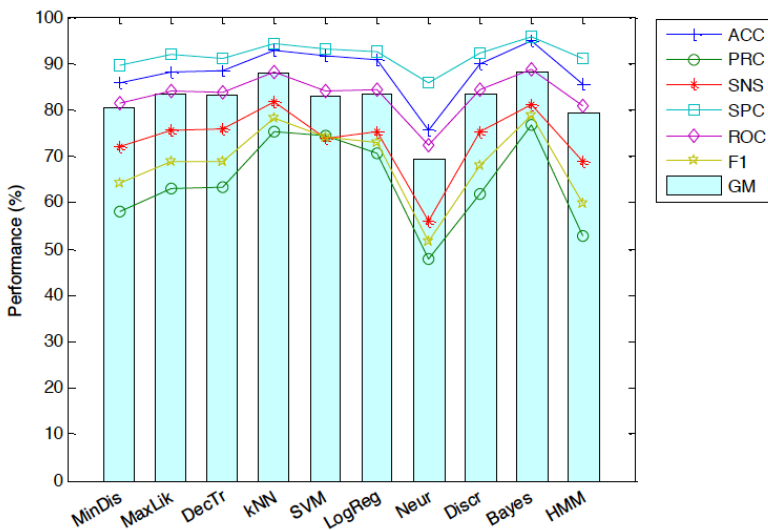
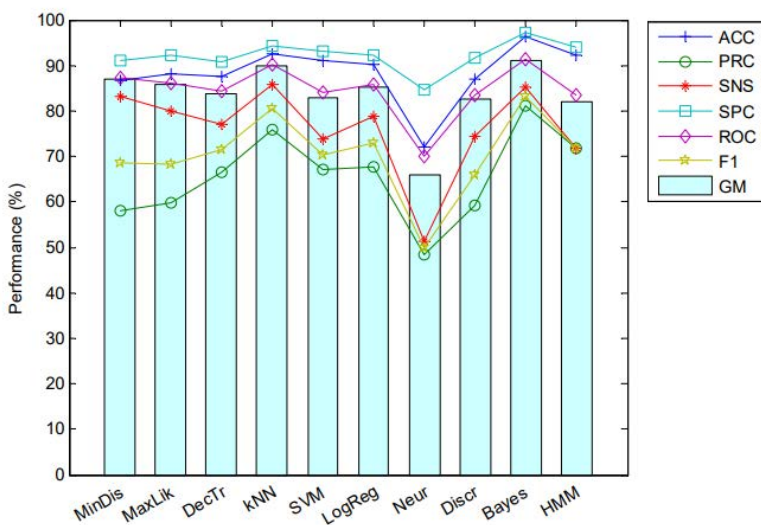


Figura 3. Representación de la clasificación usando características MFCC.

Realizar un estudio exhaustivo en la dimensión de los valores ( $R^{11}$ ) se hace inviable en cuanto al tiempo de cálculo que conllevaría. Por esto, como alternativa a este planteamiento, se ha empleado un enfoque mas sencillo y rápido, pero aún así efectivo. Se considera un punto de partida en el espacio de opciones y cada vez que éste se mueva lo hará en una sola dimensión. La primera búsqueda tendrá en cuenta el punto de partida (1) y los valores  $O_1 - 1$  restantes de la primera propiedad. La búsqueda en la segunda dimensión requerirá el cálculo de los valores de  $O_2 - 1$ .

En la tabla columna MFCC-Optimizado de la Tabla 1 se refleja un resumen de los parámetros óptimos finalmente seleccionados para la clasificación. En la Figura 4 se muestra el rendimiento alcanzado al hacer uso de esta estrategia, obteniendo los mejores resultados el clasificador Bayes, con un 96,37%.



**Figura 4.** Representación de la clasificación usando características MFCC Optimizadas.

## CONCLUSIONES

En conclusión, para lograr un buen compromiso entre la calidad de la clasificación y las consideraciones de implementación del ruido blanco gaussiano, se usará el método MFCC, manteniendo el valor por defecto de 13 características y haciendo uso de las opciones ajustadas de forma óptima. Si el compromiso que se requiere es una importante reducción del número de características, el MFCC supera claramente al FBE.

**Tabla 1.** Resumen valores para la extracción de características

Dominio	Función	Propiedad	MPEG-7	MFCC	MFCC-Opt
Tiempo	Preénfasis	$\alpha$	-	0,97	-
	Framing	Ventana	Hamming	Hamming	Hamming
		$T_w$	30ms	25ms	20ms
		$T_s$	10ms	10ms	10ms
Frecuencia	FBE	$L_f$	64kHz	300Hz	1kHz
		$H_f$	16kHz	3700Hz	5kHz
		M	-	20	20
		Escala	-	Mel	Mel
Quefrecuencia	Cepstrum	Transformación	-	DCT	DCT
		C	-	13	-
	Liftering	L	-	22	20

## AGRADECIMIENTOS

A los grupos de investigación TEP022 y TIC150 de la Universidad de Sevilla por los conocimientos adquiridos y los trabajos previos realizados.

A la Escuela Politécnica Superior de Sevilla por la organización de la Jornadas Doctorales que ha permitido la publicación del presente trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pörtner, H.O. y Knust, R. (2007). Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance. *Science*, 315, pp. 95–97.
- [2] Huey, R.B., Deutsch, C.A., Tewksbury, J.J., Vitt, L.J., Hertz, P.E., Pérez, H.J.Á., y Garland, T. (2009). Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*
- [3] Bradbury, J.W. y Vehrencamp, S.L. (2011). *Principles of Animal Communication*, 2nd ed. Sinauer Associates: Sunderland, MA, USA.
- [4] Fay, R.R. y Popper, A.N. (Eds.) (2012). *Comparative Hearing: Fish and Amphibians*, Springer Science & Business Media: New York, USA, Volume 11.
- [5] Bellis, E.D. (1957). The effects of temperature on salientian breeding calls. *Copeia*, pp. 85–89.

- [6] Walker, T.J. (1962). Factors responsible for intraspecific variation in the calling songs of crickets. *Evolution*, 16, pp. 407–428.
- [7] Llusia, D., Márquez, R., Beltrán, J.F., Benitez, M., y Do Amaral, J.P. (2013). Calling behaviour under climate change: Geographical and seasonal variation of calling temperatures in ectotherms. *Global Change Biology*, 19, pp. 2655–2674.
- [8] Wimmer, J., Towsey, M., Roe, P., y Williamson, I. (2013). Sampling environmental acoustic recordings to determine bird species richness. *Ecological Applications*, 23, pp. 1419–1428.
- [9] Luque, J., Larios, D.F., Personal, E., Barbancho, J., y León, C. (2016). Evaluation of MPEG-7-Based Audio Descriptors for Animal Voice Recognition over Wireless Acoustic Sensor Networks. *Sensors*, 16, p. 717.
- [10] Luque, A., Romero-Lemos, J., Carrasco, A., y Barbancho, J. (2018). Non-sequential automatic classification of anuran sounds for the estimation of climate-change indicators. *Expert Systems with Applications*, 95, pp. 248–260.
- [11] Romero, J., Luque, A., y Carrasco, A. (2017). Animal Sound Classification using Sequential Classifiers. En *BIOSTEC 2017: 10th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies*, ScitePress Digital Library: Setubal, Portugal, pp. 242–274.
- [12] Luque, A., Gómez-Bellido, J., Carrasco, A., Personal, E., y Leon, C. (2017). *Evaluation of the Processing Times in Anuran Sound Classification*. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2017, 8079846.
- [13] ISO. ISO/IEC 15938-4:2001 (MPEG-7: Multimedia Content Description Interface), Part 4: Audio; ISO/IEC JTC, 1; ISO: Geneva, Switzerland, 2001.





# **ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN EN LAS PROPIEDADES FINALES DE PIEZAS DE TITANIO COMERCIALMENTE PURO CON GEOMETRÍAS SENCILLAS PRODUCIDOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE “ADDITIVE MANUFACTURING”**

**Pérez-Soriano, Eva María<sup>1</sup>; Arévalo, Cristina<sup>1</sup>; Montealegre-Meléndez, Isabel<sup>1\*</sup>; Kitzmantel, Michael<sup>2</sup>; Neubauer, Erich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> TEP-123 Metalurgia e Ingeniería de los Materiales.

*Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte; Escuela Politécnica Superior; Universidad de Sevilla.*

<sup>2</sup> RHP-Technology GmbH.

*Forschungs-und Technologiezentrum, 2444 Seibersdorf, Austria.*

\*E-mail: imontealegre@us.es

## **RESUMEN**

La necesidad de fabricar piezas de geometrías complejas empleando materiales ligeros con altas propiedades, en el sector aeroespacial conlleva al uso de técnicas cada vez más flexibles y con mayor complejidad técnica. Este es el caso de los procesos de fabricación aditiva capa por capa (Additive Manufacturing, AM). La posibilidad de diseñar piezas partiendo de diseños en 3D, llevándolas a una realidad física, la ventaja frente a otras técnicas de fabricación convencionales.

En el presente trabajo, se ha desarrollado un estudio preliminar en piezas de titanio comercialmente puro, fabricadas mediante AM, en particular la técnica de “Plasma Transferred Arch”, bajo diferentes parámetros de fabricación. Dichas piezas se han fabricado a partir de un sustrato de titanio sobre el cual se han ido depositando capa a capa de material (titanio) de una forma específica. El objetivo de dicho estudio es evaluar las posibles diferencias en las piezas de titanio fabricadas con estas geometrías tan sencillas similares a un cordón de soldadura. Desde un punto de vista cualitativo y cuantitativo se han comparado entre sí dichas piezas; de dichas comparativas se ha podido observar la gran influencia que tienen los parámetros de fabricación como el arco de transferencia en los especímenes fabricados.

## **PALABRAS CLAVE**

Additive Manufacturing, Titanio, Plasma Transferred Arch.

## **ABSTRACT**

The need to manufacture complex geometry pieces using lightweight materials with high properties, leads in the aerospace sector to the use of techniques increasingly flexible with greater technical complexity. This is the case of Additive Manufacturing processes (AM). The possibility of designing pieces based on 3D designs, taking them into a physical reality, is its main advantage over other conventional manufacturing techniques.

In the present work, a preliminary study has been developed on commercially pure titanium pieces, manufactured by means of AM, the “Plasma Transferred Arch” technique, under different manufacturing parameters. The substrate was made from titanium, on which titanium layers were deposited, one by one, in a specific disposition. The objective of this study is to evaluate the possible differences in the titanium pieces manufactured with these simple geometries similar to a weld bead. From a qualitative and quantitative point of view, these pieces have been compared; it is possible to observe the great influence that manufacturing parameters have, as the transferred arc, in the manufactured specimens.

## **KEYWORDS**

Additive Manufacturing, Titanium, Plasma Transferred Arch.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

Los factores peso y coste económico son dos pilares fundamentales a tener en cuenta en el sector del diseño aeronáutico; están estrechamente ligados con los materiales a utilizar y sus respectivos procesos de fabricación. En este contexto, se presenta al Ti y a sus aleaciones como candidatos a la hora de realizar una selección de materiales en el sector aeroespacial [1].

Los grandes avances tecnológicos de las últimas décadas han posicionado a la impresión en 3D en la cabeza de la lista de los procesos de producción. Destacando en este grupo el Additive Manufacturing (AM), tecnología de producción que se encuentra en auge. Dicha tecnología consigue, sin crear material residual, producir elementos tridimensionales desde un modelo diseñado mediante programas informáticos, añadiendo material capa a capa. Esto ofrece beneficios, como, por ejemplo, la adaptabilidad a construir elementos geoméricamente complejos que no podrían desarrollarse con otras tecnologías de producción, tales como la fundición con molde o la forja [2]. La peculiaridad de estas tecnologías de fabricar un producto semi-acabado por capas, evitando el despilfarro de material [3] además de tener la posibilidad de controlar las características mecánicas del producto final, es lo que hace de este proceso una buena forma de tratar el titanio [4-5].

De entre las diversas variables existentes de fabricación AM, en el presente estudio se aborda la técnica de plasma transferido por arco de soldadura o “Plasma Transferred Arch” (PTA). Dicha técnica es una técnica de fabricación por adición basada en el proceso “Blown Powder Technology”. Se basa en el soplado de polvos de material de forma coaxial con una fuente de energía que funde las partículas en el sustrato. La boquilla desde donde son soplados los polvos tiene dos aberturas: una es para el soplado de material y, la otra, para producir una corriente de un gas de protección. El soplado del polvo suele realizarse por gravedad, siendo su velocidad de soplado controlada por un dosificador similar a una barrena. El flujo de gas protector trata de eliminar el oxígeno de la zona de trabajo evitando así la oxidación y la degradación de la pieza. En el proceso de fabricación PTA, la energía proviene del arco transferido por la antorcha; siendo este uno de los parámetros más influyentes en las propiedades finales de las piezas fabricadas [6-10].

En el presente trabajo se procesan piezas de titanio grado 1 y titanio grado 5, considerando variaciones en los parámetros de fabricación que pudiesen afectar de forma significativa a las propiedades de las piezas fabricadas.

## METODOLOGÍA

Para la realización de las piezas se han empleado polvos de partida de alta calidad de Ti grado 1 y Ti grado 5; la morfología de ambos polvos es esférica. El tamaño medio de partícula para el titanio grado 1 es 110  $\mu\text{m}$  y, para el titanio grado 5, 140  $\mu\text{m}$ ; ambos valores fueron obtenidos tras el análisis del polvo en el equipo de láser Mastersizer 2000.

Los parámetros de fabricación seleccionados como objeto de estudio son: el arco transferido, la velocidad de movimiento de la antorcha y la altura de la antorcha respecto a la deposición de material; además, los especímenes fueron fabricados por deposición de una capa (especímenes “S”) y varias capas (especímenes “M”). Con ello se pretende estudiar y comparar el efecto de los parámetros de fabricación anteriormente citados, no sólo en el sustrato, sino también en las diversas capas de material depositado.

La lista de especímenes producidos queda reflejada en la Tabla 1. Dicha tabla muestra los parámetros empleados para la producción de las muestras, así como la identificación que se hizo de las mismas siguiendo una nomenclatura de fabricación en función del orden de procesado.

**Tabla 1.** Parámetros de fabricación.

	Arco Transferido [A]	Velocidad [mm/min]	Altura antorcha-sustrato [mm]
S18	150	200	14
S19	150	100	14
S20	150	50	14
S21	150	75	16
S24	180	75	18
S25	200	75	18
S26	130	75	18
S27	100	75	18
S28	100	75	18
S29	150	75	18
S1	150	100	18
S2	180	100	18
S3	210	100	18
S4	180	75	18
S5	180	50	20
M1	150	100	18, 20, 22, 24, 26
M2	180	100	18, 20, 22, 24, 26

	Arco Transferido [A]	Velocidad [mm/min]	Altura antorcha-sustrato [mm]
M3	210	100	18, 20, 22, 24, 26
M4	180	75	18, 20, 22, 24, 26

Una vez fabricadas las distintas muestras, se procedió a la caracterización de las mismas. En primer lugar, se realizaron cortes perpendiculares al sustrato, de los cuales se extrajeron los especímenes pertinentes (ver Figura 1).

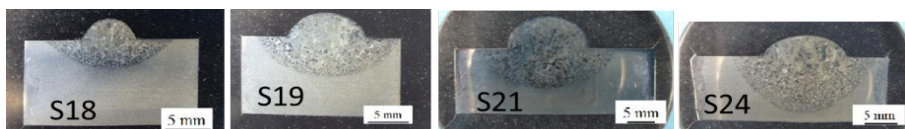


**Figura 1.** Imagen de la extracción de los distintos especímenes para su estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

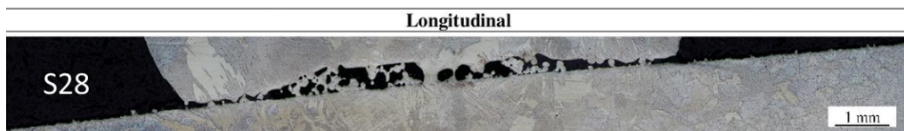
En primer lugar, se determinaron las densidades de los especímenes, y se pudo apreciar que todos alcanzaron casi el 100% de densificación. Estos valores fueron calculados mediante análisis de imagen de las muestras. Por otro lado, de forma cualitativa, se evaluaron factores como la unión entre el sustrato y la capa o capas depositadas. Además, se valoró la anchura del cuello de dicha unión y la existencia de porosidad en dicha zona.

Una comparativa entre sustratos reveló aspectos muy significativos de los parámetros de fabricación estudiados. Como se puede apreciar en la Figura 2, los especímenes fabricados a una mayor velocidad de deposición (velocidad de antorcha) y una menor energía de arco transferido, presentan un menor tamaño de cuello (véase en S18 Figura 2). Si la energía de dicha fuente es aumentada, su efecto queda reflejado en el material del sustrato, a pesar de encontrarse la antorcha a una mayor separación en altura del sustrato (véase en S24 Figura 2).



**Figura 2.** Imágenes de especímenes de titanio de una sola capa fabricado bajo diferentes parámetros.

Un efecto negativo del déficit de energía de procesado, considerado como un bajo valor de arco transferido, 100 A, puede ser observado en la Figura 3 (muestra S28). En este caso, no existe una unión real entre el sustrato y la capa de titanio grado 1 depositada.

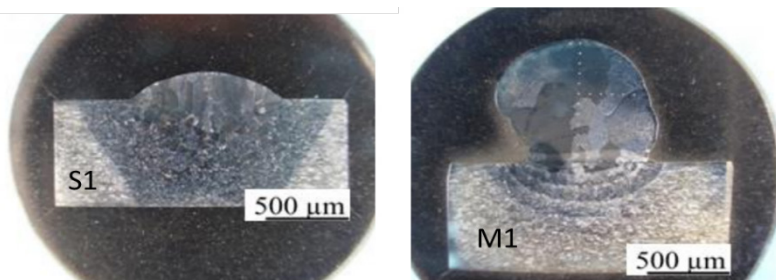


**Figura 3.** Imagen de un espécimen de titanio fabricado bajo un arco transferido de 100A.

En el caso de piezas fabricadas a partir de titanio grado 5, el efecto de los parámetros de fabricación es similar al observado en piezas de titanio grado 1. Se vuelve a reflejar la importancia de la energía de la antorcha en la morfología del cuello de los especímenes. En la Figura 4, se pueden comparar piezas monocapa y multicapa procesadas bajo una energía de arco transferido de 210 A. Es importante destacar que, el efecto de disipación térmica que ofrecen las capas se traduce en un crecimiento de grano columnar para este tipo de especímenes multicapa. Se podría considerar como que la deposición de una segunda, tercera y cuarta capa impide que la zona se enfríe rápidamente, lo cual origina esas modificaciones en la morfología de los grados observados.

En el caso de muestras monocapa, la microestructura presenta un tipo de grano equiaxial en general en la zona del cuello. Debido a un alto valor de arco y a una baja disipación de calor en la zona de contacto con el aire, los granos formados presentan morfología columnar. Además, se puede observar en la muestra S1 cómo el sustrato se ve afectado térmicamente, manifestando cambios sustanciales en su microestructura.

A la hora de realizar una comparativa de la morfología de los granos observados en especímenes monocapa y multicapa, los granos columnares (nucleación homogénea) son mayores cerca del eje vertical de simetría. En los extremos, el calor se libera rápidamente haciendo decrecer el tamaño de grano (morfología equiaxial, nucleación heterogénea). En los especímenes monocapa, los granos columnares son más delgados en el cordón. En cambio, en los multicapa, los granos más grandes se aprecian precisamente en el cordón. El enfriamiento es más lento ya que el calor liberado se difunde a través del espécimen; por lo tanto, la velocidad de enfriamiento decrece bruscamente haciendo que el tamaño de grano sea mayor y que tenga forma columnar.



**Figura 4.** Imagen de dos especímenes de titanio grado 5, monocapa (S1) y multicapa (M1), fabricados bajo un arco transferido de 210A.

## CONCLUSIONES

Al aumentar el arco transferido, se genera más calor y, consecuentemente, se afecta la microestructura. Aparecen granos más grandes y la morfología de los granos columnares tiende a ser más alargada; consecuentemente, la dureza disminuye.

Con una menor velocidad de deposición, hay una disminución en la velocidad de difusión del calor. El tamaño de grano aumenta, mientras que la dureza se ve reducida.

Aumentando el arco o disminuyendo la velocidad de deposición, se ensancha el cordón, dando lugar además a granos columnares más grandes.

Todas las muestras han alcanzado una densificación total.

Se ha observado una microestructura típica de soldadura con granos columnares en la zona central y equiaxial por los bordes. El tamaño de grano decrece desde el cordón hacia el sustrato.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Leyends, C. y Peters, M. (2003). *Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications*. Weinheim (Alemania): Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [2] Frazier, W.E. (2014). Metal additive manufacturing: a review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23(6), p. 1917.
- [3] Fina, F., et al. (2017). Selective laser sintering (SLS) 3D printing of medicines. *International Journal of Pharmaceutics*, 529, p. 285.
- [4] Williams, S.W., et al. (2016). Wire + Arc Additive Manufacturing. *Materials Science and Technology*, 32, p. 641.

- [5] Katou, M., *et al.* (2007). Freeform fabrication of titanium metal and intermetallic alloys by three-dimensional micro welding. *Journal of Materials and Design*, 28, p. 2093.
- [6] Jhavar, S., *et al.* (2014). Development of micro-plasma transferred arc ( $\mu$ -PTA) wire deposition process for additive layer manufacturing applications. *Journal of Materials Processing Technology*, 214, p. 1102.
- [7] Alberti, E., *et al.* (2014). Additive manufacturing using Plasma transferred arc. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83(9-12), p. 1861.
- [8] Feng, Y., *et al.* (2018). The double-wire feed and plasma arc additive manufacturing process for deposition in Cr-Ni stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 259, p. 206.
- [9] Martina, F., *et al.* (2012). Investigation of the benefits of plasma deposition for the additive layer manufacture of Ti-6Al-4V. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(6), p. 1377.
- [10] Mok, S.H., *et al.* (2008). Deposition of Ti-6Al-4V using a high power diode laser and wire, Part I: Investigation on the process characteristics. *Surface and Coatings Technology*, 202(16), p. 3933.



# LA PRL Y LA DIGITALIZACIÓN DE LA INDUSTRIA

**Montoro, Estela M.\*; Aguayo, Francisco; Ávila, M. Jesús; Martín, Alejandro  
Manuel**

*Sistemas Inteligentes y Desarrollo de Productos (TEP 022).  
Ingeniería del Diseño. EPS de Sevilla. Universidad de Sevilla.*

\*E-mail: [estmonosu@alum.us.es](mailto:estmonosu@alum.us.es)

## RESUMEN

La llegada de la Cuarta Revolución Industrial o Digitalización es una realidad. Las empresas persiguen una optimización de sus recursos añadiendo a las metodologías tradicionales como Lean Manufacturing los beneficios de la interconexión de los componentes de los sistemas productivos. Es precisamente esta interconexión y el trabajo relativamente autónomo de la maquinaria lo que, a la vez, elimina o reduce los riesgos clásicos de las industrias y hace que emerjan otros nuevos que afectarán al operario 4.0. No obstante, de igual forma que surgen nuevos riesgos, surgen también nuevas formas de abordarlos.

## PALABRAS CLAVE

Industria 4.0, Digitalización, Automatización, Operario 4.0, Riesgos nuevos y emergentes, Neurociencia.

## **ABSTRACT**

The advent of Fourth Revolution or Digitization is already a reality. Companies follow the optimization of their resources adding to traditional tools, like Lean Manufacturing, the benefits from the interconnexion of all the parts that conform productive systems. This interconnexion and the autonomous work of machines eradicate classic labour accidents risks or, at least, reduce them, but also create new ones that worry Operator 4.0. However, in the same way this new paradigm contributes to create some new risks, it can offer new ways for dealing with them.

## **KEYWORDS**

Industry 4.0, Digitization, Automation, Operator 4.0, New and emerging risks, Neuroscience.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La Cuarta Revolución Industrial está entre nosotros. Actualmente se pueden encontrar a lo largo de las líneas de producción diversos ejemplos de ello: monitorización en tiempo real del funcionamiento de las máquinas, cooperación máquina-operario, carretillas autónomas, etc. No obstante, el modelo productivo que aún impera es el denominado Lean Manufacturing gracias a su optimización de la producción mediante la eliminación los 8 (7+1) desperdicios clásicos: defectos, sobreproducción, esperas, talento sin acción, transporte, inventario, movimientos y retrabajos.

¿Significa esto que las empresas deberán elegir entre la optimización mediante la digitalización u otra mediante flujos ajustados? No. A lo largo de este artículo se exponen beneficios de la correcta digitalización del modelo Lean Manufacturing y los resultados sinérgicos de dicha colaboración.

Así mismo, no es de extrañar que con el empleo de nuevos modelos productivos emerjan nuevos riesgos asociados. Es por ello que también se abordará desde una nueva perspectiva, la de la neurociencia, cómo evaluar, evitar y reducir tanto los riesgos clásicos como los RNE en las fábricas del mañana, donde cada elemento formará parte de una red de información extraordinaria que permitirá actuar a tiempo real sobre las personas, los procesos y las máquinas, gestionando un verdadero sistema preventivo.

### Lean Manufacturing

La producción ajustada o manufactura esbelta es un modelo de gestión concebido para Toyota por Taiichi Ohno, basado en la reducción a 0 de los siete tipos de desperdicios identificados en los productos manufacturados: sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procedimientos, inventario, movimientos y defectos. Así mismo, posee una serie de principios clave: 1) Calidad perfecta a la primera; 2) Minimización de las tareas sin valor añadido; 3) Mejora continua; 4) Procesos “pull”; 5) Flexibilidad y 6) Relaciones duraderas con proveedores.

### Industria 4.0

A lo largo de la historia se han producido una serie de hitos que han permitido clasificar la evolución de la técnica, la economía y la sociedad.

**1ª Revolución Industrial.** Proceso de transformación económica, social y tecnológica iniciado en la 2ª mitad del siglo XVIII en Gran Bretaña donde el uso de la máquina a vapor desbancó el trabajo manual y la tracción animal como fuerza de trabajo para la fabricación industrial y el transporte.

**2ª Revolución Industrial.** Transformaciones socioeconómicas entre los años 1870 y 1914 donde destacan el uso de nuevas fuentes de energía (gas, petróleo y electricidad), así como la inclusión de nuevos materiales, medios de transporte (avión y automóvil) y sistemas de comunicación (teléfono y radio). La producción masiva y la invención del motor de combustión interna son los grandes representantes de este periodo.

**3ª Revolución Industrial.** Designa un periodo de avance en la tecnología de la comunicación, el uso de Internet y el desarrollo de las energías renovables en ámbitos variados. La automatización y la invención del circuito integrado son, también, hitos de esta etapa del siglo XX [1].

A pesar de la patente juventud del término “3ª Revolución Industrial”, en los últimos años han tomado fuerza nuevos conceptos como Industria 4.0, Revolución Industrial 4.0 o Smart-Industries, los cuales hacen referencia a un nuevo modelo de organización de la producción basado en el Internet de las cosas, Big Data, sistemas ciberfísicos y objetos inteligentes [2]. Si bien se trata de un concepto de indudable vigencia es preciso señalar que caracteriza a una meta a alcanzar dentro de la industria. Dicha meta se sustenta en las denominadas smart factories donde se persigue una completa digitalización y automatización, propiciando la conexión entre todas las máquinas y sistemas y generando un flujo de información interno y externo que permita la gestión inteligente de toda la cadena de producción gracias al procesamiento de datos, con la consecuente flexibilidad y adaptabilidad que desembocan en una producción completamente personalizada [1].

Debido al reciente acuñamiento del término aún no hay un consenso en lo referente a las implicaciones y consecuencias de este nuevo paradigma [1] y puede radicar en esto el hecho de que las empresas no sean conscientes de los retos y riesgos que devienen de su implantación, dando cabida al presente estudio, el cual trata de determinar los principales riesgos a afrontar en un ámbito productivo marcado por la digitalización y la automatización dentro de una sociedad con manifiesta tecnofobia debido a transiciones no exitosas entre modelos más tradicionales y otros altamente tecnificados.

## Lean 4.0

Los estudios actuales apoyan la teoría de que Lean Manufacturing y la Industria 4.0 pueden coexistir y ayudarse mutuamente dando lugar al llamado Lean 4.0 o Lean Industry 4.0. Este pensamiento se basa en que ambos modelos comparten pilares y objetivos [3]: eliminación de desperdicios, mejora continua, valor de cliente,

mapas de valor, filosofía de producción pull, perfección, flujo, uso de tecnología automatizada, producción descentralizada, sostenibilidad y eficiencia de los recursos, tareas holísticas, aumento de la flexibilidad y la productividad y reducción de la complejidad. Así mismo, una revisión de la situación actual, donde imperan Lean Manufacturing y Lean Management sugiere que la Industria 4.0 deberá integrar las nuevas tecnologías en estos sistemas ya existentes [4] y es que, hasta ahora, las empresas empleaban los métodos del Lean Manufacturing para aumentar la producción en procesos de valor añadido y optimizar la organización de manera que se conseguía el compromiso activo de los empleados, mientras que la I4.0 representa una aproximación en la que la eficiencia se consigue a través de la digitalización y la conexión completa entre todos los elementos. Lejos de representar una dicotomía ambas aproximaciones tienen cabida en un entorno único dado que los seres humanos no han de considerarse prescindibles en la I4.0, seguirán siendo necesarios por sus capacidades para llevar a cabo mejor que los CPS ciertos procesos y tomas de decisiones [5]. Así, fijado el foco común, es posible establecer una conexión favorable si se asume que [5]:

1. La implementación de la digitalización puede reducir la complejidad de los sistemas, lo que dará lugar a procesos más manejables
2. Una amplia gama de implementaciones de Lean Management debería estar ya llevándose a cabo en los procesos de fabricación para explotar un mayor éxito de las tecnologías de la Industria 4.0

Para concluir, es necesario reseñar que en los últimos años la mejora de la productividad alcanzada por Lean Manufacturing comienza a verse saturada y la incorporación del nuevo enfoque 4.0 puede hacer despegar la mejora mediante la digitalización. No obstante, se ha de reconocer que la contribución 4.0 a cada uno de los principios de Lean Manufacturing no será homogénea y que, tras un análisis de la aproximación a la producción sugerida por Lean Manufacturing y la I 4.0, el mayor dilema a la hora de plasmar un escenario conjunto se presenta al tratar de incorporar complejas soluciones IT que conecten máquinas, personas y procesos manteniendo los principios de la producción esbelta: evitar el desperdicio proveniente de las actividades que no añaden valor y mantener los procesos y equipos simples, fáciles de usar y fáciles de mantener [6].

## METODOLOGÍA

La metodología seguida para abordar la relación entre la digitalización y la PRL ha consistido en analizar los principales riesgos. Para ello, es preciso hacer distinción previa entre dos puntos de vista acerca del concepto de Prevención 4.0: 1) Seguridad y Salud 4.0 dentro de la Industria convencional y 2) Seguridad y Salud dentro de la Industria 4.0 (RNE)

Una vez identificados los riesgos más representativos de cada aproximación, se proponen una serie de intervenciones en el apartado Resultados y Discusión y se presentan las conclusiones.

### Seguridad y Salud 4.0 dentro de la Industria convencional

Sin ser exhaustivos, los riesgos asociados a la Industria convencional pueden clasificarse como:

- Riesgos físicos: ruido, iluminación, confort térmico, caídas, radiaciones, vibraciones, riesgos mecánicos y eléctricos, etc.
- Riesgos químicos y biológicos. Los primeros derivan del trabajo con agentes químicos o debido a los contaminantes que se generan durante la producción, mientras que los segundos derivan de agentes vivos.
- Fatiga física: riesgos por posición, desplazamiento, esfuerzo y manejo de cargas.
- Riesgos por utilización de pantallas de visualización de datos. Además de los problemas musculoesqueléticos se debe tener en cuenta la fatiga mental.
- Riesgos psicosociales. Engloba el estrés y la carga mental de trabajo (sobreesfuerzos mentales o infracarga de trabajo).
- Seguridad industrial. Incendios, explosiones, etc.

### Seguridad y Salud dentro de la Industria 4.0 (RNE)

En la implementación del modelo de la Industria 4.0 con verdadero éxito es responsabilidad de la Ciencia estudiar cuáles son sus características más dañinas, sobre todo, en términos de la relación con el ser humano dado que este nuevo paradigma implicará cambios en los puestos de trabajo requeridos, su gestión y en las habilidades exigidas. Así pues, en la literatura se conocen como Riesgos Nuevos y Emergentes (RNE) a aquellos que cumplen las siguientes condiciones [7]:

- **Condición 1:** el riesgo no existía anteriormente y está causado por nuevos procesos, nuevas tecnologías, nuevos tipos de lugar de trabajo o por cambios sociales u organizativos.
- **Condición 2:** se trata de un problema persistente que pasa a considerarse como un riesgo debido a un cambio en las percepciones sociales o públicas.
- **Condición 3:** un nuevo conocimiento científico da lugar a que una cuestión no novedosa se identifique como riesgo.
- **Condición 4:** aumenta el nº de peligros que dan lugar al riesgo.
- **Condición 5:** la probabilidad de exposición al peligro que da lugar al riesgo aumenta (nivel de exposición y nº de personas expuestas).
- **Condición 6:** el efecto del peligro sobre la salud de los trabajadores empeora (gravedad de los efectos sobre la salud y nº de personas afectadas).

Dentro de la problemática del diseño y la operación de nuevos sistemas se articulan diversos estudios para generar una toma de decisiones acertada a la hora de evaluar y cuantificar los riesgos asociados a la automatización industrial y el control informático donde los principales problemas devienen de los factores humanos [8]. Se pueden enumerar como principales RNE los siguientes:

- Riesgos psicosociales. Proviene de los requisitos de una interacción cada vez mayor entre el contenido del trabajo, la organización, la gestión y otros factores organizacionales [9].
- Carga mental de trabajo y estrés. Si bien la digitalización y el empleo de CPPS abogan por una automatización adaptativa que ha de reducir las tareas sin valor asociado, lo cierto es que se requiere de mayor flexibilidad cognitiva debido a la polivalencia de los puestos.
- Envejecimiento de la mano de obra. Se trata de un factor procedente de los cambios socioeconómicos que se viven actualmente.
- Interacción hombre-máquina: interfaces. Se añade un nuevo matiz a esta problemática procedente de la interacción entre máquinas “inteligentes” y humanos (el abanico de riesgos es menos predecible) [9].
- Definición de los sistemas CPS. Los principales errores de diseño que degeneran en accidentes se pueden resumir como: 1) falta de análisis en detalle de los requisitos, 2) falta de entrenamiento para el entendimiento de

la operación de la planta que queda oculta tras la automatización y 3) falta de conciencia sobre el origen del error humano (durante la construcción, mantenimiento u operación) [10].

- Riesgos químicos. Nanopartículas (NP) y partículas ultrafinas (PUF). Este tipo de partículas entraña dos posibles riesgos diferentes [11]: incendio o explosión y toxicidad.
- Riesgos físicos. Las radiaciones, principalmente, debido al aumento del uso del láser, el haz de electrones, etc. entrañan un creciente riesgo.
- Tratamiento de la información. La gran ventaja de la I 4.0 reside en la interconexión de los elementos que conforman el sistema global. La gestión de la información obtenida deberá tratarse con especial recelo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las posibilidades que brinda la tecnología varían mucho de un riesgo a otro, no obstante, los elementos wearables, pertenecientes a un CPS/CPPS, que permitan una medición continua y a tiempo real son los principales exponentes. Otros ejemplos plausibles son los siguientes:

- Restricción del acceso a determinadas zonas (por falta de formación, por el propio riesgo...) o reducción del nivel de ejecución de la maquinaria mediante AA del entorno en presencia de trabajadores.
- Creación de un histórico que relacione los eventos indeseados (averías o accidentes) con las condiciones del entorno.
- Smart EPI's que gestionen su mantenimiento (envíen señales de compra o reparación, etc.) e incluso el tipo de filtro activo según el entorno.
- Exoesqueletos, para reducir la carga postural, y elementos que recopilen información para una mejor valoración de la adecuación del puesto de trabajo (según consumo de O<sub>2</sub>, frecuencia cardíaca o higiene postural), así como evaluación continua de la carga de trabajo mental con el uso de EEG o técnicas como eye-tracking.
- Formación/training en ambientes seguros empleando técnicas de RV y monitoreo de eventos para situaciones de alta demanda cognitiva.
- Autogestión de los CPPS de situaciones de emergencia para evitar propagación



de un incendio, restringir el acceso a zonas peligrosas...

Una cuestión adicional será tomar conciencia de la necesidad de combinar la experiencia convencional con habilidades informáticas dentro del paradigma de la I4.0. El riesgo psicosocial es palpable y se requerirá de trabajadores motivados y abiertos al cambio, flexibles y que acepten una formación continua [9]. Es en este punto donde se desarrollan nuevas formas de coaching como puede ser el Neurocoaching, el Coaching empresarial, etc.

Las nuevas tecnologías, también, pueden ayudar a la superación de riesgos mediante la simulación de situaciones catastróficas en entornos seguros, inculcando respuestas adecuadas y mediante una formación individualizada tras el monitoreo de los procesos cognitivos, mejorando la comunión entre las habilidades humanas y la tecnología (operario 4.0).

Por último, de forma paralela a la incorporación de la Industria 4.0 en cualquier grado, ha de acompañarle un robusto desarrollo en ciberseguridad, dado que, si bien la interconexión e interpretación de la información son los pilares clave de la Cuarta Revolución, es precisamente esta interconexión la que aumenta la vulnerabilidad para la organización.

## **CONCLUSIONES**

La introducción de la digitalización en la Industria (convencional o I4.0) no evitará la evaluación y seguimiento de riesgos. Con la llegada de esta Revolución se podrán eliminar o reducir muchos de los riesgos convencionales, pero también aparecerán otros nuevos (a estudiar antes de exponer a los trabajadores a nuevos entornos). Mediante este artículo se ha perseguido aportar luz sobre los puntos débiles de las nuevas tecnologías en la I4.0. A pesar de este esfuerzo, para determinar los riesgos específicos continuará siendo necesario abordar la implantación de la digitalización en cada caso concreto de estudio, pudiendo variar los riesgos de una organización a otra, aun perteneciendo estas a la misma rama industrial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pereira, A. C. y Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, pp. 1206–1214.
- [2] Gobbo, J. A., Busso, C. M., Gobbo, S. C. O., y Carreño, H. (2018). Making the links among environmental protection, process safety, and industry 4.0. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, pp. 372–382.
- [3] Mayr, A., Weigelt, M., Kühn, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M., y Franke, J. (2018). Lean 4.0-A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 72, pp. 622–628.
- [4] Wagner, T., Herrmann, C., y Thiede, S. (2017). Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. *Procedia CIRP*, 63, pp. 125–131.
- [5] Prinz, C., Kreggenfeld, N., y Kuhlenkötter, B. (2018). Lean meets Industrie 4.0 – a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world. *Procedia Manufacturing*, 23, pp. 21–26.
- [6] Gómez, M. Á. (2017). Entrenando comportamientos, mejorando cultura preventiva. *Prevencionar*, p. 25.
- [7] Brocal, F. (2014). Metodología para la identificación de Riesgos Laborales Nuevos y Emergentes en los procesos avanzados de fabricación industrial. UNED.
- [8] Gobbo, J. A., Busso, C. M., Gobbo, S. C. O., y Carreño, H. (2018). Making the links among environmental protection, process safety, and industry 4.0. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, pp. 372–382.
- [9] Badri, A., Boudreau-Trudel, B., y Souissi, A. S. (2018). Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? *Safety Science*, 109, pp. 403–411.
- [10] Hendershot, D. C. (2006). Lessons from human error incidents in process plants. *Process Safety and Environmental Protection*, 84(3B), pp. 174–178.
- [11] Brocal, F. (2012). Riesgos laborales nuevos y emergentes en los procesos de fabricación. *Técnica Industrial*, pp. 1–4.

# FABRICACIÓN COGNITIVA EN EL CONTEXTO DE INDUSTRY 4.0

**Morales, Ana Isabel\*;** **Aguayo, Francisco.;** **Lama, Juan Ramón.;** **Ávila, María Jesús**

*Grupo de investigación TEP 022  
Ingeniería del diseño, Área de proyectos de ingeniería. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.*

\*E-mail: [anabelmoralesgarcia@hotmail.com](mailto:anabelmoralesgarcia@hotmail.com)

## RESUMEN

La Industria 4.0 implica la promesa de una nueva revolución que combina técnicas avanzadas de producción y operaciones, con tecnologías inteligentes que se integrarán en las organizaciones, las personas y los activos.

Esta revolución está marcada por la aparición de nuevas herramientas, como es la fabricación cognitiva, la cual trata de implementar el proceso cognitivo a los sistemas de fabricación.

El término “cognición” hace referencia a los procesos mentales, como son: la percepción, la memoria, el pensamiento, el aprendizaje y el lenguaje. De manera que las ciencias cognitivas requieren un enfoque interdisciplinario, que incluye la psicología, las neurociencias y la lingüística [1].

La fabricación cognitiva trata de integrar la cognición en los procesos de fabricación para dotarlos de inteligencia, además de permitirnos interactuar con los mismos de forma natural.

## PALABRAS CLAVE

Industria 4.0, Fabricación cognitiva, Sistemas de fabricación, Ingeniería de sistemas cognitivos.

## ABSTRACT

Industry 4.0 implies the promise of a new revolution that combines advanced production techniques and operations, with intelligent technologies that will be integrated into organizations, people and assets.

This revolution is marked by the emergence of new tools, such as cognitive manufacturing, which tries to implement the cognitive process to manufacturing systems.

The term “cognition” refers to mental processes, such as: perception, memory, thinking, learning and language. Thus, cognitive sciences require an interdisciplinary approach, which includes psychology, neuroscience and linguistics [1].

Cognitive manufacturing tries to integrate cognition in manufacturing processes to equip them with intelligence, in addition to allowing us to interact with them in a natural way.

## KEYWORDS

Industry 4.0, Cognitive manufacturing, Manufacturing systems, Cognitive systems engineering.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Dentro de la Industria 4.0 existen los llamados sistemas hombre-máquina (MMS) concebidos como “sistemas cognitivos”. Un sistema cognitivo produce acciones inteligentes, es decir, su comportamiento está orientado a objetivos. Se basa en la manipulación de símbolos o procesamiento en paralelo y utiliza todo el conocimiento disponible (conocimiento heurístico) como guía.



Figura 1. Sistema cognitivo.

El número de funciones cognitivas incorporadas a los procesos de fabricación está aumentando constantemente, suponiendo un valor añadido cada vez más tangible.

De esta forma, los sistemas conocimiento se están integrando paulatinamente, y de forma creciente, en los sistemas de trabajo. Aplicándose tanto en los niveles estratégico, táctico, y en el operacional [3].

### Contribuciones de la industria cognitiva

-  Digitalización de procesos y herramientas
-  Creación de interfaces complejas para los sistemas hombre-máquina
-  Desplazamiento descendente de tareas y responsabilidades al nivel de valor agregado
-  Rendimiento consolidado debido a que se centra en procesos de valor agregado
-  Necesidad de mejora continua de los procesos de trabajo debido a la competencia
-  Acumulación local de conocimientos y experiencias en los sistemas de trabajo

Figura 2. Contribuciones de la industria cognitiva.

## METODOLOGÍA

Existe una gran variedad de enfoques que se centran en las tareas relacionadas con las funciones cognitivas, así como en la complejidad resultante del valor agregado, y que pueden ser aplicadas al mismo tiempo en un nivel industrial apropiado. La “Ingeniería Cognitiva Industrial” cumple con ambos enfoques. El término “Ingeniería de Sistemas Cognitivos” fue acuñado a principios de los años ochenta. Consiste en un enfoque interdisciplinar, requerido por el creciente número de ordenadores en las empresas, para dar respuesta a los fallos catastróficos de sistemas técnicos complejos. La ingeniería cognitiva es un tipo de ciencia cognitiva aplicada, que tiene como objeto el diseño y construcción de maquinaria [3, 2]. La ingeniería cognitiva determina que, para que el diseño de un sistema hombre-máquina funcione correctamente, se requiere un tipo de conocimiento diferente que describa las funciones cognitivas o mentales que se emplean en el uso y manipulación de dichos sistemas. Se trata de integrar el conocimiento y aprendizaje humano en los sistemas técnicos. Inicialmente, la comprensión de la “ingeniería cognitiva” estaba fuertemente relacionada con el diseño de la interacción hombre-máquina, sin embargo, hoy en día, se puede observar una concepción más amplia [4]: “La ingeniería cognitiva trata del comportamiento humano en mundos complejos”.

La ingeniería cognitiva tiene como objetivo analizar los procesos cognitivos y las estructuras, dentro de los sistemas de trabajo. Se requiere que su diseño se realice mediante un enfoque prospectivo, siempre que sea posible, y su evaluación se alinee con el objetivo de lograr seguridad, productividad y una complejidad que sea ideal para el bienestar de los trabajadores involucrados [5].

Para la Ingeniería Cognitiva Industrial (ICE), el conocimiento de la cognición y la complejidad debe estar interrelacionado con enfoques prácticos aprobados y experimentados en la industria.



**Figura 3.** Campos de aplicación de la ingeniería cognitiva industrial.

En clara relación con la ingeniería cognitiva se encuentra la computación cognitiva, la cual aporta las bases de conocimiento para diseñar sistemas más intuitivos [6]. Mediante la aplicación de la computación cognitiva es posible extraer el modo de actuar del ser humano, junto con sus procesos de pensamiento, articulando estrategias para asistirlos en la consecución de su objetivo.

Los sistemas de computación cognitiva tienen la capacidad de autoaprendizaje, la cual le permite beneficiarse enormemente del procesamiento de grandes cantidades de datos y del uso de las máquinas de autoaprendizaje [8,9].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CEO de Intel Brian Krzanich explica en su artículo editorial sobre inteligencia artificial (AI) en 2016 que "AI se basa en la capacidad de las máquinas para detectar, razonar, actuar y adaptarse según la experiencia aprendida [10]. En un sistema basado en AI, funciona sobre las reglas y parámetros que se alimentan dentro de él considerando que un sistema basado en la computación cognitiva funciona interceptando el problema, luego haciendo inferencias y por último sugiriendo posibles soluciones.

La computación cognitiva es un sistema basado en IA que permite al sistema interactuar con los humanos como un ser humano, interpretar el contexto, es decir,

analizar el registro pasado del usuario y dibujar deducciones basadas en esa sesión interactiva. La informática cognitiva ayuda a los humanos en la toma de decisiones, mientras que los sistemas basados en IA trabajan en el concepto de que las máquinas son capaces de tomar mejores decisiones en nombre del humano.

El objetivo de la computación cognitiva es construir un sistema racional, combinado y mecanismo colectivo motivado por la capacidad de la mente humana [11].

La computación cognitiva puede ser utilizada para reducir las deficiencias de las preocupaciones que enfrentan durante el análisis de big data [12]. En computación cognitiva, un modelo computarizado captura al ser humano, su proceso de pensamiento e improvisa sobre los errores que comete el sistema cada vez. Este mecanismo de autoaprendizaje puede beneficiará enormemente la forma en que se analiza una gran cantidad de datos para una mejor toma de decisiones [6,7].

## CONCLUSIONES

La industria 4.0 está soportada por múltiples herramientas, las cuales ayudan a facilitar la solución de múltiples problemas. La fabricación cognitiva es una herramienta que a través de incorporar la cognición a los múltiples elementos implicados en los procesos productivos ayuda y facilita la comunicación entre los humanos y los distintos elementos con los que debe interactuar.

Además de acercar los distintos sistemas al ser humano, la fabricación cognitiva introduce en los sistemas el auto aprendizaje lo cual permite el desarrollo de sus tareas de forma más eficaz.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido apoyado Universidad de Sevilla, más concretamente por la Escuela Politécnica Superior, habilitándonos sus instalaciones e infraestructuras además de permitiéndonos el acceso a su conocimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Miller, G. (2003). The cognitive revolution: a historical perspective. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), pp. 141–144.
- [2] Hollnagel, E. (1983). Cognitive Systems Engineering: New wine in new bottles. *International Journal of Man-Machine Studies*, 18(6), pp. 583–600.



- [3] Norman, D. A. (1986). Cognitive Engineering. En D. A. Norman y S. W. Draper (Eds.), *User Centered System Design; New Perspectives on Human-Computer Interaction* (pp. 31–61). Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associates Inc.
- [4] Woods, D. D., y Roth, E. M. (2005). Cognitive Systems Engineering. En N. Moray (Ed.), *Ergonomics Major Writings Volume 1: The History and Scope of Human Factors*.
- [5] Mühlbradt, T, y Kuhlant, P (2018). Industrial Cognitive Engineering. *European Journal of Workplace Innovation*, 3(2).
- [6] Hurwitz, J. S., Kaufman, M., y Bowles, A. (2015). *Cognitive computing and Big data analytics*. Indiana: John Wiley & Sons, Inc.
- [7] Modha, D. S., Ananthanarayanan, R., Esser, S. K., Ndirango, A., Sherbondy, A. J., y Singh, R. (2011). Cognitive computing. *Communications of the ACM*, 54(8), pp. 62–71.
- [8] Gudivada, V. N., Raghavan, V. V., Govindaraju, V., y Rao, C. R. (2016). *Cognitive computing: Theory and applications* (1st edition). North Holland Publisher.
- [9] Hu, L., Miao, Y., Gaoxiang W., Mehedi, M., y Humar, I. (2018) iRobot-Factory: An intelligent robot factory based on cognitive manufacturing and edge computing. *Future Generation Computer Systems*.
- [10] Krzanich, B. (2016). The intelligence revolution – Intel’s AI commitments to deliver a better world, pp. 173–199. Recuperado de: <https://newsroom.intel.com/editorials/krzanich-ai-day/>
- [11] Kwon, O., Lee, N., y Shin, B. (2014). Data quality management, data usage experience and acquisition intention of big data analytics. *International Journal of Information Management*, 34(3), pp. 387–394.
- [12] Hurwitz, J. S., Kaufman, M., y Bowles, A. (2015). *Cognitive computing and Big data analytics*. Indiana: John Wiley & Sons, Inc.



## **GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA - CASOS DE ESTUDIO: PROYECTOS OPENADR4CHILE Y G.R.A.C.I.O.S.A.**

**Parejo, Antonio\***; **García, Sebastián**; **Personal, Enrique**; **Larios, Diego Francisco**; **Gallardo, Alejandro**; **Guerrero, Juan Ignacio**; **García, Antonio**; **León, Carlos**

*TIC-150: Tecnología Electrónica e Informática Industrial*  
*Departamento de Tecnología Electrónica (DTE). Escuela Politécnica Superior (EPS). Universidad de Sevilla (US).*

\*E-mail: [aparejo@us.es](mailto:aparejo@us.es)

### **RESUMEN**

Actualmente, las Redes Eléctricas Inteligentes (*Smart Grids*) presentan una integración de recursos energéticos distribuidos (fundamentalmente renovables) cada vez mayor. Esta tendencia, unida a mayores exigencias de calidad de servicio, hacen esencial la inclusión de nuevos sistemas de gestión que garanticen su estabilidad e interoperabilidad.

Una posible solución respondería al paradigma de gestión activa de la demanda (*Demand-Side Management, DSM*) donde el cliente ahora es un activo controlable. Este cambio beneficia a dos actores: A) las compañías eléctricas (*Utilities*), cuyo interés radica en un mecanismo de ajuste del consumo. B) los clientes: que persiguen la optimización energética y económica, pudiendo reducir y modificar su perfil de consumo. Ambos enfoques plantean estrategias *Win-to-Win* cliente/operador.

Esta comunicación expone dos proyectos demostradores DSM reales, donde el TIC-150 ha colaborado activamente en su desarrollo con Endesa/Enel: 1) OpenADR4Chile: donde por parte de la *utility* se plantea una arquitectura OpenADR para la gestión de programas de capacidad. Adicionalmente, este trabajo se complementa con la creación un *Living-Lab* en la EPS. 2) G.R.A.C.I.O.S.A. donde la actividad del grupo se ha centrado en la definición/ implementación de una métrica o conjunto de indicadores clave de desempeño (KPIs) para la valoración de las políticas de gestión energética de los clientes.

### **PALABRAS CLAVE**

*Red Eléctrica Inteligente, Microrred, Gestión Activa de la Demanda, Indicadores Clave de Desempeño.*

## ABSTRACT

Nowadays, Smart Grids (SG) tend to incorporate distributed energy resources (mainly renewable) more and more. This tendency and the rising exigency level on service quality, make the inclusion of new management systems essential, to guarantee stability and interoperability.

A possible solution could be reached applying the paradigm of Demand-Side Management (DSM), where customers become controllable actives. This change benefits both parts: A) Utilities, who interest is centered into consumption adjustment skills. B) Customers, who follow energy and economic optimization, being able to reduce and modify their consumption profile. Both points of view propose Win-to-Win strategies for customer/utility.

This work shows two use-cases of DSM strategies in which the TIC-150 has collaborated actively in their developing with Endesa/Enel: 1) OpenADR4Chile: it proposes the use of and OpenADR architecture for capacity program management. This allowed also creating a Living-Lab in the Escuela Politécnica Superior. 2) G.R.A.C.I.O.S.A., in which the TIC-150 has defined/implemented a set of Key Performance Indicators (KPIs) to check and evaluate energy management politics applied by the customers.

## KEYWORDS

Smart Grid, Microgrid, Demand Side Management, Key Performance Indicators.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

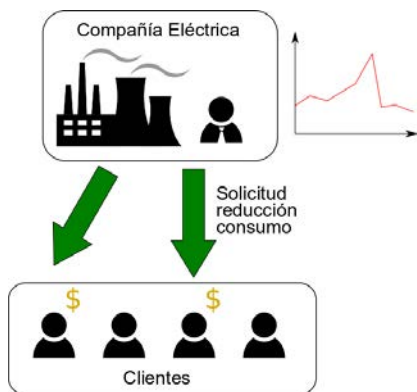
Dentro del concepto de Red Eléctrica Inteligente (o *Smart Grid*) [1], [2] cada vez encontramos más presente la integración de recursos energéticos distribuidos (con una fuerte presencia de las energías renovables) como un punto clave [3], [4]. Esta tendencia, unida a los niveles de exigencia en la calidad de servicio de este tipo de redes, hacen esencial la presencia en ésta de nuevos sistemas de gestión energética que garantice la estabilidad e interoperabilidad de los elementos de la red, así como llevar a cabo su monitorización [5], [6]. Estos requisitos tendrán como objetivo lograr un sistema eléctrico limpio, seguro, fiable, estable, eficiente y sostenible [7], [8].

Para solucionar este problema se han propuesto numerosas estrategias [9]. Una de estas estrategias de control de la red responde al paradigma de gestión activa de la demanda (o *Demand-Side Management*, DSM) [10], [11], donde el consumo/generación del cliente se convierte en un activo para el control de la red, pudiendo modificar bajo demanda su comportamiento. En este sentido, dichos activos pueden ser explotado desde dos vertientes:

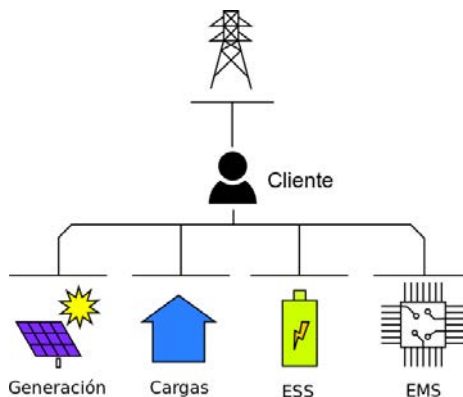
Por un lado, por las empresas suministradoras (o *Utilities*), cuyo objetivo es disponer de un mecanismo de reducción (bajo demanda) del consumo de los clientes, para responder a las necesidades de la red y garantizar así su estabilidad, tanto en régimen normal como de emergencias. Este concepto aparece reflejado en la Figura 1. Además, esta idea está ligada al paradigma de las redes auto cicatrizantes (*self-healing*), en las que la red es capaz de realizar automáticamente las operaciones precisas para recuperarse tras un fallo [12], y que con esta capacidad de control podría reducir el consumo de la red para adaptarlo a situaciones de emergencia o donde los recursos no estén a plena capacidad.

Por otro lado, por los propios clientes, que desde una perspectiva local tienen en estos sistemas unos mecanismos de optimización, aumentando su eficiencia energética (reduciendo su consumo) y aumentando su eficiencia económica (reconfigurando su perfil de consumo para adaptarlo a los periodos de menor coste).

En ambos casos, estas operaciones requerirán de una serie de instalaciones, tal y como puede verse en la Figura 2, No obstante, ambos enfoques son totalmente compatibles, por lo que claramente las tecnologías DSM plantean una estraga *Win-to-Win* entre el cliente y el operador.



**Figura 1.** DSM desde punto de vista de la suministradora.



**Figura 2.** DSM desde el punto de vista del cliente.

Como muestra de esta tendencia, el TIC-150 de la Universidad de Sevilla ha colaborado con la empresa Endesa/Enel en el desarrollo de proyectos demostradores, y donde se han evaluado y puesto en práctica estos dos enfoques: Por un lado, el proyecto OpenADR4Chile, donde este grupo ha desarrollado una arquitectura, basada en el estándar OpenADR, para la gestión de programas de capacidad por parte de la *utility*, así como la puesta en marcha de un *Living-Lab* en la EPS que ponga de manifiesto las virtudes de esta tecnología. Paralelamente, en el proyecto G.R.A.C.I.O.S.A., la actividad del grupo se ha centrado en la definición e implementación de una métrica o conjunto de indicadores clave de desempeño (*Key Performance Indicators*, KPIs) para la valoración de las políticas de gestión energética de los clientes.

## CASOS DE ESTUDIO Y RESULTADOS

A continuación, se presentan dos casos de estudio del paradigma de DSM, representado cada uno de ellos, uno de los dos puntos de vista desarrollados en el apartado anterior.

### Caso de estudio 1: Proyecto OpenADR4Chile

El objetivo del proyecto es el desarrollo de un piloto de tecnología DSM, en concreto, de las técnicas de respuesta a la demanda (*Demand Response*, DR) en el edificio Smart Grid en Santiago de Chile (Figura 3). Para ello, se está usando el protocolo OpenADR.

Su objetivo será controlar la carga en función de los acuerdos preestablecidos con los clientes, escogiendo el mejor cliente al cual solicitar la reducción en función de sus necesidades.

Además, también se está colaborando con la Universidad de Savona (Figura 4) desarrollando una arquitectura interoperable que permita la integración de su sistema de gestión de energía (*Energy Management System, EMS*) como un recurso, donde se gestionan los consumos de distintos edificios.



**Figura 3.** Edificio Smart Grid.

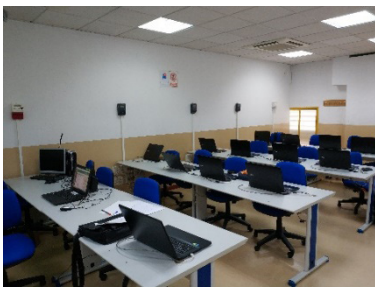


**Figura 4.** Campus de Savona.

Para completar esta experiencia, también se ha instalado un demostrador (*Living Lab*) en la Escuela Politécnica Superior (aula 2.2bis), tal y como se observa en la Figura 5 y Figura 6. Dicho *Living Lab* permite la realización de pruebas de programas de gestión de capacidad sobre los recursos eléctricos reales del aula:

- Control de iluminación (2kW)
- Control de climatización (4kW)
- Control de cargas (enchufes)
- Medidas basadas en telegestión (*Smart Meters*)

Todo ello gestionado por un sistema DRMS (*Demand Response Management System*).



**Figura 5.** Aula 2.2bis de la EPS.



**Figura 6.** Sistemas de control.

## Caso de estudio 2: Proyecto G.R.A.C.I.O.S.A.

El objetivo del proyecto G.R.A.C.I.O.S.A. (Generación Renovable con Almacenamiento y Consumos Inteligentes para la Operación de redes de distribución con Sistemas de Autoconsumo) es la mejora del sistema eléctrico en la isla de la Graciosa (Canarias)

hacia un sistema autosuficiente en el que pueda generar, almacenar y distribuir su propia energía (Figura 7).



**Figura 7.** Isla de la Graciosa.

Para ello se ha instalado una microrred que integra la generación distribuida (placas fotovoltaicas) con unas baterías y supercondensadores.

Además, se aplican diversas tecnologías de comunicación para facilitar la integración de todos estos elementos dentro del sistema eléctrico.

Dentro de este ambicioso proyecto, las labores del TIC-150 han consistido en la definición/implementación de una métrica o conjunto de indicadores clave de desempeño (*Key Performance Indicators*, KPIs) para la valoración de las políticas de gestión energética de los clientes. Estos KPI consisten en un conjunto de medidas cuyos valores están directamente relacionados con objetivos fijados en el proyecto.

Los requisitos para dichos KPI son varios. En primer lugar, deben ser concisos y claros (típicamente se expresarán como porcentajes) para facilitar su comparación). Además, deben ser calculados periódicamente y reflejar la evolución temporal, de forma que pongan de manifiesto las ventajas e inconvenientes de las estrategias planteadas. Esto permite utilizar estos indicadores para escoger y/o reajustar la estrategia más efectiva en cada momento.

Los indicadores propuestos pueden verse en la Figura 8.



Eficiencia energética	Indicadores Globales	Consumo de Energía global (Vivienda completa)	Reducción del consumo Global
			Aplanamiento de la curva de demanda
	Indicadores Locales	Consumo de Energía local	Reducción del consumo Local
			Aplanamiento de la curva de consumo Local
			Porcentaje del consumo gestionable
		Generación	Porcentaje del consumo local generado
	Almacenamiento	Porcentaje del consumo local regulado por la batería	
		Eficiencia del Sistema de almacenamiento	
	Económicos	Ahorro económico en la factura del cliente	Ahorro económico por reducción Consumo
			Ahorro económico por reducción Término del Potencia
Estudios de Amortización de los sistemas		Horizonte amortización sistema gestión consumo local	
		Horizonte amortización sistema Generación	
	Horizonte amortización sistema Almacenamiento		
Medioambientales	Ahorro del consumo comparado con clientes de la misma tipología		
	Reducción global de emisiones de CO <sub>2</sub>	Reducción emisiones CO <sub>2</sub> asociadas a generación local	
		Reducción emisiones CO <sub>2</sub> asociadas a reducción consumo	

Figura 8. Indicadores propuestos.

En cuanto a los resultados obtenidos en este proyecto, los KPI indican que se ha logrado una mejora global significativa en los tres aspectos (Eficiencia energética, Economía y Medio ambiente).

Concretamente, se ha logrado una reducción del consumo global (o visto desde la red) de un 36,8% (15,1 kWh/día), una reducción del consumo local del 7,78% (8 kWh/día), un ahorro económico en la factura del 31% (2,12 €/día) y una reducción global de emisiones de CO<sub>2</sub> del 36% (2,89 kgCO<sub>2</sub>/día).

## CONCLUSIONES

En un ecosistema tan variado y cambiante como es el sistema eléctrico, urge llevar a cabo la integración de nuevas técnicas que faciliten su gestión, siendo una de ellas la gestión activa de la demanda. Podemos definir dos vertientes para este paradigma, el punto de vista de la compañía suministradora y el punto de vista del cliente, estando ambos directamente relacionados.

Dada esta situación, el grupo TIC-150 ha participado en dos proyectos en los cuales se aplicaban dichos enfoques y ponen de manifiesto las ventajas de su aplicación. En el proyecto OpenADR4Chile se ha establecido la estructura básica que debe tener un sistema a nivel de suministradora para regular el consumo de forma efectiva. En el proyecto G.R.A.C.I.O.S.A., los resultados muestran una clara mejora en la eficiencia energética y una reducción en el consumo y factura de los clientes.

## AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer a la dirección de la Escuela Politécnica Superior por la organización de estas jornadas. También quisiéramos agradecer al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte por la concesión de la beca Formación Profesorado Universitario (FPU). Finalmente, agradecer a Endesa/Enel por brindarnos la oportunidad de participar y colaborar en el desarrollo de estos proyectos, así como a las entidades públicas (CDTI) que han financiado su desarrollo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Farhangi, H. (2010). The path of the smart grid. *IEEE Power and Energy Magazine*, 8(1), pp. 18–28.
- [2] Kezunovic, M., McCalley, J. D., y Overbye, T. J. (2012). Smart Grids and Beyond: Achieving the Full Potential of Electricity Systems. *Proceedings of the IEEE*, 100. Special Centennial Issue, pp. 1329–1341.
- [3] Kakran, S. y Chanana, S. (2018). Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, pp. 524–535.
- [4] Baldwin, E., Rountree, V., y Jock, J. (2018). Distributed resources and distributed governance: Stakeholder participation in demand side management governance. *Energy Research & Social Science*, 39, pp. 37–45.
- [5] Personal, E., García, A., Parejo, A., Larios, D. F., Biscarri, F., y León, C. (2016). A comparison of impedance-based fault location methods for power underground distribution systems. *Energies*, 9(12).
- [6] Stringfield, T. W., Marihart, D. J., y Stevens, R. F. (1957). Fault Location Methods for Overhead Lines. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. Part III: Power Apparatus and Systems*, 76(3), pp. 518–529.

- [7] Gharavi, H. y Ghafurian, R. (2011). Smart Grid: The Electric Energy System of the Future. *Proceedings of the IEEE*, 99(6), pp. 917–921.
- [8] Personal, E., Guerrero, J. I., Garcia, A., Peña, M., y Leon, C. (2014). Key performance indicators: A useful tool to assess Smart Grid goals. *Energy*, vol. 76, pp. 976–988.
- [9] Olivares, D. E., Mehrizi-Sani, A., Etemadi, A. H., Cañizares, C. A., Iravani, R., Kazerani, M., ... Hatziargyriou, N. D. (2014). Trends in Microgrid Control. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(4), pp. 1905–1919.
- [10] Santo, K. G. D., Santo, S. G. D., Monaro, R. M., y Saidel, M. A. (2018). Active demand side management for households in smart grids using optimization and artificial intelligence. *Measurement*, 115, pp. 152–161.
- [11] Ebeid, E., Rotger-Griful, S., Mikkelsen, S. A., y Jacobsen, R. H. (2015). A methodology to evaluate demand response communication protocols for the Smart Grid. En *2015 IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW)*, pp. 2012–2017.
- [12] Massoud, S. y Giacomoni, A. M. (2012). Smart Grid-Safe, Secure, Self-Healing. *IEEE Power and Energy Magazine*, (10), pp. 33–40.



# INTEGRACIÓN ACV+C2C PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS SOSTENIBLES

**Alcalá-González, N.; Peralta-Alvarez, M.E. \*; Soltero-Sánchez, V.M.**

*TEP022: Diseño Industrial e Ingeniería del Proyecto y la Innovación.  
Departamento de Ingeniería del Diseño. Escuela Politécnica Superior. Universidad  
de Sevilla.*

\*E-mail: mperalta1@us.es

## RESUMEN

El diseño de productos sostenibles es una realidad. Las empresas orientan sus estrategias de producción teniendo en cuenta el cuidado de la sociedad y el medioambiente. Para conseguirlo, en la fase de diseño se emplean metodologías específicas para el control de impactos en el ciclo de vida del producto. Uno de los inconvenientes principales de algunas técnicas empleadas es su carácter cualitativo asociado a un proceso de toma de decisiones en ocasiones arbitrario o con datos no verificables; lo que hace que actualmente sea necesaria la utilización de varias herramientas complementarias para alcanzar los resultados esperados. Entre las más empleadas se encuentran Análisis de Ciclo de Vida y las técnicas Cradle to Cradle; con orientaciones y procedimientos diferentes, los resultados obtenidos deben ser posteriormente integrados para alcanzar soluciones de diseño viables técnica y económicamente. La unificación en un único procedimiento permitirá reducir la complejidad del proceso de diseño. En este contexto, esta investigación desarrolla un marco de trabajo para el diseño sostenible de productos industriales que integra ACV (en su aplicación ambiental, económica y social) y las técnicas C2C; permite simplificar las fases de diseño, facilita la interpretación de los resultados y aporta un carácter cuantitativo al marco C2C.

## PALABRAS CLAVE

Sostenibilidad, Ecodiseño, Análisis de impacto ambiental y social, Análisis de Ciclo de Vida, C2C.

## ABSTRACT

The design of sustainable products is a reality. Companies guide their production strategies considering the care of society and the environment. To achieve this, in the design phase, specific methodologies are used to control impacts in the product life cycle. One of the main drawbacks of some techniques used is their qualitative nature associated with a decision-making process; this is sometimes arbitrary or with unverifiable data. For this, it is necessary to use several complementary tools to achieve the expected results. Among the most used are Life Cycle Analysis and Cradle to Cradle techniques; with different orientations and procedures, the results obtained must be subsequently integrated to achieve technically and economically viable design solutions. The unification in a single procedure will reduce the complexity of the design process. This research develops a framework for the sustainable design of industrial products that integrates LCA (in its environmental, economic and social application) and C2C techniques; It simplifies the design phases, facilitates the interpretation of the results and adds a quantitative character to the C2C framework.

## KEYWORDS

Sustainability, Ecodesign, Environmental and social impact assessment, Life Cycle Assessment, C2C.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

Las estrategias empresariales de cualquier sector de actividad reflejan el interés actual de gestionar la cartera de productos desde el punto de vista del desarrollo sostenible. Las fases de diseño temprano son críticas para poder abordar el ciclo de vida del producto de forma óptima. Una solución sostenible global exige variedad de requerimientos. Primeramente, criterios ambientales que respeten los ciclos naturales de la biosfera y permitan llevar un control exhaustivo del impacto ambiental. En segundo lugar, es necesario tener en cuenta la repercusión social y económica del producto considerando su impacto sobre la salud, el bienestar, la calidad de vida e incluso sobre la cultura y otros ámbitos antropológicos. Por último, se pueden considerar criterios con un alcance mayor que permitan revertir el daño causado a través de la regeneración de contextos y ecosistemas deteriorados durante el último siglo a causa de la actividad industrial. Esta variedad de requerimientos ha determinado un cambio de modelo en la gestión de los proyectos de diseño industrial, así como en las metodologías y herramientas disponibles; para cada una de las etapas del ciclo de vida del producto, existen guías, modelos de análisis, directrices de diseño y soluciones enfocadas a la mejora del desempeño económico, ambiental y social (3E); si son analizados sus alcances, pueden clasificarse dentro de dos enfoques principales que coexisten en la actualidad [1, 2]: estrategias de eco-eficiencia y estrategias de eco-efectividad. Las soluciones ecoeficientes [3] permiten minimizar el impacto ambiental negativo a través de la mejora de la eficiencia de resultados (enfoque top-down). En general, se establecen dos fases: (1) reducción de impactos midpoint (efectos negativos sobre los mecanismos ambientales intermedios, como global warming, acidification o la eco-toxicity); y (2) reducción de los endpoints (daños sobre los elementos de la ecoesfera: ser humano, ecosistema y recursos). Este modelo es el más utilizado en la actualidad. Por otro lado, las soluciones eco-efectivas se plantean desde objetivos de eliminación del daño, cierre de ciclos y desmaterialización [3–6]. La eco-efectividad es un enfoque proactivo que propone la identificación de los procesos causantes de impactos negativos, para sustituirlos por nuevas soluciones; es decir, identifica las causas del problema (enfoque bottom-up) para erradicarlo de forma completa. Utiliza estrategias apoyadas en la eco-innovación. Las herramientas con este enfoque son más reducidas. En general, son guías de diseño conceptual y propuestas de estrategias; si alguna herramienta de evaluación es incluida, normalmente son cualitativas o semicuantitativas. Entre los marcos de trabajo destacados se encuentran Industrial Ecology [6], Cradle to Cradle (C2C) [4], Cleaner Production [7] o Biomimicry [8]. Aunque un planteamiento eco-efectivo debe ser prioritario, actualmente la materialización y explotación de estas soluciones

implica dificultades desde el punto de vista de la viabilidad técnica y económica. En muchas ocasiones, no es posible la sustitución de la solución convencional por una eco-efectiva. En otras ocasiones, la solución eco-efectiva es desconocida o simplemente es una idea conceptual o viable a largo plazo [9]. Por último, el carácter cualitativo de los métodos y herramientas eco-efectivas hace que el proceso de toma de decisiones sea arbitrario o se realice con datos no verificables [10]. Esta situación ha derivado en un esfuerzo por la integración de los dos enfoques para alcanzar soluciones de diseño equilibradas; algunos ejemplos: para manufacturing process [11], e-commerce: [9] or buildings and construction [12–15]. Pero hasta la actualidad, no se ha conseguido un método integrado para diseño de productos; por lo general, en los procesos de diseño se utilizan “cajas de herramientas” o combinación de varias técnicas complementarias para reducir el error de los resultados obtenidos. La unificación en un procedimiento permitirá reducir la complejidad del proceso de diseño.

En este contexto, esta investigación desarrolla un marco de trabajo para el diseño de productos industriales con un alcance de sostenibilidad global desde el punto de vista de la ecoeficiencia y eco-efectividad; se propone una metodología que integra LCA y las técnicas C2C. Permite simplificar las fases de diseño, facilita la interpretación de los resultados y aporta un carácter cuantitativo a C2C.

## **METODOLOGÍA**

Entre las dos metodologías más empleadas para el diseño y análisis de impacto se encuentran: Análisis de Ciclo de Vida (ACV) – en sus alcances ambiental, social y económico- y las técnicas Cradle to Cradle (C2C). Con orientaciones y procedimientos diferentes, los resultados obtenidos deben ser posteriormente integrados para alcanzar soluciones de diseño viables técnica y económicamente. La unificación en un único procedimiento permitirá reducir la complejidad del proceso de diseño. La Figura 1 recoge una síntesis de las mismas.



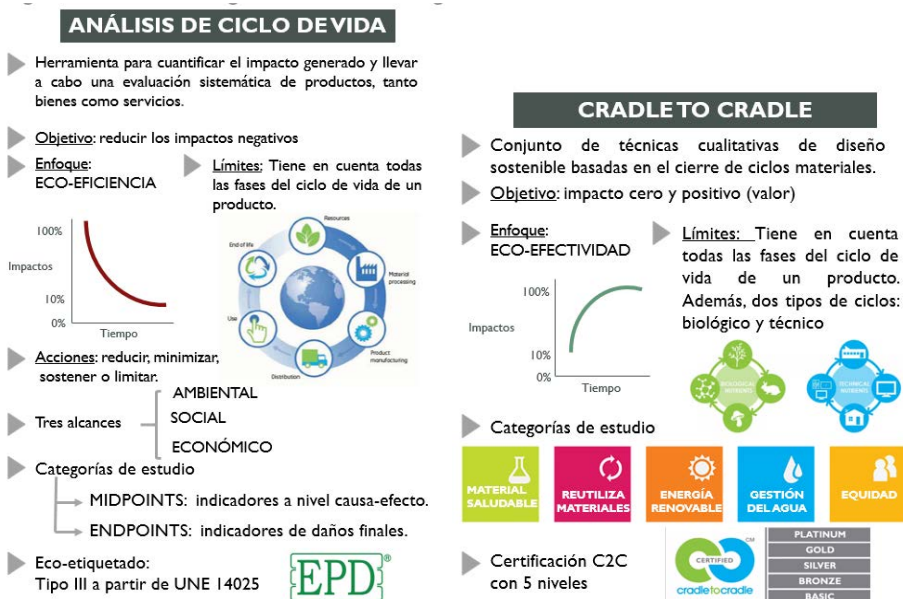


Figura 1. Análisis y comparación de metodologías integradas.

Para llevar a cabo la integración, se plantearon las siguientes etapas:

1. Análisis y comparación de los métodos LCA y C2C.
2. Desarrollo del nuevo proceso de evaluación integrado orientado al daño.
3. Diseño del flujo de información y del sistema de clasificación de datos para la evaluación, mostrado en la Figura 2.

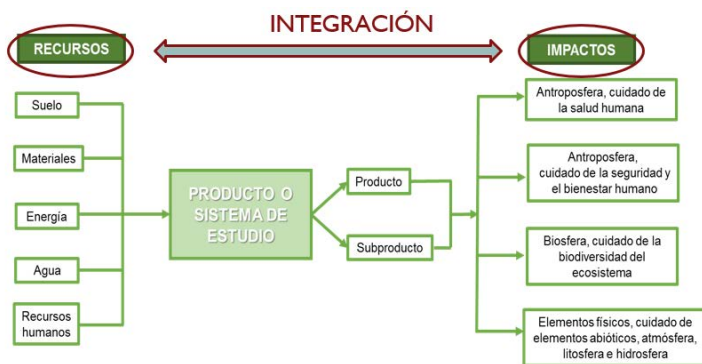
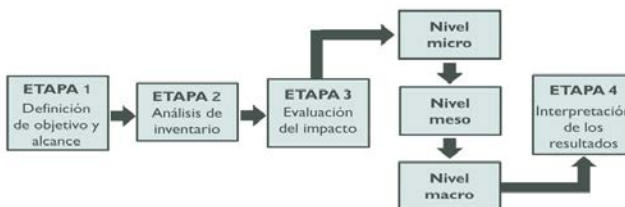


Figura 2. Flujo de información y datos de la integración ACV+C2C.

4. Definición del procedimiento a seguir para aplicar la metodología de diseño y evaluación integrado LCA+C2C, definido en la Figura 3 [2].



**Figura 3.** Etapas de aplicación de análisis integrado ACV+C2C.

## RESULTADOS

Este apartado sintetiza los resultados de la metodología integrada ACV+C2C.

### Nuevas categorías de análisis de impacto ACV+C2C

Se crean cuatro categorías de evaluación que agrupan indicadores de tipo midpoint:

1. Antroposfera, cuidado de la salud humana (A-SH)
2. Antroposfera, cuidado de la seguridad y el bienestar humano (A-SBH)
3. Biosfera, cuidado de la biodiversidad del ecosistema (B-BE)
4. Elementos físicos, cuidado de elementos abióticos, atmósfera, litosfera e hidrosfera (EF-EA)

### Relaciones ACV+C2C

Las categorías de impacto definidas relacionan los dos métodos con un sistema de ponderación (ejemplo en Figura 4).

CATEGORÍAS DE ACV		C2C			
		Energía Renovable	Emisión de gases efecto invernadero	Uso de energía renovable	Compensación con proyectos externos
ACV	Cambio climático		D		
	Agotamiento del ozono				
	Acidificación				
	Eutrofización				
	Toxicidad				
	Formación de partículas			I	
	Formación de ozono fotoquímico				
	Radiación ionizante				
	Uso de la tierra				
	Consumo de agua				
Agotamiento de los recursos			D		
Demanda de energía acumulada				I	

D: Indica una relación directa entre ambas evaluaciones.  
I: Indica una relación indirecta entre ambas evaluaciones.

**Figura 4.** Relaciones ACV – C2C.

## Identificación de recursos por cada nueva categoría ACV+C2C

Las decisiones en cuanto a los recursos a emplear condicionan los impactos que se producirán a lo largo del ciclo de vida del producto. Por ello, la metodología permite conocer la forma en que los recursos (ENTRADAS) influyen sobre las categorías de impacto (SALIDAS) es de gran utilidad para el proceso de toma de decisiones en las etapas más tempranas del diseño.

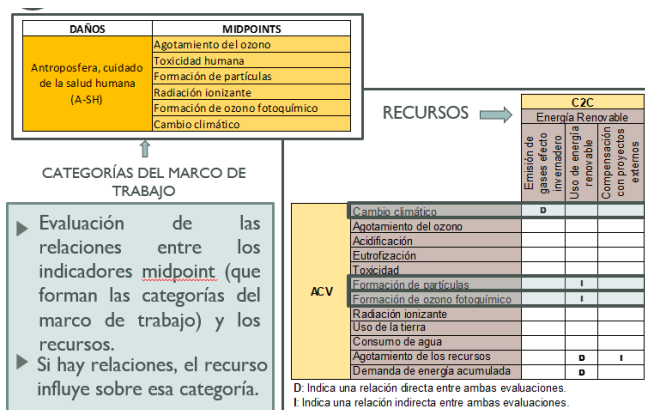


Figura 5. Relación recurso – categoría.

## Cuantificación de las relaciones

Por último, las relaciones entre las entradas y salidas del sistema se pueden cuantificar gracias al nuevo sistema de ponderación definido con indicadores de impacto endpoint; permitirá calcular el porcentaje de intervención de cada recurso.

		C2C				SUMATORIO DE RELACIONES	PORCENTAJE DE INTERVENCIÓN (%)
		Energía Renovable					
		Emisión de gases efecto invernadero	Uso de energía renovable	Compensación con proyectos externos			
ACV	Cambio climático	1			1	50	
	Formación de partículas		0,5		0,5	25	
	Formación de ozono fotoquímico		0,5		0,5	25	
					<b>2</b>	<b>100</b>	

1: Indica una relación directa entre ambas evaluaciones.  
0,5: Indica una relación indirecta entre ambas evaluaciones.

Figura 6. Establecimiento de las relaciones por categoría.

## Síntesis de los tipos de resultados a obtener con la metodología

Como resultado del proceso de integración, se obtiene un conjunto de categorías de impacto que aportarán información sobre:

- a. Resultados de análisis ambiental, social y económico.
- b. Valoración de la ecoeficiencia (impacto generado).
- c. Valoración de la eco-efectividad (valor creado).
- d. Relación entre las entradas del sistema (suelo, materiales, energía, agua y recursos humanos) y las salidas (impactos generados a la atmósfera, a la litosfera y a la hidrosfera).
- e. Estrategias de gestión de ciclo de vida y cierre de ciclos materiales según los parámetros de: ciclicidad, recuperación energética y pérdida de valor cíclico.

## CONCLUSIONES

La integración de Análisis de Ciclo de Vida y las técnicas de C2C en un único procedimiento permite reducir la complejidad del proceso de diseño, simplificar las fases de evaluación y facilitar la interpretación de los resultados; además, aporta un carácter cuantitativo al marco C2C (actualmente semi-cuantitativo y cualitativo para las categorías de impacto que incluye).

Por último, una evaluación de impacto integrada entre ACV (incluyendo los tres alcances ambiental, social y económico) con las técnicas de C2C, ayuda a encontrar un equilibrio entre estrategias eco-efectivas y ecoeficientes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Thompson, J. (2015). "Cradle to Cradle" Is Revolutionizing Human Design. *Perspectives on The Environment*, p. 1.
- [2] Peralta-Álvarez, M.E. (2016). Modelado, simulación y optimización de la sostenibilidad de procesos de fabricación para su integración multiescala y multinivel. Aplicación a células de mecanizado. S.I. UCA.
- [3] Avlonas, N. y Nassos, G.P. (2013). *Practical Sustainability Strategies*. NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- [4] McDonough, W. y Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. New York.
- [5] McDonough, W. y Braungart, M. (2013). *The Upcycle: Beyond Sustainability-Designing for Abundance*. San Juan, Puerto Rico: North Point Pr.

- [6] Graedel, T.E. y Allenby, B.R. (2003). *Industrial Ecology*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- [7] Baas, L. (2008). *Cleaner Production and Industrial Ecology: A Dire Need for 21st Century Manufacturing*. Springer London, pp. 139-156.
- [8] Benyus, J.M. (2009). *Biomimicry*. New York: William Morrow & Co.
- [9] Abukhader, S.M. (2008). Eco-efficiency in the era of electronic commerce – should ‘Eco-Effectiveness’ approach be adopted? *Journal of Cleaner Production*, 16(7), pp. 801-808.
- [10] Wang, G. y Côté, R. (2011). Integrating eco-efficiency and eco-effectiveness into the design of sustainable industrial systems in China. *International Journal of SD & WE*, 18(1), pp. 65-77.
- [11] Simon, L., Moraes, C.A.M., Modolo, R.C.E., Vargas, M., Calheiro, D. y Brehm, F.A. (2017). Recycling of contaminated metallic chip based on eco-efficiency and eco-effectiveness approaches. *Journal of Cleaner Production*, 153, pp. 417-424.
- [12] Dinis-Silvestre, J. y De Brito, J. (2011). Environmental, energetic and economic life-cycle assessment from “C2C” (3E-C2C) of buildings assemblies. En *World Sustainable Building Conference*.
- [13] Dinis-Silvestre, J. y De Brito, J. y Duarte Pinherio, M. (2013). LCA ‘From Cradle-to-Cradle’ of Energy-Related Building Assemblies: Promoting Eco-Efficient Materials. Conference: Portugal SB13- Contribution of Sustainable Building for EU 20-20-20 Targets.
- [14] Ankrah, N., Manu, E. y Booth, C. (2015). Beyond sustainable buildings: eco-efficiency to eco-effectiveness through C2C design.
- [15] Lanfang, L., Issam, S., Chong, W.K. y Christopher, H. (2015). Integrating G2G, C2C and resource flow analysis into LCA framework: A case of construction steel’s resource loop. *Resources, Conservation and Recycling*, 102, pp. 143-152.



# **ESTUDIO Y COMPARATIVA DE LA INFLUENCIA DEL TIPO DE REFUERZO EN MATERIALES COMPUESTOS DE BASE TITANIO FABRICADOS POR TÉCNICAS DE COMPACTACIÓN CALIENTE INDUCTIVA**

**Pérez-Soriano, Eva María<sup>1</sup>; Montealegre-Meléndez, Isabel<sup>1\*</sup>; Arévalo, Cristina<sup>1</sup>;  
Kitzmantel, Michael<sup>2</sup>; Neubauer, Erich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> TEP-123 Metalurgia e Ingeniería de los Materiales.

*Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte; Escuela Politécnica Superior; Universidad de Sevilla.*

<sup>2</sup> RHP-Technology GmbH.

*Forschungs-und Technologiezentrum, 2444 Seibersdorf, Austria.*

\*E-mail: imontealegre@us.es

## **RESUMEN**

La constante necesidad de mejora en el sector aeronáutico y aeroespacial introdujo el uso de materiales compuestos de matriz metálica, para lograr propiedades excelentes con reducción de peso. Dadas las buenas características del titanio, éste fue considerado excelente candidato para constituirse como matriz de materiales compuestos de matriz metálica (TMCs); destacando la pulvimetalurgia como principal método de fabricación, dada su versatilidad, menor coste y mayor precisión dimensional.

En el presente trabajo se realiza un análisis comparativo de las implicaciones en las propiedades finales del material, según el polvo de titanio empleado como matriz y el tipo de refuerzo. Se estudian probetas fabricadas con matriz de titanio grado 1 o grado 5, con varios tipos de refuerzo cerámico y porcentaje. Los tres refuerzos más importantes en el campo de los TMCs son B<sub>4</sub>C, TiC y TiB<sub>2</sub>.

Las muestras se fabricaron en la empresa austriaca RHP-Technology GmbH, mediante la técnica de compactación de polvos (Inductive Hot Pressing). Dichas piezas fueron analizadas mediante varias técnicas de microscopía, además de someterlas a diferentes ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas más importantes.

Las conclusiones permitirán optimizar los parámetros de fabricación, para encontrar así nuevos materiales que cumplan los exigentes requisitos del sector aeronáutico.

## **PALABRAS CLAVE**

Materiales compuestos de base titanio, Compactación en caliente inductiva, Refuerzos, Microestructura.

## ABSTRACT

The constant need for improvement in the aeronautical and aerospace sector introduced the use of metallic matrix composite materials to achieve excellent properties with weight reduction. Given its good properties, titanium was considered an excellent candidate to constitute the matrix of metallic matrix composite materials (TMCs); highlighting powder metallurgy as the main manufacturing method, given its versatility, lower costs and greater dimensional accuracy.

In the present work, a comparative analysis of the influence in the final properties of the material is made, according to the titanium powder used as matrix and the type of reinforcement. Specimens were produced with titanium matrix grade 1 or grade 5, with different ceramic reinforcement and percentages. The three most important reinforcements in the field of TMCs are  $B_4C$ , TiC and  $TiB_2$ .

The samples were manufactured in the Austrian company RHP-Technology GmbH, via Inductive Hot Pressing. The specimens were analyzed by several microscopy techniques, in addition to carrying out different tests to determine the most important physical and mechanical properties.

The conclusions will allow optimizing the manufacturing parameters, to find new materials that fulfill the demanding requirements of the aeronautical sector.

## KEYWORDS

Titanium composites, Inductive Hot Pressing, Reinforcements, Microstructure.



## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

El estudio de las propiedades de los materiales compuestos de base titanio, así como la diversidad de técnicas para su desarrollo han sido objeto de investigación desde hace más de dos décadas [1-3]. Las necesidades de mejorar las propiedades mecánicas del titanio y sus aleaciones han sido origen de multitud de trabajos de investigación que han conducido a la fabricación de TMCs con propiedades muy interesantes para diversos sectores industriales, como es el caso del sector aeroespacial [4-6].

En el marco de los materiales de partida para la producción de los TMCs, se plantean materiales de refuerzo de naturaleza cerámica, que mejoran substancialmente las propiedades específicas respecto a la matriz de base titanio sin reforzar [3,7-8]. Entre los refuerzos más estudiados, se consideran el TiC y TiB [9-10]; ambos compuestos muestran buenas propiedades de integridad en la matriz de titanio y potencian sus propiedades de rigidez. Dichos refuerzos pueden ser incorporados a la matriz de forma directa o por el contrario se pueden formar in situ por la adición de otras partículas precursoras de los mismos. En este sentido, el empleo de partículas de  $B_4C$  como fuente de carbono y boro, ha sido objeto de estudio en el ámbito de los materiales compuestos in situ reforzados. La formación de nuevos compuestos en la matriz de titanio (TiC y TiB) contribuyen no sólo a una mejora en la densificación de los TMCs resultantes, sino a una mayor estabilidad en la interfaz entre la matriz y los refuerzos formados in situ. Las reacciones secundarias entre la matriz de base titanio y las partículas de  $B_4C$  promueven esa mejora en la adherencia matriz-refuerzo y contribuyen a un aumento sustancial de las propiedades de TMCs fabricados [11-12].

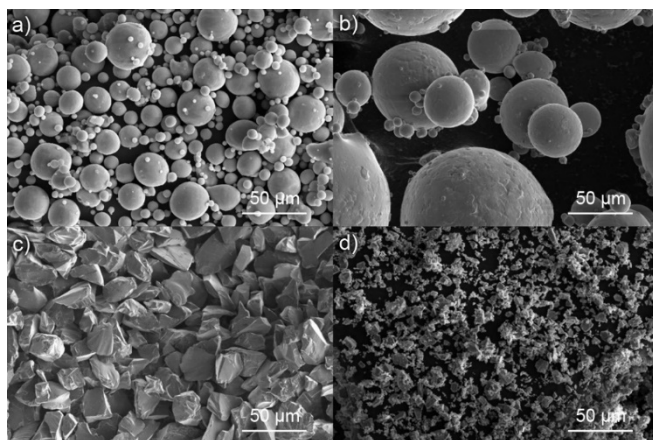
Dentro de la gran variedad de técnicas que existen para la fabricación de materiales compuestos de base titanio, la pulvimetalurgia se considera una tecnología que reúne las características fundamentales y necesarias para ello. En particular, mediante técnicas pulvimetalúrgicas avanzadas, como la compactación en caliente inductiva, se pueden producir en periodos cortos de fabricación una gran diversidad de composiciones de TMCs; es por ello que, en el presente estudio, dicha técnica ha sido seleccionada para llevar a cabo los trabajos de consolidación de los TMCs. La experiencia de los autores en este ámbito, junto con la gran flexibilidad de producción que ofrece esta metodología motivan el uso de la misma [13].

El objetivo principal del presente trabajo es el estudio de las propiedades finales de TMCs producidos bajo determinados parámetros, comparando diversos polvos

de partida; todo ello con el fin de optimizar los procesos de fabricación para los TMCs, tratando de reducir el coste de los mismos y ampliando las posibilidades de aplicaciones para los mismos.

## METODOLOGÍA

Para la fabricación de los TMCs se han empleado dos tipos de polvos de base titanio, titanio grado 1 y titanio grado 5 (Ti6Al4V) (ver Figura 1). Cumpliendo con la motivación de la investigación, se han elegido tres tipos de refuerzos cerámicos de partida: i)  $B_4C$ , ii)  $TiB_2$  y iii)  $TiC$  (ver Figura 1). La selección de estos refuerzos de partida se fundamentó principalmente en las características y el comportamiento de los mismos durante el procesado. Por un lado, las partículas de  $TiB_2$  tienden a descomponerse en  $TiB$  y las partículas de  $B_4C$  se consideran fuente de B y C para la formación de  $TiB$  y  $TiC$  en la propia matriz; con lo cual, se valora que la integridad de estos tipos de partículas cerámicas cambie durante la fabricación de los TMCs. Por otro lado, al emplear  $TiC$  como partículas de refuerzo, se presupone que su integridad permanece constante; además, diversas composiciones de  $TiC$  fueron testadas para comparar su efecto en las propiedades finales de los TMCs. De este modo, bajo igualdad de condiciones de fabricación, se pueden estudiar la descomposición y formación de fases en los TMCs.



**Figura 1.** Fotografías SEM de los polvos: a) Ti Gr1, b) Ti Gr5, c)  $B_4C$  y d)  $TiC$ .

Las etapas para la fabricación son las siguientes: i) mezclado de polvos de partida bajo composiciones previamente definidas; ii) preparación de la matriz de grafito mediante recubrimiento de BN para evitar reacciones no deseadas; iii) llenado de la matriz con cada una de las mezclas preparadas; iv) compactación en caliente mediante la técnica de inducción bajo una presión de 50 MPa (límite fijado por el empleo de matrices de grafito), durante 15 minutos a 1000 °C, y por último, v)

extracción y limpieza de los TMCs fabricados. En la Tabla 1 se muestran las distintas muestras de partida y los parámetros empleados para la fabricación.

**Tabla 1.** Numeración y composición de las piezas fabricadas a 1000 °C y 50 MPa (en matrices de grafito) durante 15 min en alto vacío.

Número muestra	Composición	Tamaño titanio	Tamaño refuerzo
1	Ti+30vol%B <sub>4</sub> C	Ti Gr1 (<45 μm)	45-75 μm
2	Ti+30vol%B <sub>4</sub> C	Ti Gr1 (<45 μm)	8-32 μm
3	Ti6Al4V+30vol%B <sub>4</sub> C	Ti Gr1 (106-180 μm)	45-75 μm
4	Ti+10vol%TiC	Ti Gr1 (< 45 μm)	4,9 μm
5	Ti+20vol%TiC	Ti Gr1 (< 45 μm)	4.9 μm
6	Ti+30vol%TiC	Ti Gr1 (< 45 μm)	4.9 μm
7	Ti+20vol%TiB <sub>2</sub>	Ti Gr1 (< 45 μm)	14 μm

La Figura 2 muestra el equipo donde se realizó la etapa de consolidación inductiva. Este equipo permite reducir el tiempo de los ciclos operativos gracias a su alta velocidad de calentamiento, aportando versatilidad y flexibilidad. Como puede apreciarse, las dimensiones de los especímenes se limitan a las exigencias del equipo empleado.



**Figura 2.** Esquema e imagen del equipo de compactación en caliente (iHP).

Tras la producción de los TMCs, un estudio de sus propiedades y microestructuras fue minuciosamente llevado a cabo con el objetivo de comparar y verificar las nuevas fases formadas y el efecto de los refuerzos añadidos. La densidad de los TMCs fue realizada mediante la metodología de Arquímedes. Se empleó el durómetro Struers-Duramin A300 para las medidas de dureza de todos los TMCs. Las propiedades de rigidez, módulo de Young, se hallaron mediante la técnica de ultrasonidos (Olympus 38 DL) [14]. Las fases de refuerzo fueron analizadas mediante la técnica de difracción de rayos X (Bruker D8 Advance A25); y, además, se observaron las microestructuras de los TMCs mediante el microscopio electrónico de barrido (SEM, FEI Teneo).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

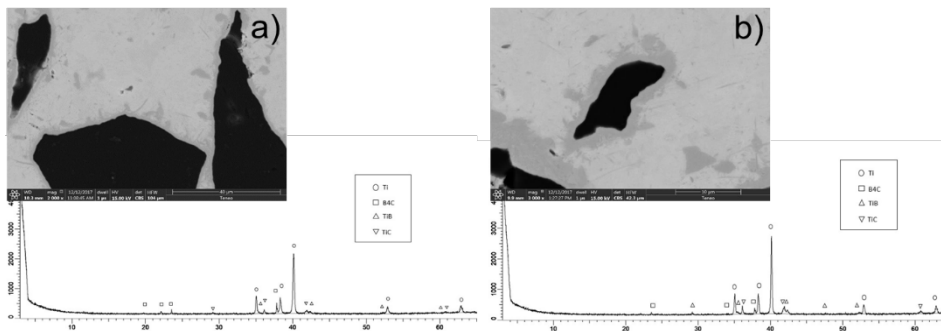
Los resultados de la caracterización de las propiedades físicas de los especímenes se muestran de forma esquemática en la Tabla 2. Se puede observar como los TMCs fabricados a partir de Ti grado 1 presentaron mejores propiedades que el TMC fabricado a partir de Ti grado 5.

**Tabla 2.** Densidad, módulo de Young y dureza de las muestras fabricadas.

Número muestra	Composición	Densidad de Arquímedes (g/cm <sup>3</sup> )	Módulo de Young (GPa)	Dureza Vickers (HV10)
1	Ti+30vol%B <sub>4</sub> C(G)	3,6543	180,74	352,6 ± 19,52
2	Ti+30vol%B <sub>4</sub> C(F)	3,5339	163,57	367,2 ± 10,67
3	Ti6Al4V+30vol%B <sub>4</sub> C(G)	3,4566	109,95	307,5 ± 39,54
4	Ti+10vol%TiC	4,1348	158,24	240,2 ± 2,66
5	Ti+20vol%TiC	4,2266	171,22	309 ± 9,16
6	Ti+30vol%TiC	4,2495	186,95	386,7 ± 10,66
7	Ti+20vol%TiB <sub>2</sub>	3,9562	140,98	266,12 ± 5,61

Desde el punto de vista de los refuerzos empleados, relacionando valores obtenidos de dureza y rigidez con la microestructura de los especímenes fabricados, puede verse que el añadir menor cantidad de TiC, va directamente relacionado con unas menores propiedades y una mayor dispersión de los refuerzos. Los TMCs reforzados con refuerzos de menor tamaño presentan propiedades más bajas de forma generalizada; este hecho está vinculado a la presencia de posibles aglomeraciones del refuerzo en la matriz.

Analizado la diversidad de refuerzos de partida empleados, los TMCs cuyos polvos de partida contenían partículas de TiC mostraron mejores propiedades físicas, a igualdad de composición de partida (B<sub>4</sub>C vs TiC al 30% y TiB<sub>2</sub> vs TiC al 20%).



**Figura 3.** Imagen SEM y DRX de muestras fabricadas con B<sub>4</sub>C grueso (a) y fino (b).

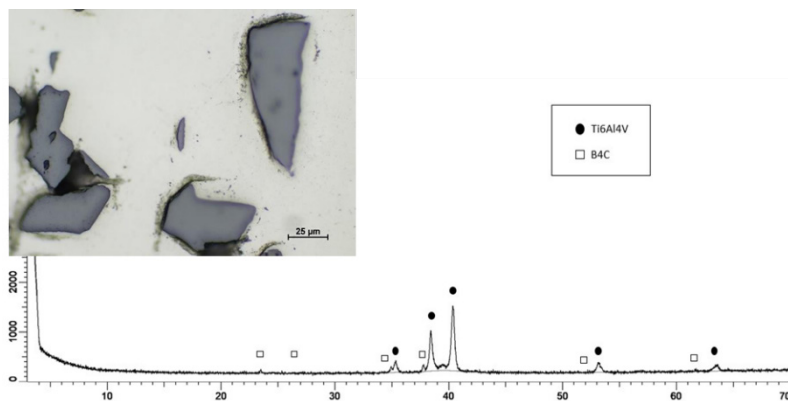


Figura 4. Imagen de MO y DRX de muestra fabricada con Ti Gr5 y B<sub>4</sub>C grueso.

En el contexto de la formación de fases secundarias, la influencia del tamaño de las partículas precursoras de TiC y TiB quedó demostrada. Partículas con mayor tamaño presentaron menor reactividad en la zona interfacial matriz-refuerzo. Este fenómeno puede apreciarse en Figuras 3 y 4.

El refuerzo añadido a la matriz de titanio grado 5 fue B<sub>4</sub>C de tamaño grueso. Como se aprecia en la Tabla 2, las propiedades del TMCs fabricado a partir de dicha mezcla no fueron las esperadas. El estudio microestructural reveló la escasa reactividad de las partículas cerámicas en la matriz, a pesar de ser el B<sub>4</sub>C fuente de C y B. Esto justifica las bajas propiedades obtenidas de este compuesto.

## CONCLUSIONES

Según el material de partida: se obtiene mayor dureza en aquellas muestras que emplean Ti Gr1, en comparación con titanio Ti6Al4V, como consecuencia del tamaño de grano de las partículas. Para un tamaño menor de partículas, se obtendrían mayores valores de dureza.

Desde el punto de vista del tipo de refuerzo empleado, se observa que el que proporciona mayores valores de dureza es el carburo de titanio (TiC), a igualdad de composición volumétrica.

Analizando la influencia del porcentaje en volumen de TiC, se observa un aumento en dureza y módulo de Young con el incremento de dicho porcentaje; debido no sólo a la presencia de más refuerzo, sino también por la tendencia que tiene éste a situarse en los límites de grano de la matriz.

En definitiva, se ha podido comprobar el papel fundamental que juega el tamaño medio de partícula del polvo de partida empleado en la fabricación, influyendo considerablemente en las propiedades finales.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al CITIUS de la Universidad de Sevilla.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ranganath, S. (1997). A Review on Particulate-Reinforced Titanium Matrix Composites. *Journal of Materials Science*, 32(1).
- [2] Chawla, K.K. (1998). *Composite materials: science and engineering*. New York: Springer.
- [3] Neubauer, E., *et al.* (2016). Titanium Matrix Composites with High Specific Stiffness. *Key Engineering Materials*, 704, 38.
- [4] Leyens, C. y Peters, M. (2003). *Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications*. Colonia: Wiley.
- [5] Lutjering, J.C.W.G. (2007). *Titanium*. Berlin: Springer.
- [6] Montealegre-Meléndez, I., *et al.* (2010). Consolidation of titanium matrix composites to maximum density by different hot pressing techniques. *Materials Science and Engineering*, 527(16–17), p. 4466.
- [7] Balaji, V.S. y Kumaran, S. (2014). Densification and microstructural studies of titanium–boron carbide ( $B_4C$ ) powder mixture during spark plasma sintering. *Powder Technology*, 264, p. 536.
- [8] Vadayar, K.S., *et al.* (2014). Effect of Boron Carbide Particle Size and Volume Fraction of TiB-TiC Reinforcement on Fractography of PM Processed Titanium Matrix Composites. *Procedia Materials Science*, 6, p. 1329.
- [9] Sabahi Namini, A., *et al.* (2017). Effect of  $TiB_2$  content on the characteristics of spark plasma sintered Ti-TiBw composites. *Advanced Powder Technology*, 28 (6), 1564.
- [10] Popov, V.A., *et al.* (2017). Particulate metal matrix composites development on the basis of in situ synthesis of TiC reinforcing nanoparticles during mechanical alloying. *Journal of Alloys and Compounds*, 707, 365.

- [11] Montealegre-Meléndez, I., *et al.* (2016). Study of Titanium Metal Matrix Composites Reinforced by Boron Carbides and Amorphous Boron Particles Produced via Direct Hot Pressing. *Key Engineering Materials*, 704, 85.
- [12] Arévalo, C., *et al.* (2016). Development of Ti-MMCs by the use of different reinforcements via conventional Hot-Pressing. *Key Engineering Materials*, 704, 400.
- [13] Montealegre-Meléndez, I., *et al.* (2018). Microstructural and XRD Analysis and Study of the Properties of the System Ti-TiAl-B<sub>4</sub>C Processed under Different Operational Conditions. *Metals*, 8, 367.
- [14] Davis, J.R. (1989). *Nondestructive Evaluation and Quality Control*. ASM Handbook. ASM-International: Novelty (USA).





## **INFLUENCIA DE GELATINA SOBRE LAS PROPIEDADES DE MEMBRANAS DE NANOFIBRAS OBTENIDAS DE POLÍMEROS SINTÉTICOS**

**Perez-Puyana, Víctor Manuel<sup>1\*</sup>; Jiménez-Rosado, Mercedes<sup>2</sup>; Alonso-González, María<sup>3</sup>; Romero, Alberto<sup>3</sup>; Guerrero, Antonio<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Tecnología y Diseño de Productos Multicomponentes (TEP-229). Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química. Universidad de Sevilla.*

<sup>2</sup> *Tecnología y Diseño de Productos Multicomponentes (TEP-229). Departamento de Ingeniería Química. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.*

<sup>3</sup> *Tecnología y Diseño de Productos Multicomponentes (TEP-229). Departamento de Ingeniería Química. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.*

\*E-mail: [vperez11@us.es](mailto:vperez11@us.es)

### **RESUMEN**

La técnica de electrohilado es una técnica emergente y relativamente fácil para preparar matrices tridimensionales de micro y nanofibras. Para lograrlo, se utilizan disoluciones acuosas de polímeros de polímeros sintéticos o naturales. De forma general, se tiende a utilizar polímeros sintéticos pues permite un mayor control de las propiedades de las fibras obtenidas, así como una mejor procesabilidad. Sin embargo, estos polímeros sintéticos se suelen combinar con polímeros naturales para mejorar el carácter hidrófilo de las membranas o asemejar las propiedades mecánicas a las óptimas para su posterior respuesta biológica. Por tanto, este estudio evalúa la influencia de un biopolímero sobre las propiedades de andamios de nanofibras obtenidos a partir de polímeros sintéticos. Como polímero natural se ha seleccionado una proteína como la gelatina debido a su biocompatibilidad y biodegradabilidad; mientras que como polímeros sintéticos se han utilizado policaprolactona (PCL) y polivinil alcohol (PVA). Para ello, se llevó a cabo un proceso de electrohilado estándar (15 kV, 0.4 ml/h y 10 cm de distancia de trabajo) para obtener las membranas de nanofibras. La influencia de la adición de gelatina se observó analizando el ángulo de contacto del agua y las imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido.

### **PALABRAS CLAVE**

Gelatina, PVA, PCL, Electrohilado, Nanofibras.

## ABSTRACT

The electrospinning technique is an emerging and relatively easy technique for preparing three-dimensional membranes with micro and nanofibers. To achieve this, aqueous solutions of synthetic or natural polymers are used. In general, synthetic polymers tend to be used, since it allows greater control of the properties of the fibers obtained, as well as a better processability. However, these synthetic polymers are usually combined with natural polymers to improve the hydrophilic character of the membranes or to resemble the optimum mechanical properties for their subsequent biological treatment. Therefore, this study evaluates the influence of a biopolymer on the properties of nanofiber scaffolds obtained from synthetic polymers. As a natural polymer, a protein such as gelatin has been selected because of its biocompatibility and biodegradability; while polycaprolactone (PCL) and polyvinyl alcohol (PVA) have been used as synthetic polymers. Thus, a standard electrospinning process (15 kV, 0.4 mL/h and 10 cm of working distance) was carried out to obtain nanofibrous membranes. The influence of the addition of gelatin was observed by analyzing the water contact angle and the images obtained by scanning electron microscopy.

## KEYWORDS

Gelatin, PVA, PCL, Electrospinning, Nanofibers.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

El proceso de electrohilado es relativamente innovador que permite la producción continua de membranas de fibras en un rango de diámetros entre 10 nm y unos pocos micrómetros que se forman en la superficie de un colector [1]. Estas membranas presentan un área de superficie muy alta, lo que hace que estas estructuras sean candidatas adecuadas para biomedicina, en la que se pueden usar como andamios para Ingeniería de Tejidos [2]. Más específicamente, los andamios elaborados a partir de polímeros proporcionan un soporte tridimensional adecuado para la adhesión, proliferación y diferenciación celular, que es esencial para guiar la formación de tejido [3].

En dicho proceso, existen varios parámetros que están íntimamente relacionados con las propiedades y características de las fibras obtenidas mediante electrohilado, por lo que su control durante la ejecución del proceso es indispensable ya que juegan un papel importante en la formación y estructura de las fibras [4]. Entre ellos destaca el voltaje, aunque genera controversia entre los autores pues algunos afirman que la aplicación de altos voltajes hace que se transporte más fluido en el chorro, lo que da como resultado fibras con diámetros más altos [5], aunque otros afirman que un aumento en el voltaje disminuye el diámetro de las nanofibras [6].

En definitiva, el objetivo principal es el estudio de la influencia de gelatina en las propiedades químicas y estructurales óptimas de andamios elaborados a partir de polímeros sintéticos como PVA y PCL. Para ello, se ha procedido a caracterizar las membranas obtenidas mediante el análisis del ángulo de contacto, así como del tamaño media de sus fibras y su porosidad.

## **METODOLOGÍA**

### **Proceso de Electrohilado**

El proceso de electrohilado se ha llevado a cabo con disoluciones de alcohol polivinílico (PVA) o policaprolactona (PCL) y gelatina (GE), utilizando diferentes ratios para evaluar la influencia de la gelatina en ambos polímeros sintéticos. Tanto el PVA como el PCL han sido suministrados por Sigma-Aldrich (Alemania), mientras que la gelatina ha sido adquirida gracias a la empresa Henan Boom Gelatin Co. (China).

**Tabla 1.** Sistemas estudiados con mezclas de PVA y PCL con gelatina.

<b>Sistemas con PVA</b>		<b>Sistemas con PCL</b>	
PVA/GE 10/0	PVA (100%)	PCL/GE 10/0	PCL (100%)

Sistemas con PVA		Sistemas con PCL	
PVA/GE 7.5/2.5	PVA (75%) + Gelatina (25%)	PCL/GE 7.5/2.5	PCL (75%) + Gelatina (25%)
PVA/GE 5.0/5.0	PVA (50%) + Gelatina (50%)	PCL/GE 5.0/5.0	PCL (50%) + Gelatina (50%)
PVA/GE 2.5/7.5	PVA (25%) + Gelatina (75%)	PCL/GE 2.5/7.5	PCL (25%) + Gelatina (75%)

Tras la preparación de las disoluciones bajo agitación constante durante toda la noche (para fomentar una buena homogeneización del sistema), se llevó a cabo el proceso de electrohilado. Dicho proceso se llevó a cabo colocando el dispositivo de electrohilado en posición vertical, viéndose favorecido el proceso por la gravedad. La aguja conectada a la jeringa es de calibre 21G (diámetro interno de 0.8 mm), mientras que el caudal impuesto es de 0.4 mL/h. Tanto la temperatura como la humedad del sistema se mantuvieron en 25 °C y 40%, respectivamente.

### Caracterización de los sistemas

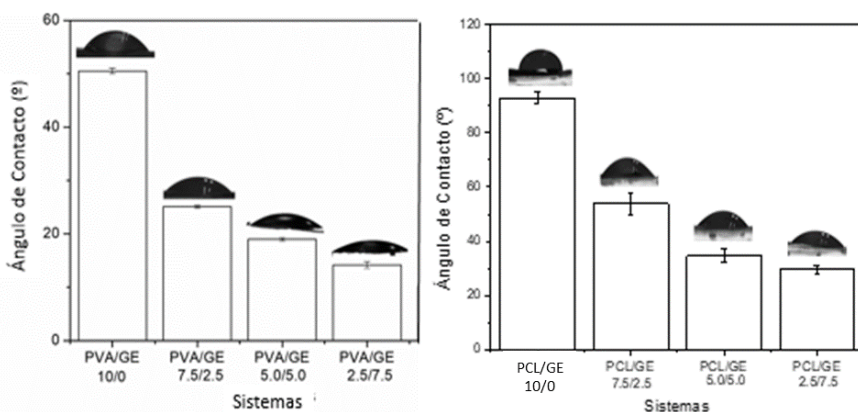
- **Ángulo de Contacto:** La hidrofobicidad de los andamios se ha evaluado mediante mediciones del ángulo de contacto con el agua (WCA) utilizando el método de gota sésil (gotitas con un volumen aproximado de 5 µL). Se midieron los valores de WCA de los lados derecho e izquierdo de las gotas de agua desionizada y se calculó el valor promedio. El equipo utilizado fue un analizador de forma de gota (Krüss).
- **Microscopía Electrónica de Barrido (SEM):** El análisis microscópico de los andamios se ha evaluado con un XL 30 (Philips XL Series) a un voltaje de aceleración de 15 kV. Las muestras se cubrieron con una película de Au en un *sputter coater* de alta resolución. Para determinar tanto la porosidad como el tamaño de las fibras se ha utilizado un software de procesamiento digital (ImageJ).

### Análisis estadístico

Se ha realizado un triplicado para cada ensayo. Los análisis estadísticos se realizaron con análisis de varianza ( $p < 0.05$ ) utilizando PASW Statistics para Windows (versión 18: SPSS, Chicago, IL). Además, se calcularon desviaciones estándar para los parámetros seleccionados.

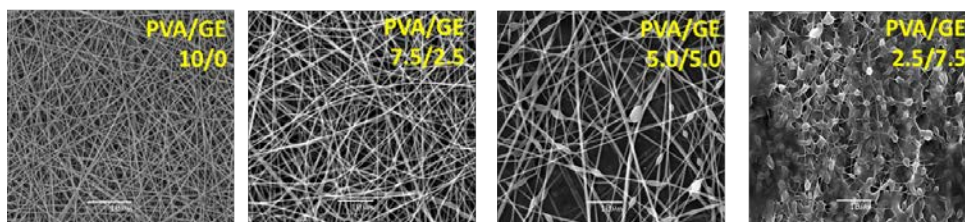
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para seguir el efecto de la gelatina en los andamios producidos, se realizaron mediciones del ángulo de contacto a los sistemas obtenidos con PVA y PCL. La Figura 1 muestra el ángulo de contacto de los diferentes sistemas estudiados con diferentes proporciones de PVA y PCL con gelatina. Se puede destacar cómo el aumento en el contenido de gelatina produce andamios con un menor ángulo de contacto con el agua, siendo más pronunciado este efecto para el caso de PCL, debido a su mayor hidrofobicidad e insolubilidad en agua. Es interesante señalar además cómo una pequeña cantidad de gelatina (2.5%) produce una marcada disminución del ángulo de contacto de los andamios resultantes, obteniendo estructuras más hidrófilas.



**Figura 1.** Ángulo de contacto de los sistemas mixtos de PVA y PCL con gelatina. (Fuente: Perez-Puyana [7]).

Además de las medidas de ángulo de contacto, se tomaron imágenes de SEM para comprobar la morfología de los sistemas estudiados. La evolución de los sistemas de PVA con la adición de gelatina puede comprobarse en la Figura 2. Cabe destacar que una disminución en la concentración de PVA se traduce en una evolución de una matriz homogénea a una matriz formada por micropartículas esféricas, conectadas entre sí a través de nanofibras.



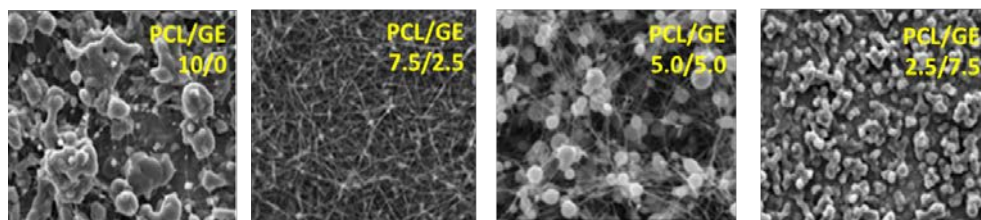
**Figura 2.** Imágenes de SEM de los sistemas elaborados con PVA y gelatina. (Fuente: Perez-Puyana [7]).

Por otro lado, la adición de gelatina provoca un descenso del tamaño de las fibras que, por ende, produce un aumento de la porosidad del sistema (Tabla 2).

**Tabla 2.** Tamaños de fibra y porosidad de andamios obtenidos con PVA y gelatina. Valores con letras diferentes son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Sistemas con PVA	Tamaño de fibras (nm)	Porosidad (%)
PVA (100%)	462 <sup>a</sup>	60 <sup>A</sup>
PVA (75%) + Gelatina (25%)	414 <sup>ab</sup>	68 <sup>AB</sup>
PVA (50%) + Gelatina (50%)	303 <sup>b</sup>	71 <sup>B</sup>
PVA (25%) + Gelatina (75%)	*	*

Por otra parte, aquellos sistemas elaborados con mezclas de PCL y gelatina pueden verse en la Figura 3. Puede comprobarse como la adición de una pequeña cantidad de gelatina provoca una mejora significativa de las fibras formadas durante el proceso de electrohilado ya que el 100% de PCL da lugar a una membrana basada en esferoides.



**Figura 3.** Imágenes de SEM de los sistemas elaborados con PCL y gelatina.

Además, la adición de gelatina provoca un ligero descenso de la porosidad de los sistemas, mientras que el tamaño de sus fibras, no correspondientes a los esferoides, no sufre cambios significativos (Tabla 3). Cabe destacar que los sistemas con mayor concentración de gelatina no pudieron someterse al proceso de electrohilado o dieron lugar a membranas no constituidas por fibras (sistema PCL 2.5% y GE 7.5%).

**Tabla 3.** Tamaños de fibra y porosidad de andamios obtenidos con PCL y gelatina. Valores con letras diferentes son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Sistemas con PCL	Tamaño de fibras (nm)	Porosidad (%)
PCL (100%)	186 <sup>a</sup>	62 <sup>A</sup>
PCL (75%) + Gelatina (25%)	147 <sup>ab</sup>	59 <sup>AB</sup>
PCL (50%) + Gelatina (50%)	203 <sup>b</sup>	57 <sup>B</sup>
PCL (25%) + Gelatina (75%)	*	*

## CONCLUSIONES

Como conclusión general, andamios de nanofibras con diferentes concentraciones de PVA y PCL con gelatina se han obtenido mediante electrohilado, lo que presenta un gran potencial para sus aplicaciones en Ingeniería de Tejidos.

La adición de gelatina provoca un descenso en el ángulo de contacto de los andamios, lo que se traduce en un aumento de la hidrofilia de los sistemas tanto para aquellos obtenidos a partir de PVA como de PCL, siendo este efecto más pronunciado para este último.

La sustitución del polímero sintético (ya sea PVA o PCL) por gelatina produce una evolución en la morfología de los andamios: de un sistema compuesto por nanofibras cilíndricas a otro compuesto de esferoides interconectados. En cualquier caso, parece que pequeñas adiciones de gelatina conduce a fibras con tamaños de fibras más pequeños. Además, la formación de esferoides aumenta con la concentración de proteínas.

Por último, respecto a la porosidad, tienen lugar dos efectos opuestos. Por un lado, la adición de gelatina provoca un aumento de la porosidad de los sistemas elaborados a partir de PVA; mientras que para los sistemas obtenidos con PCL, no existen diferencias significativas en la porosidad.

En cualquier caso, la adición de gelatina a polímeros sintéticos (PVA o PCL) puede ser positiva para diseñar membranas de nanofibras con determinada microestructura controladas composicionalmente.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen el apoyo financiero del proyecto recibido por parte del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (Ref: CTQ2015-71164P, MINECO/FEDER, UE). Los autores también agradecen a la Universidad de Sevilla y al Ministerio de Economía, Industria y Competitividad por las becas predoctorales de Víctor M. Pérez Puyana (VPPI-US) y de Mercedes Jiménez Rosado (Ref. FPU17/01718).

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] Mogoşanu, G.D., Grumezescu, A.M., Mogoantă, L., Bejenaru, L.E., y Bejenaru, C. (2016). *Nanobiomaterials in Soft Tissue Engineering*.
- [2] Gautam, S., Dinda, A.K., y Mishra, N.C. (2013). Fabrication and characterization of PCL/gelatin composite nanofibrous scaffold for tissue engineering applications by electrospinning method. *Materials Science and Engineering C*, 33(3), p. 1228.

- [3] de la Portilla, F., Pereira, S., Molero, M., De Marco, F., Perez-Puyana, V., Guerrero, A., y Romero, A. (2016). Microstructural, mechanical, and histological evaluation of modified alginate-based scaffolds. *Journal of Biomedical Materials Research - Part A*, 104(12), p. 3107.
- [4] Jacobs, V., Anandjiwala, R.D., y Maaza, M. (2010). The influence of electrospinning parameters on the structural morphology and diameter of electrospun nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 115(5), p. 3130.
- [5] Ramakrishna, S., Huang, Z.M., y Kotaki, M. (2003). A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composite Science Technology*, 63(15), p. 2223.
- [6] Correia, D.M. y Sencadas, V. (2012). Determination of the parameters acting electrospun chitosan fiber size distribution and morphology. *Carbohydrate Polymers*, 87, p. 1295.
- [7] Perez-Puyana, V., Jiménez-Rosado, M., Romero, A., y Guerrero, A. (2018). Development of PVA/gelatin nanofibrous scaffolds for Tissue Engineering via electrospinning. *Materials Research Express*, 5, p. 03401.



# **MACHINE LEARNING PARA LA OPTIMIZACIÓN INTELIGENTE DE LA RECOGIDA DE RESIDUOS**

**Ramos Cueli, Juan Manuel\***; **Luque Sendra, Amalia**; **Larios Martín, Diego Francisco**; **Barbancho Concejero, Julio**

*Grupos de investigación TIC150 y TEP022*

*Departamentos de Tecnología Electrónica e Ingeniería del Diseño. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.*

\*E-mail: jramos8@us.es

## **RESUMEN**

La recogida de residuos es uno de los servicios más importantes que las ciudades proporcionan. Las posibilidades de optimización a partir de la explotación de los datos recogidos son muy interesantes, si bien, deben considerarse todas las restricciones que aplican.

El trabajo a realizar consiste en el desarrollo de los modelos y herramientas necesarios para el diseño de un sistema de predicción de llenado de los contenedores, a partir del cual poder realizar posteriormente la planificación óptima de rutas u otras actuaciones estratégicas.

Estos modelos proporcionarán componentes software clave para determinar, en un momento determinado del futuro, cuál será el estado de llenado de un contenedor, así como determinar el momento en el que dicho contenedor se llenaría completamente, si antes no se procede a su vaciado.

Para ello, el sistema debe tener en cuenta datos históricos de nivel de llenado. Estos datos sirven tanto de ajuste como de verificación de los diferentes modelos. Por otro lado, las variables de entrada deberán seleccionarse en función de su grado de relevancia en la predicción, considerando la disponibilidad de las mismas. Finalmente, el algoritmo debe tener en cuenta criterios de escalabilidad y flexibilidad para hacer posible su aplicación en áreas grandes.

## **PALABRAS CLAVE**

Predicción, Optimización, Planificación, Toma de decisiones, Smart cities.

## ABSTRACT

Waste collection is one of the most important services that cities provide. Optimization possibilities from the exploitation of collected data are very interesting, although, all the restrictions that apply must be considered.

The work to be carried out consists of the development of models and tools for the design of a filling waste container prediction system, from which to subsequently carry out optimal planning of routes or other strategic actions.

These models will provide key software components to determine, at a certain point in the future, what will be the filling status of a container, as well as to know when it would be filled, if it is not emptied before.

The system must consider historical filling level data. This data is used to adjust the different models, but also to verify it. On the other hand, the input variables should be selected according to their degree of relevance in the prediction, considering the availability of them. Finally, the algorithm must consider criteria of scalability and flexibility to make it possible to apply in large areas.

## KEYWORDS

Prediction, Optimization, Planning, Decision making, Smart cities.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

La recogida de residuos es uno de los servicios más importantes que las ciudades proporcionan.

La hipótesis de trabajo que se plantea es la siguiente. Se estima que a partir de la información pesaje de la recogida de los contenedores, mediante sensorización en los camiones, y a partir de información de contexto (distintas series de datos), mediante el uso de técnicas de machine learning, se pueden mejorar los sistemas de gestión de recogida de residuos.

Por tanto, el objetivo principal que se plantea es la investigación y desarrollo de los modelos y herramientas necesarios para el diseño y validación de un sistema de predicción de llenado de los contenedores, a partir del cual poder realizar posteriormente la planificación óptima de rutas u otras actuaciones estratégicas.

En concreto buscamos:

- Predecir la curva de llenado de cada contenedor (ventana de tiempo  $t$  y error admisible).
- Generar rutas óptimas en base a planificación dinámica de rutas, cuantificando el ahorro económico en el servicio, impacto mediambiental y confort del ciudadano (ruidos, olores, afectación al tráfico).
- Conocer dónde, cuándo y porqué se generan los residuos, lo cual debería ayudar a la toma de decisiones a medio plazo para la optimización del sistema.

## **METODOLOGÍA**

### **Caracterización**

El objeto de esta actividad es definir las variables, restricciones, objetivos relacionados con la estrategia del modelo de negocio y su influencia en el problema de la gestión de la recogida los residuos sólidos urbanos. Además, se realizará un análisis y diseño previo del sistema de información. Las especificaciones obtenidas en la tarea anterior serán traducidas a objetos, relaciones y procesos programables, que serán la base del sistema de información.

Es fundamental la correcta identificación de las variables y su influencia en los objetivos marcados.

Algunas variables que se tendrán en cuenta son: variables climatológicas, calendario de festivos, tipo de residuos, datos socioculturales, capacidad de los contenedores, información del estado de tráfico, restricciones viales, capacidad de carga de los vehículos, etc

En un segundo paso, se analizarán las fuentes de datos identificadas y su integración, los procesos de filtrado de los datos, los escenarios y casos de uso del sistema, así como las interfaces que den respuesta a los mismos.

### **Revisión sistemática de la literatura (SLR)**

En esta actividad se realizará la búsqueda y análisis de la bibliografía científica de los trabajos existentes relacionados con la temática del proyecto, para confirmar el enfoque del mismo. A continuación, se muestran algunos avances al respecto.

De acuerdo a [1] y [2], la actividad de recogida representa aproximadamente el 80% de todos los costes asociados a la eliminación de residuos

En esencia, la recogida de residuos es un problema de enrutamiento de vehículos (en inglés Vehicle Routing Problem, VRP) o problema del viajante [3]. Esto implica buscar una solución para dar servicio a una cantidad de clientes con una flota de vehículos.

El problema del viajante es uno de los problemas clásicos de programación lineal entera de tipo NP-duro. En los problemas de tipo NP duro es a menudo deseable obtener soluciones aproximadas, que pueden encontrarse más rápido y pueden ser suficientemente buenas para ser útiles en la toma de decisiones [4].

El uso de sistemas SIG modernos hace posible calcular el aumento acumulado de las rutas de recogida de residuos. Esta información se puede usar para diseñar rutas con pequeños aumentos acumulados para ahorrar combustible [5].

También los gobiernos locales han realizado muchas intervenciones y cambios en los servicios de recogida de residuos sólidos urbanos para cumplir con los nuevos requisitos reglamentarios. Estos cambios incluyen la recogida separada de materiales reciclables y orgánicos [6].

### **Predicción del nivel de llenado: datos de prueba**

En esta actividad se persigue la obtención de primeras aproximaciones al modelo de predicción de llenado. Para este cometido se ha tomado un conjunto de datos obtenido de la ciudad de Edimburgo que cubre unos 3 meses y un conjunto reducido

de contenedores [7]. Las tareas a realizar son cuatro: normalización de los datos, análisis de los datos, estudio y aplicación de distintos modelos de predicción y, por último, comparación de técnicas o modelos de predicción (métricas error).

## **Obtención de conjuntos amplios de datos**

En paralelo a la tarea anterior es necesario gestionar la obtención de datos de mayor alcance, tanto temporal como en número de contenedores o área abarcada. Esto es fundamental puesto que los modelos que se obtengan serán tanto más válidos cuanto mayor calidad y cantidad en los datos manejados. Se está gestionando la obtención de un conjunto de datos de la ciudad de Cádiz que cubriría un mayor periodo de tiempo, si bien no abarcaría toda la ciudad. Además, se están realizando gestiones para obtener datos de otros ayuntamientos españoles a través de una empresa especializada en software de recogida de residuos urbanos.

## **Implementación de los modelos en un conjunto amplio de datos.**

El modelo inicialmente obtenido se extenderá a un conjunto amplio de datos y se implementará en herramientas tales como Matlab, R, Python.

Con estas herramientas se reducirán los pasos manuales aportando un cierto grado de automatización a las tareas relativas a normalización de los datos, análisis de los datos, aplicación de los distintos modelos de predicción, comparación de los mismos y validación de resultados parciales obtenidos.

## **Optimización de rutas**

Tras un análisis preliminar de diferentes alternativas, todo indica que se optará por un modelo VRPPD (Problema de enrutamiento del vehículo con recogida y entrega).

El modelo además debe considerar las restricciones del:

- CVRP (Problema de enrutamiento del vehículo con capacidad)
- VRPMT (Problema de enrutamiento del vehículo con viajes múltiples).
- Contenedores con un llenado parcial. Esto es, su nivel de llenado no exige ni recogida, pero en función de su localización, debe estudiarse si es conveniente o no realizar su recogida.

Es por tanto un problema complejo, cuya resolución hace que sea necesario la aplicación de diferentes técnicas heurísticas para su resolución en un tiempo

adecuado.

## Elaboración de informes y artículo científico

A partir de los resultados de las actividades anteriores, se elaborarán diversos informes con el objetivo de obtener el impacto de los diferentes modelos. Se podrán utilizar herramientas para la visualización de forma gráfica de los resultados, así como para la simulación bajo diferentes escenarios. Adicionalmente se trabajará en la publicación de artículos científicos que evidencien el cumplimiento de la hipótesis inicial.

## Elaboración de conclusiones

Como actividad final, se realizará un documento que recoja las conclusiones de todo el estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultados parciales a la fecha actual podemos mostrar algunas de las caracterizaciones realizadas del problema.

**Tabla 1.** Predicción de llenado.

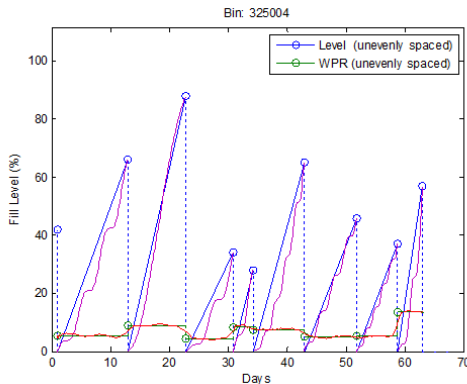
<b>Tipo</b>	Variables
<b>General</b>	Datos socioculturales, tales como número de habitantes por vivienda, tipo de actividad económica de la zona, etc.
<b>Contenedores</b>	Capacidad de los contenedores en función del tipo de residuo.
<b>Camión</b>	Capacidad de carga de los vehículos.
<b>Geográfica</b>	Tipología de las vías, considerando vías cortadas o con limitaciones de acceso impuestas por obras o festividades en la zona. Información del estado del tráfico. Localización y ubicación en acera de los contenedores.

**Tabla 2.** Estimación de rutas.

<b>Tipo</b>	<b>Requisitos</b>	<b>Restricciones</b>
General	Tipo de residuo, Hora de comienzo por tipo, Hora máxima de finalización por tipo, Densidad media por tipo de residuo	La recogida se tiene que planificar tratando de evitar que los contenedores se desborden.
Contenedores	Tipo de residuo, Llenado actual, Tasa de llenado, Tiempo medio de recogida, Volumen del contenedor, Tiempo de llegada a todos los demás contenedores.	Se parte de un conocimiento previo del tiempo de recogida de cada contenedor, así como de la distancia entre todos los contenedores.

Tipo	Requisitos	Restricciones
Camión	Costo de operación por minuto de uso, Capacidad máxima por tipo de residuo	Se considerará al coste de operación independiente de la velocidad. Un camión pueda realizar varias rutas por jornada.
Geográfica	Lugar de comienzo por tipo de residuo, Lugar de depósito por tipo de residuo	El algoritmo debe evitar que el camión pase dos veces por el mismo sitio

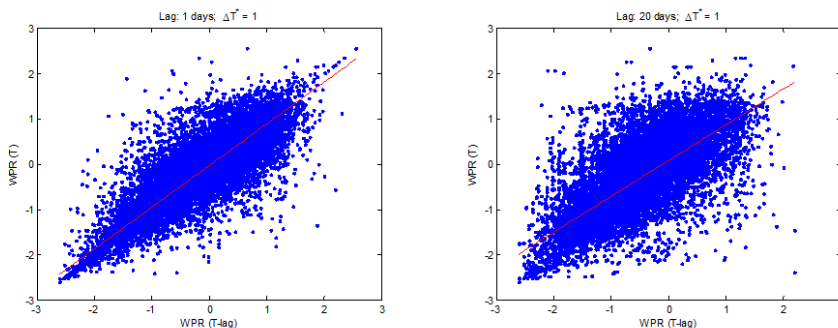
La siguiente gráfica se ha obtenido tras un análisis preliminar:



**Figura 1.** Nivel de llenado y tasa de producción de residuos (WPR) asociados a un contenedor (datos de Edimburgo).

Y se puede concluir que es más adecuado predecir la tasa de producción de residuos (derivada) frente al nivel de llenado, ya que los datos con los que trabajamos son únicamente los relativos a los instantes de recogidas. Por otro lado, las recogidas no se realizan con la misma periodicidad y por tanto es necesario remuestrear los datos de entrada al no estar trabajando con datos igualmente espaciados en el tiempo.

Por último, nos preguntamos si el valor de la tasa de producción de residuos (WPR) está o no relacionado con los datos anteriores (autocorrelación). Es decir, si se puede obtener algún tipo de predicción en base a los valores previos. La figura siguiente muestra esta relación para un periodo de muestreo uniforme diario y para dos retrasos diferentes: 1 días (un periodo anterior) y 20 días (20 periodos anteriores).



**Figura 2.** Relación entre el valor de la WPR en un instante y el valor un cierto tiempo anterior (retraso).

El resultado muestra claramente que ambos valores están claramente correlacionados (mejor en 1 días que en 20), lo cual invita a pensar que considerar los valores anteriores ayudará en la predicción de los próximos valores de la WPR.

## CONCLUSIONES

Una vez definido el problema de recogida de residuos urbanos y tras un primer tratamiento de los datos disponibles, podemos sacar diversas conclusiones preliminares, como son la diversidad de variables y restricciones que acompañan tanto al problema de predicción del llenado como a la optimización de rutas, la idoneidad de estudiar la WPR como consecuencia de no disponer de lecturas periódicas (y por tanto, la no conveniencia de estudiar el nivel de llenado en sí de manera directa, sino indirecta a través de la WPR) y la correlación existente entre el dato actual de WPR y los anteriores.

Como siguientes pasos, se seguirá avanzando en cada uno de los aspectos de la metodología definida, lo cual a su vez permitirá avanzar en el estudio completo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Clark, R. M. y Gillean, J. I. (1975). Analysis of Solid Waste Management Operations in Cleveland, Ohio: A Case Study. *Interfaces (Providence)*, 6(1-2), pp. 32-42.
- [2] Or, I. y Curi, K. (1993). Improving the efficiency of the solid waste collection system in Izmir, Turkey, through mathematical programming. *Waste Management & Research*, 11, pp. 297-311.
- [3] Toth, P. y Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*.



- [4] Lüer, A., Benavente, M., Bustos, J., y Venegas, B. (2009). The vehicle routing problem: Extensions and resolution methods, state of the art. En *CEUR Workshop Proceedings*.
- [5] Beliën, J., De Boeck, L., y Van Ackere, J. (2014). Municipal Solid Waste Collection and Management Problems: A Literature Review. *Transportation Science*, 48(1), pp. 78-102.
- [6] Cole, C., Quddus, M., Wheatley, A., Osmani, M., y Kay, K. (2014). The impact of Local Authorities' interventions on household waste collection: A case study approach using time series modelling. *Waste Management*, 64, pp. 266-272.
- [7] Litter Bin Sensor project - Datasets - City of Edinburgh Council. (2016). [En línea]. Recuperado de: <https://data.edinburghopendata.info/dataset/litter-bin-sensor-data> [Accedido: 10-dic-2018].



# **BIOMATERIALES: DESARROLLO DE ANDAMIOS PARA INGENIERÍA DE TEJIDOS**

**Rubio Valle, José Fernando\*;** Pérez Puyana, Víctor Manuel; Félix Ángel, Manuel; Romero García, Alberto

*TEP-229: Grupo de Tecnología y Diseño de Productos Multicomponentes. Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química. Universidad de Sevilla.*

\*E-mail: [josfrubval@gmail.com](mailto:josfrubval@gmail.com)

## **RESUMEN**

El presente trabajo se centra en el desarrollo de andamios basados en colágeno (C) y/o quitosano (CH) mediante variaciones del método de fabricación basado en la creación de hidrogeles y posterior secado por liofilización. Con objeto de evaluar la composición y el método de fabricación de los andamios, se evalúan sus propiedades mecánicas mediante barridos de deformación y de frecuencia, así como su estructura y disposición de las fibras mediante porosimetría y microscopía electrónica de barrido (SEM). Los resultados obtenidos demuestran que las propiedades de los andamios experimentan una fuerte dependencia tanto con la proporción de las materias primas (C y CH), así como con el método de fabricación. De hecho, se encuentra que se produce una sinergia relevante cuando se emplean sistemas con la misma proporción de colágeno y quitosano en su composición.

## **PALABRAS CLAVE**

Ingeniería Tisular, Biomaterial, Propiedades mecánicas, Porosidad, Microestructura.

## ABSTRACT

The present work focuses on the development of scaffolds based on collagen (C) and / or chitosan (CH) by variations of the manufacturing method by creation of hydrogels and subsequent freeze-drying. To evaluate the composition and method of manufacture of the scaffolding, its mechanical properties are evaluated by deformation and frequency sweeps, as well as its structure and arrangement of the fibers by means of porosimetry and scanning electron microscopy (SEM). The results obtained show that the properties of the scaffolds experience a strong dependence both with the proportion of the raw materials (C and CH), as well as with the manufacturing method. In fact, it is found that a relevant synergy occurs when systems with the same proportion of collagen and chitosan in their composition are used.

## KEYWORDS

Tissue Engineering, Biomaterial, Mechanical properties, Porosity, Microstructure.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

El término “Ingeniería Tisular” se acuñó en 1988 [1] definiéndose como un nuevo campo de investigación, de rápido desarrollo, cuyo objetivo es la fabricación de tejidos [2]. Tuvo que ser más adelante cuando se diera una definición más completa, siendo Reddi (2000) quien definió la Ingeniería Tisular (IT) como la ciencia del diseño y fabricación de nuevos tejidos para el restablecimiento funcional de órganos alterados y la sustitución de estructuras dañadas por traumatismo y enfermedades (medicina regenerativa). De forma general, la Ingeniería Tisular es un campo interdisciplinar que precisa fundamentalmente de tecnología de células cultivadas, ingeniería de materiales para el desarrollo de estructuras 3D (andamios) que pueden imitar la estructura de un órgano y factores de crecimiento, que permiten el control preciso y continuo de las condiciones de crecimiento celular [3].

El presente trabajo se centrará en el desarrollo de andamios (scaffolds) para IT. Un andamio es una matriz principalmente polimérica, biodegradable y bioabsorbible cuya función principal es servir de plataforma de anclaje para la adhesión de células y permitir así su crecimiento [4]. El objetivo principal consistirá en el desarrollo de andamios mediante vía hidrogeles usando colágeno y quitosano como materias primas, evaluando la influencia de sus proporciones (composición); así como el efecto que tienen los diferentes métodos de fabricación (protocolos) en las propiedades globales finales. Además, se pretende alcanzar una relación entre las composiciones y métodos de fabricación con la estructura interna de la matriz porosa y sus propiedades mecánicas. Para alcanzar el objetivo global se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Estudio de diferentes métodos de fabricación de una matriz porosa vía hidrogeles basada en colágeno y quitosano que pueda servir de andamio para IT.
- Relación entre el método de fabricación y los porcentajes de colágeno y/o quitosano utilizados para los andamios con sus propiedades microestructurales y mecánicas; y caracterización de la morfología de la estructura creada (andamio) en relación a su porosidad y el tamaño de poros.

## METODOLOGÍA

### Materiales

Como materias primas se ha utilizado colágeno y quitosano. El colágeno procede de la empresa HENAN BOOM GELATIN CO.LTD (China), la ficha técnica indica que se trata de colágeno tipo I obtenido a partir de piel de pescado, con un porcentaje de materia proteica superior al 90%. El quitosano procede de la empresa SIGMA ALDRICH S.A. (Alemania), es un polisacárido de bajo peso molecular ( $PM= 130.000 \text{ g.mol}^{-1}$ ). Como disolvente se ha utilizado ácido acético con un pH ácido de 3,2 [5] que solubiliza en gran medida y al mismo tiempo al colágeno y al quitosano.

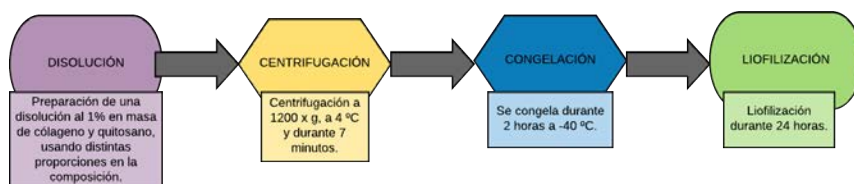
### Métodos de fabricación de andamios (protocolos)

Para la fabricación de los andamios constituidos de matrices biopoliméricas (colágeno y/o quitosano) se han utilizado tres protocolos diferentes. En todos los casos, basándonos en estudios previos se ha utilizado un 1% en peso de biopolímero, utilizando diferentes proporciones de colágeno y quitosano tal y como se recoge en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Composiciones de los andamios en relación a los porcentajes utilizados de colágeno (C) y quitosano (CH) así como su referencia.

Composición	Referencia
100% C y 0% CH	100C-0CH
75% C y 25% CH	75C-25CH
50% C y 50% CH	50C-50CH
25% C y 75% CH	25C-75CH
0% C y 100% CH	0C-100CH

En la Figura 1 aparece el esquema de preparación de andamios siguiendo el procedimiento tradicional (protocolo 1). Con objeto de llevar a cabo comparaciones entre los diferentes protocolos, la secuencia de pasos que tienen en común se realiza con las mismas condiciones de operación.



**Figura 1.** Diagrama de flujo del protocolo 1.

El protocolo 2 difiere con respecto al primero es que después de la centrifugación y antes de la congelación, se le aplica un tratamiento térmico. Es decir, la secuencia de pasos es la siguiente: en primer lugar, se prepara la disolución, se centrifuga, se realiza el tratamiento térmico seguidamente se congela y por último se liofiliza con el objetivo de eliminar el disolvente. El tratamiento térmico se basa en usar un baño térmico con agua destilada a unos 50 °C durante 2 horas con agitación. El hecho de que se use 50 °C y no más temperatura es para evitar la desnaturalización del colágeno.

El protocolo 3 es similar al protocolo 2 salvo con la diferencia de que se alternan los pasos de la centrifugación y del tratamiento térmico. El motivo de que se realice el tratamiento térmico antes que la centrifugación es para favorecer la solubilización completa del quitosano. Por consiguiente, la secuencia de pasos es la siguiente: disolución, tratamiento térmico, centrifugación, congelación y liofilización. Como en los casos anteriores las etapas tienen las mismas condiciones de operación.

## Caracterización de los andamios

En primer lugar, se realizó la caracterización mecánica de los andamios mediante un analizador dinámico-mecánico (DMA), modelo RSA3 (TA Instruments, USA) en modo de compresión, con un sensor de superficie circular (plato-plato) de 15 mm de diámetro. Se realizaron, en primer lugar, barridos de deformación entre 0,002 y 2% a una frecuencia constante de 1 Hz para determinar el intervalo viscoelástico lineal. A continuación, se llevaron a cabo barridos de frecuencia desde 0,02 a 2 Hz y a una deformación dentro del intervalo viscoelástico lineal antes estudiado. Así, se comparó el módulo elástico y la tangente de pérdidas a 1 Hz ( $E'_1$  y  $\tan(\delta_1)$ , respectivamente) para realizar una adecuada comparación de los sistemas.

A continuación, se determinó la distribución de la porosidad en función del tamaño aparente mediante un porosímetro de mercurio a baja presión (Pore Master 60 GT) y el tamaño de poro mediante un modelo analítico. Este modelo proporciona un valor aproximado de la porosidad del soporte, pero no aporta ningún dato sobre tamaño o distribución de poros. La porosidad ( $\epsilon$ ) de los andamios se ha determinado a partir de la siguiente ecuación:

$$\epsilon(\%) = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_m}\right) \cdot 100$$

Siendo  $\rho_s$  la densidad del andamio (obtenida pesando por triplicado andamios de los diferentes sistemas y calculando su volumen aprovechando que se han fabricado piezas geométricas) y  $\rho_m$  la densidad de la materia prima (colágeno y quitosano en función a su relación).

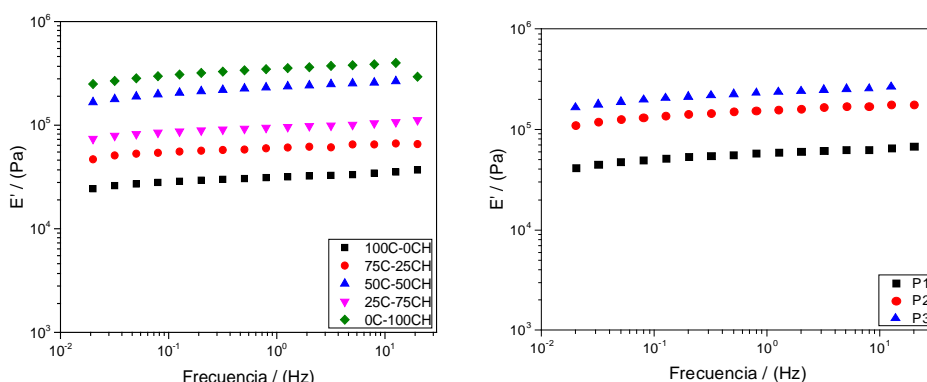
Por último, se observó la estructura y disposición de las fibras mediante microscopia electrónica de barrido (SEM) para ello se utilizó el equipo Zeiss AURIGA. Los andamios al no ser conductores hay que realizarle un tratamiento de “sputtering” que no es más que recubrirlos generalmente con una capa muy fina de oro, lo que les otorga propiedades conductoras. Sin embargo, antes de llevar a cabo el “sputtering”, los andamios son tratados con vapor de osmio al 1% durante 8 horas. Este tratamiento previo permite la fijación del andamio para facilitar su medida.

### *Análisis estadístico*

Se ha realizado un estudio estadístico sobre todos y cada uno de los parámetros seleccionados. Para este estudio se ha llevado a cabo un análisis de la varianza de un factor (ANOVA), utilizando tres replicados de cada medida de forma independiente. Seguidamente se han calculado una serie de parámetros estadísticos, entre ellos la media y la desviación estándar. Además, se ha realizado un test de comparación de medias para evaluar si hay o no diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer paso para caracterizar el andamio mecánicamente es realizar un barrido de deformación para elegir un valor de deformación dentro de la región viscoelástica lineal (LVE) y hacer el barrido de frecuencia con ese valor y así asegurar que la estructura permanece prácticamente inalterable durante el ensayo. Los valores de la deformación crítica obtenidos a partir de los barridos de deformación se muestran en la Tabla 2.



**Figura 2.** Evolución del módulo elástico ( $E'$ ) con la frecuencia para los andamios obtenidos a: (A) distintas proporciones en la composición de colágeno y quitosano, usando el protocolo 3 y (B) los andamios de la muestra 50C-50CH para los distintos tipos de protocolos.



La Figura 2 muestran la evolución del módulo elástico ( $E'$ ) en función de la frecuencia para las diferentes proporciones de colágeno (C) y quitosano (CH) así como para el sistema 50C-50CH para los diferentes protocolos. En la Figura 2A se observa, independientemente del sistema, que existe poca variación del módulo elástico con la frecuencia evidenciando valores muy estables que corresponden a un comportamiento tipo gel. Además, se observa cómo influye la composición y el porcentaje utilizado de colágeno y quitosano en las propiedades con mayores valores de  $E'$  cuanto mayor es el porcentaje de quitosano, salvo para el caso 50C-50CH. En la Figura 2B se compara los diferentes métodos de fabricación, se observa como el protocolo 3 conduce a módulos elásticos mayores que el protocolo 2; mientras que en el protocolo 1 evidencia menores valores.

Con objeto de comparar los diferentes comportamientos de los sistemas en función de las composiciones y de los protocolos en la Tabla 2 se muestran los valores de deformación crítica ( $\gamma_c$ ), de tangente de pérdidas (para ver indirectamente la repercusión de la componente viscosa) y el módulo de elástico a la frecuencia de 1 Hz ( $\tan(\delta)_1$ , respectivamente) así como los valores de porosidad.

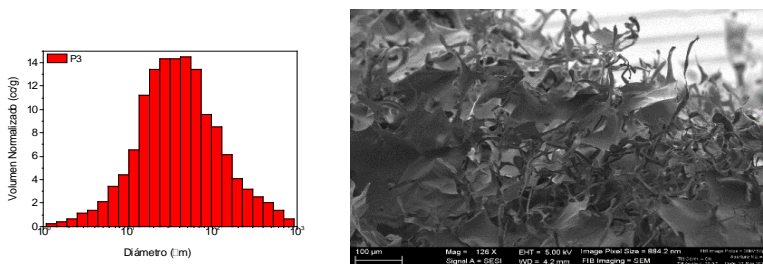
**Tabla 2.** Valores de la deformación crítica ( $\gamma_c$ ),  $\tan(\delta)$  a 1 Hz ( $\tan(\delta)_1$ ), el módulo elástico a 1 Hz ( $E'_1$ ) y porosidad para los sistemas elaborados con los distintos protocolos (P1, P2 y P3) y las distintas proporciones de colágeno (C) y quitosano (CH). Letras diferentes indican que hay diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

	Composición	$\gamma_c$	$\tan(\delta)_1$	$E'_1$ (MPa)	Porosidad (%)
<b>P1</b>	100C-0CH	0,19 <sup>a</sup>	0,085 <sup>b</sup>	14,34 <sup>a</sup>	99,15 <sup>a</sup>
	75C-25CH	0,33 <sup>b</sup>	0,058 <sup>a</sup>	35,54 <sup>c</sup>	99,05 <sup>a</sup>
	50C-50CH	0,46 <sup>c</sup>	0,065 <sup>a</sup>	55,79 <sup>d</sup>	98,90 <sup>b</sup>
	25C-75CH	0,37 <sup>b</sup>	0,061 <sup>a</sup>	37,50 <sup>c</sup>	99,10 <sup>a</sup>
	0C-100CH	0,31 <sup>b</sup>	0,095 <sup>c</sup>	67,94 <sup>d</sup>	98,70 <sup>b</sup>
<b>P2</b>	100C-0CH	0,25 <sup>a</sup>	0,094 <sup>c</sup>	25,50 <sup>b</sup>	98,27 <sup>c</sup>
	75C-25CH	0,38 <sup>b</sup>	0,057 <sup>a</sup>	62,02 <sup>d</sup>	98,12 <sup>c</sup>
	50C-50CH	0,58 <sup>d</sup>	0,085 <sup>b</sup>	72,00 <sup>e</sup>	97,96 <sup>d</sup>
	25C-75CH	0,41 <sup>c</sup>	0,074 <sup>b</sup>	59,54 <sup>d</sup>	98,03 <sup>d</sup>
	0C-100CH	0,42 <sup>c</sup>	0,065 <sup>a</sup>	80,53 <sup>f</sup>	97,62 <sup>e</sup>
<b>P3</b>	100C-0CH	0,37 <sup>b</sup>	0,107 <sup>c</sup>	26,52 <sup>b</sup>	98,05 <sup>d</sup>
	75C-25CH	0,42 <sup>c</sup>	0,076 <sup>b</sup>	75,01 <sup>e</sup>	98,25 <sup>c</sup>
	50C-50CH	0,68 <sup>e</sup>	0,065 <sup>a</sup>	87,52 <sup>g</sup>	97,13 <sup>f</sup>
	25C-75CH	0,39 <sup>c</sup>	0,057 <sup>a</sup>	64,12 <sup>d</sup>	97,77 <sup>e</sup>
	0C-100CH	0,44 <sup>c</sup>	0,076 <sup>b</sup>	95,11 <sup>h</sup>	97,61 <sup>e</sup>

En líneas generales se puede afirmar que a medida que se aumenta el porcentaje de quitosano aumenta el módulo elástico, el cual está íntimamente ligado a las propiedades mecánicas. Sin embargo, se produce una sinergia en las composiciones de 50% de quitosano y 50% de colágeno (50C-50CH). Esta sinergia se evidencia ya que, aunque no

llega a los niveles del sistema 0C-100CH sí presenta valores superiores a por ejemplo el 25C-75CH, con mayor porcentaje de quitosano. Además, también cabe resaltar que los valores de la deformación crítica son mayores en la proporción 50C-50CH y que en todos los sistemas elaborados la porosidad es superior al 97%. Por consiguiente, el protocolo 3 y la muestra de 50C-50CH será nuestra muestra de referencia ya que nos conduce a obtener mejores propiedades mecánicas en nuestros andamios.

A continuación, se observa las distribuciones del tamaño medio de poro de los andamios usando el protocolo 3 para la muestra de referencia 50C-50CH usando el Pore Master 60 GT; obtenemos un tamaño de poro medio de 51,2  $\mu\text{m}$ . Mediante SEM usando el equipo Zeiss AURIGA observamos la interconectividad de poros, la estructura y disposición de las fibras que poseen las muestras de referencia.



**Figura 3.** Figura 3A: Distribución del tamaño de poros para la muestra de referencia (50C-50CH) usando el protocolo 3. Figura 3B: Imagen de SEM de la muestra de referencia (50C-50CH) para el protocolo 3 usando el equipo Zeiss AURIGA.

## CONCLUSIONES

Como conclusión general, es evidente que se ha logrado una matriz proteica porosa (andamio o scaffold), con diferentes propiedades mecánicas en función de la proporción de colágeno (C) y quitosano (CH). Varios de ellos son prometedores para su uso como andamio para Ingeniería de tejidos. Concretamente, en función de los resultados obtenidos para los tres protocolos, se puede concluir que:

I. En general, un mayor porcentaje de quitosano conduce a andamios con mayores módulos elásticos. Se ha detectado un efecto sinérgico para el sistema 50C-50CH sobre las propiedades mecánicas, más específicamente este sistema muestra una mejora aparente en el módulo de almacenamiento, los valores de tamaño de poro y sobre todo en la deformación crítica, obteniéndose valores incluso superiores a los andamios fabricados únicamente con quitosano.

II. Las propiedades mecánicas se ven afectadas por el método de fabricación con el que se lleve a cabo la realización del andamio. Se puede afirmar que aplicar un

tratamiento térmico (protocolos 2 y 3) se produce un aumento considerable de las propiedades mecánicas, posiblemente debido a cierta mejora de la solubilidad y, sobre todo a la estructuración de cadenas proteicas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero del proyecto recibido por parte del ministerio de economía, industria y competitividad (Ref: CTQ2015-71164P, MINECO/FEDER, UE). Los autores también agradecen a la Universidad de Sevilla por la beca predoctoral del V Plan Propio (VPPI-US) de Víctor M. Pérez Puyana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Skalak, R. y Fox, C.F., (1988). Tissue Engineering. *Proceedings for a Workshop held at Granlibakken*. California, USA.
- [2] Machluf, M. y Atala, A. (1998). Tissue engineering; emerging concepts. *Graft*, 1, pp. 1-8.
- [3] Collins, M.N. y Birkinshaw, C. (2013). Hyaluronic acid-based scaffolds for Tissue Engineering A review. *Carbohydrate polymers*, 92, pp. 1262-1279.
- [4] Hunkeler D., Cherrington A., Prokop A., y Rajotte R. (2001). Bioartificial Organs III. Tissue sourcing, immunoisolation and clinical trials. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 944.
- [5] Perez Puyana, V., Romero, A., y Guerrero, A. (2016). Influence of collagen concentration and glutaraldehyde on collagen-based scaffold properties. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 104A, pp. 1462–1468.



# **SISTEMAS COGNITIVOS ASOCIADOS AL PROCESO DE APRENDIZAJE-ENSEÑANZA DEL INGENIERO MECÁNICO: MACHINE LEARNING**

**Suárez-Fernández-Miranda, S.; Aguayo-González, F.; Lama-Ruiz, J.R.**

*TEPO22: Diseño Industrial e Ingeniería del Proyecto y la Innovación.  
Ingeniería del Diseño. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.*

\*E-mail: [ssuarez1@us.es](mailto:ssuarez1@us.es)

## **RESUMEN**

El Ingeniero Mecánico ha de contar con una serie de Competencias adaptadas al nuevo modelo de Sistema de Producción Inteligente y Flexible, factor crítico de éxito en la Industria de Fabricación actual. El Aprendizaje Automático, o Machine Learning, relacionado con los Sistemas Cognitivos, acomete el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje, teniendo en cuenta los Algoritmos necesarios para aprender a partir de la observación de datos. La Minería de Datos Educativos facilita la comprensión adecuada del proceso de enseñanza-aprendizaje. Resultando ser conveniente a la hora de diseñar experiencias de aprendizaje que se adapten mejor a las demandas actuales en formación para el Grado en Ingeniería Mecánica.

## **PALABRAS CLAVE**

Ingeniero Mecánico, Fábrica Inteligente, Minería de Datos Educativos, Aprendizaje Automático, Competencias.

## ABSTRACT

The Mechanical Engineer must have competencies adapted to the new model of Intelligent and Flexible Production System, a critical success factor in the current Manufacturing Industry. The Automatic Learning, or Machine Learning, related to the Cognitive Systems, undertakes the Learning Process, taking into account the Algorithms necessary to learn from the observation of data. The Educational Data Mining facilitates the adequate understanding of learning and its environment. What turns out to be convenient in designing learning experiences for the Degree in Mechanical Engineering.

## KEYWORDS

*Mechanical Engineer, Smart Factory, Educational Data Mining, Machine Learning, Competencies.*

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO**

A lo largo de las últimas décadas, se ha venido produciendo una progresiva adaptación de la sociedad industrial hacia una sociedad de la información y el saber. Generando un incremento en las expectativas del rol desempeñado por el Sistema Educativo para el progreso de los estudiantes del Grado en Ingeniería Mecánica y su capacidad de adaptación al nuevo contexto que estamos viviendo. En este escenario, la calidad y el rendimiento académico se han convertido en objetos de atención preferente por parte de la sociedad, poniéndose un gran empeño en mejorar el Sistema Educativo y sus prácticas. Una finalidad de la Educación tiene que ver con el individuo, con su desarrollo personal y su autonomía lograda a través del Conocimiento [1].

El perfil profesional aporta sentido de identidad a todos aquellos Ingenieros Mecánicos que van a realizar funciones específicas una vez se incorporen al mercado laboral. Además, permite relacionar la titulación con la salida profesional y la identificación de elementos formativos que han de concretarse en el currículo. Se explicita en función del análisis de funciones y tareas a llevar a cabo en el ejercicio de la profesión en el momento presente, pero también teniendo en cuenta con anticipación hacia donde se encaminan, en un futuro, los conocimientos, actitudes y habilidades que van a tener que desplegar.

La formación universitaria que se persigue tiene un carácter integrador, es aquella que forma los mejores profesionales y los mejores ciudadanos, responsables y comprometidos éticamente con la Sociedad. Esta formación integra cuatro tipos de saberes [2]:

- a. Saber técnico: que engloba la posesión de conocimientos especializados, con dominio de contenidos y tareas.
- b. Saber metodológico: que consiste en la aplicación de los conocimientos adquiridos en situaciones concretas, resolviendo de forma autónoma problemas.
- c. Saber participativo: es la orientación al grupo, la predisposición a la comunicación, la cooperación y al entendimiento interpersonal.
- d. Saber personal: consistente en saber asumir responsabilidades, tomar buenas decisiones, actuar conforme a convicciones y aprender de los errores.

En el Marco MECES las características de las cualificaciones asociadas al Grado vienen definidas según una serie de descriptores presentados en términos de resultados del aprendizaje:

- a. Adquirir conocimientos avanzados y demostrar comprensión de los aspectos teóricos, prácticos y de metodología de trabajo con profundidad y actualización del conocimiento.
- b. Aplicar conocimientos, su comprensión y capacidades de resolución de problemas en ámbitos laborales complejos o profesionales y especializados que requieren el uso de ideas creativas e innovadoras.
- c. Tener la capacidad de recopilar e interpretar datos e informaciones sobre las que fundamentar conclusiones, incluyendo, cuando sea preciso, la reflexión sobre asuntos de índole social, científica o ética.
- d. Capacidad de desenvolverse en situaciones complejas o que requieran el desarrollo de nuevas soluciones tanto en el ámbito académico como profesional.
- e. Saber comunicar de manera clara y precisa, conocimientos, metodologías, ideas, problemas y soluciones.
- f. Identificar las necesidades formativas propias y organizar el aprendizaje con autonomía en diferentes tipos de contextos.

El autoconcepto es una estructura cognitiva que contiene tres dimensiones, lo que se es, lo que se desea ser y lo que se manifiesta externamente. Lo que es el individuo frente a lo que pretende llegar a ser tiene repercusiones sobre su autoestima y constituye, al querer tender hacia la imagen ideal, una fuente de motivación [3].

El aprendizaje autodirigido desarrollado por Richard Boyatzis considera al “yo ideal” el mecanismo motivacional básico y está centrado en los deseos y esperanzas del individuo. La discrepancia entre el yo ideal y el real tiene importantes implicaciones en las conductas y las emociones [4].

La teoría cognitiva social enfatiza la interacción de factores personales, conductuales y ambientales. Estos factores se ven modificados en el trascurso del aprendizaje y han de ser reevaluados, es por ello por lo que la autoregulación se dice que es un proceso cíclico. Zimmerman, Schunk y Pintrich han hecho más comprensible el proceso de aprendizaje, incorporándose a partir de ellos los procesos metacognitivos, motivacionales y socio-contextuales, que permitieron integrar en una sola dos líneas



de investigación que se encontraban separadas, por un lado, los estudios cognitivos y por el otro los estudios sobre la motivación [5].

El Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) impulsa la metodología de enseñanza-aprendizaje basada en una alineación entre los resultados de aprendizaje que se persiguen, las actividades formativas que se han de llevar a cabo y los métodos de evaluación adecuados. Los resultados de aprendizaje son declaraciones de lo que se espera que un estudiante conozca, comprenda y sea capaz de hacer al final de su periodo de aprendizaje [6].

El hecho de que el Ingeniero Mecánico desarrolle su labor profesional en el ámbito de la Ingeniería de Fabricación bajo enfoque Industria 4.0 implica el conocimiento relacionado con la conexión en red de máquinas, sistemas de almacenamiento de datos, CPS, en definitiva, de Fabricas Inteligentes [7]. Las tecnologías digitales aplicadas a la Industria de la Fabricación están cambiando la forma de diseñar, producir, comercializar y generar valor a partir de los productos y de sus servicios asociados [8]. Smart Factory incorpora Cloud, redes industriales, terminales de control de supervisión con elementos inteligentes en el shop-floor.

El Grado en Ingeniería Mecánica **requiere** enfocar el proceso de enseñanza-aprendizaje en el sentido de cubrir las necesidades que, la fabricación flexible basada en Industria 4.0, demanda. Mejorando las posibilidades de un aprendizaje más efectivo e innovador que permita la obtención de las competencias necesarias para la óptima adaptación del Ingeniero Mecánico al mercado laboral. Entendiendo por “competencia” la habilidad para responder a las demandas o llevar a cabo tareas con éxito, en base a dimensiones cognitivas y afectivas [9]. Teniendo una competencia que integra y relaciona las características personales, el contexto y la demanda de perfiles asociados al Ingeniero Mecánico.

El término “*Machine Learning*” fue acuñado por John McCarthy en 1956 y define la capacidad de hacer máquinas inteligentes a nivel humano y multiusos [10]. Es una rama de la inteligencia artificial con el objetivo de que los ordenadores aprendan. Se trata para ello de crear programas capaces de generar patrones de comportamiento a partir de unos datos. Los avances en la comprensión del aprendizaje humano han inspirado metodologías de machine learning (ML), tales como las redes neuronales artificiales, basadas en la estructura de interconexión de redes neuronales en humanos. Algunos ejemplos de aplicaciones son el reconocimiento de voz, la detección de fraude, el procesamiento de imágenes, la clasificación de la secuencia de ADN o las predicciones deportivas, entre otras. ML no sólo hace uso de las

matemáticas, sino también de la capacidad de resolver problemas [11].

ML es la simulación mediante modelado por ordenador del proceso de pensamiento en los humanos. Interactuando mediante lenguaje natural y consiguiendo incrementar sus capacidades. Los sistemas tradicionales analizaban datos estructurados, los sistemas cognitivos son capaces de entender el lenguaje de los humanos y aprender de la información recibida. Procesando gran cantidad de información procedente de múltiples fuentes, adaptándose la máquina al humano. Y esto ayuda en la toma de decisiones, al tener mayor garantía de éxito y estar basadas en el análisis de grandes cantidades de información. Los sistemas cognitivos son probabilísticos y se adaptan a la complejidad de los datos no estructurados, ofreciendo hipótesis con un cierto nivel de acierto. La elaboración de un modelo de predicción, en este sentido, puede inferir una probabilidad de acierto mayor en la toma de decisiones.

Cognitive Computing, por tanto, está muy relacionada con los problemas que pueden resolver los humanos, caracterizados éstos por la incertidumbre y la ambigüedad. Intentando reproducir los procesos psicológicos y biológicos que se producen en el cerebro. El aprendizaje automático relacionado con los sistemas cognitivos acomete el proceso psicológico del aprendizaje, teniendo en cuenta los algoritmos necesarios para aprender a partir de la observación de datos.

Educational Data Mining es la aplicación de minería de datos, aprendizaje automático y estadística, aplicados a la información generada a partir de entornos educativos. Su objetivo es comprender mejor el proceso de aprendizaje y su entorno. El potencial de la minería de datos permite analizar y descubrir la información oculta en ellos, algo difícil de hacer manualmente y que requeriría de mucho tiempo. Una aplicación de ML en educación viene asociada al e-Learning. En este tipo de aprendizaje la presencia del docente ya no viene caracterizada de la misma manera que en el aprendizaje presencial. En este caso la realimentación, en la que se posibilita que el profesor/a monitorice el progreso del estudiante para reajustar ciertos parámetros y hacer el aprendizaje más efectivo, se pierde. La mayoría de los enfoques en e-Learning personalizan el contenido para adaptarlo a diferentes objetivos de aprendizaje. Pero se puede aplicar ML para personalizar también la presentación del contenido [12].

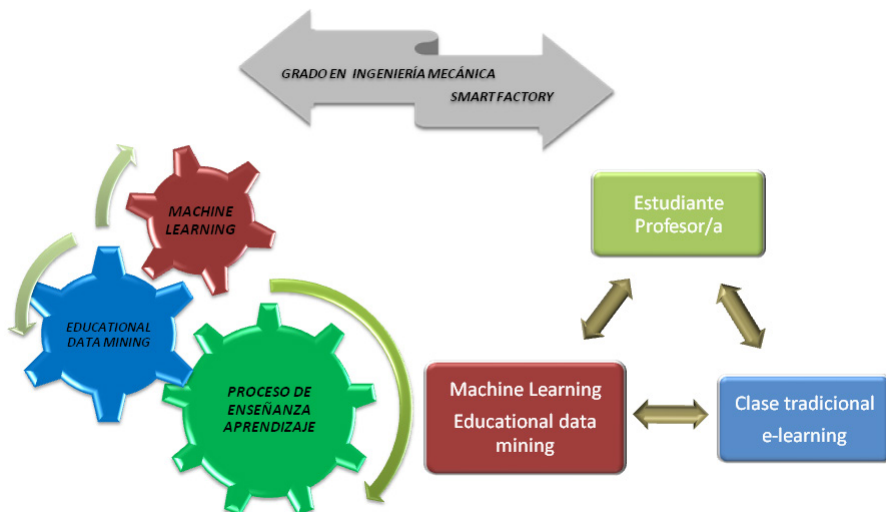
Las redes neuronales artificiales están basadas en las redes neuronales de los humanos. El cerebro humano contiene alrededor de cien mil millones de neuronas perfectamente organizadas y conectadas entre sí. Esas cien mil millones de neuronas forman alrededor de cien billones de conexiones sinápticas. Cada una de esas neuronas recibe alrededor de mil conexiones, generando así un sistema complejo.

Las sinapsis son canales para el flujo y almacenamiento de la información. Santiago Ramón y Cajal describió el principio de la polarización dinámica por el cual una neurona presenta una zona receptora de mensajes (dendritas), una zona integradora de los mismos (soma neuronal), otra zona conductora (axón) y una zona transmisora (terminal sináptica) que se encarga de codificar el mensaje y llevarlo a la siguiente neurona. Por lo tanto, la función fundamental de la neurona consiste en recibir la información, procesarla y enviarla. La comunicación entre las neuronas tiene lugar en unas zonas especializadas de contacto denominadas sinapsis. Por lo que el proceso de comunicación entre neuronas se conoce como transmisión sináptica. El gran avance en el conocimiento de la comunicación neuronal se debe a la electrofisiología y a la incorporación de la biología molecular al estudio de la transmisión sináptica [13].

El objetivo de este trabajo consiste en proponer la incorporación de Machine Learning y de Educational Data Mining como herramientas asociadas al proceso de enseñanza-aprendizaje para el Grado en Ingeniería Mecánica.

## **METODOLOGÍA**

En este trabajo se propone incorporar Machine Learning y Educational Data Mining como herramientas para la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje aplicado al Grado en Ingeniería Mecánica. Para ello, se realiza una revisión bibliográfica y se tiene en cuenta un conjunto de artículos de interés relacionados con el tema.



**Figura 1.** Sistemas Cognitivos asociados al proceso de E/A.

Aprender implica construir y modificar el conocimiento, las habilidades, actitudes, conductas, estrategias y creencias. Que el estudiante de Grado en Ingeniería Mecánica aprenda, por tanto, implica construir y modificar su conocimiento, así como sus habilidades, estrategias, creencias, actitudes y conductas [6].

Para el Grado en Ingeniería Mecánica el estudiante ha de obtener las competencias necesarias que le habiliten para el desempeño adecuado a nivel profesional. Hay diferentes técnicas para evaluar el rendimiento alcanzado por los estudiantes, siendo la minería de datos una de las técnicas aplicadas en el ámbito de la educación [14]. Es lo que se conoce como Educational Data Mining.

La información y los patrones de datos sirven para hacer una estimación del resultado que alcanzan los estudiantes y permite a los profesores/as, en base a esos datos, establecer modificaciones para aumentar el índice de logro mediante la mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Mostrando también al estudiante, aquellos aspectos de su aprendizaje en los que ha de incidir más, o abordarlos de manera diferente, si quiere obtener mejores resultados.

Una revisión sistemática sobre el tema en base a artículos publicados entre 2002 y enero de 2015 [15] muestra cuáles son las características más importantes empleadas en la predicción del rendimiento de los estudiantes y los métodos de predicción asociados.

Del resultado de esta revisión se ha deducido que la característica más empleada que definía la predicción del rendimiento del estudiante era considerar el promedio académico acumulativo (cumulative grade point average: CGPA) y la evaluación interna (definida en base a la nota asignada, pruebas, actividades de laboratorio, test de clase y asistencia [16]). Siendo la principal razón para ello, el hecho de considerar CGPA como un indicador de potencial académico realizado [17].

El método predictivo se puede llevar a cabo mediante categorización, regresión o clasificación, siendo el más habitual éste último. Abordando el método predictivo mediante clasificación, se tienen en cuenta el algoritmo del árbol de decisiones [18] y el de las redes neuronales artificiales [19].

**Tabla 1.** Exactitud de la predicción en función del tipo de algoritmo empleado.

<i>Algoritmo</i>	<i>Característica</i>	<i>Resultados</i>	<i>Autor</i>
Árbol de decisiones	CGPA	91%	Jishan et al. (2005) [21]
Árbol de decisiones	Evaluación interna	76%	Romero et al. (2008) [3]
Redes neuronales artificiales	CGPA	75%	Jishan et al. (2005) [21]
Redes neuronales artificiales	Evaluación interna	81%	Romero et al. (2008) [3]

Además, teniendo en cuenta el caso de estudio analizado para un sistema educativo basado en la web [22], se observa que la equivocación en el proceso de realización de una actividad, por parte del estudiante, es parte del proceso de aprendizaje, sobre todo si los errores no penalizan y se ven como parte de su proceso de aprendizaje.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A la hora de diseñar el proceso de enseñanza-aprendizaje de una actividad formativa relacionada con Ingeniería de Fabricación bajo enfoque Industria 4.0 para el Grado en Ingeniería Mecánica resulta conveniente su adaptación por un lado a las demandas del perfil profesional requerido en dicho ámbito y por otro lado tener en cuenta la manera en la que se produce el aprendizaje del estudiante. Machine learning y Educational Data Mining ayudan en ese proceso de feedback proactivo que potencia el aprendizaje del estudiante. Por ejemplo, a partir de datos asociados del estudiante y teniendo en cuenta calificaciones de exámenes, se puede predecir el desempeño del estudiante con una buena aproximación [23]. En base a los dos algoritmos que se han tenido en cuenta, se puede decir que, en el algoritmo por árbol de decisiones, la característica que marca la mayor exactitud (91%) en la predicción del rendimiento de los estudiantes es CGPA. Mientras que la exactitud en el algoritmo por redes neuronales artificiales para la característica de evaluación interna es del 81%. El algoritmo por árbol de decisiones ofrece buenos resultados tanto en el conjunto de datos numéricos como los susceptibles de ser categorizados [13], además de resultar fácilmente interpretable la relación entre variables [24].

## **CONCLUSIONES**

Lo aportado aquí forma parte del trabajo que se está llevando a cabo para la detección y adquisición de competencias necesarias que han de adquirir los Graduados en Ingeniería Mecánica en el contexto de Smart Manufacturing.

Machine Learning, relacionado con los sistemas cognitivos, acomete el proceso psicológico del aprendizaje, teniendo en cuenta los algoritmos necesarios para aprender a partir de la observación de datos. Lo que permite un proceso de enseñanza-aprendizaje más específico derivado del empleo y análisis de los datos obtenidos durante dicho proceso. Permitiendo al profesor/a identificar las necesidades del estudiante y a este último enfocar más correctamente su propio aprendizaje. Además, la visualización mediante gráficos e histogramas sobre los resultados obtenidos permite ver tendencias a simple vista, lo cual resulta también muy útil en el manejo de información para la toma de decisiones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Schunk, D. H. (2012). *Teorías del aprendizaje. Una perspectiva educativa*. México: Pearson.
- [2] Yániz, C. y Villardón, L. (2006). *Planificar desde competencias para promover el aprendizaje*. Cuadernos monográficos del ICE. Bilbao: Universidad de Deusto.
- [3] González, M.C. y Tourón, J. (1992). *Autoconcepto y rendimiento escolar: sus implicaciones en la motivación y en la autoregulación del aprendizaje*. Navarra: Ediciones Universidad de Navarra.
- [4] Boyatzis, R. (2006). An overview of intentional change from a complexity perspective. *Journal of Management Development*, 25(7), pp. 607-623.
- [5] Daura, F. (2011). Exploración de las cualidades psicométricas de la escala de motivación y estrategias de aprendizaje. *Acta psiquiátrica y psicológica de América Latina*, 57(4), pp. 291-298
- [6] Bologna Working Group. (2005). A Framework for Qualifications of the European Higher Education Area. Bologna Working Group Report on Qualifications Frameworks. Copenhagen: Danish Ministry of Science, Technology and Innovation.
- [7] Monostori, L. (2015). Cyber-physical production systems: Roots from manufacturing science and technology. *At-Automatisierungstechnik*. doi: <https://doi.org/10.1515/auto-2015-0066>
- [8] Jackson, K., et al. (2016). Digital Manufacturing and Flexible Assembly Technologies for Reconfigurable Aerospace Production Systems. In *Procedia CIRP*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.054>
- [9] DESECO-OCDE. (2002). Definition and selection of competencies: theoretical and conceptual foundations. Strategy paper.
- [10] El Naqa, I. y Murphy, M. J. (2015). What Is Machine Learning? In *Machine Learning in Radiation Oncology*. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-18305-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-18305-3_1)
- [11] Essinger, S. D. y Rosen, G.L. (2011). *An introduction to machine learning for students in secondary education*. Philadelphia: IEEE.
- [12] Harry, J. (2014). Promoting education: a state of the art machine learning framework for feedback and monitoring e-learning impact. *2014 IEEE Global Humanitarian Technology Conference- South Asia Satellite: IEEE*.

- [13] Jiménez, Y. (2016). *La Programación Neurolingüística y los Hemisferios Cerebrales como herramientas de aprendizaje*. Logroño: Sin índice.
- [14] Romero, C. y Ventura, S. (2010). Educational data mining: A review of the state of the art. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C*, 40(6), pp. 601–618. doi: <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2010.2053532>
- [15] Amirah, M.S., et al. (2015). A review on predicting student's performance using data mining techniques. *The Third Information Systems International Conference*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.157>
- [16] Christian, T. M. y Ayub, M. (2014). Exploration of classification using nbtrees for predicting students' performance. En *Data and Software Engineering (ICODSE)*, 2014 International Conference on, IEEE, 2014, pp. 1–6.
- [17] Bin Mat, U., Buniyamin, N., Arsad, P. M., y Kassim, R. (2013). An overview of using academic analytics to predict and improve students' achievement: A proposed proactive intelligent intervention. En *Engineering Education (ICEED)*, 2013 IEEE 5th Conference on, IEEE, 2013, pp. 126–130.
- [18] Natek, S., Zwilling, M. (2014). Student data mining solution–knowledge management system related to higher education institutions. *Expert systems with applications*, 41(14), pp. 6400–6407.
- [19] Gray, G., McGuinness, C., y Owende, P. (2014). An application of classification models to predict learner progression in tertiary education. En *Advance Computing Conference (IACC)*, 2014 IEEE International, IEEE, 2014, pp. 549–554.
- [20] Amirah, M.S., et al. (2015). A review on predicting student's performance using data mining techniques. *The Third Information Systems International Conference*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.157>
- [21] Merceron, A. y Yacef, K. (2005). *Educational data mining: a case study*. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/221297164>
- [22] González, M.C., Tourón, J. (1992). *Autoconcepto y rendimiento escolar: sus implicaciones en la motivación y en la autoregulación del aprendizaje*. Navarra: Ediciones Universidad de Navarra.
- [23] Minaei-Bidgoli, B., Kashy, D.A., Kortemeyer, G., y Punch, W.F. (2003). Predicting student performance: an application of data mining methods with the educational web-based system LON-CAPA in *Proceedings of ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, Boulder, CO: IEEE.

- [24] Wook, M., *et al.* (2009) Predicting student's academic performance using data mining techniques. En *Computer and Electrical Engineering, 2009. ICCEE'09. Second International Conference, 2*, IEEE, 2009, pp. 357–361.



# **AMORFIZACIÓN DE ALEACIÓN Ti<sub>60</sub>Cu<sub>40</sub> MEDIANTE MOLIENDA MECÁNICA**

**Urban, Petr\*; Sanchez Caballero, Eduardo; Ternerero Fernández, Fátima**

TEP123: Metalurgia e Ingeniería de los Materiales.

Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: [purban@us.es](mailto:purban@us.es)

## **RESUMEN**

En los últimos 10 años, las aleaciones cristalinas de Ti-Cu han sido estudiadas intensivamente por sus buenas propiedades mecánicas y protección contra corrosión. Una de las posibilidades para mejorar aún más estas propiedades es fabricar aleaciones de Ti-Cu amorfas. El objetivo del presente trabajo fue fabricar aleaciones amorfas Ti<sub>60</sub>Cu<sub>40</sub> mediante molienda mecánica (MA). La microestructura y la posible formación de la fase amorfa se caracterizaron mediante granulometría por difracción láser, microscopía electrónica de barrido (SEM), microscopía electrónica de transmisión (TEM) y difracción de rayos X (XRD). La aleación Ti<sub>60</sub>Cu<sub>40</sub> se obtuvo en estado amorfo después de 60 h de molienda.

## **PALABRAS CLAVE**

Amorfización, Molienda mecánica, Titanio, Cobre.

## **ABSTRACT**

In the last 10 years, the crystalline alloys of Ti-Cu have been studied intensively for their good mechanical properties and good protection against corrosion. One of the possibilities to further improve these properties is to fabricate amorphous Ti-Cu alloys. The objective of the present work was to prepare amorphous alloys Ti<sub>60</sub>Cu<sub>40</sub> by mechanical alloying (MA). The microstructure and the possible formation of the amorphous phase were characterized by laser diffraction granulometry, scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM) and X-ray diffraction (XRD). The alloy Ti<sub>60</sub>Cu<sub>40</sub> was obtained in an amorphous state after 60 h of milling.

## KEYWORDS

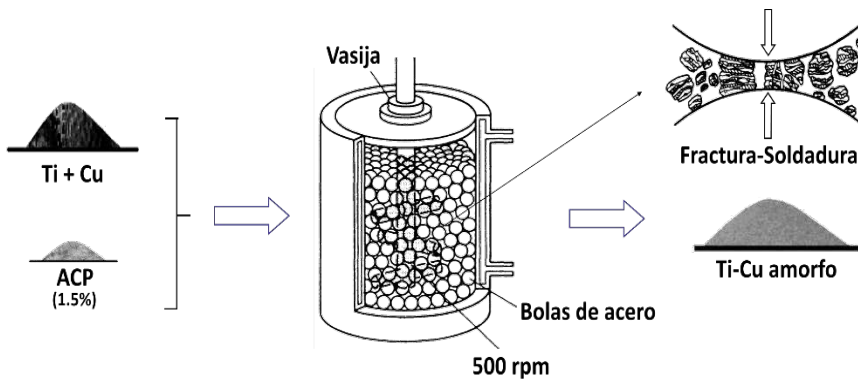
Amorphization, Mechanical alloying, Titanium, Copper.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La molienda mecánica (MA) es una técnica de molienda de bolas de alta energía que permite producir aleaciones metálicas fuera del equilibrio de fases. Estas microestructuras pueden ser aleaciones amorfas, soluciones sólidas sobresaturadas, fases cristalinas metaestables, materiales nanocristalinos, etc. [1-5]. Mucha importancia ha empezado tener la MA desde la preparación exitosa, por Koch *et al.* [6], de aleaciones amorfas de Ni-Nb partiendo por mezcla de polvo elemental de Ni y Nb. Hoy en día, los metales amorfos se consideran materiales atractivos con una serie de propiedades únicas. Las aleaciones amorfas han sido sintetizadas en muchos sistemas metálicos. En particular, en los últimos años se han coseguido obtener aleaciones amorfas basadas en titanio [7,8] y cobre [9,10]. Las aleaciones de Ti-Cu son materiales muy atractivos con excelentes propiedades mecánicas y protección contra la corrosión. Su uso en desarrollo actualmente es en aplicaciones biomédicas por su buena biocompatibilidad y poco desgaste mecánico y químico [11-14].

## METODOLOGÍA

Polvos elementales puros de Ti y Cu se mezclaron para dar la composición deseada de  $Ti_{60}Cu_{40}$ . La mezcla se vertió y selló en una vasija cilíndrica (Figura 1) de acero inoxidable 304, junto con bolas de acero inoxidable y 1.5% en peso de cera ( $H_{35}C_{17}CONHC_2H_4NHCOC_{17}H_{35}$ ).



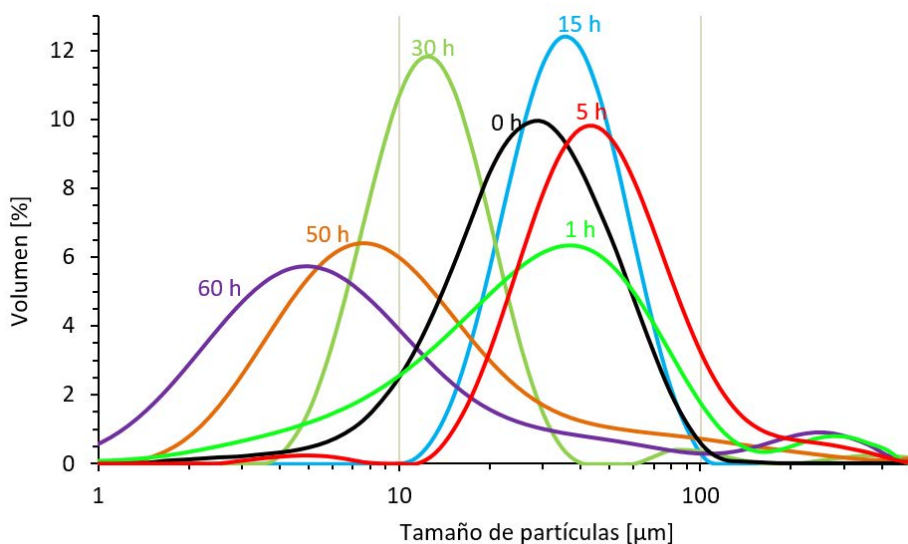
**Figura 1.** Esquema del proceso de fabricación de polvo amorfo Ti-Cu mediante molienda mecánica.

La cera actúa como el agente de control del proceso (ACP) para equilibrar los procesos de soldadura y fractura. Luego, la mezcla se molió hasta 60 horas en un molino de bolas attritor de alta energía bajo una atmósfera de argón purificada para minimizar la contaminación (principalmente oxígeno y nitrógeno). La relación

de peso de bolas a polvo se fijó a 50:1, la velocidad del rotor fue de 500 rpm y el molino de bolas se llevó a cabo a temperatura ambiente. Los experimentos de MA se interrumpieron a intervalos deseados y se extrajo una pequeña cantidad del polvo de la vasija para su análisis. La distribución del tamaño de partícula del polvo y las curvas granulométricas se obtuvieron mediante difracción láser (Mastersizer 2000). La estructura y el progreso de la amorfización de los polvos molidos se caracterizaron mediante difracción de rayos X (XRD, Siemens D500) utilizando radiación  $\text{CuK}\alpha$ , microscopía electrónica de barrido (SEM, Philips XL 30) y microscopía electrónica de transmisión (TEM, Philips CM-200).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para comprender el efecto de la duración de la molienda y del tamaño de las partículas de la aleación  $\text{Ti}_{60}\text{Cu}_{40}$  (Figura 2) se tomaron muestras después de los tiempos de molienda seleccionados para el análisis granulométrico.

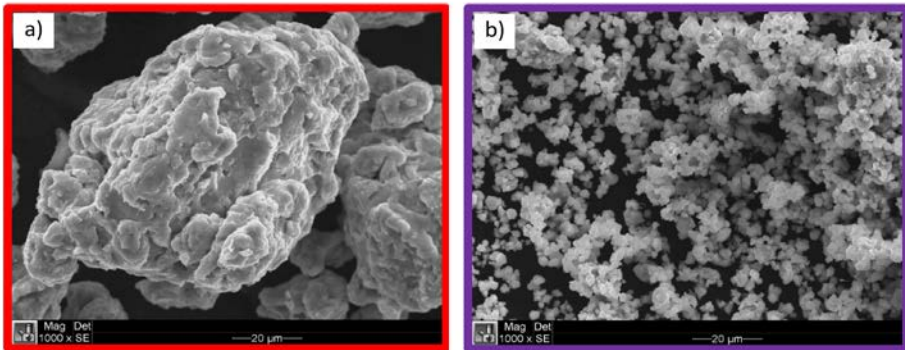


**Figura 2.** Curvas granulométricas de la mezcla de  $\text{Ti}_{60}\text{Cu}_{40}$  y de polvos molidos durante diferentes tiempos de molienda.

Durante la primera etapa de molienda, las partículas aumentan su tamaño de partícula promedio, debido a los procesos de soldadura y de deformación plástica, de un tamaño inicial de unos 32.8  $\mu\text{m}$  para la mezcla hasta unos 47.2  $\mu\text{m}$  para 5 horas de molienda. A partir de 5 horas, el tamaño medio de las partículas empezó a disminuir hasta unos 6.3  $\mu\text{m}$  para 60 h de molienda, debido a los procesos de fractura de partículas endurecidas por deformación y frágiles. Se debe tener en cuenta que el

segundo pico que aparece en la curva para 60 horas, aproximadamente en  $270 \mu\text{m}$ , se produce por aglomeración de partículas más pequeñas de aproximadamente  $3 \mu\text{m}$ , según lo confirmado por el SEM (Figura 3b).

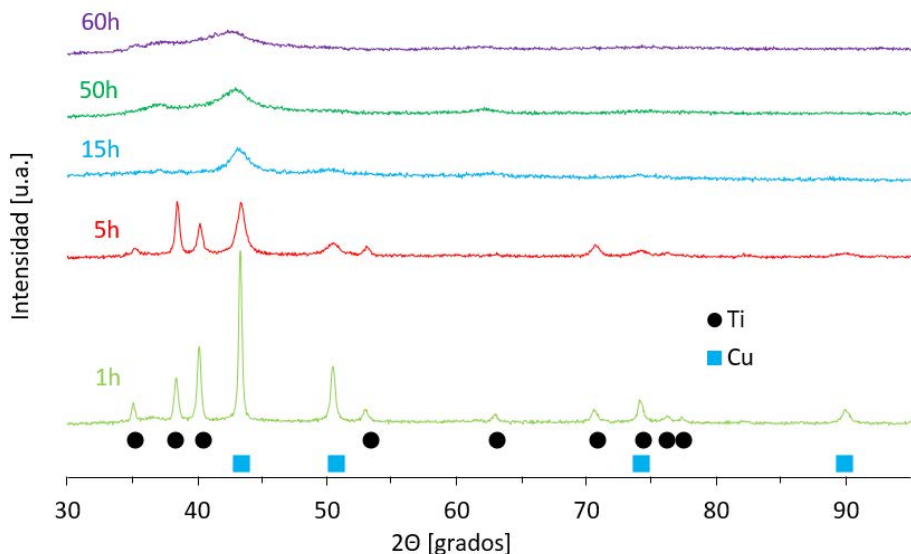
Se realizaron observaciones SEM detalladas para determinar la morfología de los polvos y del tamaño de las partículas durante las diferentes etapas del proceso de MA. La Figura 3 muestra las micrografías SEM del polvo  $Ti_{60}Cu_{40}$  molido durante 5 h (izquierda) y 60 h (derecha).



**Figura 3.** SEM de la aleación  $Ti_{60}Cu_{40}$  molido durante 5 h (izquierda) y 60 h (derecha).

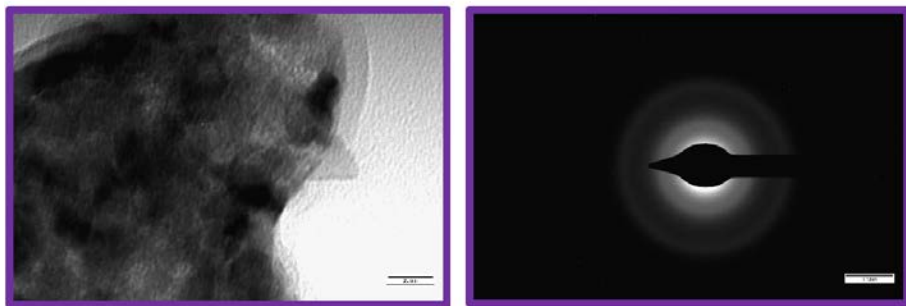
Los polvos de partida mezclados contienen una mezcla de partículas de Ti y Cu elemental. La molienda durante 1 hora hace que las partículas tengan una forma lamelar muy irregular pudiendo se distinguir las láminas de Ti y de Cu. Después de 5 horas de molienda (Figura 3a), las partículas adquieren una geometría más equiaxial y una composición más homogénea, y su tamaño, como lo muestran los análisis granulométricos, es el más grande de todas las muestras y está alcanzando los valores entre  $23.6 \mu\text{m}$  para  $D(0.1)$  y  $100.4 \mu\text{m}$  para  $D(0.9)$ . Después de 60 horas de molienda, el tamaño de partícula es de aproximadamente  $3 \mu\text{m}$  (Figura 3b).

Los patrones de XRD de los polvos mezclados revelan picos bragg agudos correspondientes a los cristales de hcp Ti y fcc Cu. Para la primera etapa de la molienda, es decir, para 1 y 5 horas, como se muestra en la Figura 4, los picos de Ti y Cu se ensanchan, y sus intensidades disminuyen drásticamente debido al menor tamaño de cristalita y a la micro deformación más alta. Vale la pena señalar que, en esta etapa de la molienda, no hay evidencia de la formación de una fase amorfa. Después de 15 horas de molienda se reducen todos los picos de Ti y Cu en un solo pico a unos  $43^\circ$ . Este pico, en las siguientes horas de molienda, conduce a un pico difuso a 60 horas, lo que indica, que la mezcla de polvo elemental se ha transformado probablemente en una mezcla de material amorfo y nanocristalino.



**Figura 4.** XRD de la aleación  $Ti_{60}Cu_{40}$  molida durante diferentes tiempos de molienda.

Finalmente, para comprobar los resultados de rayos X y para comprender y reconocer la estructura local de los polvos molidos durante 60 horas se ha utilizado el análisis de TEM (Figura 5). Se han encontrado características típicas de una fase amorfa y nanocristalina, como se muestra tanto en las imágenes de campo claro como en los patrones de difracción de área seleccionada, lo que respalda los resultados de XRD.



**Figura 5.** TEM de la aleación  $Ti_{60}Cu_{40}$  molida durante 60 h.

## CONCLUSIONES

Se ha determinado que la fase amorfa/nanocristalina, en la aleación  $Ti_{60}Cu_{40}$ , aparece después de 60 h de molienda. Durante este tiempo de molienda las partículas consiguen una forma cada vez más esférica y disminuye considerablemente su tamaño desde unos 30  $\mu m$  hasta unos 6  $\mu m$ .

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a MINECO/FEDER, por financiar esta investigación en el marco de los Proyectos DPI2015-69550-C2-1-P y DPI2015-69550-C2-2-P.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Suryanarayana, C. (2001). Mechanical Alloying and Milling. *Progress in Materials Science*, 46(1).
- [2] Yavari, A.R. (1995). Mechanically Prepared Nanocrystalline Materials. *Materials Transactions. The Japan Institute of Metals*, 36, 228.
- [3] Shingu, P.H. y Ishihara, K.N. (1995). Non-equilibrium Materials by Mechanical Alloying. *Materials Transactions, The Japan Institute of Metals*, 36, 96.
- [4] Arrott, A. (1999). Production of Magnetically Soft Materials by Mechanical Milling. *Nanostructured Materials*, 12, 1135.
- [5] Zhang, D.L. (2004). Processing of Advanced Materials Using High-energy Mechanical Milling. *Progress in Materials Science*, 49, 537.
- [6] Koch, C.C., Cavin, O.B., McKamey, C.G., y Scarbrough J.O. (1983). Preparation of Amorphous  $Ni_{60}Nb_{40}$  by Mechanical Alloying. *Applied Physics Letters*, 43, 1017.
- [7] Aguilar, C., Guzman, P., Lascano, S., Parra, C., Bejar, L., Medina, A., Guzman, D. (2016). Solid solution and amorphous phase in Ti-Nb-Ta-Mn systems synthesized by mechanical alloying. *Journal of Alloys and Compounds*, 670, 346.
- [8] Zhernovenkova, Yu. V., Sviridova, T. A., Tcherdyntsev, V. V., Kaloshkin S. D., y Pomadchik A. L. (2007). Amorphous and quasicrystalline Ti-Ni-Zr powders synthesized by mechanical alloying. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 353, 3429.
- [9] Dastanpoor, E., Enayati, M. H., y Karimzadeh, F. (2014). Synthesis of Cu-Zr-Al/ $Al_2O_3$  amorphous nanocomposite by mechanical alloying. *Advanced Powder Technology*, 25, 519.

- [10] Shengqi, X., Kesheng, Z., Xiaogang, L., Guang, R., y Jingen, Z. (2008). Study on the solid solubility extension of Mo in Cu by mechanical alloying Cu with amorphous Cr (Mo). *Acta Materialia*, 56, 6050.
- [11] Akbarpour, M. R. y Moniri Javadhesari, S. (2017). Wear performance of novel nanostructured Ti-Cu intermetallic alloy as a potential material for biomedical applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 699, 882.
- [12] Zhang, E., Wang, X., Chen, M. y Hou, B. (2016). Effect of the existing form of Cu element on the mechanical properties, bio-corrosion and antibacterial properties of Ti-Cu alloys for biomedical application. *Materials Science and Engineering: C*, 69, 1210.
- [13] Okulov, I., Pauly, S., Kühn, U., Gargarella, P., y Eckert, J. (2013). Effect of microstructure on the mechanical properties of as-cast Ti-Nb-Al-Cu-Ni alloys for biomedical application. *Materials Science and Engineering: C*, 33, 4795.
- [14] Osório, W.R., Cremasco, A., Protásio, N., Garcia, A., y Caram, R. (2010). Electrochemical behavior of centrifuged cast and heat treated Ti-Cu alloys for medical applications. *Electrochimica Acta*, 55, 759.



# **DISEÑO Y CONTROL DE FILTROS ACTIVOS MEDIANTE SIMULACIÓN HIL**

**Vélez Hinojosa, Luis F.\*; Bravo Rodríguez, Juan C.**

*Grupo de investigación: Invespot tep-175.*

*Departamento de Ingeniería Eléctrica. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.*

\*E-mail: felipevelezh@gmail.com

## **RESUMEN**

La implementación de los filtros activos es una de las soluciones más eficientes a la problemática que plantea el creciente uso de cargas no lineales en la red eléctrica y la proliferación de cargas distribuidas provenientes de energías renovables conectadas a la misma. El diseño de un filtro activo y del algoritmo para su control pueden realizarse mediante la simulación “Hardware in the loop” (HIL) en tiempo real. Estas simulaciones sirven de interfaz entre el modelo matemático de todos los elementos dinámicos relacionados con el sistema eléctrico bajo control (simulación de la planta) y el sistema integrado bajo prueba. En este trabajo se ha desarrollado la simulación en la máquina virtual de Typhoon HIL, tanto del modelo del filtro activo como de su algoritmo de control. Tras la comprobación de los modelos se ha implementado el algoritmo en una tarjeta de procesamiento digital (DSP). Para la elaboración del código de programación necesario en este sistema de control de prueba se incorporan las herramientas Simulink de Matlab y Code Composer Studio (CCS). Los resultados han sido satisfactorios en general y ofrecen la posibilidad de la implementación física del sistema propuesto con un coste reducido.

## **PALABRAS CLAVE**

Filtro activo, Hardware in the loop, Simulación en tiempo real, Armónicos, Sistemas de control.

## ABSTRACT

Active Power Filter implementation is one of the most efficient solutions for problems which raises non-linear loads in the electric net and proliferation of the distributed charges which are coming from the connection of renewable energy sources. The active filter design and its control algorithm can do with the real time simulation "Hardware in the loop" (HIL). These simulations work as interface between the mathematician model of all dynamic elements, which relate to the under control electric system, and the integrated system which is under test. In this project, the simulation in the virtual machine of Typhoon HIL has been developed, including the filter active model and its control algorithm. After checking the model, the algorithm has been implanted in a digital signal processor card. To write the necessary programming code in this embedded system under test, Simulink of Matlab and Code Composer Studio tools are used. In general, results have been satisfactory, so the designed model give us the chance of implementing physically the system with a reduced price.

## KEYWORDS

Active filter, Hardware in the loop, Real time simulation, Harmonics, Control system.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

El crecimiento de los equipos electrónicos es un fenómeno característico de los últimos años y su proliferación ha incrementado la aparición de señales no sinusoidales con alto contenido de armónicos en el sistema eléctrico, comprometiendo la calidad de la señal y a los distintos elementos que la componen.

La calidad de la señal se refiere a las características con las que se ofrece esta al usuario, evaluándose parámetros como la frecuencia, la amplitud, la forma y simetría de la onda. Las desviaciones de estos valores respecto a unos límites establecidos por la normativa se consideran como una perturbación.

Este compromiso de calidad referente a la distorsión armónica generada por las cargas no lineales se ha solventado tradicionalmente con el uso de filtros pasivos sintonizados. Sin embargo, esta solución es limitada e imprecisa ante variaciones temporales del consumo y ocasiona fenómenos de resonancia o consumos excesivos de reactiva.

El crecimiento de la electrónica de potencia ha ocasionado problemas, pero también ha creado un entorno de trabajo más robusto para el desarrollo de los filtros activos de potencia que, a día de hoy, son la solución más fiable al problema de la distorsión armónica cuando se producen variaciones del consumo en el tiempo.

El concepto de filtros activos fue introducido por primera vez por Gyugyi y Strycula en 1976 [1] y los podemos definir como dispositivos que aprovechan la energía almacenada bien, en un condensador o bien en una bobina, para entregar a la red o volver a almacenar la energía según una consigna de referencia que busca compensar la perturbación. La generación se da por medio de la apertura y cierre de interruptores de potencia (semiconductores).

Los filtros activos se componen de controladores que determinan en tiempo real una señal de referencia compensatoria y fuerzan al convertidor a sintetizar dicha señal, por lo que pueden compensar los armónicos de las cargas no lineales y pueden hacer un seguimiento de los cambios producidos en estas.

Para determinar la compensación se han empleado muchas técnicas tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia. Entre ellas se encuentra la teoría p-q, la teoría del marco de referencia síncrono y la transformada de Fourier entre otras. La existencia de tantas técnicas lleva a pensar que el uso de cada una de ellas se centra en compensar una perturbación concreta o que una es mejor que otra.

Hoy en día, gracias al desarrollo de la electrónica, los filtros activos de potencia no son un sueño y los podemos encontrar de forma comercial en muchas partes del mundo, pero a un alto coste por lo que su adquisición requiere un estudio de las ventajas y la utilidad que puede ofrecer a la instalación.

Por este motivo se ha decidido buscar una solución más económica de este tipo de compensadores. Así, nuestra investigación se enmarca en la primera fase para la elaboración de un filtro activo de potencia de bajo coste.

Esta fase se centra en diseñar un modelo y estudiar su comportamiento. Para ello se ha recurrido a herramientas tales como Simulink y Typhoon que permiten elaborar modelos y simular su funcionamiento en un sistema eléctrico. El diseño propuesto incluye los parámetros de los elementos que componen el filtro activo y el control del mismo, en base a las teorías que existen para ello.

Este trabajo incluye además la incorporación del modelo de control en una tarjeta DSP, lo que permite tener una simulación más realista.

De forma más concreta, esta investigación se ha centrado en el diseño de un filtro activo en derivación que se encarga de eliminar las perturbaciones en la corriente; se ha utilizado la teoría del marco de referencia síncrono para el cálculo de las consignas por facilidad en su implementación y para comprobar su funcionalidad.

El objetivo general de esta investigación es diseñar un modelo de filtro activo capaz de compensar las perturbaciones existentes en la corriente de un sistema eléctrico generadas por cargas no lineales y encontrar una estrategia de compensación adecuada.

El filtro activo de potencia es un equipo electrónico de potencia, con control digital. Su principio de funcionamiento consiste en la inyección de armónicos de la misma magnitud, pero con fase opuesta a los armónicos existentes en la red [4].

Generalmente los filtros activos de potencia están formados por un convertidor, un elemento almacenador de energía, un elemento de acople a la red, un circuito de control encargado de obtener las distintas consigas y unos elementos de medida.

Cada uno de estos elementos se puede incluir en una etapa determinada del FAP [5], así los elementos de medida son introducidos en la etapa de medida; el convertidor, la bobina de acople y el elemento almacenador quedan recogidos en la etapa de potencia. En el circuito de control tenemos incluidas dos etapas importantes como son: el cálculo de las corrientes de consigna y la generación de las señales modulares.

En la Figura 1, queda recogida el esquema de las distintas etapas del FAP.

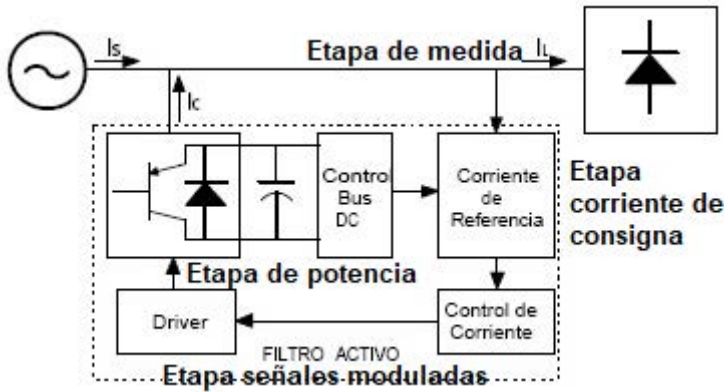


Figura 1. Esquema de las etapas que forma un FAP.

La obtención de la corriente de consigna se realiza separando la componente fundamental de los armónicos. Estos armónicos son los utilizados para generar las señales moduladoras.

Las señales moduladoras se encargan de los pulsos de disparo para el puente inversor, generando de esta forma las corrientes de inyección necesarias para la compensación.

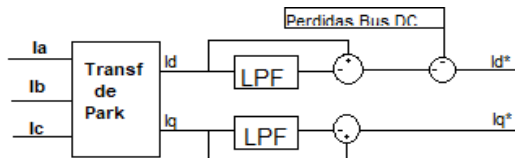
### Obtención de las consignas

Para reducir o eliminar los armónicos generados por la carga no lineal, en primer lugar, debemos separar la componente fundamental de los armónicos. Este proceso es posible realizarlo por diversas teorías, cada una de ellas presentando sus ventajas e inconvenientes. En la Tabla 1, realizada por [2], podemos observar la comparación de algunas teorías.

Tabla 1. Comparativa de las distintas teorías para obtener las corrientes de consigna.

Característica	DFT	FFT	PQ	dq0 fundamental	dq0 armónico
Red eléctrica	1-F/3-F	1-F/3-F	3-F	3-F	3-F
Respuesta tensiones desbalanceadas	++	++	-	+	+
Respuesta corriente desbalanceada	++	++	++	+	++
Compensación selectiva de armónicos	No	Sí	No	No	Sí
Tiempo respuesta ante transitorios	-	-	++	++	+

Entre los distintos métodos, se ha empleado el dq0 fundamental (marco de referencia síncrono) por facilidad en la implementación. En la Figura 2, vemos que la obtención de la corriente de referencia se basa en pasar del sistema de referencia abc al sistema dq0, filtrar la señal con un filtro paso bajo y añadirle las pérdidas producidas en el bus de continua.



**Figura 2.** Cálculo de la corriente de referencia.

## Estrategia de control

Para el control del bus de continua se emplea un PI. Comparamos la señal de referencia del bus DC con la señal que es medida, el error pasa por un PI y posteriormente es incluido en la  $I_d$  para la obtención de la consigna. Es importante que la tensión del bus de continua sea superior a la tensión de la red en todo momento para obtener un control adecuado [3].

El control de la intensidad consiste en comparar las corrientes inyectadas por el filtro activo con las consignas, consiguiendo una señal de error a la que se le añade un control PI. A la señal resultante se le incluyen las pérdidas debidas a la inductancia de acople y a los componentes del filtro activo.

El circuito modulador PWM, toma las señales antes calculadas y las transforma en pulsos de disparos. Estos pulsos permiten la inyección de la corriente compensatoria para reducir o eliminar los armónicos.

## METODOLOGÍA

En primer lugar, realizamos el modelo en Simulink buscando la mayor facilidad para la obtención de los distintos parámetros de los PI. En la Figura 3, vemos el modelo de FAP propuesto para la corrección de los armónicos en corriente conectado a la red.

Una vez realizado el modelo en Simulink, lo adaptamos a la plataforma de Typhoon Control Center. En esta plataforma buscamos un comportamiento más realista en la simulación. En la Figura 4, observamos el modelo adaptado propuesto y su control.

Cuando la adaptación del modelo es satisfactoria pasamos a crear el código C de control necesario en la tarjeta DSP. En la Figura 5 queda recogida el modelo de



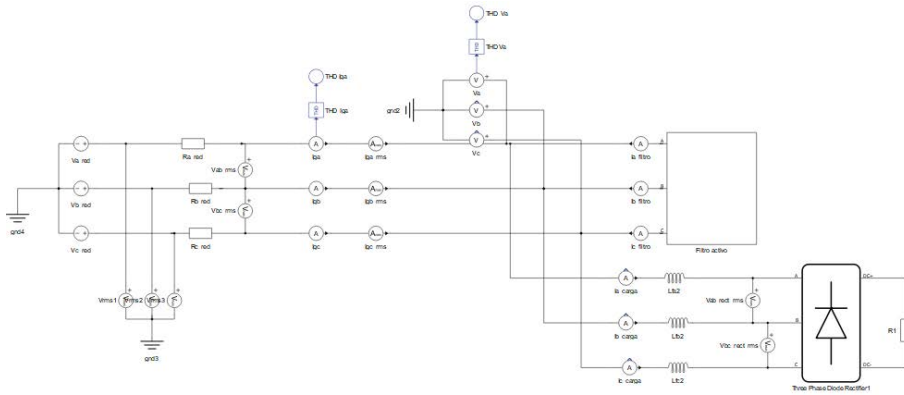


Figura 4a. Modelo adaptado conectado a la red.

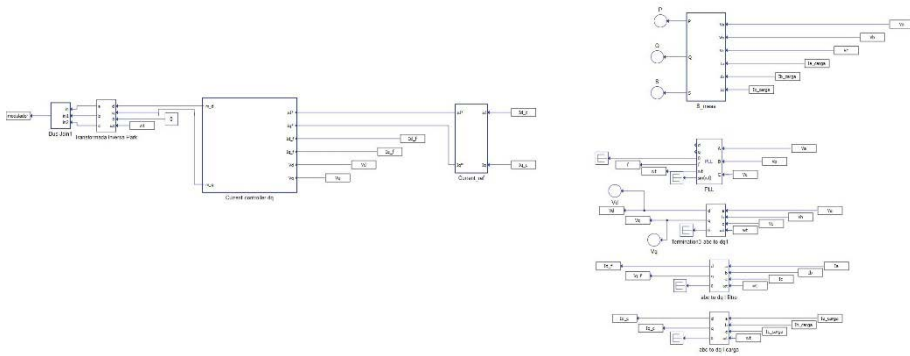


Figura 4b. Modelo de control del FAP. TCC.

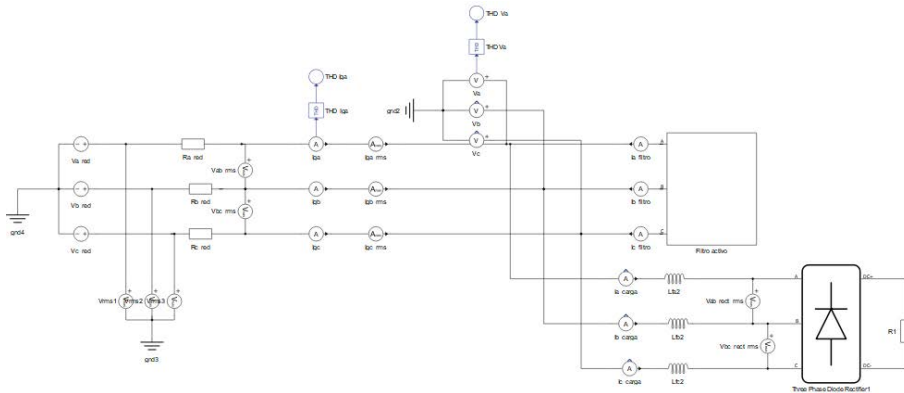


Figura 5a. Modelo propuesto conectado a la red.



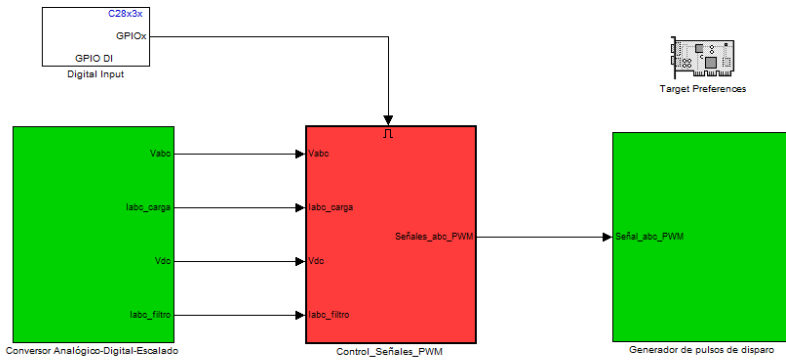


Figura 5b. Modelo del FAP. Tarjeta DSP.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados con la simulación en Simulink los podemos ver a continuación.

Con el filtro activo no conectado al circuito, tenemos los siguientes valores:

**Tabla 2.** Resultados de las señales, en Simulink 2017 a, con el FAP desconectado de la red.

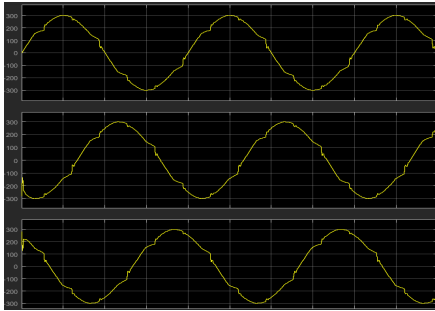
Señales	THD (%)
$V = 207.6 \text{ V}$	5.406%
$I_{\text{fuente}} = 7.587 \text{ A}$	24.52%
$I_{\text{carga}} = 7.587 \text{ A}$	24.23%

Con el filtro activo conectado al circuito, tenemos los siguientes resultados:

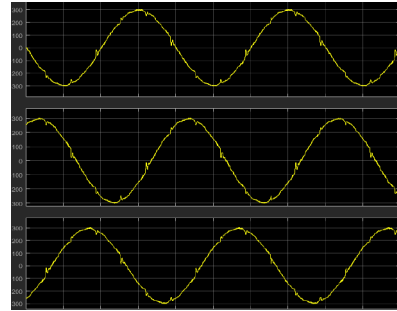
**Tabla 3.** Resultados de las señales, en Simulink 2017 a, con el FAP conectado a la red.

Señales	THD (%)
$V = 207.9 \text{ V}$	3.731%
$I_{\text{fuente}} = 7.434 \text{ A}$	9.09%
$I_{\text{carga}} = 7.725 \text{ A}$	26.23%
$I_{\text{filtro}} = 2.279 \text{ A}$	146.6%

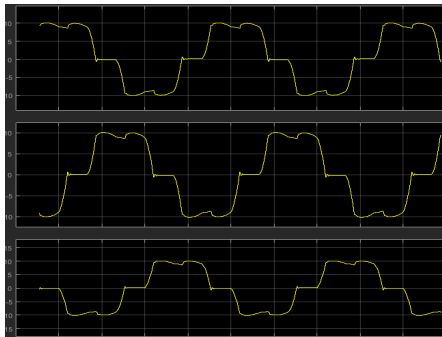
A continuación, podemos ver en las figuras la representación gráfica de cada una de las señales.



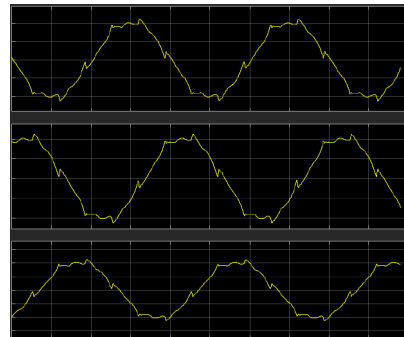
**Figura 7.** Tensiones del punto común de conexión, con el FAP desactivado.



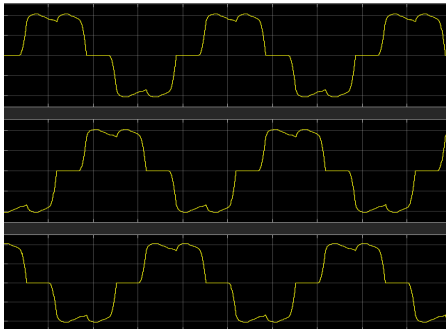
**Figura 8.** Tensiones del punto común de conexión, con el FAP activado.



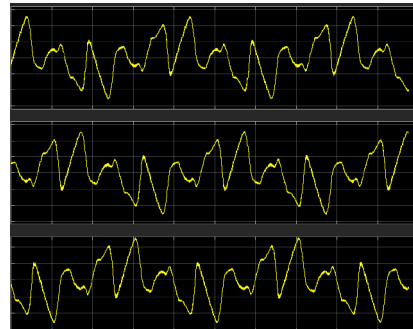
**Figura 9.** Intensidad de la Fuente con el FAP desactivado.



**Figura 10.** Intensidad de la Fuente con el FAP activado.



**Figura 11.** Intensidad de la carga con el FAP activado y desactivado.



**Figura 12.** Intensidad inyectada por el FAP cuando está activado.

En los resultados podemos ver una mejora en las distintas señales, en la intensidad de la fuente tenemos una reducción del THD del 15.43% indicativo de una gran mejora.

Ahora pasamos a los resultados obtenidos en la máquina virtual de Typhoon HIL, procederemos de la misma forma que antes.

Con el filtro activo no conectado al circuito obtuvimos los siguientes resultados:

**Tabla 4.** Resultados de las señales, en la máquina virtual de Typhoon HIL, con el FAP desconectado de la red.

Señales	THD (%)
$V = 207.9 \text{ V}$	5.45%
$I_{\text{fuente}} = 7.616 \text{ A}$	24.54%
$I_{\text{carga}} = 7.578 \text{ A}$	24.27%

Con el filtro activo conectado al circuito los resultados fueron los que se muestran a continuación:

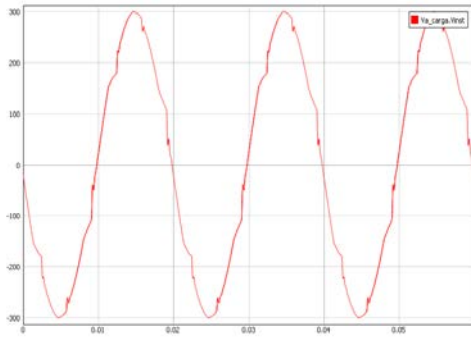
**Tabla 5.** Resultados de las señales, en la máquina virtual de Typhoon HIL, con el FAP conectado a la red.

Señales	THD (%)
$V = 212.79 \text{ V}$	4.33%
$I_{\text{fuente}} = 6.981 \text{ A}$	12.26%
$I_{\text{carga}} = 7.79 \text{ A}$	26%
$I_{\text{filtro}} = 3.141 \text{ A}$	116.74%

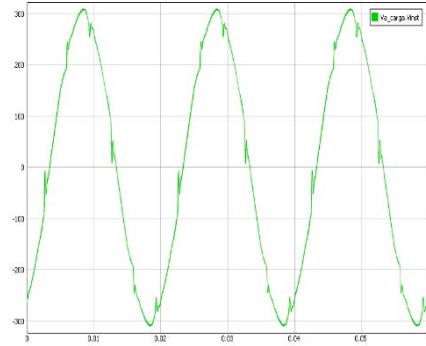
Los resultados obtenidos ofrecen una reducción en el THD de la intensidad de la fuente de un 12.28% que siendo comparados con los resultados de la primera simulación son un poco peor, pero entran dentro de lo deseado.

La diferencia de resultados se asocia al cambio de plataforma, la segunda simulación es más próxima a la realidad y sus resultados son más exactos, así podemos decir que estos resultados son mejores, aunque se haya conseguido una menor reducción en el THD.

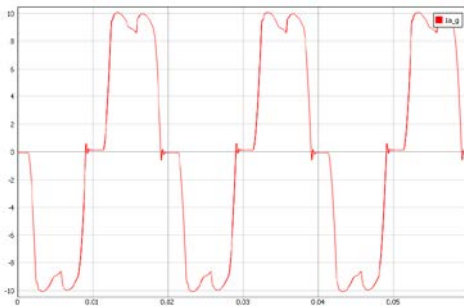
En las siguientes figuras se muestra el resultado de las distintas señales, en estas apreciamos que los resultados son muy parecidos a la primera simulación.



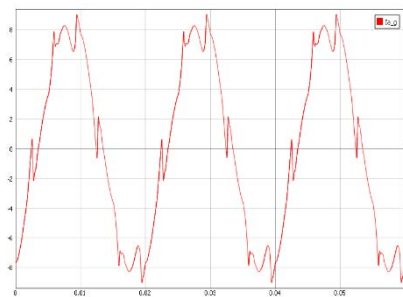
**Figura 13.** Tensiones del punto común de conexión, con el FAP desactivado. Máquina Virtual de Typhoon HIL.



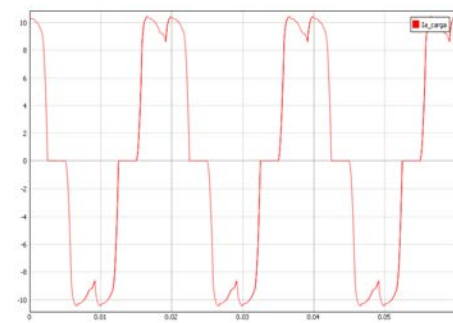
**Figura 14.** Tensiones del punto común de conexión, con el FAP activado. Máquina Virtual de Typhoon HIL.



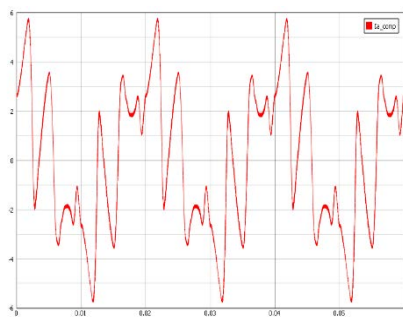
**Figura 15.** Intensidad de la Fuente con el FAP desactivado. Máquina Virtual de Typhoon HIL.



**Figura 16.** Intensidad de la Fuente con el FAP activado. Máquina Virtual de Typhoon HIL.



**Figura 17.** Intensidad de la carga con el FAP activado y desactivado. Máquina Virtual de Typhoon HIL.



**Figura 18.** Intensidad inyectada por el FAP cuando está activado. Máquina Virtual de Typhoon HIL.

Ahora pasamos a ver los resultados obtenidos con la implementación Hardware.

Con el filtro no conectado al circuito (sin la bobina en el lado de la fuente) tuvimos como resultado los siguientes valores:

**Tabla 6.** Resultados de las señales, en la simulación conjunta, con el FAP desconectado a la red.

Señales	THD (%)
$V = 207.9 \text{ V}$	2.78%
$I_{\text{fuente}} = 7.684 \text{ A}$	25.86%
$I_{\text{carga}} = 7.692 \text{ A}$	25.85%

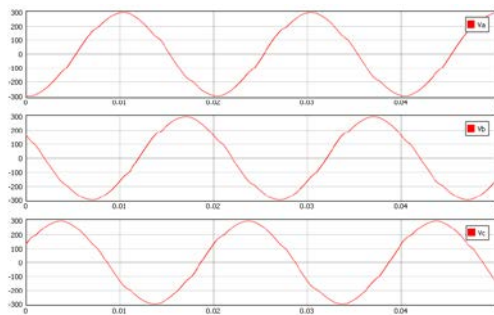
Con el filtro activo conectado al circuito los resultados fueron los que se muestran:

**Tabla 7.** Resultados de las señales, en la simulación conjunta, con el FAP conectado a la red.

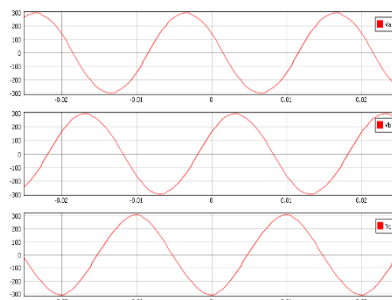
Señales	THD (%)
$V = 208.01 \text{ V}$	1.24%
$I_{\text{fuente}} = 7.382 \text{ A}$	11.67%
$I_{\text{carga}} = 7.724 \text{ A}$	26.31%
$I_{\text{filtro}} = 2.21 \text{ A}$	166%

En estos resultados tenemos una reducción del THD de intensidad de la fuente del 14.19%, en comparación con los primeros resultados vemos que son muy parecidos, sin embargo, existe una diferencia mínima debida. La discrepancia es debida a la simulación, en este caso nuestros resultados son más reales que en el primero porque aquí ya incorporamos elementos de control externo entonces considerando esto podemos afirmar que estos resultados son los mejores de todos.

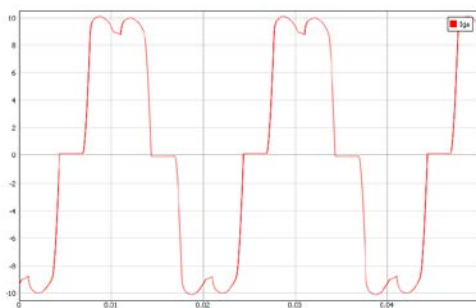
Si estos lo comparamos con los obtenidos en la segunda simulación, observamos diferencias debidas en gran medida a algunos elementos empleados en el algoritmo de control de la segunda simulación.



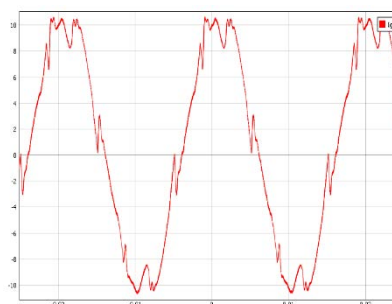
**Figura 19.** Tensiones del punto común de conexión, con el FAP desactivado. Simulación conjunta.



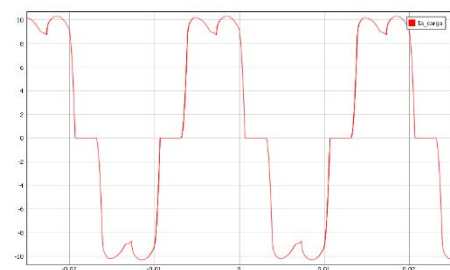
**Figura 20.** Tensiones del punto común de conexión, con el FAP activado. Simulación conjunta.



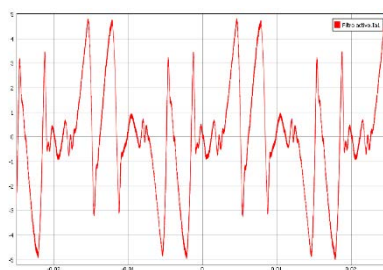
**Figura 21.** Intensidad de la Fuente con el FAP desactivado. Simulación conjunta.



**Figura 22.** Intensidad de la Fuente con el FAP activado. Simulación conjunta.



**Figura 23.** Intensidad de la carga con el FAP activado y desactivado. Simulación conjunta



**Figura 24.** Intensidad inyectada por el FAP cuando está activado. Simulación conjunta.

En vista de los resultados y considerando las distintas plataformas podemos afirmar que los mejores son los obtenidos con la simulación conjunta porque aprovechamos las ventajas de cada una de las herramientas, es decir, de Simulink tenemos que el algoritmo de control es el mismo que el inicial sin apenas modificaciones y de la

máquina virtual aprovechamos su comportamiento próximo a la realidad que nos proporciona señales de medidas reales.

## **CONCLUSIONES**

Se parte de la necesidad de diseñar un modelo de filtro activo y su estrategia de control, para ello se opta en un primer lugar por trabajar con Simulink 2017.

En base a los resultados obtenidos, este objetivo se cubre con bastante facilidad, pues el trabajo con la herramienta no ha resultado ser de elevada complejidad y su dinámica de funcionamiento permite obtener resultados rápidos y bastante aceptables.

Tras establecer un modelo y una estrategia de control se propone acondicionar el dicho modelo a otras plataformas de simulación. Este segundo objetivo también se alcanza con unos resultados algo peores que el anterior pero aun así válidos, ya que se logra reducir la distorsión armónica de la corriente de la fuente.

Sin embargo, la consecución de este segundo objetivo ha resultado de más dificultad de lo esperado ya que, al cambiar de plataforma algunos elementos también lo hacían, lo que distorsionaba el funcionamiento. Además, la dinámica de trabajo es más tediosa porque no es una plataforma diseñada para obtener resultados al instante, es decir, tras realizar un cambio en el modelo, la simulación se realiza en otra interfaz. Este cambio de interfaz complica el reajuste de cualquier parámetro de PID y supone un cambio significativo, respecto de la forma de trabajar con la plataforma de Simulink donde se pueden realizar los cambios oportunos en los parámetros conforme avanza la simulación.

Es cierto que la plataforma de Typhoon ofrece unos resultados más reales y visualmente más amigables, pero también requieren un control. Es decir, no solo es necesario tener que implementar el modelo, sino que además ha de crearse un panel de control del mismo, lo que se traduce en una mayor dedicación al diseño.

Una vez verificado que la estrategia de control usada funcionaba correctamente en las dos plataformas, se acomete el siguiente objetivo consistente en implementar la estrategia de control en la tarjeta DSP. Para ello, se utilizan las herramientas de Simulink 2011 b y CCS. Sin duda, esta etapa fue la de mayor complejidad. La dificultad no residió en diseñar el modelo en Simulink sino en la configuración de los distintos elementos necesarios para realizar el mapeo de las señales y en la creación del disparo de los semiconductores; además, ha sido necesario traducir los informes

de los errores que aparecían; estos informes en algunas ocasiones eran escuetos y no proporcionaban información suficiente como para solventar el error rápidamente ralentizando drásticamente el avance del trabajo. Pese a ello, el uso de Simulink para generar el código en lenguaje C ha sido una opción muy acertada. De esta forma la programación necesaria en C se ha solventado utilizando un entorno de programación mucho más visual y amigable. Finalmente, tras un largo periodo solucionando los distintos problemas que aparecían se consigue implementar satisfactoriamente la estrategia de control en la DSP.

El último objetivo se afronta con el respaldo de un trabajo previo bien consolidado y se centra en una simulación conjunta del modelo y la tarjeta DSP. Este trabajo conjunto ha proporcionado la posibilidad de reajustar las etapas anteriores mediante un proceso iterativo que lleva a una implementación adecuada, es decir con todos sus parámetros correctamente ajustados para ofrecer, unos resultados muy buenos; parecidos a los realizados en Simulink, algo que era bastante deseable desde el principio.

En base a los resultados puede decirse que la primera etapa para buscar una solución económica de filtros activos ha sido bastante satisfactoria, aunque mejorable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Akagi, H., Hirokazu Watanabe, E., y Aredes, M. (2007). *Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning*. Estados Unidos. IEEE.
- [2] Asiminoaei, L., Blaabjerg, F., y Hansen, S. (2007). *Evaluation of Harmonic Detection Methods for Active Power Filter Applications*. IEEE Industry Applications Magazine.
- [3] Lamich, M. (n.d.). Filtros activos de potencia. *Universitat Politècnica de Catalunya*.
- [4] Muñoz, A. y Pasmay, P. (2012). *Diseño y simulación de un filtro activo de potencia trifásico*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del litoral.
- [5] Rojas, F. (2016). *Diseño e implementación de un filtro activo de potencia mediante filtros adaptativos para la reducción de armónicos de corriente ante variaciones de la frecuencia fundamental*. Colombia: Universidad Distrital Francisco José De Caldas.









Ingeniería y Tecnología

