

## Actividades en la Cátedra Sistemas de Tiempo Real

Fernando Romero, Diego Encinas, Lucas Maccallini, César Estrebou

Instituto de Investigación en Informática LIDI(III-LIDI) - Facultad de Informática - UNLP –  
Centro Asociado CIC  
fromero@info.unlp.edu.ar

**Resumen.** En este trabajo se presentan los lineamientos generales y experiencias recogidas en una de las asignaturas del cuarto año, segundo semestre de la carrera de Ingeniería en Computación de la Universidad Nacional de la Plata: Sistemas de Tiempo Real. Es una asignatura que tiene una parte teórica y otra práctica. Requiere una base de conocimientos adquiridos en asignaturas tales como Sistemas Operativos, Concurrencia y Paralelismo, Circuitos Digitales y Microcontroladores, como también Ingeniería de Software y Talleres de Proyecto. Todo lo visto se aplica al desarrollo de Sistemas de Tiempo Real, que contempla temas como hardware, diseño de software, sistemas operativos y comunicaciones. Dentro de esta asignatura se realizan trabajos prácticos que abarcan tanto hardware del tipo microcontroladores, con sistemas operativos acorde a ello, hardware tipo pc, con sistemas operativos de tiempo real, y simuladores de diferente tipo. Con los simuladores se trata de modelar no solo sistemas embebidos sino situaciones como tránsito de personas y vehículos en diferentes ambientes. Todos los temas tienen en común restricciones de tiempo y mecanismos para que estas restricciones se cumplan.

En cuanto a las actividades dentro de la cursada de la materia, se plantean prácticas que abarcan los múltiples temas que se tratan, como también los conocimientos teóricos necesarios. También se lleva a cabo un proyecto por equipos necesario para la aprobación de la materia, que contempla desde el planteo del problema, ingeniería e implementación de la solución. Para la evaluación del mismo se contemplan tres etapas: 1) Presentación de problema y posible implementación de la solución. 2) Presentación del proyecto terminado. 3) Informe escrito sobre el desarrollo, conclusiones y posibles líneas futuras. Para las presentaciones se realizan seminarios en los cuales los alumnos exponen frente a sus compañeros y los docentes de la cátedra. Se realizan preguntas y críticas. También se toma un parcial que abarca los temas vistos en la teoría y la práctica.

**Keywords:** Desarrollo de Sistemas, Sistemas de Tiempo Real, Simulación, Comunicaciones, Hardware.

### 1 Introducción

La asignatura Sistemas de Tiempo Real corresponde al cuarto año, segundo semestre, de la carrera de Ingeniería en Computación de la Universidad Nacional de la Plata [1]. En esta asignatura se provee a los alumnos de una experiencia de desarrollo similar a sus carreras al tratar con sistemas de Tiempo Real (STR) [3] [4] los que se caracterizan por: Restricciones de tipo temporal, cuya violación puede implicar seria falla del sistema que vienen determinadas por características del sistema y cuestiones de seguridad. Muchas veces se

requiere sincronizar tiempos de procesamiento con el tiempo físico. Prototipos simulados en etapas tempranas del desarrollo, porque el hardware está siendo desarrollado en forma paralela y no está disponible, y para ensayar la viabilidad de la solución. Es importante considerar que muchos sistemas embebidos deben operar de manera continua, lo que implica que las pruebas del sistema se llevan a cabo en un prototipo, a menudo simulado, para garantizar su correcto funcionamiento libre de errores antes de su implementación. El tema de tolerancia a fallos es de vital importancia. Se simulan no solo sistemas embebidos sino situaciones como medios de transporte y transmisión de enfermedades. Utilización de diferentes sensores y actuadores, los sistemas de tiempo real interactúan con el ambiente físico. Los sensores pueden estar montados sobre robots móviles, terrestres y aéreos. Muchas veces se trata de sistemas distribuidos, se deben implementar redes de sensores/actuadores. Se trata de sistemas embebidos en otro sistema al cual controlan. Este sistema se trata de una planta física, con lo cual cualquier falla del sistema acarrea consecuencias materiales y personales. El consumo es importante, deben funcionar en forma autónoma y la duración de la batería es crítica.

En los proyectos de promoción de la materia se trabaja sobre las siguientes líneas: Modelado y Simulación de Sistemas de Tiempo Real, con simuladores de hardware, y de índole social, con el paradigma ABMS (Agent Based Simulation Modeling) [6]. Redes de sensores inalámbricas/cableadas. Sistemas Operativos de Tiempo Real y hardware, tanto en procesamiento de información como de comunicaciones utilizados en nodos de Sistemas Distribuidos de Tiempo Real. En estos sistemas se prioriza la planificación de tareas y la baja latencia ante interrupciones. Posicionamiento, tanto a través de GPS en exteriores como de ultrasonido, señales de infrarrojos y de WIFI para posicionamiento en interiores. Inteligencia artificial aplicada al reconocimiento de patrones en tiempo real.

Durante el desarrollo de la asignatura, se dan clases teóricas con prácticas obligatorias, un examen parcial y el trabajo de promoción. Las prácticas son: Ejercicios con interrupciones en simulador de hardware. Planificación de tareas, con varios tipos de planificador en un simulador. Ejercicios sobre una máquina virtual con un Sistema Operativo de Tiempo Real. Implementación de tareas paralelas sobre simulador, haciendo foco en comunicación y sincronización.

## **2 Definición y plan de trabajo**

Los proyectos aprovechan avances realizados en otros previos. En Resultados hay un resumen de trabajos realizados, que se hacen en grupos de dos o tres miembros. Los alumnos eligen una línea, y con un docente diseñan un plan de trabajo, que presentan junto a la metodología y herramientas a utilizar. A fin de año realizan una presentación de los resultados obtenidos. Algunos trabajos se publican en congresos. Otros se continúan en PPS (Práctica Profesional Supervisada, con la que finalizan la carrera). Las dos presentaciones se realizan en seminarios de la cátedra al que asisten docentes y alumnos. También un informe de lo realizado. De requerirse hardware, la cátedra dispone de microcontroladores, sensores, actuadores, placas de comunicaciones, robots construidos por la cátedra. Los simuladores de hardware y de ABMS son de software libre.

## 2 Resultados

Varias líneas de trabajo se llevan a cabo con los alumnos. Se hace referencia al tema y referencia a publicación de los mismos [11] [12]. Modelado y Simulación: Se simuló el protocolo Controller Area Network (CAN) [5], se implementó en una red real [2] y se conectó a computadora de un automóvil eléctrico. Se ha generado un simulador para el sistema de Entrada/Salida en arquitecturas de HPC [16]. Simulación de cinta transportadora [13]. Simulación de situaciones sociales en las áreas de salud y transporte mediante agentes [6]. Transmisión de enfermedades en salas de urgencias [8]. Aumento de velocidad de simulaciones por paralelización [9]. Desarrollo de modelos sobre población de mosquitos de transmisión de dengue. Construcción de redes de sensores inalámbricas basadas en WiFi y LoRa [15], consumo de dichas redes [17]. Se desplegaron y compararon plataformas de Internet de las Cosas (IoT). Comparación entre sistemas operativos FreeRTOS y Zephyr sobre placas con wifi, y pruebas de latencia ante cambio de contexto en multitarea e interrupciones. Rendimiento de comunicaciones en tiempo real, aplicación paralela en dos microcontroladores y sistema de asistencia a deportes. Reconocimiento de audio para educación musical empleando Edge Computing [14]. Robótica: se implementan robots móviles, encoders, posicionamiento 2D por ultrasonido, sistema de seguimiento utilizando GPS y conectado por MQTT, posicionamiento por RSSI (received signal strength indicator). Sistema de locomoción para robot autónomo basado en ROS [7]. Adaptaciones de algoritmos de tratamiento de imágenes, de aprendizaje automático y redes neuronales para microcontroladores. Aplicaciones para detección de frutas en mal estado y reconocimiento de especies de plantas con redes neuronales convolucionales para microcontroladores ESP32-cam, utilizando un framework propio en TinyML[10] que toma modelos de Tensorflow y Scikit Learn en Python y genera código C, para microcontroladores. Implementación de semáforos inteligentes y reconocimiento de patentes de vehículos.

## 4 Conclusiones

La asignatura Sistemas de tiempo real introduce a los estudiantes conceptos sobre el diseño y desarrollo de sistemas embebidos, incluyendo conceptos de sistemas distribuidos y paralelos, sistemas operativos y el derivado testing sobre simuladores. Se abordan temas propios de dichos sistemas pero integrándose en proyectos, que permiten experimentar a los alumnos el trabajo en equipo, elaboración de documentación de un proyecto, y exponer sus ideas, con una defensa ante sus compañeros y docentes. Mediante los proyectos se profundiza en los temas, pudiendo iniciar un proyecto desde cero en alguna línea de investigación propuesta.

## 5 Referencias

1. Ingeniería en Computación - UNLP, "IC Página Principal", <https://ic.info.unlp.edu.ar/>
2. "Análisis de experimentos de comunicaciones de tiempo real en el Bus CAN."
3. F. G. Tinetti, F. Romero, A. D. Pérez. XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2017)., ISBN 978-950-34-1539-9, págs. 1051-1060, octubre de 2017.
3. "Hard RealTime Computing Systems", Buttazzo, G. C., Third edition, Springer, 2011.

4. "Real-Time Systems, Design Principles for Distributed Embedded Applications".Kopetz. H., Second Edition. Springer. 2011.
5. "Diseño de un componente de simulación para comunicaciones en redes de sensores." M. P. Puig, S. Medina, A. Batista, D. Encinas, F. Romero, A. De Giusti, F. G. Tinetti. XXII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2016)., ISBN 978-987-733-072-4, págs. 883-892, San Luis, Argentina, octubre de 2016.
6. "Tutorial on agent-based modeling and simulation part 2: how to model with agents". Charles M. Macal and Michael J. North. 2006. In Proceedings of the 38th conference on Winter simulation (WSC '06). Winter Simulation Conference, 73–83..
7. <https://www.ros.org/>.
8. "An Approach to the Modeling and Simulation of Intra-Hospital Diseases". Maccallini, L., Encinas, D. O., & Romero, F.(2021). Journal of Computer Science and Technology, 21(2), e14.
9. "An approach to parallelization of respiratory disease spread simulations in emergency rooms". M. Paradiso, L. Maccallini, A. Vericat, F. Romero and D. Encinas, in 2022 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), Las Vegas, NV, USA, 2022 pp. 1359-1365.doi: 10.1109/CSCI58124.2022.00244.
10. "Lightweight Convolutional Neural Networks Framework for Really Small TinyML Devices. Smart Technologies, Systems and Applications. SmartTech-IC 2021". Estrebou, C.A., Fleming, M., Saavedra, M.D., Adra, F., De Giusti, A.E. (2022).. Communications in Computer and Information Science, vol 1532. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-99170-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-99170-8_1)
11. "Implementación y Simulación de Sistemas de Tiempo Real" F. Romero, D. Encinas, A. De Giusti, S. Medina, L. Maccallini, C. Estrebou, A. Castelli, H. Villagarcía, F. G. Tinetti. XXV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2023, Junín), ISBN 978-987-3724-66-4. Abril 2023.
12. "Redes de Sensores Inalámbricas y Simulación en Sistemas de Tiempo Real". F. Romero, D. Encinas, A. De Giusti, S. Medina, L. Maccallini, M. Pi Puig, H. Villagarcía, J. M. Paniego, F. G. Tinetti. XXIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2022, Mendoza), ISBN 978-987-48222-3-9, págs. 550-553, junio de 2022.
13. "Simulación de sistema de reciclaje mediante banda clasificadora." A.Dell Orto Marengo, E. Julio, D. Rolón, R. Bond, M. Morales, D. Encinas. En 11° Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de la Información (CoNaIISI 2023).
14. "Experiencia de desarrollo de una aplicación de reconocimiento de canciones mediante la técnica de huella de audio" R. Lago; V. Scholz; R. Bond; M.Morales; D. Encinas. . En XXIX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2023).
15. "Integration of Sensor Networks with Cloud Computing."Santiago Medina, Femando Romero, Femando G. Tinetti. 8th Conference on Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics (JCC-BD&ET 2020), ISBN 978-950-34-1927-4, págs. 2-5, septiembre de 2020.
16. "An Agent-Based Model for Analyzing the HPC Input/Output System." Encinas, Diego, et al. International journal on advances in systems and measurements 13.3: 192- 202. ISSN: 1942-261x. 2020.
17. "Experiencias de análisis de consumo energético en redes de sensores." Santiago Medina, Fernando Romero, Armando De Giusti, Fernando Tinetti. XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2019), ISBN 978-987-688-377-1, págs. 868-878, Río Cuarto, Córdoba, Argentina, octubre de 2019.