



## **Programa de Redes de Sensores Inalámbricos**

### **1. NOMBRE DE LA UNIDAD CURRICULAR**

Redes de Sensores Inalámbricos

### **2. CRÉDITOS**

8 créditos

### **3. OBJETIVOS DE LA UNIDAD CURRICULAR**

Introducir al estudiante en los principios básicos de funcionamiento de las redes de sensores inalámbricos y familiarizarlo con las tecnologías actuales para su implementación. Al finalizar el curso, el estudiante será capaz de manejar algunas de las herramientas de software y algunas de las plataformas hardware utilizadas para construir redes de sensores inalámbricos. Será capaz de proponer implementaciones (topología de red, programación de los nodos, etc.) en función de la aplicación y de las restricciones impuestas por las especificaciones.

### **4. METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA**

El curso está organizado en clases expositivas, laboratorios, y un proyecto final realizado en equipos de tres participantes. Durante las primeras nueve semanas aproximadamente se desarrollan las clases teóricas y las clases de laboratorios, distribuidas en dos clases por semana. Luego cuatro semanas se dedican enteramente al proyecto final.

A continuación se desglosa la dedicación estudiantil esperada al curso:

Tipo	Cantidad de Horas
Clases teóricas (12 x 2 hs)	24
Clases de laboratorio (6 x 2 hs)	12
Clases de consulta (laboratorio: 6 hs y seguimiento proyecto: 4 hs)	10
Evaluación (presentaciones)	4
<b>Subtotal horas presenciales</b>	<b>50</b>
Estudio	4
Preparación de laboratorio (6 x 2 hs)	12
Proyecto final (10 hs/semana x 4 semanas)	40
Proyecto (redacción de memoria y preparación presentaciones)	14
<b>Total de horas no presenciales</b>	<b>70</b>
<b>Total de horas dedicadas por estudiante</b>	<b>120</b>

Los laboratorios son de asistencia obligatoria, y tienen una evaluación individual y grupal. Se entregarán a los estudiantes un kit (nodo sensor) que permite la preparación y realización de los laboratorios y el proyecto final. A lo largo del curso los estudiantes deberán realizar al menos una presentación oral (defensa del proyecto).

## 5. TEMARIO

### 1. Introducción y conceptos básicos

Conceptos y definiciones de las redes de sensores inalámbricos (RSI). Evolución y perspectiva histórica. Elementos constitutivos y tecnologías de comunicaciones. Relación con la Internet de la cosas (IoT, *Internet of Things*)

### 2. Introducción a la pila (stack) de protocolos e IPv6

Modelos de capas. Introducción a la pila basada en IEEE 802.15.4 y IETF RFC: IEEE 802.15.4/ 6LoWPAN / RPL (IPv6) / UDP / CoAP. Características de IPv6. Direccionamiento y formato de paquetes. Seguridad. Características principales de la norma IEEE 802.15.4: capa física subcapa acceso al medio.

### 3. Plataformas de hardware

Composición canónica de un nodo de una red de sensores inalámbricos: procesador (microcontrolador), transceptor (radio) y antena, sensores/actuadores y alimentación. Funciones de cada bloque o sub-sistema. Ejemplos de implementación de cada bloque. Ejemplos de nodo.

### 4. Plataforma de software

Introducción a los sistemas operativos (OS): funcionalidades y ventajas. Pila de comunicación. Diferentes opciones de OS e implementaciones de pilas de comunicación. Introducción a Contiki-OS y Contiki-NG (next generation). Estructura de directorios. Principales funcionalidades: protothreads y procesos,

eventos y timers. Otras funcionalidades: multithreading, sistemas de archivo, etc. Definición de la pila de comunicación y proceso de compilación. Análisis de la ejecución, en particular el manejo *buffers* en el manejo de los mensajes.

5. Capa de aplicación

Conceptos generales de la capa de aplicación. Características de los protocolos más utilizados: CoAP, MQTT. Implementación de CoAP.

6. Capa de red

Conceptos y definiciones de la capa de red. Introducción a *Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks* (RPL) y su funcionamiento. Características de RPL y los diferentes tipos de mensajes de control. Algoritmo Trickle usado en RPL. Implementación.

7. Protocolos de acceso al medio (MAC)

Conceptos generales (características & clasificación) y problemas clásicos. Consideraciones para RSI: consumo y otras. Diferentes mecanismos de MAC de bajo consumo. Protocolos de IEEE 802.15.4 MAC: Métodos de acceso (CSMA etc.); ContikiMAC; TSCH

8. Capa de adaptación a IPv6

Características y limitaciones de IEEE 802.15.4 para IPv6. Conceptos aplicados por 6LoWPAN para fragmentación de paquetes y compresión de encabezados.

9. Capa física

Mecanismos de propagación. Modelo de canal. Causas del desvanecimiento de la señal. Estimación de alcance máximo de un radio enlace. Introducir los modelos de radiopropagación de Cooja. Capa física en IEEE 802.15.4: técnicas de transmisión DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) y de modulación QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*).

## 6. BIBLIOGRAFÍA

### 6.1 Básica

1. A. L. Colina, A. Vives, A. Bagula, M. Zennaro, E. Pietrosemoli (2016). IoT in five Days. E-Book, Jun., rev 1.1. [Online]. Available: <https://github.com/marcozennaro/IPv6-WSN-book/releases/>
2. J. Westö, Dag Björklund, An Overview of Enabling Technologies for The Internet Of Things. E-Book. [Online]. Available: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-5839-98-2>
3. "IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks". 2020. *IEEE Std 802.15.4-2020 (Revision of IEEE Std 802.15.4-2015)*, 1–800. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2020.9144691>.

### 6.2 Complementaria

4. J. P. Vasseur, A. Dunkels (2011). *Interconnecting Smart Objects with IP: The Next Internet*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., ISBN: 978-0-12-375165-2.
5. Z. Shelby, C. Bormann (2011). *6LoWPAN: The wireless embedded Internet*, John Wiley & Sons, ISBN 978-0-470-74799-5.
6. Kurniawan, A. (2018). *Practical Contiki-NG: Programming for Wireless Sensor Networks*. Apress.
7. Tsiatsis, V., Karnouskos, S., Holler, J., Boyle, D., & Mulligan, C. (2018). *Internet of Things: technologies and applications for a new age of intelligence*. Academic Press.
8. Holger Karl and Andreas Willig (2005). *Protocols and architectures for wireless sensor networks*, John Wiley and Sons, ISBN 978-0-470-09510-2.
9. Sohraby, K., Minoli, D., & Znati, T. (2007). *Wireless sensor networks: technology, protocols, and applications*. John wiley & sons.

Tema	Básica	Complementaria
1. Introducción y conceptos básicos	(1,2)	(4,7)
2. Introducción a la pila (stack) de protocolos e IPv6	(1,2)	(4,5)
3. Plataformas de hardware	(1)	
4. Plataforma de software	(1,2)	(6)
5. Capa de aplicación	(1,2)	
6. Capa de red	(1,2)	(4)
7. Protocolos de acceso al medio (MAC)	(1,2,3)	(4,5)
8. Capa de adaptación a IPv6	(1,2)	(4,5)
9. Capa física	(1,3)	(4,5)

## 7. CONOCIMIENTOS PREVIOS EXIGIDOS Y RECOMENDADOS

**7.1 Conocimientos Previos Exigidos:** Programación en lenguaje C. Electrónica digital. Electrónica analógica.

**7.2 Conocimientos Previos Recomendados:** Redes de datos. Sistemas embebidos. Sistemas operativos.

**ANEXO A**  
**Para todas las Carreras**

Esta primera parte del anexo incluye aspectos complementarios que son generales de la unidad curricular.

**A1) INSTITUTO**

Instituto de Ingeniería Eléctrica

**A2) CRONOGRAMA TENTATIVO**

Consiste en un cronograma de avance semanal con detalle de las horas de clase asignadas a cada tema.

Semana 1	Tema 1: Presentación del curso. Tema 1: Introducción y conceptos básicos.
Semana 2	Tema 2: Introducción a la pila (stack) de protocolos e IPv6 Tema 3: Plataformas de hardware.
Semana 3	Tema 4: Plataforma de software. Laboratorio 1: Introducción a Contiki-OS.
Semana 4	Tema 4: Plataforma de software. Laboratorio 2: Comunicación UDP en IPv6.
Semana 5	Tema 5: Capa de aplicación. Laboratorio 3: Capa aplicación CoAP.
Semana 6	Tema 6: Capa de red. Laboratorio 4: Capa de red RPL.
Semana 7	Tema 7: Protocolos de acceso al medio (MAC). Laboratorio 5: Subcapa MAC (ContikiMAC y TSCH).
Semana 8	Tema 8: Capa de adaptación a IPv6. Laboratorio 6: IEEE 802.15.4, 6LoWPAN y análisis de consumo.
Semana 9	Parciales
Semana 10	Parciales
Semana 11	Tema 9: Capa física Tema 1: Introducción a las IoT
Semana 12	Proyecto (semana 1)
Semana 13	Proyecto (semana 2)
Semana 14	Proyecto (semana 3)
Semana 15	Proyecto (semana 4)

### **A3) MODALIDAD DEL CURSO Y PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN**

La asistencia a las clases de laboratorio e instancias presenciales de proyecto es obligatoria.

El curso no tiene examen y para su aprobación se deberá aprobar cada una de las partes del curso (laboratorio y proyecto). La calificación final será ponderada de la siguiente manera:

Laboratorio: 30 % considerando eventuales evaluaciones individuales, y el desempeño individual y grupal durante el laboratorio.

Proyecto: 70 % considerando el desempeño individual y grupal durante la ejecución del proyecto, los resultados obtenidos, las presentaciones y la documentación.

### **A4) CALIDAD DE LIBRE**

No admite la calidad de libre.

### **A5) CUPOS DE LA UNIDAD CURRICULAR**

(En caso de que corresponda, indicar los cupos totales.)

Cupos mínimos: 6

Cupos máximos: 18

#### Nota:

*Si se definen cupos, en una nota aparte se deberá incluir:*

- *motivo por el cual la unidad curricular tiene cupos (tanto máximos como mínimos).*
- *el mecanismo de selección para cuando se dé la situación de que la cantidad de estudiantes inscriptos supere el cupo máximo.*



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

## ANEXO B para la carrera Ingeniería Eléctrica

### B1) ÁREA DE FORMACIÓN

Sistemas Digitales

### B2) UNIDADES CURRICULARES PREVIAS

Curso:

Examen de Programación para Ingeniería Eléctrica o examen de Programación 2.

Examen de Introducción a los Microprocesadores.

Curso de Electrónica Fundamental

Examen:

No corresponde

**ANEXO B para la carrera Ingeniería en Sistemas de Comunicación**

**B1) ÁREA DE FORMACIÓN**

Ingeniería en Electrónica.

**B2) UNIDADES CURRICULARES PREVIAS**

Curso: Examen de Programación 2, Examen de Introducción a los Microprocesadores, Curso de Electrónica Fundamental.

Examen: No aplica.

APROB RES CONSEJO DE FAC. ING.

FECHA 19/10/21 Exp. 060180 - 501215 - 21