





Actas de

**XXXVIII**

**Jornadas de Automática**

© 2017 Universidad de Oviedo  
© Los autores

Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo  
Campus de Humanidades. Edificio de Servicios. 33011 Oviedo (Asturias)  
Tel. 985 10 95 03 Fax 985 10 95 07  
[http: www.uniovi.es/publicaciones](http://www.uniovi.es/publicaciones)  
[servipub@uniovi.es](mailto:servipub@uniovi.es)

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

Todos los derechos reservados. De conformidad con lo dispuesto en la legislación vigente, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes reproduzcan o plagien, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, fijada en cualquier tipo y soporte, sin la preceptiva autorización.

## Prefacio

Las *Jornadas de Automática* se celebran desde hace **40 años** en una universidad nacional facilitando el encuentro entre expertos en esta área en un foro que permite la puesta en común de las nuevas ideas y proyectos en desarrollo. Al mismo tiempo, propician la siempre necesaria colaboración entre investigadores del ámbito de la Ingeniería de Control y Automática, así como de campos afines, a la hora de abordar complejos proyectos de investigación multidisciplinares.

En esta ocasión, las Jornadas estarán organizadas por la Universidad de Oviedo y se han celebrado del 6 al 8 de septiembre de 2017 en el Palacio de Congresos de Gijón, colaborando tanto la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón (EPI) como el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica de Computadores y de Sistemas del que depende el Área de Ingeniería de Sistemas y Automática.

Además de las habituales actividades científicas y culturales, esta edición es muy especial al celebrarse el **50 aniversario de la creación de CEA**, Comité Español de Automática. Igualmente este año se conmemora el 60 aniversario de la Federación Internacional del Control Automático de la que depende CEA. Así se ha llevado a cabo la presentación del libro que se ha realizado bajo la coordinación de D. Sebastián Dormido, sobre la historia de la Automática en España en una sesión en la que han participado todos los ex-presidentes de CEA conjuntamente con el actual, D. Joseba Quevedo.

Igualmente hemos contado con la presencia de conferenciantes de prestigio para las sesiones plenarias, comunicaciones y ponencias orales en las reuniones de los 9 grupos temáticos, contribuciones en formato póster. Se ha celebrado también el concurso de CEABOT, así como una nueva Competición de Drones, con el ánimo de involucrar a más estudiantes de últimos cursos de Grado/Máster.

En el marco de las actividades culturales programadas se ha podido efectuar un recorrido en el casco antiguo situado en torno al Cerro de Santa Catalina y visitar la Laboral.

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López  
Presidente del Comité Organizador



## Program Committee

Antonio Agudo	Institut de Robòtica i Informàtica Industrial
Rosa M Aguilar	University of La Laguna.
Luciano Alonso	University of Cantabria
Ignacio Álvarez García	Universidad de Oviedo
Antonio Javier Artuñedo García	Centre for Automation and Robotics (CSIC-UPM)
José M. Azorín	Miguel Hernandez University of Elche
Pedro Balaguer	Universitat Jaume I
Antonio Javier Barragán Piña	Universidad de Huelva
Alfonso Baños	Universidad de Murcia
Guillermo Bejarano	University of Seville
Gerardo Beruvides	Centro de Automática y Robótica
Carlos Bordons	University of Seville
Jose Manuel Bravo	University of Huelva
Jose Luis Calvo-Rolle	University of A Coruña
Fernando Castaño Romero	Centro de Automática y Robótica (UPM -CSIC)
José Luis Casteleiro-Roca	University of Coruña
Alvaro Castro-Gonzalez	Universidad Carlos III de Madrid
Ramon Costa-Castelló	Universitat Politècnica de Catalunya
Abel A. Cuadrado	University of Oviedo
Arturo De La Escalera	Universidad Carlos III de Madrid
Emma Delgado	Universidad de Vigo
Jose-Luis Diez	Universitat Politecnica de Valencia
Manuel Domínguez	Universidad de León
Juan Manuel Escaño	Universidad de Sevilla
Mario Francisco	University of Salamanca
Maria Jesus Fuente	Universidad de Valladolid
Juan Garrido	Universtiy of Cordoba
Antonio Giménez	Universidad de Almeria
Evelio Gonzalez	Universidad de La Laguna
José-Luis Guzmán	Universidad de Almería
Rodolfo Haber	Center for Automation and Robotics (UPM-CSIC)
César Ernesto Hernández	Universidad de Almería
Eloy Irigoyen	UPV/EHU
Agustin Jimenez	Universidad PolitÁcnica de Madrid
Emilio Jiménez	University of La Rioja
Jesus Lozano	Universidad de Extremadura
Jorge Luis Madrid	Centro de Automática y Robótica
Luis Magdalena	Universidad Politécnic de Madrid
David Martin Gomez	Universidad Carlos III de Madrid
Fernando Matia	Universidad Politecnica de Madrid
Joaquim Melendez	Universitat de Girona
Juan Mendez	Universidad de La Laguna
Luis Moreno	Universidad Carlos III de Madrid
María Dolores Moreno Rabel	Universidad de Extremadura
David Muñoz	Universidad de Sevilla
Antonio José Muñoz-Ramirez	Universidad de Málaga
Jose Luis Navarro	Universidad Politecnica de Valencia
Manuel G. Ortega	University of Seville
Andrzej Pawlowski	UNED
Mercedes Perez de La Parte	University of La Rioja
Ignacio Peñarrocha	Universitat Jaume I de Castelló, Spain
José Luis Pitarch	Universidad de Valladolid

Daniel Pérez	University of Oviedo
Emilio Pérez	Universitat Jaume I
Juan Pérez Oria	Universidad de Cantabria
MiguelÁngel Ridao	Universidad de Sevilla
Gregorio Sainz-Palmero	Universidad de Valladolid
Antonio Sala	Universitat Politecnica de Valencia
Ester Sales-Setién	Universitat Jaume I
Jose Sanchez	UNED
Javier Sanchis Saez	Universitat Politecnica de Valencia (UPV)
José Pedro Santos	ITEFI-CSIC
Matilde Santos	Universidad Complutense de Madrid
Alvaro Serna	University of Valladolid
José Enrique Simó	Universidad Politécnica de Valencia
José A. Somolinos	ETS I Navales. Universidad Politecnica de Madrid
Fernando Tadeo	Univ. of Valladolid
Alejandro Tapia	Universidad de Loyola Andalucía
David Tena	Universitat Jaume I
Jesús Torres	Universidad de La Laguna
Pedro M. Vallejo	Universidad de Salamanca
Guilherme Vianna	Universidad de Sevilla
Alejandro Vignoni	AI2 - UPV
Ramón Vilanova	UAB
Francisco Vázquez	Universidad de Cordoba
Jesús M. Zamarreño	University of Valladolid



## Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

Balbastre, Patricia  
Beltrán de La Cita, Jorge  
Bermudez-Cameo, Jesus  
Blanco-Claraco, Jose-Luis  
Blanes, Francisco  
Bonin-Font, Francisco

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

Garita, Cesar  
Gimenez, Antonio  
Gruber, Patrick  
Guindel, Carlos

Hernandez Ruiz, Alejandro  
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

Marin, Raul  
Marín Plaza, Pablo  
Mañanas, Miguel Angel  
Morales, Rafael  
Moreno, Francisco-Angel

Nuñez, Luis Ramón

Ponz Vila, Aurelio  
Posadas-Yague, Juan-Luis  
Poza-Luján, Jose-Luis  
Pumarola, Albert

Raya, Rafael  
Revestido Herrero, Elías  
Rocon, Eduardo  
Ruiz Sarmiento, José Raúl  
Ruiz, Adria

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor



## Table of Contents

---

### Ingeniería de Control

---

TÚNEL DE AGUA PARA PRUEBAS Y CARACTERIZACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS .....	1
<i>Eduardo Alvarez, Manuel Rico-Secades, Antonio Javier Calleja Rodríguez, Joaquín Fernández Francos, Aitor Fernández Jiménez, Mario Alvarez Fernández and Samuel Camba Fernández</i>	
Reduction of population variability in protein expression: A control engineering approach.	8
<i>Yadira Boada, Alejandro Vignoni and Jesús Picó</i>	
CONTROL ROBUSTO DEL PH EN FOTOBIORREACTORES MEDIANTE RECHAZO ACTIVO DE PERTURBACIONES .....	16
<i>José Carreño, Jose Luis Guzman, José Carlos Moreno and Rodolfo Villamizar</i>	
Control reset para maniobra de cambio de carril y validación con CarSim .....	23
<i>Miguel Cerdeira, Pablo Falcón, Antonio Barreiro, Emma Delgado and Miguel Díaz-Cacho</i>	
Maniobra de aterrizaje automática de una Cessna 172P modelada en FlightGear y controlada desde un programa en C .....	31
<i>Mario de La Rosa, Antonio Javier Gallego and Eduardo Fernández</i>	
Alternativas para el control de la red eléctrica aislada en parques eólicos marinos .....	38
<i>Carlos Díaz-Sanahuja, Ignacio Peñarrocha, Ricardo Vidal-Albalade and Ester Sales-Setién</i>	
CONTROL PREDICTIVO DISTRIBUIDO UTILIZANDO MODELOS DIFUSOS PARA LA NEGOCIACIÓN ENTRE AGENTES .....	46
<i>Lucía Fargallo, Silvana Roxani Revollar Chavez, Mario Francisco, Pastora Vega and Antonio Cembellín</i>	
Control Predictivo en el espacio de estados de un captador solar tipo Fresnel .....	54
<i>Antonio Javier Gallego, Mario de La Rosa and Eduardo Fernández</i>	
Control predictivo para la operación eficiente de una planta formada por un sistema de desalación solar y un invernadero .....	62
<i>Juan Diego Gil Vergel, Lidia Roca, Manuel Berenguel, Alba Ruiz Aguirre, Guillermo Zaragoza and Antonio Giménez</i>	
Depuración de Aguas Residuales en la Industria 4.0 .....	70
<i>Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Ana María Jiménez Arévalo, Laura Eiroa Mateo and Fco. Javier Fernández-De-Cañete-Rodríguez</i>	
Control robusto con QFT del pH en un fotobioreactor raceway .....	77
<i>Ángeles Hoyo Sánchez, Jose Luis Guzman, Jose Carlos Moreno and Manuel Berenguel</i>	
Revisión sistemática de la literatura en ingeniería de sistemas. Caso práctico: técnicas de estimación distribuida de sistemas ciberfísicos .....	84
<i>Carmelina Ierardi, Luis Orihuela Espina, Isabel Jurado Flores, Álvaro Rodríguez Del Nozal and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Desarrollo de un Controlador Predictivo para Autómatas programables basado en la normativa IEC 61131-3 .....	92
<i>Pablo Krupa, Daniel Limon and Teodoro Alamo</i>	
Diseño de un emulador de aerogenerador de velocidad variable DFIG y control de pitch ...	100
<i>Manuel Lara Ortiz, Juan Garrido Jurado and Francisco Vázquez Serrano</i>	

Observación de la fracción de agua líquida en pilas de combustible tipo PEM de cátodo abierto.....	108
<i>Julio Luna and Ramon Costa-Castelló</i>	
Control Predictivo Basado en Datos.....	115
<i>José María Manzano, Daniel Limón, Teodoro Álamo and Jan Peter Calliess</i>	
Control MPC basado en un modelo LTV para seguimiento de trayectoria con estabilidad garantizada.....	122
<i>Sara Mata, Asier Zubizarreta, Ione Nieva, Itziar Cabanes and Charles Pinto</i>	
Implementación y evaluación de controladores basados en eventos en la norma IEC-61499.	130
<i>Oscar Miguel-Escrig, Julio-Ariel Romero-Pérez and Esteban Querol-Dolz</i>	
AUTOMATIZACIÓN Y MONITORIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE ENSAYO DE MOTORES.....	138
<i>Alfonso Poncela Méndez, Miguel Ochoa Vega, Eduardo J. Moya de La Torre and F. Javier García Ruíz</i>	
OPTIMIZACIÓN Y CONTROL EN CASCADA DE TEMPERATURA DE RECINTO MEDIANTE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	146
<i>David Rodríguez, José Enrique Alonso Alfaya, Guillermo Bejarano Pellicer and Manuel G. Ortega</i>	
Diseño LQ e implementación distribuida para la estimación de estado.....	154
<i>Álvaro Rodríguez Del Nozal, Luis Orihuela, Pablo Millán Gata, Carmelina Ierardi and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Estimación de fugas en un sistema industrial real mediante modelado por señales aditivas.	160
<i>Ester Sales-Setién, Ignacio Peñarrocha and David Tena</i>	
Advanced control based on MPC ideas for offshore hydrogen production.....	167
<i>Alvaro Serna, Fernando Tadeo and Julio. E Normey-Rico</i>	
Transfer function parameters estimation by symmetric send-on-delta sampling.....	174
<i>José Sánchez, María Guinaldo, Sebastián Dormido and Antonio Visioli</i>	
An Estimation Approach for Process Control based on Asymmetric Oscillations.....	181
<i>José Sánchez, María Guinaldo Losada, Sebastian Dormido, José Luis Fernández Marrón and Antonio Visioli</i>	
Robust PI controller for disturbance attenuation and its application for voltage regulation in islanded microgrid.....	189
<i>Ramon Vilanova, Carles Pedret and Orlando Arrieta</i>	
Infraestructura para explotación de datos de un simulador azucarero.....	197
<i>Jesús M. Zamarreño, Cristian Pablos, Alejandro Merino, L. Felipe Acebes and De Prada César</i>	
<hr/> <b>Automar</b> <hr/>	
INFRAESTRUCTURA PARA ESTUDIAR ADAPTABILIDAD Y TRANSPARENCIA EN EL CENTRO DE CONTROL VERSÁTIL.....	203
<i>Juan Antonio Bonache Seco, José Antonio Lopez Orozco, Eva Besada Portas and Jesús Manuel de La Cruz</i>	
ARQUITECTURA DE CONTROL HÍBRIDA PARA LA NAVEGACIÓN DE VEHÍCULOS SUBMARINOS NO TRIPULADOS.....	211
<i>Francisco J. Lastra, Jesús A. Trujillo, Francisco J. Velasco and Elías Revestido</i>	

Exploración y Reconstrucción 3D de Fondos Marinos Mediante AUVs y Sensores Acústicos .....	218
<i>Oscar L. Manrique Garcia, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos</i>	
AUTOMATIZACIÓN DE MANIOBRAS PARA UN TEC DE 2GdL .....	226
<i>Marina Pérez de La Portilla, José Andrés Somolinos Sánchez, Amable López Piñeiro, Rafael Morales Herrera and Eva Segura</i>	
MERBOTS PROJECT: OVERALL DESCRIPTION, MULTISENSORY AUTONOMOUS PERCEPTION AND GRASPING FOR UNDERWATER ROBOTICS INTERVENTIONS .....	232
<i>Pedro J. Sanz, Raul Marin, Antonio Peñalver, David Fornas and Diego Centelles</i>	
<hr/> <b>Bioingeniería</b> <hr/>	
MARCADORES CUADRADOS Y DEFORMACIÓN DE OBJETOS EN NAVEGACIÓN QUIRÚRGICA CON REALIDAD AUMENTADA .....	238
<i>Eliana Aguilar, Oscar Andres Vivas and Jose Maria Sabater-Navarro</i>	
Entrenamiento robótico de la marcha en pacientes con Parálisis Cerebral: definición de objetivos, propuesta de tratamiento e implementación clínica preliminar .....	244
<i>Cristina Bayón, Teresa Martín-Lorenzo, Beatriz Moral-Saiz, Óscar Ramírez, Álvaro Pérez-Somarriba, Sergio Lerma-Lara, Ignacio Martínez and Eduardo Rocon</i>	
PREDICCIÓN DE ACTIVIDADES DE LA VIDA DIARIA EN ENTORNOS INTELIGENTES PARA PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA .....	251
<i>Arturo Bertomeu-Motos, Santiago Ezquerro, Juan Antonio Barios, Luis Daniel Lledó, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil</i>	
Sistema de Visión Estereoscópico para el guiado de un Robot Quirúrgico en Operaciones de Cirugía Laparoscópica HALS.....	256
<i>Carlos Castedo Hernández, Rafael Estop Remacha, Eusebio de La Fuente López and Lidia Santos Del Blanco</i>	
Head movement assessment of cerebral palsy users with severe motor disorders when they control a computer thought eye movements.....	264
<i>Alejandro Clemotte, Miguel A. Velasco and Eduardo Rocon</i>	
Diseño de un sensor óptico de fuerza para exoesqueletos de mano.....	270
<i>Jorge Diez Pomares, Andrea Blanco Ivorra, José María Catalan Orts, Francisco Javier Badesa Clemente, José María Sabater and Nicolas Garcia Aracil</i>	
POSIBILIDADES DEL USO DE TRAMAS ARTIFICIALES DE IMAGEN MOTORA PARA UN BCI BASADO EN EEG .....	276
<i>Josep Dinarès-Ferran, Christoph Guger and Jordi Solé-Casals</i>	
EFFECTOS SOBRE LA ERD EN TAREAS DE CONTROL DE EXOESQUELETO DE MANO EMPLEANDO BCI.....	282
<i>Santiago Ezquerro, Juan Antonio Barios, Arturo Bertomeu-Motos, Luisa Lorente, Nuria Requena, Irene Delegido, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil</i>	
Formulación Topológica Adaptada para la Simulación y Control de Exoesqueletos Accionados con Transmisiones Harmonic Drive.....	288
<i>Andres Hidalgo Romero and Eduardo Rocon</i>	

Identificación de contracciones isométricas de la extremidad superior en pacientes con lesión medular incompleta mediante características espectrales de la electromiografía de alta densidad (HD-EMG) .....	296
<i>Mislav Jordanic, Mónica Rojas-Martínez, Joan Francesc Alonso, Carolina Migliorelli and Miguel Ángel Mañanas</i>	
Diseño de una plataforma para analizar el efecto de la estimulación mecánica aferente en el temblor de pacientes con temblor esencial .....	302
<i>Julio S. Lora, Roberto López, Jesús González de La Aleja and Eduardo Rocon</i>	
DEFINICIÓN DE UN PROTOCOLO PARA LA MEDIDA PRECISA DEL RANGO CERVICAL EMPLEANDO TECNOLOGÍA INERCIAL .....	308
<i>Álvaro Martín, Rafael Raya, Cristina Sánchez, Rodrigo Garcia-Carmona, Oscar Ramirez and Abraham Otero</i>	
SISTEMA BRAIN-COMPUTER INTEFACE DE NAVEGACIÓN WEB ORIENTADO A PERSONAS CON GRAVE DISCAPACIDAD.....	313
<i>Víctor Martínez-Cagigal, Javier Gómez-Pilar, Daniel Álvarez, Eduardo Santamaría-Vázquez and Roberto Hornero</i>	
ESTRATEGIAS DE NEUROESTIMULACIÓN TRANSCRANEAL POR CORRIENTE DIRECTA PARA MEJORA COGNITIVA .....	320
<i>Silvia Moreno Serrano, Mario Ortiz and José María Azorín Poveda</i>	
COMPARATIVA DE ALGORITMOS PARA LA DETECCIÓN ONLINE DE IMAGINACIÓN MOTORA DE LA MARCHA BASADO EN SEÑALES DE EEG .....	328
<i>Marisol Rodriguez-Ugarte, Irma Nayeli Angulo Sherman, Eduardo Iáñez and Jose M. Azorin</i>	
DETECCIÓN, MEDIANTE UN GUANTE SENSORIZADO, DE MOVIMIENTOS SELECCIONADOS EN UN SISTEMA ROBOTIZADO COLABORATIVO PARA HALS	334
<i>Lidia Santos, José Luis González, Eusebio de La Fuente, Juan Carlos Fraile and Javier Pérez Turiel</i>	
BIOSENSORES PARA CONTROL Y SEGUIMIENTO PATOLOGÍAS REUMATOIDES .....	340
<i>Amparo Tirado, Raúl Marín, José V Martí, Miguel Belmonte and Pedro Sanz</i>	
Assessment of tremor severity in patients with essential tremor using smartwatches .....	347
<i>Miguel A. Velasco, Roberto López-Blanco, Juan P. Romero, M. Dolores Del Castillo, J. Ignacio Serrano, Julián Benito-León and Eduardo Rocon</i>	
INTERFAZ CEREBRO-ORDENADOR PARA EL CONTROL DE UNA SILLA DE RUEDAS A TRAVÉS DE DOS PARADIGMAS DE NAVEGACIÓN .....	353
<i>Fernández-Rodríguez Álvaro, Velasco-Álvarez Francisco and Ricardo Ron-Angevin</i>	
<hr/>	
<b>Control Inteligente</b>	
<hr/>	
Aprendizaje por Refuerzo para sistemas lineales discretos con dinámica desconocida: Simulación y Aplicación a un Sistema Electromecánico .....	360
<i>Henry Diaz, Antonio Sala and Leopoldo Armesto</i>	
Diseño de sistemas de control en cascada clásico y borroso para el seguimiento de trayectorias .....	368
<i>Javier G. Gonzalez, Rodolfo Haber, Fernando Matia and Marcelino Novo</i>	

ANÁLISIS FORMAL DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS NO LINEALES MEDIANTE REDES NEURONALES.....	376
<i>Eloy Irigoyen, Mikel Larrea, A. Javier Barragán, Miguel Ángel Martínez and José Manuel Andújar</i>	
Predicción de la energía renovable proveniente del oleaje en las islas de Fuerteventura y Lanzarote. ....	384
<i>G.Nicolás Marichal, Deivis Avila, Ángela Hernández, Isidro Padrón and José Ángel Rodríguez</i>	
Aplicación de Redes Neuronales para la Estimación de la Resistencia al Avance en Buques	393
<i>Daniel Marón Blanco and Matilde Santos</i>	
Novel Fuzzy Torque Vectoring Controller for Electric Vehicles with per-wheel Motors . . . .	401
<i>Alberto Parra, Martín Dendaluze, Asier Zubizarreta and Joshué Pérez</i>	
REPOSTAJE EN TIERRA DE UN AVIÓN MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS .	408
<i>Elías Plaza and Matilde Santos</i>	
VISUALIZACIÓN WEB INTERACTIVA PARA EL ANÁLISIS DEL CHATTER EN LAMINACIÓN EN FRÍO.....	416
<i>Daniel Pérez López, Abel Alberto Cuadrado Vega and Ignacio Díaz Blanco</i>	
BANCADA PARA ANÁLISIS INTELIGENTE DE DATOS EN MONITORIZACIÓN DE SALUD ESTRUCTURAL.....	424
<i>Daniel Pérez López, Diego García Pérez, Ignacio Díaz Blanco and Abel Alberto Cuadrado Vega</i>	
CONTROL DE UN VEHÍCULO CUATRIRROTOR BASADO EN REDES NEURONALES.....	431
<i>Jesus Enrique Sierra and Matilde Santos</i>	
CONTROL PREDICTIVO FUZZY CON APLICACIÓN A LA DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE FANGOS ACTIVADOS.....	437
<i>Pedro M. Vallejo Llamas and Pastora Vega Cruz</i>	
<hr/> <b>Educación en Automática</b> <hr/>	
REFLEXIONES SOBRE EL VALOR DOCENTE DE UNA COMPETICION DE DRONES EN LA EDUCACIÓN PARA EL CONTROL.....	445
<i>Ignacio Díaz Blanco, Alvaro Escanciano Urigüen, Antonio Robles Alvarez and Hilario López García</i>	
Uso del Haptic Paddle con aprendizaje basado en proyectos .....	451
<i>Juan M. Gandarias, Antonio José Muñoz-Ramírez and Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel</i>	
REPRESENTACION INTEGRADA DE ACCIONAMIENTOS MECANICOS Y CONTROL DE EJES ORIENTADA A LA COMUNICACIÓN Y DOCENCIA EN MECATRONICA .....	457
<i>Julio Garrido Campos, David Santos Esterán, Juan Sáez López and José Ignacio Armesto Quiroga</i>	
Construcción y modelado de un prototipo fan & plate para prácticas de control automático	465
<i>Cristina Lampon, Javier Martin, Ramon Costa-Castelló and Muppaneni Lokesh Chowdary</i>	

EDUCACION EN AUTOMATICA E INDUSTRIA 4.0 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS 3D .....	471
<i>Jose Ramon Llata, Esther Gonzalez-Sarabia, Carlos Torre-Ferrero and Ramon Sancibrian</i>	
Desarrollo e implementación de un sistema de control en una planta piloto hibrida.....	479
<i>Maria P. Marcos, Cesar de Prada and Jose Luis Pitarch</i>	
LA INFORMÁTICA INDUSTRIAL EN LAS INGENIERÍAS INDUSTRIALES .....	486
<i>Rogelio Mazaeda, Eusebio de La Fuente López, José Luis González, Eduardo J. Moya de La Torre, Miguel Angel García Blanco, Javier García Ruiz, María Jesús de La Fuente Aparicio, Gregorio Sainz Palmero and Smaranda Cristea</i>	
Ventajas docentes de un flotador magnético para la experimentación de técnicas control ..	495
<i>Eduardo Montijano, Carlos Bernal, Carlos Sagües, Antonio Bono and Jesús Sergio Artal</i>	
PROGRAMACIÓN ATRACTIVA DE PLC .....	502
<i>Eduardo J. Moya de La Torre, F. Javier García Ruíz, Alfonso Poncela Méndez and Victor Barrio Lángara</i>	
MODERNIZACIÓN DE EQUIPO FEEDBACK MS-150 PARA EL APRENDIZAJE ACTIVO EN INGENIERÍA DE CONTROL .....	510
<i>Perfecto Reguera Acevedo, Miguel Ángel Prada Medrano, Antonio Morán Álvarez, Juan José Fuertes Martínez, Manuel Domínguez González and Serafín Alonso Castro</i>	
INNOVACIÓN PEDAGÓGICA EN LA FORMACIÓN DEL PERFIL PROFESIONAL PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL A TRAVÉS DE UNA APROXIMACIÓN HOLÍSTICA. ....	517
<i>Juan Carlos Ríos, Zaneta Babel, Daniel Martínez, José María Paredes, Luis Alonso, Pablo Hernández, Alejandro García, David Álvarez, Jorge Miranda, Constantino Manuel Valdés and Jesús Alonso</i>	
Aprendiendo Simulación de Eventos Discretos con JaamSim .....	522
<i>Enrique Teruel and Rosario Aragüés</i>	
RED NEURONAL AUTORREGRESIVA NO LINEAL CON ENTRADAS EXÓGENAS PARA LA PREDICCIÓN DEL ELECTROENCEFALOGRAMA FETAL...	528
<i>Rosa M Aguilar, Jesús Torres and Carlos Martín</i>	
ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MATERIA EN REACTORES RACEWAYS.....	534
<i>Marta Barceló, Jose Luis Guzman, Francisco Gabriel Acién, Ismael Martín and Jorge Antonio Sánchez</i>	
MODELADO DINÁMICO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE FRÍO VINCULADO A UN CICLO DE REFRIGERACIÓN .....	539
<i>Guillermo Bejarano Pellicer, José Joaquín Suffo, Manuel Vargas and Manuel G. Ortega</i>	
Predictor Intervalar basado en hiperplano soporte .....	547
<i>José Manuel Bravo Caro, Manuel Vasallo Vázquez, Emilian Cojocarú and Teodoro Alamo Cantarero</i>	
Dynamic simulation applied to refinery hydrogen networks .....	555
<i>Anibal Galan Prado, Cesar De Prada, Gloria Gutierrez, Rafael Gonzalez and Daniel Sarabia</i>	



APROXIMACIÓN DE MODELOS ALGEBRAICOS MEDIANTE ALAMO Y ECOSIMPRO .....	563
<i>Carlos Gómez Palacín, José Luis Pitarch, Gloria Gutiérrez and Cesar De Prada</i>	
A Causal Model to Analyze Aircraft Collision Avoidance Deadlock Scenarios .....	569
<i>Miquel Àngel Piera Eroles, Julia de Homdedeu, Maria Del Mar Tous, Thimjo Koca and Marko Radanovic</i>	
ONLINE DECISION SUPPORT FOR AN EVAPORATION NETWORK .....	575
<i>José Luis Pitarch, Marc Kalliski, Carlos Gómez Palacín, Christian Jasch and Cesar De Prada</i>	
Predicción de la irradiancia a partir de datos de satélite mediante deep learning .....	582
<i>Javier Pérez, Jorge Segarra-Tamarit, Hector Beltran, Carlos Ariño, José Carlos Alfonso Gil, Aleks Attanasio and Emilio Pérez</i>	
MODELO DINÁMICO ORIENTADO AL TRATAMIENTO Y SEGUIMIENTO DE LA LEUCEMIA MIELOIDE CRÓNICA .....	589
<i>Gabriel Pérez Rodríguez and Fernando Morilla</i>	
Modelado y optimización de la operación de un sistema de bombeo de múltiples depósitos	596
<i>Roberto Sanchis Llopis and Ignacio Peñarrocha</i>	
DEVELOPMENT OF A GREY MODEL FOR A MEDIUM DENSITY FIBREBOARD DRYER IN ECOSIMPRO .....	604
<i>Pedro Santos, Jose Luis Pitarch and César de Prada</i>	
DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE FALLOS MEDIANTE MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LAS FECHAS DE LIMPIEZA PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS .....	611
<i>Jorge Segarra-Tamarit, Emilio Pérez, Hector Beltran, Enrique Belenguer and José Luis Gandía</i>	
Modelado de micro-central hidráulica para el diseño de controladores con aplicación en regiones aisladas de Honduras .....	618
<i>Alejandro Tapia Córdoba, Pablo Millán Gata, Fabio Gómez-Estern Aguilar, Carmelina Ierardi and Álvaro Rodríguez Del Nozal</i>	
FRAMEWORK PARA EL MODELADO DE UN LAGO DE DATOS .....	626
<i>J.M Torres, R.M. Aguilar, C.A. Martin and S. Diaz</i>	
SIMULADOR CARDIOVASCULAR PARA ENSAYO DE ROBOTS DE NAVEGACION AUTONOMA .....	633
<i>José Emilio Traver, Juan Francisco Ortega Morán, Ines Tejado, J. Blas Pagador, Fei Sun, Raquel Pérez-Aloe, Blas M. Vinagre and F. Miguel Sánchez Margallo</i>	
PLANIFICACION DE LA PRODUCCION BASADA EN CONTROL PREDICTIVO PARA PLANTAS TERMOSOLARES .....	641
<i>Manuel Jesús Vasallo Vázquez, José Manuel Bravo Caro, Emilian Cojocarú and Manuel Emilio Gegundez Arias</i>	
Evaluación multicriterio para la optimización de redes de energía .....	649
<i>Ascensión Zafra Cabeza, Rafael Espinosa, Miguel Àngel Ridao Carlini and Carlos Bordóns Alba</i>	
Percibiendo el entorno en los robots sociales del RoboticsLab .....	657
<i>Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya, Àlvaro Castro-Gonzalez, Juan José Gamboa, Marcos Maroto Gómez, Sara Marqués Villaroya, Antonio J. Pérez Vidal and Miguel Àngel Salichs</i>	

DISEÑO DE UNA PRÓTESIS DE MANO ADAPTABLE AL CRECIMIENTO .....	664
<i>Marta Ayats and Raul Suarez</i>	
COOPERATIVISMO BIOINSPIRADO BASADO EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS HORMIGAS .....	672
<i>Brayan Bermudez, Kristel Novoa and Miguel Valbuena</i>	
PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN EXOESQUELETO DE MIEMBRO SUPERIOR PARA SOPORTE DE CARGAS .....	680
<i>Andrea Blanco Ivorra, Jorge Diez Pomares, David Lopez Perez, Francisco Javier Badesa Clemente, Miguel Ignacio Sanchez and Nicolas Garcia Aracil</i>	
Estructura de control en ROS y modos de marcha basados en máquinas de estados de un robot hexápodo .....	686
<i>Raúl Cebolla Arroyo, Jorge De Leon Rivas and Antonio Barrientos</i>	
USING AN UAV TO GUIDE THE TELEOPERATION OF A MOBILE MANIPULATOR .....	694
<i>Josep Arnau Claret and Luis Basañez</i>	
Estudio de los patrones de marcha para un robot hexápodo en tareas de búsqueda y rescate .....	701
<i>Jorge De León Rivas and Antonio Barrientos</i>	
SISTEMA DE INTERACCIÓN VISUAL PARA UN ROBOT SOCIAL .....	709
<i>Mario Domínguez López, Eduardo Zalama Casanova, Jaime Gómez García-Bermejo and Samuel Marcos Pablos</i>	
Mejora del Comportamiento Proxémico de un Robot Autónomo mediante Motores de Inteligencia Artificial Desarrollados para Plataformas de Videojuegos .....	717
<i>David Fernández Chaves, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	
Micrófonos de contacto: una alternativa para sensado táctil en robots sociales .....	724
<i>Juan José Gamboa, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo, Marcos Maroto Gómez and Miguel A. Salichs</i>	
Clasificación de información táctil para la detección de personas .....	732
<i>Juan M. Gandarias, Jesús M. Gómez-De-Gabriel and Alfonso García-Cerezo</i>	
Planificación para interceptación de objetivos: Integración del Método Fast Marching y Risk-RRT .....	738
<i>David Alfredo Garzon Ramos, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos</i>	
ESTABILIZACIÓN DE UNA BOLA SOBRE UN PLANO UTILIZANDO UN ROBOT PARALELO 6-RSS .....	746
<i>Daniel González, Lluís Ros and Federico Thomas</i>	
TELEOPERACIÓN DE INSTRUMENTOS QUIRÚRGICOS ARTICULADOS .....	754
<i>Ana Gómez Delgado, Carlos Perez-Del-Pulgar, Antonio Reina Terol and Victor Muñoz Martinez</i>	
CONTROL OF A ROBOTIC ARM FOR TRANSPORTING OBJECTS BASED ON NEURO-FUZZY LEARNING VISUAL INFORMATION .....	760
<i>Juan Hernández Vicén, Santiago Martínez de La Casa Díaz and Carlos Balaguer</i>	
PLATAFORMA BASADA EN LA INTEGRACIÓN DE MATLAB Y ROS PARA LA DOCENCIA DE ROBÓTICA DE SERVICIO .....	766
<i>Carlos G. Juan, Jose Maria Vicente, Alvaro Garcia and Jose Maria Sabater-Navarro</i>	

Estimadores de fuerza y movimiento para el control de un robot de rehabilitación de extremidad superior.....	772
<i>Aitziber Mancisidor, Asier Zubizarreta, Itziar Cabanes, Pablo Bengoa and Asier Brull</i>	
Definiendo los elementos que constituyen un robot social portable de bajo coste .....	780
<i>Marcos Maroto Gómez, José Carlos Castillo, Fernando Alonso-Martín, Juan José Gamboa, Sara Marqués Villarroya and Miguel Ángel Salichs</i>	
Interfaces táctiles para Interacción Humano-Robot .....	787
<i>Sara Marqués Villarroya, Jose Carlos Castillo Montoya, Fernando Alonso Martín, Marcos Maroto Gómez, Juan José Gamboa and Miguel A. Salichs</i>	
HERRAMIENTAS DE ENTRENAMIENTO Y MONITORIZACIÓN PARA EL DESMINADO HUMANITARIO .....	793
<i>Hector Montes, Roemi Fernandez, Pablo Gonzalez de Santos and Manuel Armada</i>	
Control a Baja Velocidad de una Rueda con Motor de Accionamiento Directo mediante Ingeniería Basada en Modelos .....	799
<i>Antonio José Muñoz-Ramírez, Jesús Manuel Luque-Bedmar, Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Anthony Mandow, Javier Serón and Alfonso Garcia-Cerezo</i>	
SIMULACIÓN DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS USANDO V-REP BAJO ROS .....	806
<i>Cándido Otero Moreira, Enrique Paz Domonte, Rafael Sanz Dominguez, Joaquín López Fernández, Rafael Barea, Eduardo Romera, Eduardo Molinos, Roberto Arroyo, Luís Miguel Bergasa and Elena López</i>	
Cinemática y prototipado de un manipulador paralelo con centro de rotación remoto para robótica quirúrgica.....	814
<i>Francisco Pastor, Juan M. Gandarias and Jesús M. Gómez-De-Gabriel</i>	
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE SINGULARIDADES AISLADAS EN ROBOTS PARALELOS MEDIANTE DESARROLLOS DE TAYLOR DE SEGUNDO ORDEN.....	821
<i>Adrián Peidro Vidal, Óscar Reinoso, Arturo Gil, José María Marín and Luis Payá</i>	
INTERFAZ DE CONTROL PARA UN ROBOT MANIPULADOR MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL .....	829
<i>Elena Peña-Tapia, Juan Jesús Roldán, Mario Garzón, Andrés Martín-Barrio and Antonio Barrientos</i>	
Evolución de la robótica social y nuevas tendencias .....	836
<i>Antonio J. Pérez Vidal, Alvaro Castro-Gonzalez, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya and Miguel A. Salichs</i>	
DISEÑO MECÁNICO DE UN ASISTENTE ROBÓTICO CAMARÓGRAFO CON APRENDIZAJE COGNITIVO .....	844
<i>Irene Rivas-Blanco, M Carmen López-Casado, Carlos Pérez-Del-Pulgar, Francisco García-Vacas, Víctor Fernando Muñoz, Enrique Bauzano and Juan Carlos Fraile</i>	
CÁLCULO DE FUERZAS DE CONTACTO PARA PRENSIONES BIMANUALES.....	852
<i>Francisco Abiud Rojas-De-Silva and Raul Suarez</i>	
Modelado del Contexto Geométrico para el Reconocimiento de Objetos.....	860
<i>José Raúl Ruiz Sarmiento, Cipriano Galindo and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	
Estimación Probabilística de Áreas de Emisión de Gases con un Robot Móvil Mediante la Integración Temporal de Observaciones de Gas y Viento .....	868
<i>Carlos Sanchez-Garrido, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	

MANIPULADOR AÉREO CON BRAZOS ANTROPOMÓRFICOS DE ARTICULACIONES FLEXIBLES .....	876
<i>Alejandro Suarez, Guillermo Heredia and Anibal Ollero</i>	
EVALUACIÓN DE UN ENTORNO DE TELEOPERACIÓN CON ROS .....	864
<i>David Vargas Frutos, Juan Carlos Ramos Martínez, José Luis Samper Escudero, Miguel Ángel Sánchez-Urán González and Manuel Ferre Pérez</i>	

---

### Sistemas de Tiempo Real

---

GENERACIÓN DE CÓDIGO IEC 61131-3 A PARTIR DE DISEÑOS EN GRAFCET....	892
<i>María Luz Alvarez Gutierrez, Isabel Sarachaga Gonzalez, Arantzazu Burgos Fernandez, Nagore Iriondo Urbistazu and Marga Marcos Muñoz</i>	
CONTROL EN TIEMPO REAL Y SUPERVISIÓN DE PROCESOS MEDIANTE SERVIDORES OPC-UA .....	900
<i>Francisco Blanes Noguera and Andrés Benlloch Faus</i>	
Control de la Ejecución en Sistemas de Criticidad Mixta .....	906
<i>Alfons Crespo, Patricia Balbastre, Jose Simo and Javier Coronel</i>	
GENERACIÓN AUTOMÁTICA DEL PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN TIA PORTAL PARA MÁQUINAS MODULARES .....	913
<i>Darío Orive, Aintzane Armentia, Eneko Fernandez and Marga Marcos</i>	
DDS en el desarrollo de sistemas distribuidos heterogéneos con soporte para criticidad mixta .....	921
<i>Hector Perez and J. Javier Gutiérrez</i>	
ARQUITECTURA DISTRIBUIDA PARA EL CONTROL AUTÓNOMO DE DRONES EN INTERIOR .....	929
<i>Jose-Luis Poza-Luján, Juan-Luis Posadas-Yaguë, Giovanni-Javier Tipantuña-Topanta, Francisco Abad and Ramón Mollá</i>	
Ingeniería Conducida por Modelos en Sistemas de Automatización Flexibles .....	935
<i>Rafael Priego, Elisabet Estévez, Darío Orive, Isabel Sarachaga and Marga Marcos</i>	
Estudio e implementación de Middleware para aplicaciones de control distribuido .....	942
<i>Jose Simo, Jose-Luis Poza-Lujan, Juan-Luis Posadas-Yaguë and Francisco Blanes</i>	

---

### Visión por Computador

---

Real-Time Image Mosaicking for Mapping and Exploration Purposes .....	948
<i>Abdulla Al-Kaff, Juan Camilo Soto Triviño, Raúl Sosa San Frutos, Arturo de La Escalera and José María Armingol Moreno</i>	
ALGORITMO DE SLAM UTILIZANDO APARIENCIA GLOBAL DE IMÁGENES OMNIDIRECCIONALES .....	956
<i>Yerai Berenguer, Luis Payá, Mónica Ballesta, Luis Miguel Jiménez, Sergio Cebollada and Oscar Reinoso</i>	
Medición de Oximetría de Pulso mediante Imagen fotopleletismográfica.....	964
<i>Juan-Carlos Cobos-Torres, Jordan Ortega Rodríguez, Pablo J. Alhama Blanco and Mohamed Abderrahim</i>	
Algoritmo de captura de movimiento basado en visión por computador para la teleoperación de robots humanoides.....	970
<i>Juan Miguel Garcia Haro and Santiago Martinez de La Casa</i>	

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DETECCIÓN DE ROSTROS EN IMÁGENES DIGITALES .....	976
<i>Natalia García Del Prado, Victor Gonzalez Castro, Enrique Alegre and Eduardo Fidalgo Fernández</i>	
LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE FUGA PARA SISTEMA DE DETECCIÓN DE LÍNEAS DE CARRIL .....	983
<i>Manuel Ibarra-Arenado, Tardi Tjahjadi, Sandra Robla-Gómez and Juan Pérez-Oria</i>	
Oculus-Crawl, a Software Tool for Building Datasets for Computer Vision Tasks .....	991
<i>Iván De Paz Centeno, Eduardo Fidalgo Fernández, Enrique Alegre Gutiérrez and Wesam Al Nabki</i>	
Clasificación automática de obstáculos empleando escáner láser y visión por computador ..	999
<i>Aurelio Ponz, Fernando Garcia, David Martin, Arturo de La Escalera and Jose Maria Armingol</i>	
T-SCAN: OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS CON COLOR Y TEMPERATURA EN INTERIOR DE EDIFICIOS .....	1007
<i>Tomás Prado, Blanca Quintana, Samuel A. Prieto and Antonio Adan</i>	
EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA REALIZAR RESÚMENES AUTOMÁTICOS DE VÍDEOS .....	1015
<i>Pablo Rubio, Eduardo Fidalgo, Enrique Alegre and Víctor González</i>	
SIMULADOR PARA LA CREACIÓN DE MUNDOS VIRTUALES PARA LA ASISTENCIA A PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA EN SILLA DE RUEDAS ..	1023
<i>Carlos Sánchez Sánchez, María Cidoncha Jiménez, Emiliano Pérez, Ines Tejado and Blas M. Vinagre</i>	
Calibración Extrínseca de un Conjunto de Cámaras RGB-D sobre un Robot Móvil .....	1031
<i>David Zúñiga-Nöel, Rubén Gómez Ojeda, Francisco-Ángel Moreno and Javier González Jiménez</i>	

# LA INFORMÁTICA INDUSTRIAL EN LAS INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Rogelio Mazaeda, Eusebio de la Fuente, José L. González, Eduardo J. Moya, Miguel A. García, Javier García, María J. de la Fuente, Gregorio Sainz, Smaranda P. Cristea  
[rogelio@cta.uva.es](mailto:rogelio@cta.uva.es), {efuente, jossan, edumoy, miguel, javgar, mjfuente, gresai}@eii.uva.es,  
 smaranda@autom.uva.es.

Departamento de Sistemas y Automática, Escuela de Ingeniería Industriales, Univ. de Valladolid (UVA).

## Resumen

*El término Informática Industrial se utiliza para dar cabida a un conjunto muy diverso de disciplinas y tecnologías. El encontrar un criterio unificador que articule los diversos enfoques posibles y que ayude, tanto al docente como al alumno, en el proceso de enseñanza/aprendizaje de manera que se brinde conocimiento perdurable y al mismo tiempo actualizado, es una tarea clave. En esta contribución se discuten estas ideas relativas a la docencia de esta disciplina en las diferentes titulaciones de la Escuela de Ingenierías Industriales de la UVA, manifestando ideas de cómo ese marco conceptual puede adaptarse al contexto de las diferentes especialidades.*

**Palabras Clave:** Informática Industrial, Sistemas de tiempo real, lenguajes de programación, educación en control, arquitecturas concurrentes, sistemas distribuidos de control por computadores

## 1 INTRODUCCIÓN

El uso industrial de la informática tiene características propias, que la distinguen de otras aplicaciones más convencionales, y que se derivan fundamentalmente del hecho de tener que interactuar no solo con el usuario humano, sino sobre todo, con el mundo físico real.

En el departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática (DISA) de la Universidad de Valladolid (UVA), desde hace tres años se ha creado un grupo de trabajo interesado en la docencia de esta disciplina que se ha dado en llamar Informática Industrial. Como resultado de esa labor se han llegado a algunos consensos sobre cómo abordar los estudios de una materia que es muy amplia, que no está siempre bien definida, que exige la precisión que demanda la programación de ordenadores y que lidia con una tecnología que es eminentemente volátil. Estas ideas, que fueron perfiladas para ser aplicadas a la titulación de Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática (GIEIA), han sido plasmadas en los documentos de dos Proyectos de Innovación Docente anteriores, y en sendos artículos [1], [2]. En la presente contribución ampliamos la discusión a todas las titulaciones en la que el DISA tiene

docencia, en el espíritu de experiencias que, con las mismas motivaciones, se han desarrollado por otros grupos de trabajo [3].

El artículo se estructura como sigue: en la sección 2 se hace un breve recorrido por la disciplina, en la sección 3 se establecen algunos principios que han guiado la elección de los temas a impartir, mientras que en la sección 4 se establecen y comentan los temas generales identificados, finalmente en la sección 5 se discute la aplicación de estas ideas al estudio de la disciplina en las diferentes titulaciones de Grado en Ingeniería de la UVA.

## 2 LA INFORMÁTICA INDUSTRIAL

### 2.1 ALCANCE DE LA DISCIPLINA

La industria contemporánea sería inconcebible sin los computadores. La informática condiciona todas las actividades de la industria. Es pieza fundamental en el manejo eficiente de cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto (PLM: *product lifetime management*), que incluye: la concepción, el diseño, la puesta en producción e incluso la inevitable obsolescencia del producto. Aunque el concepto englobado en las siglas PLM es mucho más amplio, el elemento informático que mejor lo representa son las herramientas de diseño, ingeniería y fabricación asistidas por ordenador (CAD/CAE/CAM/CAPE)

Hay que tener en cuenta que el producto mismo puede hospedar uno o varios computadores embebidos, práctica que es cada vez más frecuente debido al desarrollo tecnológico que permite el abaratamiento y la miniaturización de estos dispositivos electrónicos.

Una vez puesta en marcha la fabricación industrial del o los productos de que se trate, la informática participa a todos los niveles jerárquicos en que suele concebirse la fábrica actual, tal y como se representa en la conocida pirámide CIM también codificada en el estándar ISA 95 [4] (fig. 1). La misma exhibe, en la parte superior aquellos procesos de gerencia de alto nivel de la fábrica que tienen que ver con la gestión de los recursos instalados y la planificación a medio y largo plazo de la producción (ERP: *Enterprise Resource Planning*), teniendo en cuenta los requerimientos de los clientes (CRM: *Client Relationship Management*), y la eficacia de las

relaciones con otras empresas para mantener cadena de suministros y los inventarios en niveles óptimos (SCM: *Supply Chain Management*). En la base de la pirámide CIM se tiene el control de los procesos de fabricación a nivel de campo, actividad que desde hace décadas se lleva a cabo utilizando computadores más o menos especializados, conectados en red. En las posiciones intermedias se tienen, justo encima del nivel de interacción directa con el proceso físico, una capa de sistemas de control avanzado y supervisión y, funcionando como enlace con la capa de gestión, se localiza el llamado nivel MES, que convierte los objetivos a largo plazo de la capa de gestión, en órdenes concretas para las capas inferiores.

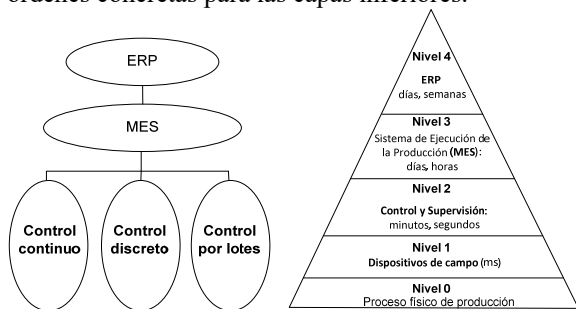


Figura 1: La pirámide ISA-95.

Resumiendo, los tres grandes campos brevemente esbozados, que podríamos clasificar, con todas las precauciones de rigor, como relativos al diseño del producto, integración en el producto mismo y la gerencia de la fábrica a los diferentes niveles jerárquicos, constituyen ejemplos no triviales de aplicación de los computadores a la industria o de “Informática Industrial”. A la hora definir los contenidos propios de esta disciplina, cualquiera de los enfoques mencionados es legítimo.

## 2.2 ENFOQUE ELEGIDO

En esta contribución, buscando acotar el espectro de los temas a tratar y también procurando la vinculación con los relacionados al control y la automatización, elegimos considerar como temas de interés aquellos que describen la aplicación de los computadores que cumplen con los siguientes rasgos:

1. Tratan fundamentalmente con el mundo físico.
2. Debe reaccionar a diferentes eventos que pueden ocurrir, en principio, simultáneamente y en un orden que no puede ser anticipado.
3. El plazo de reacción del sistema informático al evento está acotado.
4. Los elementos a controlar o supervisar pueden estar dispersos geográficamente.
5. El mal funcionamiento del sistema informático puede acarrear consecuencias muy graves en términos de daños personales o económicos.

Si nos atenemos a los principios mencionados, que no pretenden ser novedosos, excluiríamos de nuestro

interés las aplicaciones de diseño de tipo CAD/CAE, como por ejemplo, sistemas de diseño mecánico, químico o eléctrico, entre otros, que deberían ser abordadas en el contexto de las ingenierías específicas correspondientes. Aquí habría que hacer la salvedad importante de que los sistemas de diseño de soluciones para productos “inteligentes” empotradas, sí que serían motivo de atención legítima.

La informática industrial concebida en los términos antes mencionados, constituye un campo de actividad multidisciplinar que bebe de las fuentes de dos importantes cuerpos teóricos bien asentados: como son la informática o ciencias de la computación y la teoría de sistemas y el control automático. Esta situación intermedia, que indudablemente constituye una señal de la importancia del enfoque que representa, puede ser una desventaja a la hora de afrontar su estudio, debido a la amplitud y diversidad de los temas a tratar, que le otorga un cierto carácter disperso. Dificultades añadidas, se encuentra en la complejidad intrínseca de las fuentes de la se nutre. Tanto la informática como la teoría de control tienen un importante basamento teórico.

En el caso de la ciencia de la computación, se tienen los importantes resultados relacionados con la jerarquía de las gramáticas formales, el análisis de la complejidad computacional y el problema de la decisión [5], además de una plétora de algoritmos profusamente estudiados, de diferentes paradigmas y lenguajes de programación y de patrones de diseño [6].

La teoría de sistemas y el control automático ofrece igualmente un cuerpo teórico casi inabarcable que va desde los conceptos importantes de realimentación y estabilidad, aplicados a sistemas continuos, lineales y no lineales y toda una serie de aplicaciones avanzadas conocidas bajo los rótulos, para mencionar sólo algunos, de control óptimo, robusto, adaptativo, predictivo, etc, y que hace uso de los conceptos de modelado o identificación dinámica de sistemas, de la simulación y la optimización matemática, entre muchas otras técnicas, capaces de lidiar con sistemas inciertos y que dan como resultado soluciones aplicables a todos los niveles de la pirámide de control. Para una reciente y autorizada visión de conjunto de la disciplina ver [7].

Ciertamente, la relación entre la informática y el control automático es muy estrecha y es muy rica en matices. Desde hace décadas, el principal vehículo tecnológico para implementar las soluciones de control son los computadores, ya sean de propósito general o con características específicas como los controladores lógicos programables o PLC. La inmensa mayoría de las aplicaciones de control avanzado, con algoritmos que incluyen el uso en línea de modelos e incluso la optimización matemática de los mismos, serían imposibles sin la capacidad de cálculo que aportan los ordenadores.

### 2.3 PREVISIBLE EVOLUCIÓN DE LA INFORMÁTICA EN LA INDUSTRIA

Pero la relación entre computadores y control no se limita a concebir los primeros como los vehículos que permiten llevar a la práctica los conceptos del control en el presente momento del desarrollo de la técnica. Por supuesto, el uso de ordenadores motivó en su momento que la teoría de control se ocupara de la necesidad de estudiar los efectos del muestreo y la cuantificación de las señales continuas para su procesamiento digital [8]. Los resultados ya clásicos relativos a sistemas de tiempo discreto se estudian a la par que el enfoque continuo original. Pero en el sentido inverso, también ha existido una influencia notable, la teoría de control hoy acepta, casi en pie de igualdad, las aplicaciones reactivas dedicadas a la automatización de procesos discretos, a partir de los trabajos sobre control supervisor introducidos en [9], esfuerzos teóricos que continúan desarrollándose y que se basan en la aplicación de conceptos y modelos de la ciencia de la computación [10].

De forma que se abre paso un enfoque conjunto en la intersección de estas dos grandes disciplinas, enfoque del que se hace eco en el ya mencionado artículo [7] y que es adoptado por ejemplo en [11]. La confirmación de este nuevo punto de vista, lo constituye la emergencia de conceptos como el de los sistemas ciber-físicos (CPS: *cyber-physical systems*) [12], que promueve el estudio conjunto de la realidad física a controlar y de los controladores basados en computadores conectados en red, ejecutando aplicaciones reactivas distribuidas en tiempo real. En el enfoque CPS, la forma natural de modelado de estos sistemas complejos será híbrida, combinando el modelado continuo, junto a los modelos de eventos discretos. Este enfoque está en la base o muy relacionado con conceptos como el de la **Industria 4.0**, el de internet de las cosas (*IoT*), el uso masivo de datos de diversas fuentes (*big data*), el uso de la nube (*cloud* o *fog computing*) y el uso de redes inalámbricas también para el control [13]. La industria 4.0 es todavía una aspiración más que una realidad asentada, pero ya ha movilizad el interés de la academia y de la industria, y su implantación supone la adaptación del modelo representado por la pirámide ISA-95 a las nuevas exigencias, puesto que sin negarlo tajantemente, la nueva concepción que emerge estimula una arquitectura donde los diferentes actores operen con jerarquías menos rígidas. Los retos a vencer en este nuevo contexto son muy considerables. Para poner solo un ejemplo, un escenario probable será la existencia de lazos de control distribuidos conectados a distancia mediante redes inalámbricas. En este ámbito existen dificultades a vencer relacionadas con el ancho de banda del lazo de realimentación, la posible pérdida de información, el análisis de los riesgos que toda

esta incertidumbre implica, añadido a las amenazas relacionadas con la ciber-seguridad. En este tipo de situaciones existen incentivos en abandonar el uso de los muestreos periódicos, con las simplificaciones teóricas que ello conlleva, para sustituirlo por otro que envíe datos solo cuando la señal de proceso varíe sustancialmente, utilizando un esquema basado en eventos para el control de variables continuas [14].

## 3 ALGUNAS CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA DOCENCIA DE LA INFORMÁTICA INDUSTRIAL

La Informática Industrial está sin duda en el centro de este esfuerzo de renovación de la industria: lejos de ser una mera colección de tecnologías de *hardware* y *software* útiles para el control constituye el elemento de integración de la industria moderna, y provee un punto de vista unificador basado en el actual enfoque sobre los sistemas tipo CPS.

### 3.1 PRINCIPALES DESAFÍOS DOCENTES

En la docencia se deben vencer importantes desafíos:

1. Amplia base teórica en la intersección de la ciencia de la computación y la teoría de sistemas y el control automático.
2. La programación de computadores requiere de un muy alto nivel de compromiso por parte del programador. Es implacable con los errores sintácticos o semánticos. Supone la adquisición de habilidades que requieren tiempo y práctica. La programación de aplicaciones reactivas de tiempo real agrava de manera importante esta situación y exige procedimientos fiables de verificación y validación.
3. Las tecnologías concretas, tanto de hardware como de software, típicamente se hacen obsoletas muy rápidamente.
4. Múltiples aplicaciones de carácter diverso, transversal y de interés, en diverso grado, para todas las titulaciones de ingeniería. La informática es importante a diversos niveles de la industria y sus temas de interés van desde las aplicaciones de control a nivel de campo, o a nivel de la automatización de dispositivos empotrados, hasta aplicaciones de optimización económica o planificación a medio plazo en la capa MES. Existen además campos específicos de aplicación con una entidad propia, como son: la robótica, la visión artificial, la mecatrónica, los vehículos guiados automáticamente (AGVs), entre otros. Cada una de estas aplicaciones requiere un conjunto muy específico de conocimientos y habilidades a diferentes niveles de abstracción.



## 4 TEMAS FUNDAMENTALES

A la luz de la discusión en las secciones previas, se han identificado un conjunto de grandes temas de los cuales extraer los contenidos concretos para impartir en la disciplina. Los temas elegidos constituyen una puesta al día de los adoptados en una contribución previa por parte de los mismos autores [1].

Tabla 1: Temas

N.	Tema	Descripción
1	La informática en la industria	Pirámide CIM (ISA-95) e Industria 4.0.
2	Sistemas reactivos	El computador en el lazo de control de sistemas continuos, discretos e híbridos. Implicaciones en el hardware, Sistema operativo, lenguaje de programación.
3	Bases teóricas y modelado formal	Sistemas continuos muestreados, de eventos discretos e híbridos. Modelado.
4	Prog. concurrente	Concurrencia y paralelismo.
5	Sistemas de Tiempo Real (STR)	Conceptos y algoritmos.
6	Sistemas Distribuidos y redes industriales	Redes industriales. Determinismo, latencia y ancho de banda. Control distribuido.
7	Ciber-seguridad y seguridad funcional	Seguridad funcional y frente a ciber-ataques
8	Sistemas de control industrial	Sistemas de control industrial. PLCs, DCSs, SCADAS. Aplicaciones especiales: mecatrónica y AGVs, visión artificial.

La numeración de los temas en la tabla 1 sugiere una precedencia en la exposición temporal que resulta además inevitable. No debe, sin embargo, interpretarse como delimitando temas aislados y auto-contenidos. Por el contrario, el éxito de un curso de esta naturaleza está en encontrar un relato común unificador que viene inicialmente expresado por el contenido de los temas 1 y 2. En el tema 2 se ofrecen los conceptos centrales de sistema reactivo, de las implicaciones que estos tienen en su relación con el mundo físico que es simultáneo y exige repuestas con plazos temporales bien determinados. Ahora bien, la existencia de esos plazos, el menor o mayor margen temporal que brinden, el hecho de si son periódicos o

disparados por eventos relacionados con el comportamiento de alguna otra variable diferente al tiempo, los riesgos más o menos graves en que se incurre al violarlos, entre otras muchas cosas dependen, en gran medida, de la posición en la pirámide ISA-95 con la que se lidie o de si se trata del controlador para un sistema empotrado. De manera que este tema 1 debe servir, no de mera introducción sino, junto con el tema 2, de hilo conductor y *leitmotiv* de todo el curso.

Abundando en este concepto, una aplicación del nivel MES, pongamos por caso, la programación óptima de la operación de una fábrica que debe funcionar con un plan a varios días vista, puede ser considerado un sistema de tiempo real, pero los riesgos de no cumplir el plazo exigido son menores (quizá un funcionamiento sub-óptimo durante algunas horas) que el riesgo de incumplir el de responder con una latencia excesiva ante una condición crítica que ocurra en el Nivel 1 con un controlador de campo que además debe ofrecer respuestas correctas en plazos mucho más cortos. Las redes de computación constituyen otro ejemplo muy claro: los requisitos de predictibilidad, de ancho de banda y de latencia exhibidos por el protocolo y la implementación de red utilizados serán, en general diferentes, para los distintos niveles y aplicaciones: redes de campo predecibles, de baja latencia y poco tráfico en los niveles inferiores y otras más convencionales en los niveles superiores. Otro tanto se tiene con los aspectos de ciber-seguridad y seguridad funcional (tema 7) y por supuesto, las características, el tipo de lenguaje o de aplicación programables o configurables explicados en el tema 8, dependerán claramente del nivel al que nos encontramos: sistemas de control en campo (FCS) tipo PLC en los niveles de control más bajos, sistemas de control distribuido (DCS) en una capa algo superior y todavía por encima sistemas supervisores tipo SCADA, bases de datos de históricos y sistemas de ayuda a la decisión basados en dichos datos.

El tema 3 cubre los pre-requisitos básicos derivados de las dos grandes disciplinas teóricas de las que se nutre la informática en la industria. El grado de profundidad con que se aborde este tema dependerá de los conocimientos previos del alumno adquiridos en el contexto de la titulación. Un breve recordatorio de las implicaciones del muestreo y la cuantificación en el control por ordenador de los procesos continuos, no sería nunca tiempo mal empleado. En lo que concierne al modelado formal de sistemas discretos, se puede dedicar algún tiempo a explicar diferentes alternativas que van desde la utilización de autómatas finitos (FSM: *finite state machines*), a los *state-charts* que aportan más claridad puesto que permiten lidiar con la complejidad y contener la explosión de estados que ocurre rápidamente con las FSMs, utilizando un planteamiento jerárquico que da

cabida al modelado de procesos concurrentes, o incluso una breve introducción a las redes de Petri básicas, que ayudan a explicar, de una forma muy tersa e intuitiva, no sólo el modelo de la planta discreta a controlar sino el funcionamiento del propio controlador, y que es especialmente útil al entender las complejidades de la operación concurrente de las aplicaciones de control. Algunas nociones de modelado híbrido serían también oportunas: máquina de estado finita donde cada estado discreto constituye un modo de operación en las que las variables continuas evolucionan según dinámicas diferentes expresadas por ecuaciones diferenciales y algebraicas (DAEs), brindarían el marco teórico adecuado para el estudio de los CPS.

Los temas 5, 6 y 7 deben constituir el grueso de la disciplina. Aunque no es el único modelo de computación adecuado para los sistemas reactivos, la utilización de la concurrencia, es todavía hoy, a pesar de las complejidades que impone en el diseño, en la verificación y en la validación de las aplicaciones, el paradigma preferido para emular, desde el computador, la simultaneidad real del mundo físico. La implementación de la concurrencia, impone **requisitos** en el hardware, en el sistema operativo y en el lenguaje de programación en combinación con el uso de librerías especializadas. La concurrencia, en presencia de un solo núcleo de procesamiento, no busca aumentar la utilización útil de la potencia de cómputo, que disminuye inevitablemente por los necesarios cambios de contexto. En los ordenadores actuales de varios núcleos si puede darse un aumento neto de la capacidad de cómputo (paralelismo), pero la existencia de más tareas que núcleos constituye una situación típica que nos vuelve a llevar a la situación de partida, pero incrementado la complejidad del problema. En cualquier caso, la concurrencia sí que puede disminuir la latencia en la respuesta a eventos externos, periódicos o esporádicos; pero lo que es más importante, permite la búsqueda “separación de preocupaciones”: el diseñador de la aplicación puede separar, de forma lógica, la atención a los diferentes eventos que pueden ocurrir en la realidad en orden que no es previsible. Pero fundamentalmente, la división en tareas concretas, individuales, brinda al planificador del sistema en tiempo real (STR) las unidades de cómputo básicas que deben ser planificadas con precisión para cumplir los plazos especificados por el diseño. Por supuesto, pueden existir aplicaciones empotradas muy simples donde la concurrencia no aporte ningún beneficio. Por otra parte, la complejidad que se introduce en el proyecto, aumenta de forma drástica sobre todo cuando las tareas deben ser sincronizadas o comunicadas entre sí, como es habitualmente el caso. Pueden darse situaciones anómalas como las condiciones de competencia (“*race conditions*”) o de bloqueo (“*deadlock*”) difíciles de detectar y de evitar.

Nótese que la concurrencia puede darse a nivel de hilos, que permiten un cambio de contexto más ágil y el intercambio de datos a través de la memoria común que comparten o de procesos, típicamente aislados por el sistema operativo en espacios de memoria separados y que deben recurrir a mecanismos de comunicación y sincronización, también provistos por el S.O., más lentos pero más robustos como los basados en intercambio de mensajes.

El tema 5 debe explicar las bases de los STR. Los tipos de planificadores que existen, si la planificación se realiza fuera de línea o en línea y los algoritmos más comunes, sus ventajas y desventajas. El manejo de prioridades para las distintas tareas, entre otras muchas complejidades. Para muchas aplicaciones será suficiente una aproximación a la aplicación reactiva del tipo “mejor esfuerzo” con plazos no rígidos, pero para otras será necesaria la utilización de STRs rigurosos o de “tiempo real duro”. La introducción de las prioridades añade complejidad a la programación concurrente y supone retos como la inversión de la prioridad que pueden causar situaciones de bloqueo muy sutiles.

Los computadores convencionales, tanto a nivel de hardware como de S.O., están diseñados con el propósito de dar una experiencia satisfactoria al usuario humano y no para las aplicaciones de control: la existencia de niveles de memoria cache o la implementación de la memoria virtual a nivel del S.O., implican amenazas directas al determinismo que se debe exigir a este tipo de sistemas. Los sistemas especializados para el control como PLCs y DCSs, menos versátiles y expresivos, son más predecibles para aplicaciones críticas.

El tema 6 de sistemas distribuidos presenta todas las características de los sistemas concurrentes en tiempo real basados en procesos, añadiendo las complejidades que se derivan del uso de redes informáticas.

El estudio de las aplicaciones concurrentes, en tiempo real y posiblemente distribuidas debe ser acompañado por la descripción de patrones de diseño de software y buenas prácticas de programación que serán fundamentales para garantizar una seguridad funcional adecuada, que es el contenido del tema 7, junto con las medidas necesarias para la prevención de ataques informáticos, mucho más peligrosos en un ambiente industrial.

Tiempo real, como se conoce, no significa velocidad de ejecución de las tareas sino el cumplimiento de los plazos. Pero, en la medida en que esos plazos se acortan, la velocidad de cálculo y la forma en que está se degrada con el tamaño del problema a resolver, se vuelven cada vez más importante. En este sentido, los resultados clásicos de la ciencia de la computación sobre la complejidad de los algoritmos no deben pasar inadvertidos al alumno de la disciplina (tema 3).

El acudir en todo momento a soluciones de control realistas (tema 8), a la explicación de arquitecturas típicas y de casos de estudios específicos para diferentes tipos de industria brinda el contenido práctico que esta asignatura debe propiciar. También, en dependencia del caso, podrán ser motivo de discusión aplicaciones de naturaleza más particular como la mecatrónica, los AGVs y la visión artificial, siempre muy atractivos al alumno. Aunque las aplicaciones de robótica caen perfectamente dentro de la definición de Informática Industrial que se ha adoptado, su importancia y envergadura teóricas, sin embargo, las hacen de difícil encaje en la visión generalista que aquí suponemos para la disciplina.

## 5 DOCENCIA DE LA DISCIPLINA EN LA EII DE LA UVA.

En lo que sigue se discute la estrategia adoptada para los estudios de la disciplina de II en la EII de la UVA en aquellas asignaturas a cargo del DISA.

### 5.1 PRINCIPIOS ADOPTADOS

A los desafíos a la docencia enumerados en la sección 3.1, debe añadirse la dificultad de que deben ser afrontados en el tiempo tasado y generalmente escaso de que se dispone y de ponerlos en sintonía con los objetivos y competencias de cada titulación y en el contexto del resto de las asignaturas.

Una idea central como ya se ha esbozado, es la de utilizar como referencia o *leitmotiv* de los contenidos del curso la ubicación en el nivel correspondiente de la pirámide CIM. Por otra parte, la asignatura debe exhibir un enfoque fundamentalmente práctico, que involucre a un nivel de abstracción u otro, la programación o al menos la configuración de aplicaciones de naturaleza industrial. Para dotar de valor permanente a los contenidos, se debe acudir a resultados bien establecidos de la teoría de sistemas o control y la ciencia de la computación, y presentar algoritmos y buenas prácticas sobre la programación de sistemas distribuidos, concurrentes en tiempo real. Se preferirán soluciones y protocolos refrendados por normas de facto o sancionadas por organismos internacionales. El carácter de la disciplina aconseja un estilo de docencia, que en consonancia con el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), privilegie modelos de enseñanza colaborativos, basados en proyectos y el uso fundamental del laboratorio, reduciendo el tiempo dedicado a la tradicional clase magistral.

### 5.2 ENFOQUE EN LAS DIFERENTES TITULACIONES

En la figura 2 se grafican las asignaturas de las diferentes titulaciones susceptibles de acoger la

disciplina de la Informática Industrial y aquellas que están relacionadas con ellas. El grado de Diseño Industrial no se representa porque la disciplina está ausente del mismo, aunque previsiblemente estén incluidas, de forma preferente, aplicaciones de la informática relacionadas con el ciclo de vida de los productos diseñados (PLM).

En el Grado en Organización Industrial se tiene únicamente la asignatura de Automatización Industrial como vehículo susceptible de dar contenidos relacionados con lo que nos ocupa en el presente estudio, utilizando, por ejemplo, el estudio de los PLCs. En esta titulación, se estudiarán sin duda, aunque no impartida por el DISA, aplicaciones de la capa ERP y MES relacionadas, por ejemplo con la planificación a largo, medio y corto plazo de las operaciones industriales y con el manejo óptimo de la línea de suministros (SCM).

Todas las titulaciones comparten asignaturas básicas de la rama industrial como Fundamentos de Informática (FI), Fundamentos de Automática (FA) y Sistemas de Producción y Fabricación (SPF). En FI se solía impartir C, pero a partir del año pasado se ofrece una variante imperativa del C++, que hace hincapié en el uso, más que en el diseño, de clases y objetos. Esto abre la puerta a trabajar a un nivel de abstracción mayor haciendo uso de elementos como la biblioteca STL. Por otra parte, el concepto de clase y de programación orientado a objetos será beneficioso en el estudio de otros lenguajes más abstractos como aquellos que utilizan el concepto de bloques funcionales en la configuración de DCS. En FA se dan los elementos básicos de la teoría de control de sistemas continuos. Mientras que en SPF (compartida por varios departamentos) se ofrece una colección variopinta de conceptos de interés sobre la industria contemporánea pero las limitaciones de tiempo impiden un tratamiento a fondo de los mismos.

El GIEIA es el que más posibilidades ofrece de desplegar el temario discutido en la sección anterior. Los temas de la tabla 1 se han repartido entre las asignaturas de Informática Industrial (II) propiamente dicha y Control y Comunicaciones Industriales (CCI), referimos al lector a [1] para discusión detallada, pero en resumen, en II se hace énfasis en el tema 4 de programación concurrente en C++ v11 utilizando las posibilidades nativas que ahora se ofrecen para la programación de hilos [15], [2] y una versión reducida del estándar POSIX para concurrencia mediante procesos, aplicados siempre a sistemas discretos. En CCI, una vez que el alumno ha dado sistemas muestreados en la asignatura obligatoria Diseño de Sistemas de Control, se está en condiciones de aplicar los conceptos contenidos en los temas 5 y 6, aplicados ya a sistemas continuos. El resto de los temas permean todo el enfoque adoptado.

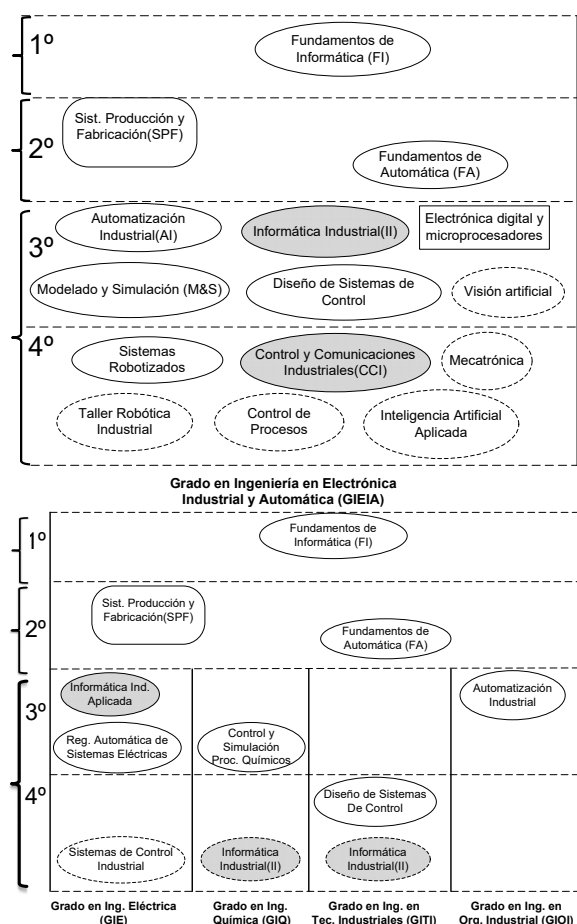


Figura 2: (a) Titulación GIEIA (b) Resto de las titulaciones (obligatorias en línea continua, optativas en línea de puntos)

El lenguaje que se ha utilizado es el C++ v11, un lenguaje de propósito general, que brinda un compromiso razonable entre nivel de abstracción y capacidad de bajar a nivel de hardware para las aplicaciones empotradas. La posibilidad de trabajar a otros niveles de abstracción como los bloques funcionales utilizados en los PLCs que cumplen la norma IEC 61131-3 [16] o para sistemas distribuidos con la norma IEC 61499 [17], no es discutida en profundidad puesto que es objeto de estudio de otras asignaturas como Automatización Industrial. Los temas más especializados de robótica, mecatrónica y visión artificial tienen sus propias asignaturas dedicadas. Se estudia la posibilidad de impartir bases de datos de tiempo real y de series temporales históricas, o así como el estándar de interoperabilidad OPC (clásico/UA) [18] muy útil para la obtención de datos reales o simulados en el laboratorio, así como un primer contacto con el mencionado IEC 61499. En otras titulaciones la situación es más constreñida en término de créditos lectivos. En el Grado en Ingeniería Eléctrica (GIE) la asignatura de Informática Industrial Aplicada precede a otra asignatura obligatoria (Regulación Automática de Sistemas Eléctricos) y una opcional (Sistemas de

Control Industrial) que podrían resultar complementarias. En cualquier caso, la estrategia seguida y considerada idónea dadas las circunstancias es la de establecer el marco presente y futuro (tema 1) de la disciplina para hacer énfasis en los sistemas de control industrial tipo PLCs, DCSs y SCADA y la programación en los estándares pertinentes por una parte, y en las redes industriales, sus requisitos a partir del estándar OSI o similares por otra, profundizando especialmente en el protocolo OPC por las ventajas prácticas ya comentadas.

En el Grado en Ingeniería Química (IQ) la situación es especialmente desfavorable. Se cuenta con una asignatura optativa, impartida después de Control y Simulación de Procesos Químicos que de alguna manera refuerza, con ejemplos de esa especialidad concreta, lo dado en FA. La estrategia seguida en este escenario es la de comentar someramente todos los temas delineados y estudiar, con más detalle, los sistemas de supervisión tipo SCADA, con el OPC de nuevo como tecnología que propicia la movilidad de la información entre los diferentes niveles de la pirámide CIM. En este caso concreto se discuten conceptos de herramientas de ayuda a la decisión, muy valiosos para la titulación, relacionadas con el control estadístico de procesos multi-variantes.

En el Grado en Tecnologías en Industriales (GITI) se discuten la esencia de los temas recogidos en la tabla 1 en el marco de la asignatura, también optativa, llamada Informática, en la que se sigue la tónica general planteada y se hace énfasis sobre los sistemas de control distribuido basados en el estándar IEC 61499.

### 5.2.1 Laboratorios

Las prácticas de laboratorio, como se ha recalado, resultan básicas. Existe el interés consciente de utilizar productos y lenguajes basados en normas y de ser posible, soluciones que estén libremente disponibles. Esto desde luego no es posible, y discutiblemente, tampoco es conveniente en todos los casos. Con el C++ v11 y librerías basadas en POSIX como vehículo para la enseñanza del temario, no habría mayores problemas. Pero tampoco se tiene por qué renunciar, por ejemplo, a MATLAB y las herramientas de modelado continuo y discreto que éste ofrece y que brindan además la facilidad de desplegar, a partir del modelo creado, verificado y validado, soluciones en plataformas empotradas. Existen además *toolboxes* de libre adquisición, como TrueTime [19] útiles a la hora de mostrar las bondades de uno u otro algoritmo de planificación de tiempo real en presencia de comunicaciones con simulación de pérdida de datos.

Por otra parte, los alumnos aprecian en gran medida, el ser capaces de practicar sobre productos comerciales de importancia acreditada y de amplia

utilización en la industria, como pueden ser los PLCs de Siemens y los DCS de Emerson (DeltaV). Software comercial como el generador de SCADAS *Wonderware Intouch* (Foxboro) o el sistema supervisor PI de OSISOFT, ofrecen un valor añadido que es muy apreciado por el alumno. En nuestras instalaciones de laboratorio, a partir de la existencia de estos productos comerciales, se pueden reproducir prácticamente todos los niveles desde el MES hacia abajo con productos como los mencionados y aplicarlos a plantas reales de laboratorio o a una simulación no trivial a tiempo real de una fábrica de azúcar de remolacha.

## CONCLUSIONES

La informática industrial ha pasado de ser una mera herramienta tecnológica, a estar en el centro de la industria contemporánea y del previsible desarrollo futuro de la misma. En esta contribución se ha brindado un recorrido por los principales temas a tratar y se han discutido algunas ideas sobre el abordaje docente de los mismos en dependencia del tiempo disponible y de los objetivos y el contexto de la titulación.

## Agradecimientos

Contribución realizada en el marco del Proyecto de Innovación Docente (PID1617\_105) de la UVA titulado: La Informática Industrial en los Estudios de Ingeniería Industrial. Los autores agradecen el apoyo del proyecto INOPTCON (MINECO/FEDER DPI2015-70975-P).

## Referencias

- [1] R. Mazaeda, E. de la Fuente, J. L. González, and E. J. Moya, "Sobre la docencia de la informática industrial," in *Actas de las XXXVI Jornadas de Automática*, Bilbao, 2015, pp. 688–695.
- [2] R. Mazaeda, E. de la Fuente, J. L. González, and E. J. Moya, "Docencia en Informática Industrial: Lenguajes de Programación," in *Actas de las XXXVII Jornadas de Automática*, Madrid: Comité Español de Automática (CEA-IFAC), 2016, pp. 631–638.
- [3] F. Rodríguez, J. C. Moreno, M. Castilla, M. Berenguel, J. L. Guzmán, and J. A. Sánchez, "Experiencia docente de la materia Informática Industrial en estudios de Ingeniería," in *Actas de las XXXVII Jornadas de Automática*, Comité Español de Automática (CEA-IFAC), 2016, pp. 762–768.
- [4] B. Scholten, *The Road to Integration: A Guide to Applying the ISA-95 Standard in Manufacturing*. ISA, 2007.
- [5] J. E. Hopcroft, R. Motwani, and J. D. Ullman, *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation (3rd Edition)*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2006.
- [6] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, and J. Vlissides, *Design Patterns: Elements of Reusable Object-oriented Software*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1995.
- [7] K. J. Åström and P. R. Kumar, "Control: A perspective," *Automatica*, vol. 50, no. 1, pp. 3–43, 2014.
- [8] B. Wittenmark, K. J. Åström, and K. E. Årzen, "Computer Control: An Overview," *IFAC Prof. Br.*, pp. 1–82, 2002.
- [9] P. J. Ramadge and W. M. Wonham, "Supervision of discrete event processes," *Proceeding IEEE*, vol. 77, no. 1, pp. 2–3, 1982.
- [10] C. Seatzu, M. Silva, and J. H. van Schuppen, *Control of Discrete-Event Systems*, vol. 433. Springer, 2013.
- [11] E. Ashford Lee and P. Varaiya, *Structure and Implementation of Signals and Systems*. 2011.
- [12] K.-D. Kim and P. R. Kumar, "An Overview and Some Challenges in Cyber-Physical Systems," *J. Indian Inst. Sci.*, vol. 93, no. 3, pp. 341–352, 2013.
- [13] Y. Lu, "Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues," *J. Ind. Inf. Integr.*, 2017.
- [14] S. Dormido, J. Sánchez, and E. Kofman, "Muestreo, Control y Comunicación Basados en Eventos," *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind. RIAI*, vol. 5, no. 1, pp. 5–26, 2008.
- [15] A. Williams, *C++ Concurrency in Action. Practical Multithreading*. Manning, 2012.
- [16] A. Otto and K. Hellmann, "IEC 61131: A general overview and emerging trends," *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 3, no. 4, pp. 27–31, 2009.
- [17] V. N. Dubinin and V. Vyatkin, "Semantics-robust design patterns for IEC 61499," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 8, no. 2, pp. 279–290, 2012.
- [18] M. H. Schwarz and J. Borek, "A survey on OPC and OPC-UA: About the standard, developments and investigations," *2013 XXIV Int. Conf. Information, Commun. Autom. Technol.*, pp. 1–6, 2013.
- [19] A. Cervin, D. Henriksson, B. Lincoln, J. Eker, and K.-E. Årzen, "How does control timing affect performance? Analysis and simulation of timing using Jitterbug and TrueTime," *IEEE Control Syst.*, vol. 23, no. 3, pp. 16–30, Jun. 2003.

