

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

**Programación Avanzada y Algoritmos**

**SEMESTRE 1**

CICLO ESCOLAR

**R24PROG1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

Esta materia trata problemas de algoritmia avanzada para alcanzar altos niveles de eficiencia en programación. El curso considera diferentes algoritmos orientados a la resolución de problemas computacionales en Robótica, para su programación de manera eficiente en tiempo y memoria.

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. Introducción: Repaso general de programación**
  - A. Funciones, arreglos y apuntadores
  - B. Compilación con g++; Tipos de datos; namespace
  - C. Cmake y shell scripting
- II. Programación orientada a objetos:**
  - A. Conceptos OOP; Objeto; Abstracción; Encapsulamiento; Herencia; Polimorfismo; Sobrecarga de funciones y operadores; Clases; Datos y funciones miembro; Constructor; Modificadores de acceso; Inicializaciones; Sobrecarga del constructor; Constructor de copia; Destructor; Funciones *friend*; Funciones *inline*; Apuntador *this*; Miembros *static*.
  - B. Herencia: Clases base y heredada.
  - C. Sobrecarga de funciones; Sobrecarga de operadores; Operadores sobrecargables.
  - D. Polimorfismo, Abstracción, Encapsulamiento, Interfaces:
- III. Algoritmos y complejidad:**
  - A. Invariante de ciclo; Orden; *Merge Sort* (recursión); *Insertion sort*.
  - B. Complejidad del problema contra Complejidad del Algoritmo.
  - C. Algoritmos de Búsqueda.
- IV. Estructuras de datos avanzadas**

- A. Repaso: estructuras de datos lineares. Arreglos estáticos, dinámicos; listas ligadas; pilas; colas; arreglos de bits; `std::vector`, `std::deque`, `std::list`, `std::stack`; `std::queue`; `std::bitset`
  - B. Estructuras de datos para grafos
  - C. Estructuras de datos no-lineares: Árboles, colas y montículos.
  - D. Estructuras de datos para conjuntos disjuntos
  - E. Árbol de segmento
  - F. Quadrees y Octrees
  - G. Árbol de Fenwick
  - H. Estructuras dedicadas a cadenas de caracteres: tries
  - I. Estructuras de datos persistentes
  - J. Algoritmos recursivos para (manejo de memoria en) listas ligadas; Algoritmo de Shunting-Yard; Árboles binarios.
- V. Paradigmas de resolución de problemas.**
- A. Búsqueda exhaustiva.
  - B. Divide y vencerás
  - C. Programación dinámica
- VI. IV. Algoritmos sobre grafos**
- A. Recorridos de grafos
  - B. Árboles generadores mínimos
  - C. Caminos más cortos, nodo fuente único
  - D. Caminos más cortos, nodos fuentes múltiples
  - E. Flujos máximos
  - F. Casos en grafos particulares
- VII. Temas misceláneos**
- A. Puede abarcar, pero no estar limitado a alguno de los siguientes temas:
    1. Manejo de los enteros grandes
    2. Combinatoria
    3. Problemas relacionados a la teoría de números
    4. Búsqueda de ciclos
    5. Teoría de juegos
    6. Potencias de matrices
  - B. Prácticas

## BIBLIOGRAFÍA

1. R. Sedgwick. Algorithms in C++. Addison Wesley.
2. B.Preiss. Data Structures and Algorithms with Object Oriented Design Patterns in (C++, Java). <http://www.brpreiss.com/>
3. C.Cormen, C.Leiserson, R.Rivest y C.Stein. Introduction to Algorithms. MIT Press.
4. J.Kleinberg y E.Tardos. Algorithm Design. Addison Wesley.
5. D.Knuth. The Art of Computer Programming. Vol.1 Fundamental Algorithms, Vol.3 Sorting and Searching. Addison-Wesley.
6. Stallman, Richard M., and Zachary Weinberg. "The C preprocessor." Free Software Foundation (1987).
7. Kernighan BW, Ritchie DM. The C programming language. Englewood Cliffs: Prentice-Hall; 1988 Mar 22
8. Goldberg, David. "What every computer scientist should know about floating-point arithmetic." ACM Computing Surveys (CSUR) 23.1 (1991): 5-48.

9. Drepper, Ulrich. "What every programmer should know about memory." Red Hat, Inc 11 (2007): 2007.
10. Mark Allen Weis, Efficient C Programming A practical approach, Prentice Hall
11. Pitt-Francis, Joe, and Jonathan Whiteley. Guide to scientific computing in C++. Springer Science & Business Media, 2012.
12. S. Halim and F. Halim. Competitive Programming. <http://cpbook.net/>
13. 2. T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest, C. Stein. Introduction to Algorithms (3rd ed.). MIT Press and McGraw-Hill, 2009.
14. ed.). MIT Press and McGraw-Hill, 2009.
15. <https://cmake.org/cmake/help/latest/index.html>

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

- Cursos presenciales
- Resolución de ejercicios
- Exámenes

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

- Desarrollo de proyectos
- Desarrollo de software
- Preparación de presentaciones
- Desarrollo de informes
- Lectura de publicaciones especializadas

#### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

- Prácticas y Tareas      40%
- Proyectos (10% el primero, 20% el final).
- Exámenes                      30%

#### MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Equipo de cómputo con herramientas y compiladores para C y C++.  
Presencial con TIC.  
Aula virtual.  
Asesorías y aula virtual.  
Bibliotecas digitales.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

### Fundamentos Físico-Matemáticos

48 hrs con docente, en 32 sesiones de 1:30 hrs

96 hrs independientes

9 créditos

**SEMESTRE 1**

CICLO ESCOLAR

**R24FFM1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

El alumno entenderá las herramientas y fundamentos físicos y matemáticos, que proporcionarán y reforzarán las bases para realizar investigación original en robótica. El curso abordará principios matemáticos de temas como álgebra lineal, topología y espacios métricos, grafos y búsquedas, probabilidad y estadística, y optimización. Dada la multidisciplinariedad de la robótica, los temas a desarrollarse en este curso no serán abordados de manera exhaustiva, sino como un primer acercamiento a los mismos buscando su asociación con el estado del arte de la robótica.

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. **Definiciones de conjunto** (2 sesiones)
  - A. Notación y conceptos básicos
- II. **Álgebra lineal** (6 sesiones)
  - A. Conceptos básicos (producto cruz, producto punto, determinante, transpuesta, rango, normasetc.)
  - B. Solución de sistemas lineales, independencia, inversa y pseudoinversa
  - C. normas
  - D. Descomposiciones y formas canónicas (valores y vectores propios, valores singulares SVD)
- III. **Topología y espacios métricos** (5 sesiones)
  - A. Conceptos topológicos básicos
  - B. Espacios topológicos
  - C. Homeomorfismo
  - D. Variedades
  - E. Producto cartesiano

- F. Caminos y conectividad
- G. Jacobianos y Gradientes
- IV. Teorema de la función implícita** (1 sesión)
- V. Grafos y búsquedas** (5 sesiones)
  - A. conceptos básicos
  - B. tipos de grafos
  - C. recorridos
  - D. greedy-Search y Dijkstra
  - E. A \*
  - F. D \*
  - G. Completitud, Eficiencia, y Optimalidad
- VI. Probabilidad y estadística** (7 sesiones)
  - A. Conceptos básicos
  - B. Funciones de densidad (Gauss, uniforme, exponencial, etc.)
  - C. Momentos (esperanza, media, covarianza, etc)
  - D. Ley de Bayes
- VII. Optimización** (6 sesiones)
  - A. Conceptos básicos
  - B. Optimización en dimensiones finitas, con y sin restricciones
  - C. Optimización dimensional-infinita
  - D. Espacios de funciones, normas y mínimos locales
  - E. Primera variación y condiciones de primer orden
  - F. Segunda variación y condiciones de segundo orden
  - G. Máximo global y problemas convexos

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Stanley I. Grossman, "Algebra Lineal", McGraw Hill Higher Education. Séptima edición. 2012.
2. Howie Choset, Kevin Lynch, Seth Hutchinson, George Kantor, Wolfram Burgard, Lydia Kavraki and Sebastian Thrun, Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations, 2005
3. Charles M. Grinstead, J. Laurie Snell. Introduction to Probability, <https://math.dartmouth.edu/~prob/prob/prob.pdf>
4. Rafael Kelly, Víctor Santibáñez, "Control de movimiento de robots manipuladores", Pearson Educación, 2003.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

Clases con el profesor.  
Ejercicios.  
Exámenes.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

Tareas.  
Lecturas de artículos y capítulos de libros.

Implementación de simulaciones.  
Investigación de temas específicos.  
Presentaciones orales.

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Ejercicios	30%
Tareas	30%
2 Exámenes	40%

## MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Presencial con TIC.  
Aula virtual.  
Asesorías y aula virtual.  
Bibliotecas digitales.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

### Técnicas Analíticas en Robótica

**SEMESTRE 1**

CICLO ESCOLAR

**R24ROB1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

Esta materia profundiza el tema de planificación de movimientos en robótica, describiendo las principales herramientas matemático-computacionales necesarias para abordar la planificación de caminos óptimos, la planificación con restricciones de sensado, la búsqueda de objetos o el problema de persecución-evasión.

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. Introducción**
- II. Teoría de Sistemas y Técnicas Analíticas**
  - A. Ecuación de transición de estados (Car-like robot y DDR)
  - B. Controlabilidad
  - C. Observabilidad
  - D. Estabilidad
  - E. Campos Vectoriales
  - F. Los corchetes de Lie
  - G. Integrabilidad
  - H. Controlabilidad en pequeño tiempo (STLC)
  - I. Noholonómica
  - J. Un planificador de movimientos para robots noholonómicos
- III. Filtrado**
  - A. Filtros combinatorios.
  - B. Filtro Bayesiano.
  - C. Observador Simple
  - D. Filtro de Kalman
- IV. Control óptimo**
  - A. Programación dinámica
  - B. Programación dinámica en estados con información imperfecta
  - C. Principio del máximo de Pontryagin
  - D. Ejemplo de persecución/evasión
- V. Juegos y persecución-evasión**

- A. Recompensa
- B. Valor del juego
- C. Estrategias
- D. Métodos Montecarlo
- E. Restricciones cinemáticas
- F. La síntesis

## BIBLIOGRAFÍA

1. J.P. Laumond, *Robot Motion Planning and Control*, Springer Verlag, 1998 (available freely at <http://www.laas.fr/~jpl>)
2. *Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations*. H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. E. Kavraki and S. Thrun, MIT Press, Boston, 2005
3. S. M. LaValle, *Planning Algorithms*, Cambridge University Press, 2006, (available freely at <http://msl.cs.uiuc.edu/planning/>).
4. D.P. Bertsekas, *Dynamic Programming and Optimal Control*. Vol I y II, Athena Scientific, second edition.

## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

Cursos presenciales  
Resolución de problemas  
Implementación de simulaciones  
Desarrollo de proyectos  
Lectura de publicaciones especializadas  
Preparación de presentaciones

## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

Lecturas de artículos  
Implementación de simulaciones.  
Proyecto final integrador.  
Investigación de temas específicos.  
Presentaciones orales.

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

1 examen final 45%  
Proyecto Final 40%  
Tareas 15 %



## MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Presencial con TIC.  
Asesorías y aula virtual.  
Bibliotecas digitales.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

### **Modelado y Control de Sistemas Robóticos**

48 hrs con docente, en 32 sesiones de 1:30 hrs

96 hrs independientes

9 créditos

**SEMESTRE 1**

CICLO ESCOLAR

**R24MCR1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

El alumno comprenderá los fundamentos de la teoría de control moderna aplicada a sistemas robóticos, desde los modelos matemáticos en representación de espacio de estados, pasando por el control de sistemas lineales y no lineales, y será capaz de aplicarla a los sistemas robóticos más comunes como son robots móviles terrestres, drones y brazos manipuladores. El alumno pondrá en práctica lo aprendido a través de simulaciones numéricas y un proyecto final.

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. Introducción** (2 sesiones)
  - A. Repaso de Álgebra Lineal.
  - B. Representación de modelos en Espacio de Estados.
  - C. Respuesta temporal del sistema: Transitoria y Estado Estacionario.
- II. Modelado Matemático** (8 sesiones)
  - A. Conceptos básicos
  - B. Newton-Euler
  - C. Euler-Lagrange
  - D. Ejemplos de sistemas robóticos (monociclo, vehículos no-holónomos, drones multirrotores, brazo manipulador)
  - E. Simulación en Matlab/Simulink
  - F. Práctica
- III. Control de sistemas lineales** (5 sesiones)
  - A. Estabilidad.
  - B. Controlabilidad, observabilidad, detectabilidad, estabilizabilidad.
  - C. Control por retroalimentación de estado.

- D. Control PID.
- E. Observador de Luenberger.
- F. Práctica.

**IV. Control de Sistemas no Lineales** (8 sesiones)

- A. Conceptos de equilibrio.
- B. Conceptos de estabilidad.
- C. Linearización y estabilidad local.
- D. *Gain Scheduling*.
- E. Método de Lyapunov.
- F. Principio de invariancia de LaSalle.
- G. Controlabilidad y Observabilidad no lineal.
- H. Linealización por retroalimentación de estado.
- I. Observadores.
- J. Prácticas.

**V. Temas misceláneos** (3 sesiones)

- A. Puede abarcar, pero no estar limitado a alguno de los siguientes temas (robusto | adaptable | *backstepping* | modos deslizantes).
- B. Prácticas.

**VI. Control de Sistemas Robóticos** (6 sesiones)

- A. Control cinemático de vehículos no-holónomos.
- B. Control dinámico del brazo manipulador.
- C. Control de Drones multirrotores.
- D. Proyecto final.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Stanley I. Grossman, "*Algebra Lineal*", McGraw Hill Higher Education. Séptima edición. 2012.
2. Herbert Goldstein, Charles P. Poole, John L. Safko, "Classical Mechanics". Addison Wesley, 3a edición, 2002.
3. Benjamin C. Kuo, "Sistemas de Control Automático". Prentice Hall Hispanoamericana, 1996.
4. Katsuhiko Ogata, "Modern Control Engineering", 5a edición, Prentice Hall, 2010.
5. Hassan K. Khalil, "Nonlinear Systems", 3a edición, Pearson, 2002.
6. Jean-Jaques E. Slotine, Weiping Li, "Applied Nonlinear Control", Prentice Hall, 1991.
7. Rafael Kelly, Víctor Santibáñez, "Control de movimiento de robots manipuladores", Pearson Educación, 2003.

**ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE  
BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO**

Clases con el profesor.  
Exposiciones.  
Resolución de problemas.  
Exámenes

## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

Tareas.  
Lecturas de artículos y capítulos de libros.  
Implementación de simulaciones.  
Proyecto final integrador.  
Investigación de temas específicos.  
Presentaciones orales.

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Prácticas y tareas	30%
2 Exámenes	40%
Proyecto final	30%

## MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Presencial con TIC.  
Aula virtual.  
Asesorías y aula virtual.  
Bibliotecas digitales.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

### Taller de Robótica y Realidad Virtual

48 hrs con docente, en 32 sesiones de 1:30 hrs

96 hrs independientes

9 créditos

**SEMESTRE 1**

CICLO ESCOLAR

**R24TAL1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

El objetivo del taller es introducir al estudiante a los conceptos, lenguajes de programación y herramientas para trabajar con robots completos y sus componentes, tanto reales como en un entorno simulado. Aprenderá a utilizar los sensores y actuadores más comunes en robots móviles modernos (drones, autos inteligentes a escala) e integrarlos en un entorno de simulación utilizando el marco de trabajo ROS (Robot Operating System framework). Conocerá el simulador de Gazebo utilizado para simular el robot y las bibliotecas de visión artificial, como OpenCV, OpenNI y PCL, para procesar los datos de imágenes 2D y 3D. Además de los motores de realidad virtual como Unity y Unreal Engine para crear entornos inmersivos e interfaces para interactuar con los robots. Durante el taller el estudiante desarrollará y aplicará sus conocimientos por medio de proyectos en los que llevará a la práctica el uso de las herramientas.

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. **Introducción a Python** (2 sesiones)
- II. **Introducción a ROS (Robot Operating System)** (1 sesión )
  - A. Introducción a ROS
  - B. Instalación de ROS en Ubuntu
  - C. Introducción a Catkin
  - D. Introducción a Gazebo
- III. **Arquitectura de ROS** (3 sesión)

- A. Sistema de archivos ROS: *Packages, Stacks, Messages, Services*.
- B. *ROS Computation Graph level: Nodes, Topics, Services, Messages, Bags, Master, Parameter Server*.
- C. visualización de datos en tiempo real (rviz, rqt, etc.)
- D. ROS en la nube
- E. Práctica (publicador-suscriptor)

**IV. Uso de sensores y actuadores con ROS (5 sesiones)**

- A. Programación embebida (arduino | raspberry | odroid | beagleboard | ardupilot | NUC)
- B. Uso de joystick, gamepad, volante-pedal
- C. Uso de la IMU
- D. Actuadores
- E. Sensores biométricos
- F. Prácticas ( IMU, motores, joystick, lidar, eyetracker, egg, etc.)

**V. Modelado y simulación (1 sesión)**

- A. Simulación en ROS: modelos URDF 3D en Gazebo, añadir sensores a Gazebo, Carga y uso de mapas en Gazebo, mover el robot en Gazebo
- B. Práctica

**VI. Visión por computadora con ROS (4 sesiones)**

- A. Lista de bibliotecas de imágenes y sensores de visión robóticos
- B. Introducción a OpenCV, OpenNI y PCL
- C. Programando Kinect con Python usando ROS, OpenCV y OpenNI
- D. Trabajar con nubes de puntos usando Kinect, ROS, OpenNI y PCL
- E. Conversión de datos de nubes de puntos a datos de escaneo láser
- F. Trabajar con SLAM usando ROS y Kinect
- G. Prácticas (ORB-SLAM3, detección visual de líneas, detección de objetos, RANSAC con lidar)

**VII. Realidad Virtual (8 sesiones)**

- A. Blender
- B. Unity 3D
- C. Unreal Engine
- D. Práctica

**VIII. Plataformas experimentales (8 sesiones)**

- A. Autominy (carros autónomos)
- B. Drones
- C. Interfaz Unity3D con ROS: conectar ROS con unity, simular un robot en unity.
- D. AirSim con Unreal Engine: Simulación de drones, vehículos, sensores y cámaras.
- E. Prácticas (seguimiento de carril con autominy, vuelo manual del dron, simular un robot móvil con RV)
- F. Proyecto Final

## BIBLIOGRAFÍA

1. Jason M. O'Kane, A Gentle Introduction to ROS, Independently published, disponible en <http://www.cse.sc.edu/~jokane/agitr/>
2. Joseph, L. (2015). learning Robotics using python. Packt Publishing Ltd.
3. Martinez, A., & Fernández, E. (2013). Learning ROS for robotics programming. Packt Publishing Ltd.
4. Joseph, L., & Cacace, J. (2018). Mastering ROS for Robotics Programming: Design, build, and simulate complex robots using the Robot Operating System. Packt Publishing Ltd.
5. LaValle, Steven (2017). Virtual Reality. Cambridge: Cambridge University Press. Available online at <http://vr.cs.uiuc.edu/>

## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

Clases con el profesor.  
Prácticas.

## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

Tareas.  
Lecturas de artículos y capítulos de libros.  
Implementación de simulaciones.  
Experimentos en plataformas reales.  
Investigación de temas específicos.  
Proyecto final integrador.

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Prácticas y tareas	60%
Proyecto final	40%

## MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Presencial con TIC.  
Aula virtual.  
Asesorías y aula virtual.  
Bibliotecas digitales.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

### Interacción Humano-Robot I

**SEMESTRE 1, Optativa**

CICLO ESCOLAR

**R24IHR1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

Al finalizar esta asignatura el alumno será capaz de describir los conceptos básicos de Interacción Humano-Robot (IHR), deducir los factores humanos involucrados en un sistema humano-robot, interpretar información obtenida de biosensores, y experimentar casos prácticos de IHR.

## CONTENIDO TEMÁTICO

### I. Introducción

- A. ¿Que es la Interacción Humano-Robot?
- B. IHR como un esfuerzo interdisciplinario
- C. La evolución de IHR
- D. Cómo funciona un robot (sensores y actuadores)

### II. El factor humano

- A. Factores humanos
- B. Respondedores (labios, voz, ojos)
- C. El cerebro
- D. El lenguaje
- E. El rendimiento humano
- F. Cognición humana

### III. Elementos de interacción

- A. Controles duros y suaves
- B. Relaciones espaciales
- C. Percepción de propiedad y orden del control
- D. Relaciones neutrales y aprendidas



- E. Modelos mentales y metáforas
- F. Modos de funcionalidad
- G. Contexto Móvil
- H. Errores de interacción
- I. Interfaces naturales de usuario

#### **IV. Sensores**

- A. Introducción a sensores de video y profundidad
- B. Radar y Lidar, audio
- C. Rastreador ocular
- D. Táctiles
- E. Actividad galvánica de la piel
- F. Sensor fotopleletismografía
- G. Señales de voz
- H. Fusión de señales

PRÁCTICA I

#### **V. Tratamiento de señales biométricas.**

- A. Básicos de procesamiento de señal digital
- B. Básicos de aprendizaje máquina aplicado a señales
- C. Casos de estudio:
  1. Interfaz cerebro-computadora con sistemas interactivos
  2. Clasificación de la carga cognitiva del conductor basada en datos fisiológicos
  3. Otros estudios aplicativos

PRÁCTICA II

#### **VI. Casos de Interacción Humano-Robot**

- A. Telepresencia
- B. Robots colaborativos (cobots)
- C. Robots sociales
- D. Otros casos aplicativos

PRÁCTICA III

#### **VII. Proyecto final**

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE  
BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

Clases presenciales y prácticas tecnológicas en clase.

## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

Lecturas para realizar presentaciones, prácticas tecnológicas independientes, proyecto final con integración de temas principales vistos en el temario.

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Prácticas un 60% y proyecto final 40%.

## MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Para el proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura, se utilizarán espacios de laboratorio, aulas presenciales y en línea, además de diversos recursos bibliográficos y digitales, y tecnologías para completar las prácticas como son robots sociales, rastreadores oculares, electroencefalogramas, entre otros sensores y robots.

## BIBLIOGRAFÍA

- Eslambolchilar, P., Komninos, A., & Dunlop, M. (2021). Intelligent Computing for Interactive System Design: Statistics, Digital Signal Processing, and Machine Learning in Practice.
- Bartneck, C., Belpaeme, T., Eyssel, F., Kanda, T., Keijsers, M., & Šabanović, S. (2020). Human-robot interaction: An introduction. Cambridge University Press.
- Steinfeld, A., Fong, T., Kaber, D., Lewis, M., Scholtz, J., Schultz, A., & Goodrich, M. (2006, March). Common metrics for human-robot interaction. In Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on Human-robot interaction (pp. 33-40).
- MacKenzie, I. S. (2013). Human-computer interaction: An empirical research perspective. Newnes, Elsevier.
- Hartson, R., & Pyla, P. S. (2012). The UX Book: Process and guidelines for ensuring a quality user experience. Elsevier.
- Courage, C., & Baxter, K. (2005). Understanding your users: A practical guide to user requirements methods, tools, and techniques. Gulf Professional Publishing.
- Rae, I., Mutlu, B., & Takayama, L. (2014, April). Bodies in motion: mobility, presence, and task awareness in telepresence. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 2153-2162).

- Chen, T. L., Ciocarlie, M., Cousins, S., Grice, P. M., Hawkins, K., Hsiao, K., ... & Nguyen, H. (2013). Robots for humanity: using assistive robotics to empower people with disabilities. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 20(1), 30-39.
- Chernova, S., & Thomaz, A. L. (2014). Robot learning from human teachers. *Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning*, 8(3), 1-121. (Chapter 7).
- Tsiourti, C., Weiss, A., Wac, K., & Vincze, M. (2019). Multimodal integration of emotional signals from voice, body, and context: effects of (in) congruence on emotion recognition and attitudes towards robots. *International Journal of Social Robotics*, 11(4), 555-573.
- Kobori, T., Nakamura, T., Nakano, M., Nagai, T., Iwahashi, N., Funakoshi, K., & Kaneko, M. (2016). Robust comprehension of natural language instructions by a domestic service robot. *Advanced Robotics*, 30(24), 1530-1543.
- Fast-Berglund, Å., Palmkvist, F., Nyqvist, P., Ekered, S., & Åkerman, M. (2016). Evaluating cobots for final assembly. *Procedia CIRP*, 44, 175-180.
- Suresh, A., & Martínez, S. (2020). Human-swarm Interactions for Formation Control Using Interpreters. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 1-14.
- Exposito, M., Hernandez, J., & Picard, R. W. (2018, September). Affective keys: towards unobtrusive stress sensing of smartphone users. In *proceedings of the 20th international conference on human-computer interaction with Mobile devices and services adjunct* (pp. 139-145).
- Thomaz, Andrea, Guy Hoffman, and Maya Cakmak. "Computational human-robot interaction." *Foundations and Trends in Robotics* 4.2-3 (2016): 105-223.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

**Estadística y Diseño Experimental**

**SEMESTRE 2, 3 Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R24EDE1**

**CLAVE DE LA ASIGNATURA**

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

Al finalizar este curso el estudiante será capaz de diseñar experimentos, de comprender y aplicar las herramientas de desarrollo de software (e.g. lenguaje R) y metodologías básicas de la estadística y la probabilidad.

En específico los estudiantes podrán: diseñar experimentos que involucren el factor humano, presentar resultados descriptivos en situaciones diversas según el comportamiento de los datos, programar ecuaciones para análisis de conjuntos de datos, realizar validaciones de hipótesis con pruebas paramétricas y no paramétricas según sea el caso, realizar distintos tipos de análisis de correlaciones, realizar representaciones gráficas de resultados, y particionar datos en grupos.

## CONTENIDO TEMÁTICO

### **I. Estrategias de investigación**

- A. Experimentos
- B. Cuasi-experimentos
- C. Encuestas
- D. Casos de estudio
- E. Observación

### **II. Método científico**

- A. Identificar problema
- B. Formular hipótesis
- C. Conducción de un estudio piloto
- D. Método
- E. Participantes

- F. Procedimiento
- G. Resultados
- H. Discusiones
- III. Estadística descriptiva básica**
- IV. Programación de ecuaciones para conjuntos de datos**
  - A. Programación de ecuaciones
  - B. Almacenamiento, recuperación y cambios de valores de datos
- V. Pruebas de hipótesis**
  - A. Pruebas paramétricas
  - B. Pruebas no paramétricas
- VI. Exploración y representación visual de datos**
  - A. Estructuras de datos para graficar
  - B. Gráficos de barras, líneas y dispersión
  - C. Distribuciones de datos con histogramas, curvas de densidad, cajas, y otros
  - D. Interpretación de gráficos
- VII. Análisis estadístico**
  - A. Análisis de correlaciones
  - B. Análisis de grupos de datos
  - C. Análisis de series de tiempo

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

Clases presenciales donde se considera la asistencia y ejercicios.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

Lecturas, preparación de presentaciones y proyecto final con integración de temas principales vistos en el temario.

#### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Asistencia 5%, Presentaciones 25%, Ejercicios 30%, Proyecto final 40%.

## MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Para el proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura, se utilizarán espacios de tipo aula, software para programación con el lenguaje estadístico R, y en caso necesario plataforma para programación en el lenguaje Python.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Golemund, G. (2014). Hands-on programming with r: write your own functions and simulations. " O'Reilly Media, Inc." .
2. Robert, I. (2016). Kabacoff R in Action: Data Analysis and Graphics with R.
3. Chang, W. (2018). R graphics cookbook: practical recipes for visualizing data. O'Reilly Media.
4. Kirk, R. E. (2013). Experimental design: Procedures for the behavioral sciences. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc. doi: 10.4135/9781483384733
5. Verduyssen, M., & Hendrick, H. W. (2011). Behavioral research and analysis: an introduction to statistics within the context of experimental design. CRC Press.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

**Realidad Virtual y Aumentada 1**

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

CICLO ESCOLAR

**R24RVA1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

El objetivo de la asignatura optativa es que el estudiante comprenda los principios básicos de la realidad virtual y aumentada, para lograr esto, el estudiante analizará las distintas formas de percepción e interacción con varias formas de realidad, conocerá las causas de la enfermedad de la realidad virtual, los mecanismos para la creación de contenido útil y como diseñar aplicaciones de realidad virtual y aumentada efectivas. El estudiante tendrá la capacidad de diseñar soluciones que puedan aplicarse en el campo de la robótica, tales como diseño de sistemas de telepresencia, simulación de entornos virtuales para robots, etc.

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. Introducción a la Realidad Virtual (1 sesión)**
  - A. Experiencias modernas de la realidad virtual
- II. Vista de ave (2 sesiones)**
  - A. Hardware y software
  - B. Fisiología de la percepción humana
- III. Geometría de los mundos virtuales (2 sesiones)**
  - A. Modelos geométricos
  - B. Cambio de posición y orientación
  - C. Representaciones eje-ángulo de rotación.
- IV. Luz y óptica (3 sesiones)**
  - A. Comportamiento de la luz
  - B. lentes
  - C. Aberraciones ópticas
  - D. El ojo humano
  - E. cámaras y pantallas
- V. Fisiología de la visión Humana (2 sesiones)**
  - A. Movimientos oculares
  - B. Implicaciones para la realidad virtual

- VI. Percepción visual** (1 sesiones)
  - A. profundidad, movimiento, color
- VII. Representación visual** (3 sesiones)
  - A. Modelos de sombreado y trazado de rayos (shaders and ray tracing)
  - B. Rasterización
  - C. Corrección de distorsiones ópticas
  - D. Mejora de latencia y tasa de fotogramas
  - E. Foto y video envolvente
- VIII. Movimiento en mundos reales y virtuales** (2 sesiones)
  - A. Velocidades y aceleraciones
  - B. El sistema vestibular
  - C. Física en el mundo virtual
  - D. Movimiento y vección no coincidentes
- IX. Seguimiento** (3 sesiones)
  - A. Seguimiento de la orientación 2D
  - B. Seguimiento de la orientación 3D
  - C. Seguimiento de posición y orientación
  - D. Seguimiento de cuerpos adjuntos
  - E. Escaneo 3D de entornos
- X. Interacción** (3 sesiones)
  - A. Programas de motor y reasignación
  - B. Locomoción
  - C. Manipulación
  - D. Interacción social
  - E. Mecanismos de interacción adicionales
- XI. Audio** (2 sesiones)
  - A. La física del sonido
  - B. La fisiología de la audición humana
  - C. Percepción auditiva
  - D. Representación auditiva
- XII. Evaluación de sistemas y experiencias de realidad virtual** (2 sesiones)
  - A. Entrenamiento perceptual
  - B. Recomendaciones para desarrolladores
  - C. Confort y enfermedad por RV
  - D. Experimentos en seres humanos
- XIII. Fronteras** (2 sesiones)
  - A. Tacto y propiocepción
  - B. Olor y gusto
  - C. Interfaces robóticas
  - D. Interfaces cerebro-máquina
- XIV. Realidad aumentada** (4 sesiones)
  - A. Introducción
  - B. Taxonomía de realidad aumentada
  - C. tecnologías y características del entorno aumentado
  - D. Técnicas de visualización para la realidad aumentada
  - E. Aplicaciones de realidad aumentada basadas en códigos QR
  - F. Técnicas de navegación en realidad aumentada y mixta
- XV. Proyecto Integrador**



## BIBLIOGRAFÍA

1. Steven M. LaValle, *Virtual Reality*. Cambridge University Press, <http://lavalle.pl/vr/>
2. Jerald, Jason. *The VR book: Human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool, 2015.
3. Furht, Borko, ed. *Handbook of augmented reality*. Springer Science & Business Media, 2011.
4. Schmalstieg, Dieter, and Tobias Hollerer. *Augmented reality: principles and practice*. Addison-Wesley Professional, 2016.
5. Hale, K. S., & Stanney, K. M. *Handbook of virtual environments: Design, implementation, and applications*. CRC Press, 2014.

## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

- Cursos presenciales
- Prácticas
- Exámenes

## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

- Tareas
- Proyecto final
- Exámenes

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

- |                      |     |
|----------------------|-----|
| - Prácticas y Tareas | 40% |
| - Proyecto Final     | 30% |
| - Exámenes           | 30% |

## MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Equipo de realidad virtual que consta de visores de realidad virtual e interfaces para interacción en ambiente virtuales.

Presencial con TIC.

Aula virtual.

Asesorías y aula virtual.

Bibliotecas digitales.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

### Control de sistemas de múltiples agentes

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

CICLO ESCOLAR

**R24SMA1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

El alumno conocerá los fundamentos del control de sistemas de múltiples agentes (SMA) y el estado del arte en el tema desde un punto de vista de teoría de control, iniciando el estudio para agentes genéricos con modelos sencillos como integradores simples y hasta el estudio del caso de agentes representados como sistemas lineales de alto orden, para su posterior orientación a sistemas de múltiples robots, tanto con vehículos de ruedas como aéreos. Los conceptos estudiados se pondrán en práctica a través de implementaciones en simulación y de un proyecto final.

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. Introducción (1 sesión)**
  - A. Ejemplos de aplicación de SMA: consenso, formaciones, sincronización, asignación de recursos, mapeo cooperativo, etc.
  - B. Arquitecturas centralizadas vs descentralizadas.
- II. Preliminares matemáticos (2 sesiones)**
  - A. Definiciones básicas en Grafos.
  - B. Grafos dirigidos y no dirigidos.
  - C. Matriz de adyacencia.
  - D. Matriz Laplaciana.
  - E. Conectividad algebraica
- III. El problema de consenso sin líder en SMA (5 sesiones)**
  - A. Consenso de sistemas de primer orden.
    - Algoritmo fundamental.
    - Estabilidad.
    - Velocidad de convergencia.
  - B. Consenso de sistemas de segundo orden.
  - C. Consenso de sistemas de alto orden.
  - D. Consenso basado en observadores.

- E. Control de consenso con topología variante.
- IV. El problema de consenso líder-seguidor en SMA (2 sesiones)**
  - A. Consenso de sistemas de primer orden.
  - B. Consenso de sistemas de alto orden.
  - C. Consenso basado en observadores.
  - D. Control de consenso con topología variante.
- V. Control de formaciones basado en posición (2 sesiones)**
  - A. Control de formación control sin líder.
    - Formación basada en agentes virtuales.
    - Formación basada en desviaciones relativas.
  - B. Infactibilidad de una formación.
  - C. Control de formación líder-seguidor.
    - Seguimiento en consenso de referencias constantes.
    - Seguimiento en consenso de referencias variantes en el tiempo.
    - Seguimiento en consenso con entradas acotadas.
- VI. Control cooperativo de múltiples vehículos (5 sesiones)**
  - A. Formación de vehículos aéreos.
  - B. Formación de robots de manejo diferencial.
  - C. Navegación en formación.
    - Evasión de obstáculos.
    - Adaptación de la formación.
  - D. Control de formaciones manteniendo conectividad
- VII. Control de formaciones basado en distancias o ángulos (bearings) (4 sesiones)**
  - A. Control de formación por distancias.
  - B. Control de formación por ángulos.
    - Definición de rigidez.
    - Matriz de rigidez.
    - Control basado en rigidez.
  - C. Control basado en realimentación visual
- VIII. Control de SMA con restricciones de comunicación (3 sesiones)**
  - A. Consenso con retardos de tiempo en la comunicación.
  - B. Control desencadenado por eventos (event-triggered control)
- IX. Control de SMA con restricciones de tiempo (5 sesiones)**
  - A. Control en tiempo finito.
  - B. Control en tiempo fijo.
  - C. Control en tiempo pre-escrito
- X. Temas misceláneos (3 sesiones)**

Sincronización, cobertura, vigilancia, búsqueda, manipulación colectiva, control con múltiples líderes, control de sistemas heterogéneos, control de contención, consenso de sistemas no lineales, consenso con control predictivo basado en modelo, exploración de entornos y localización, SLAM distribuido, persecución-evasión con múltiples agentes, redes de sensores.

## BIBLIOGRAFÍA

1. C. Godsil and G. Royle, Algebraic Graph Theory, Springer, 2001.

2. W. Ren and R. W. Beard, Distributed Consensus in Multi-vehicle Cooperative Control, Communications and Control Engineering Series, Springer-Verlag, London, 2008.
3. F. Bullo, J. Cortes, and S. Martinez, Distributed Control of Robotic Networks, Princeton, 2009.
4. M. Mesbahi and M. Egerstedt, Graph Theoretic Methods in Multi-Agent Networks, Princeton University Press, 2010.
5. W. Yu, G. Wen, G. Chen and J. Cao, Distributed cooperative control of multi-agent systems, John Wiley & Sons, Inc., Singapore, 2016.
6. Z. Zuo, Q.-L. Han and B. Ning, Fixed-Time Cooperative Control of Multi-Agent Systems, Springer International Publishing, 2019.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

Clases por parte del profesor.  
Exposiciones.  
Trabajos prácticos.  
Resolución de problemas.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

Lecturas de artículos y capítulos de libros.  
Tareas  
Implementación de simulaciones.  
Proyecto final integrador.  
Investigación de temas específicos.  
Presentaciones orales.

#### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Tareas	30%
Exámenes	30%
Investigaciones y exposiciones	10%
Proyecto final	30%

#### MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Presencial con TIC.  
Aula virtual.  
Asesorías y aula virtual.  
Bibliotecas digitales.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

**Ingeniería de Software en Robótica e IHR**

**SEMESTRE 2, 3 Optativa**

CICLO ESCOLAR

**R24ISR1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

La forma estructurada del desarrollo de software puede afectar de manera positiva el éxito de desarrollo de soluciones de software para Robótica y HRI, por lo que se resalta la necesidad de proveer una manera sistemática de ejecutar las actividades de análisis, diseño, construcción, integración y evaluación de productos de software nuevos o modificados de acuerdo a la especificación de los requisitos, y que pueda ser implementado siguiendo diferentes enfoques de desarrollo de software.

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. Introducción (2 sesiones)**
  - A. Introducción a la Ingeniería de Software
  - B. Tendencias en ingeniería para el dominio de software para robots
- II. Definición de sistema e inicio de la realización. (2 sesiones)**
  - A. Definición del modelo de datos del proyecto.
  - B. Establecimiento o actualización del entorno de implementación.
  - C. Entornos de desarrollo de software para robots.
- III. Ingeniería de Requisitos del sistema. (6 sesiones)**
  - A. Elicitación de requisitos del sistema, otros *stakeholders* y analizar el contexto del sistema.
  - B. Validación de la especificación de requisitos de los *stakeholders*.
  - C. Elaboración de la especificación de requisitos e interfaces.
  - D. Elaboración de la especificación de requisitos de elementos del sistema y la especificación de las interfaces de elementos del sistema.
  - E. Verificación y obtención de acuerdos sobre el sistema y especificación de requisitos de elementos del sistema.
  - F. Validación de la especificación de requisitos del sistema
  - G. Definición o actualización de la trazabilidad entre los requisitos.

- H. Definición de los requisitos de software.
- I. Implicaciones para el desarrollo de software para robots.
- IV. Diseño arquitectural del sistema. (6 sesiones)**
  - A. Documentación o actualización del diseño del sistema funcional.
  - B. Compensación de la arquitectura de sistemas.
  - C. Documentación o actualización del diseño físico del sistema.
  - D. Verificación y obtención de aprobación del diseño del sistema.
  - E. Desarrollo o actualización del plan de integración y procedimientos de integración para la integración de sistemas.
  - F. Arquitecturas de software.
- V. Construcción del sistema (6 sesiones)**
  - A. Construcción de los elementos de software del sistema.
  - B. Construcción de elementos de hardware del sistema.
  - C. Verificación de los elementos del sistema cumplan con su especificación.
  - D. Corrección de errores.
  - E. Principios y retos para robots
- VI. Integración del sistema, verificación y validación. (4 sesiones)**
  - A. Proceso de verificación
  - B. Integración del sistema utilizando elementos del sistema.
  - C. Verificación del sistema frente a sus requisitos.
  - D. Validación del sistema frente a los requisitos de los *stakeholders*.
  - E. *Frameworks* de integración para robótica.
- VII. Entrega del producto (3 sesiones)**
  - A. Revisión de la configuración del producto a ser entregado.
  - B. Documentación de los manuales que acompañan al producto.
  - C. Identificación de las necesidades de formación.
- VIII. Nuevas tendencias (3 sesiones)**
  - A. Patrones de diseño para robótica.
  - B. Implicaciones para el desarrollo de software de robots
  - C. Robótica basada en componentes
  - D. Software reutilizable para robots
  - E. Arquitecturas de tele operación
  - F. Entornos virtuales colaborativos

## BIBLIOGRAFÍA

1. ISO/IEC ISO/IEC 29110-5-6-1 Systems and software engineering — Lifecycle profiles for Very Small Entities (VSEs) — Part 5-6-1: Systems engineering — Management and engineering guide: Generic profile group: Entry profile. Technical Report. (2015)
2. INCOSE. Deployment Packages for the Generic Profile Group for VSEs Developing Systems and/or Software (2013)
3. Software Engineering for Experimental Robotics. Springer Tracts in Advanced Robotics. (Davide Brugalli eds), Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 10.1007/978-3-540-68951-5
4. Software Engineering for Robotics and Automation. <https://www.ieee-ras.org/software-engineering-for-robotics-and-automation>
5. Wiese I., Polato I. And Pinto. Naming the Pain in Developing Scientific Software. IEEE Software. July/August 2020 37(4), pps. 75 82

6. The IA Efect. Working at the intersection of IA and SE. IEEE Software. July/August 2020
7. Thomas Zielke, Is Artificial Intelligence Ready for Standardization? 27th EuroSPI Conference, Düsseldorf, 11/09/2020.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

Exposiciones  
Trabajos prácticos  
Resolución de problemas  
Lluvias de ideas

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

Lecturas de artículos y capítulos de libros.  
Trabajo en equipo.  
Investigación de temas específicos.

#### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Trabajos	20%
Exposiciones	20%
Prácticas	20%
Proyecto de investigación final	40%

#### MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Presencial con TIC.  
Aula virtual.  
Asesorías y aula virtual.  
Bibliotecas digitales.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

### Robótica Aérea

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

CICLO ESCOLAR

**R24RAE1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

El alumno comprenderá los principios de funcionamiento y el estado del arte de los robots aéreos más comunes, combinando un enfoque teórico y práctico. El alumno será capaz de entender los modelos matemáticos y controladores más utilizados, así como los aspectos prácticos más relevantes en el diseño, desarrollo y aplicación de los mismos. El curso contempla simulaciones numéricas y experimentos en plataformas reales que ayudarán a entender mejor los conceptos estudiados, los cuales deberán ser puestos en práctica en un proyecto integrador al final del curso.

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. Introducción** (2 sesiones)
  - A. Repaso de representaciones de orientación (Ángulos de Euler,  $SO(3)$ , Cuaterniones).
  - B. Repaso de movimiento de cuerpo rígido.
- II. Modelo Matemático de Vehículos Aéreos** (6 sesiones)
  - A. Principios de funcionamiento.
  - B. Tipos de vehículos
  - C. Principios aerodinámicos.
  - D. Modelo de ala móvil.
  - E. Modelo de ala fija.
  - F. Práctica.
- III. Instrumentación** (6 sesiones)
  - A. Sensores.
  - B. Actuadores
  - C. Autopiloto y cómputo embebido
  - D. Estimación de la pose y fusión de datos
  - E. Prácticas



**IV. Control de Vehículos Aéreos (8 sesiones)**

- A. Modos de vuelo.
- B. Control de orientación.
- C. Control de posición.
- D. Seguimiento de trayectorias.
- E. Temas selectos de control de drones.
- F. Prácticas.

**V. Temas Avanzados de Robótica Aérea (5 sesiones)**

- A. Planificación de Movimiento, Despegue y Aterrizaje, Localización y Mapeo, Aerodinámica, Perturbaciones, HRI, Sistemas de Múltiples agentes, Manipuladores aéreos, Drones Reconfigurables, Drones Convertibles, Drones Híbridos Agua/Aire o Vuelo Acrobático, etc.

**VI. Aplicaciones (5 sesiones)**

- A. Cartografía, Agricultura de Precisión, Monitoreo ambiental, Cinematografía, Vigilancia, Inspección o Búsqueda y Rescate, etc.

**VII. Proyecto Final.**

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Bernard Etkin and Lloyd Duff Reid, *Dynamics of Flight: Stability and Control*, Wiley, 3er Edición, ISBN 0471034185, 9780471034186, 400 páginas, 1995.
2. Jan Roskam, *Airplane Flight Dynamics and Automatic Flight Control Systems: Rigid airplane flight dynamics (open loop). Rigid and elastic airplane flight dynamics and automatic flight controls*, Partes 1-2. Editor Roskam Aviation and Engineering Corporation, 1979
3. Pedro Castillo Garcia, Rogelio Lozano and Alejandro Enrique Dzul, *Modelling and Control of Mini-Flying Machines*. Advances in Industrial Control, Springer Science & Business Media, ISBN 1846281792, 9781846281792, 252 páginas, 2006.
4. Robert F. Stengel, *Flight Dynamics*, Princeton University Press, ISBN 1400866812, 9781400866816, 864 páginas, 2015.
5. <https://ardupilot.org/>
6. Stephan Weiss. *Vision Based Navigation for Micro Helicopters* PhD Thesis, disponible en <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:5889/eth-5889-02.pdf>, 2012.

**ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE  
BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO**

Clases por parte del profesor.  
Exposiciones.  
Trabajos prácticos.  
Resolución de problemas.  
Exámenes

**ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE  
INDEPENDIENTES**

Tareas.  
Lecturas de artículos y capítulos de libros.  
Implementación de simulaciones.

Proyecto final integrador.  
Investigación de temas específicos.  
Presentaciones orales.

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Prácticas y tareas	30%
Exámenes	30%
Investigaciones y exposiciones	10%
Proyecto final	30%

## MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Presencial con TIC.  
Aula virtual.  
Asesorías y aula virtual.  
Bibliotecas digitales.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

**Optimización**

**SEMESTRE 2,3 Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R24OPT1**

**CLAVE DE LA ASIGNATURA**

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

Este curso ofrece a los alumnos fundamentos sólidos de optimización sin restricciones, con un panorama completo de los diferentes algoritmos existentes para este tipo de problemas.

## CONTENIDO TEMÁTICO

### **I. Introducción**

- A. Formulación matemática
- B. Ejemplo: Un problema de transporte
- C. Tipos de problemas de optimización
- D. Algoritmos de optimización
- E. Convexidad

### **II. Fundamentos de optimización sin restricciones**

- A. ¿Qué es una solución?
- B. Algoritmos (una visión preliminar)
  - 1. Búsqueda en línea
  - 2. Métodos de región de confianza

### **III. Métodos de búsqueda en línea**

- A. Tamaño de paso
- B. Algoritmos para selección del tamaño de paso

### **IV. Métodos de región de confianza**

- A. Punto de Cauchy

- V. Métodos de gradiente conjugado**
  - A. Método de gradiente conjugado lineal
  - B. Gradiente conjugado no lineal
  - C. Gradiente bi-conjugado
  
- VI. Introducción al cálculo variacional**
  - A. Problema sin restricciones
  
- VII. Cálculo numérico de derivadas**
  - A. Aproximación por diferencias finitas
  
- VIII. Métodos de Newton prácticos**
  - A. Newton con pasos inexactos
  - B. Métodos de Newton con búsqueda en línea
  - C. Técnicas de región de confianza
  - D. Técnicas de modificación del Hessiano
  - E. Métodos de Newton de región de confianza
  
- IX. Métodos Quasi-Newton**
  - A. El método Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (BFGS)
  
- X. Mínimos cuadrados no lineales**
  - A. Método Gauss-Newton
  - B. Método Levenberg-Marquardt
  
- XI. Métodos de penalización para problemas no lineales con restricciones**
  - A. Penalización cuadrática
  
- XII. Algoritmos sin derivadas**
  - A. Descenso de simplejo (método de Nelder-Mead)
  - B. Recosido simulado
  - C. Algoritmos bio-inspirados

#### BIBLIOGRAFÍA

1. J. Nocedal and S. J. Wright. Numerical Optimization, Springer Series in Operation Research, 2000.
2. C. T. Kelley. Iterative Methods for Optimization, SIAM Frontiers in Applied Mathematics, no 18.
3. <http://www.siam.org/books/textbooks/download.php>
4. M. Rivera. Notas del Curso, en <http://www.cimat.mx/~mrivera/optimizacion.html>

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

- Cursos presenciales
- Exámenes

## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

- Tareas
- Resolución de ejercicios

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

- |                      |     |
|----------------------|-----|
| - Prácticas y Tareas | 30% |
| - Proyecto Final     | 10% |
| - Exámenes           | 60% |

## MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Presencial con TIC.  
Aula virtual.  
Asesorías y aula virtual.  
Bibliotecas digitales.  
Laboratorio de cómputo, herramientas y compiladores para programación de algoritmos y resolución de ejercicios.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

### Aprendizaje de Máquina 1

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

CICLO ESCOLAR

**R24APM1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

Introducir al estudiante a los conceptos teóricos de optimización, aprendizaje máquina y aprendizaje profundo, así como al desarrollo práctico de soluciones basadas en aprendizaje de máquina profundo, principalmente con el uso de redes neuronales profundas de convolución y recurrentes.

## CONTENIDO TEMÁTICO

### I. Introducción a Aprendizaje de Automático

#### A. Fundamentos de Optimización

1. Introducción a la optimización
2. Optimalidad en problemas sin restricciones
3. Optimalidad en Problemas con restricciones

#### B. Fundamentos de Aprendizaje Automático

1. Análisis de componentes principales (PCA)
2. Mínimos cuadrados
3. Regularización: Ridge (L2), Lasso (L1) y Elastic Net (L2+L1)]
4. Regresión Logística

### II. Introducción al Aprendizaje Profundo

#### A. Aprendizaje Profundo

1. Revisión a la regresión logística y el perceptrón
2. Redes multicapa
3. Backpropagation

#### B. Redes Profundas de Convolución (ConvNN)

1. Capas de convolución, Pooling, Dropout, Normalización por lotes,
2. Aumentación de datos
3. Redes pre-entrenadas para problemas con base de datos pequeñas
4. Variaciones en arquitecturas de NN

- C. Redes Profundas Recurrentes
    - 1. Incrustación de datos (Embedding)
    - 2. Redes recurrentes profundas (RNNs)
    - 3. Redes de memoria larga para términos cortos (LSTM)
    - 4. Problema del gradiente evanescente
  - D. Visualización de activación en redes convolucionales
    - 1. Mapas de saliencia
    - 2. Mapas de activación
- III. Arquitecturas Modernas para el Aprendizaje Profundo**
- A. Avances en ConvNN
    - 1. Redes Residuales
    - 2. Capas especiales: Concatenación, Convolución transpuesta, Lambda,
    - 3. Interpolación
  - B. Redes Modernas
    - 1. Autocodificador Variacional
    - 2. UNet para segmentación de imágenes
    - 3. Redes Generadoras Antagónicas (GANs)
    - 4. Redes Generadoras Antagónicas Convolucionales

## BIBLIOGRAFÍA

1. Trevor Hastie, Robert Tibshirani and Jerome Friedman, "The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction", Springer. 2 Ed. (2013).  
<https://web.stanford.edu/~hastie/Papers/ESLII.pdf>
2. Christopher Bishop, "Pattern Recognition and Machine Learning; Springer, (2016).  
<https://www.microsoft.com/en-us/research/people/cmbishop/prml-book/>
3. Ian Goodfellow, Yoshua Bengio and Aaron Courville, "Deep Learning", MIT Press. (2016).  
<http://www.deeplearningbook.org>
4. Francois Chollet, "Deep Learning with Python", Manning Pubs. Packt Publishing Ltd, (2018)
5. Mariano Rivera, "Tópicos de Aprendizaje Automático: Notas de Clase", disponible electrónicamente(2018).  
[http://personal.cimat.mx:8181/~mrivera/cursos/temas\\_aprendizaje.html](http://personal.cimat.mx:8181/~mrivera/cursos/temas_aprendizaje.html)

### Otro Material

- <https://www.continuum.io/downloads> <http://scikit-learn.org/stable/#>
- <https://keras.io>
- <http://www.sympy.org/en/index.html>
- <http://scikit-learn.org/stable/>

## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

- Clases con el profesor
- Ejercicios

- Exámenes

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

- Tareas
- Lectura de publicaciones especializadas

#### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

- |              |     |
|--------------|-----|
| - Tareas     | 50% |
| - 3 Exámenes | 50% |

#### MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

- Presencial con TIC
- Aula virtual
- Asesorías y aula virtual
- Bibliotecas digitales
- Laboratorio de supercómputo del Bajío <https://supercomputobajio.cimat.mx/>



## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

**Aprendizaje de Máquina 2**

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R24APM2**

**CLAVE DE LA ASIGNATURA**

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

Este curso explora temas avanzados de aprendizaje máquina. En particular está centrado en el Aprendizaje Profundo de Redes Neuronales Artificiales. Los temas selectos involucran problemas de visión computacional y procesamiento de lenguaje natural (PLN).

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. **PyTorch**
- II. **Visualización de Datos**
- III. **Arquitecturas avanzadas de redes convolucionales**
- IV. **Autocodificadores (Autoencoders)**
- V. **Redes Generadoras Antagónicas (GANs)**
- VI. **Incrustaciones Profundas (Deep Embeddings)**
- VII. **Modelos de Atención (Attention Models)**
- VIII. **Transformadores (Transformers)**
- IX. **Codificadores Bidireccionales de Transformadores (BERT)**
- X. **Compresión de Modelos**
- XI. **Transferencia de Conocimiento en PLN**
- XII. **Aplicaciones al análisis de Imágenes**
- XIII. **Aplicaciones de Visión por Computadora**
- XIV. **Aplicaciones de Inferencia y Entendimiento de Lenguaje**

## BIBLIOGRAFÍA

1. Eli Stevens, Luca Antiga, "Deep Learning with PyTorch".
2. Aurélien Géron, "Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems".

3. Ian Goodfellow, Yoshua Bengio and Aaron Courville, "Deep Learning", MIT Press. (2016). <http://www.deeplearningbook.org>
4. Mariano Rivera, "Tópicos de Aprendizaje Automático: Notas de Clase", disponible electrónicamente(2018).[http://personal.cimat.mx:8181/~mrivera/cursos/temas\\_aprendizaje.html](http://personal.cimat.mx:8181/~mrivera/cursos/temas_aprendizaje.html)

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

- Clases con el profesor
- Ejercicios
- Exámenes

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

- Tareas
- Lectura de publicaciones especializadas
- Proyecto final

#### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

- |              |     |
|--------------|-----|
| - Tareas     | 30% |
| - 3 Exámenes | 30% |
| - Proyecto   | 40% |

#### MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

- Presencial con TIC
- Aula virtual
- Asesorías y aula virtual
- Bibliotecas digitales
- Laboratorio de supercómputo del Bajío <https://supercomputobajio.cimat.mx/>

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

### Planificación de movimientos de robots

**SEMESTRE 2,3, Optativa**

CICLO ESCOLAR

**R24ROB1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

Introducir al estudiante en una de las componentes básicas que integran un robot, que es la componente de decisión (planificación de movimientos). Se estudian diferentes métodos de planificación de movimientos, desde esquemas clásicos hasta aquellos en el estado del arte. El tipo de preguntas que se tratan de resolver al abordar esta temática son: ¿Cómo debe moverse un robot en un espacio con obstáculos para evitar colisiones y alcanzar su meta?, ¿es posible retirar una pieza de un ensamble sin retirar otras?, ¿cuántas maniobras debe de realizar un automóvil para estacionarse en un lugar estrecho?, ¿pueden ser automatizados ciertos movimientos de los personajes de un juego de vídeo?, ¿cuál es la estrategia de movimiento para encontrar y seguir un blanco móvil?

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. **Introducción**
  - A. a. Diferentes aplicaciones
- II. **Navegación: Diferentes enfoques**
  - A. a. algoritmos insecto (bug algorithms)
- III. **El espacio de configuraciones:** Una formulación geométrica del problema de la mudanza del piano.
  - A. a. Conceptos topológicos básicos
  - B. b. Espacios topológicos
  - C. c. Variedades
  - D. d. Trayectorias en espacios topológicos
  - E. e. Presentación teórica de métodos completos de planificación de movimientos
  - F. f. El GNT
  - G. g. Aplicación a persecución-evasión
- IV. **Cinemática, representaciones geométricas y transformaciones**
  - A. a. Matrices de transformación homogénea

- B. b. Representación Denavit- Hartenberg
- C. c. Cadenas cinemáticas
- D. d. Jacobianos
- V. Planificación de movimientos basada en muestreo**
  - A. a. Mapas de caminos probabilísticos (PRM)
  - B. b. Caracterización de la dificultad de un espacio de configuraciones
  - C. c. Mapas de caminos probabilísticos basados en visibilidad
  - D. d. Árboles aleatorios de exploración rápida (RRT)
  - E. e. RRT\*
- VI. Detección de colisión**
  - A. a. Introducción
  - B. b. Diferentes métodos detección de colisión

## BIBLIOGRAFÍA

JC Latombe, Robot Motion Plannin, Kluwer Academic Press, 1991.

JP Laumond, Robot Motion Planning and Control. Springer Verlag, 1998 (available freely at <http://www.laas.fr/~jpl>).

H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. E. Kavraki and S. Thrun, "Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations", MIT Press, Boston, 2005

S. M. LaValle, "Planning Algorithms", Cambridge University Press, available freely at <http://msl.cs.uiuc.edu/planning/>, 2006.

Mark W. Spong, Seth Hutchinson, M. Vidyasagar, Robot Modeling and Control 1st Edition, John Wiley and Sons, Inc., 2005.

## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

Cursos presenciales  
Resolución de problemas  
Implementación de simulaciones  
Desarrollo de proyectos  
Lectura de publicaciones especializadas  
Presentaciones orales.

## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

Lecturas de artículos  
Implementación de simulaciones.  
Proyecto final integrador.  
Investigación de temas específicos.  
Preparación de presentaciones.

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

1 examen final 45%

Proyecto Final 40%

Tareas 15 %

## MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Presencial con TIC.

Aula virtual.

Asesorías y aula virtual.

Bibliotecas digitales.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

**Introducción a la teoría de control**

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

CICLO ESCOLAR

**R24CTR1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

El alumno será capaz de analizar, modelar, diseñar y evaluar sistemas de control continuo y discreto en lazo cerrado para sistemas lineales, los cuales satisfagan el desempeño deseado según las especificaciones requeridas por la aplicación.

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. Introducción al control de sistemas**
  - A. Importancia del control de sistemas.
  - B. Transformada de Laplace.
- II. Modelado de sistemas físicos**
  - A. Función de transferencia.
  - B. Algebra de bloques.
  - C. Espacio de estados.
- III. Análisis transitorio y de estado estable**
  - A. Análisis de respuesta transitoria y de estado estable de sistemas de primer orden.
  - B. Análisis de respuesta transitoria y de estado estable de sistemas de segundo orden.
  - C. Errores en estado estacionario.
- IV. Análisis de estabilidad**
  - A. Criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz.
  - B. Método del lugar geométrico de las raíces.
- V. Acciones básicas de control**
  - A. Control ON-OFF.
  - B. Control PID.
  - C. Métodos básicos de sintonización de controladores PID.
  - D. Diseño de compensadores

- VI. Diseño de compensadores**
  - A. Compensadores de adelanto.
  - B. Compensadores de atraso.
- VII. Representación de sistemas en el espacio de estados**
  - A. Representaciones canónicas de sistemas en espacio de estados.
  - B. Solución de la ecuación de estado.
  - C. Controlabilidad y observabilidad.
- VIII. Control por realimentación del estado**
  - A. Diseño de controladores por reubicación de polos.
  - B. Formula de Ackerman.
  - C. Diseño del observador de Luenberger.
  - D. Control con estimación del estado.
  - E. Control para seguimiento de trayectorias.
- IX. Control de sistemas en tiempo discreto**
  - A. Importancia del control en tiempo discreto.
  - B. Transformada Z y ecuaciones en diferencias.
  - C. Función de transferencia pulso.
  - D. Proceso de muestreo y retención.
  - E. Estabilidad de sistemas en tiempo discreto.
  - F. Diseño de controladores en tiempo discreto
- X. Introducción al control óptimo en retroalimentación**
  - A. Regulador Cuadrático Lineal (LQR)
  - B. Control predictivo basado en modelo (MPC)
- XI. Introducción al control de sistemas no lineales**
  - A. Linealización aproximada.
  - B. Linealización exacta.
  - C. Grado relativo.
  - D. Linealización de entrada-salida.

## BIBLIOGRAFÍA

1. K. Ogata. Modern Control Engineering, 4th Ed., Pearson, Prentice Hall, 2001.
2. K. Ogata. Discrete-time control systems, 2nd ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. , 1995.
3. R.C. Dorf. Modern Control Systems, 9th Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ , 2001.
4. G. Franklin, J.D. Powell and A. Emami-Naeini. Feedback Control of Dynamic Systems, 5th Edition, Pearson, Prentice Hall, 2006.
5. Jezierski, A., Mozaryn, J., Suski, D. (2017). A Comparison of LQR and MPC Control Algorithms of an Inverted Pendulum. In: Mitkowski, W., Kacprzyk, J., Oprędkiewicz, K., Skruch, P. (eds) Trends in Advanced Intelligent Control, Optimization and Automation. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 577. Springer, Cham.

Clases por parte del profesor.  
Exposiciones.  
Trabajos prácticos.  
Resolución de ejercicios.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

Tareas  
Implementación de simulaciones.  
Proyecto final integrador.  
Investigación de temas específicos.  
Presentaciones orales.

#### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Tareas	35%
Exámenes	40%
Proyecto final	25%

#### MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Presencial con TIC.  
Aula virtual.  
Asesorías y aula virtual.  
Bibliotecas digitales.



## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

**Control avanzado de sistemas robóticos**

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

CICLO ESCOLAR

**R24CTR2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

El alumno estudiará el estado del arte del control de robots, tanto robots móviles como robots manipuladores industriales, por medio de visión como único sensor para realimentación de información, con aplicaciones en posicionamiento y navegación.

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. Introducción al control de sistemas lineales de múltiples entradas**
  - A. Controlabilidad.
  - B. Realimentación del estado.
  - C. Seguimiento de trayectorias.
  - D. Estabilidad de Lyapunov.
- II. Introducción al control de sistemas no lineales**
  - A. Concepto de grado relativo.
  - B. Linealización de entrada-salida.
  - C. Control robusto
  - D. Control adaptativo
  - E. Backstepping
- III. Introducción al control visual de robots**
  - A. Clasificación de esquemas de control visual.
  - B. La función de tarea.
  - C. Matriz de interacción o Jacobiano de imagen.
- IV. Modelos de cámara**
  - A. Modelo de cámara perspectiva.
  - B. Modelo de cámara omnidireccional
- V. Visión para control de robots**
  - A. Búsqueda de correspondencias.
  - B. El modelo de homografía.

- C. La geometría epipolar.
  - D. El tensor trifocal.
  - E. Rastreo de puntos
- VI. Control visual basado en posición**
- A. Representación de rotaciones – fórmula de Rodríguez.
  - B. Estimación de postura con cámara monocular.
  - C. Esquema de control basado en posición.
  - D. Estabilidad del control basado en posición.
  - E. Esquema de control basado en posición binocular.
- VII. Control visual basado en imagen**
- A. Matriz de interacción para puntos de imagen.
  - B. Aproximación de la matriz de interacción.
  - C. Estabilidad del control basado en imagen.
  - D. Esquema de control basado en imagen binocular.
- VIII. Métodos de control visual avanzado**
- A. Control visual 2.5D.
  - B. Control particionado XY/Z.
  - C. Control visual híbrido.
  - D. Control basado en momentos de imagen.
  - E. Control basado en una restricción geométrica.
  - F. Control basado en optimización numérica.
- IX. Control visual basado en restricciones geométricas**
- A. Control basado en homografía.
  - B. Control basado en geometría epipolar.
  - C. Control basado en tensor trifocal.
- X. Control visual de robots móviles**
- A. Modelo matemático de robots no holónomos.
  - B. Control de robots no holónomos basado en Jacobiano de imagen.
  - C. Controles genéricos para robots no holónomos.
  - D. Navegación de robots móviles basada en visión.
  - E. Perspectivas del control visual de robots humanoides.
  - F. Control visual de vehículos aéreos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. P. Corke. Robotics, Vision & Control, Springer Tracts in Advanced Robotics, 2013.
2. P. Corke. Visual Control of Robots: High-Performance Visual Servoing, free e-book, 1996.
3. François Chaumette and Seth Hutchinson: Visual servo control. I. Basic approaches. IEEE Robotics Autom. Mag. 13(4): 82-90 (2006).
4. François Chaumette and Seth Hutchinson: Visual servo control. II. Advanced approaches. IEEE Robotics Autom. Mag. 14(1): 109-118 (2007).
5. Khalil, H. K., & Grizzle, J. W. (2002). Nonlinear systems (Vol. 3). Prentice Hall Upper Saddle River.
6. H. M. Becerra and C. Sagues, Visual Control of Wheeled Mobile Robots: Unifying vision and control in generic approaches, Springer Tracts in Advanced Robotics 103, B. Siciliano and O. Khatib (Eds.), Springer, 2014.

7. Christopher M. Kellett and Philipp Braun, Introduction to Nonlinear Control: Stability, Control Design, and Estimation, Princeton University Press, 2023.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

Clases por parte del profesor.  
Exposiciones.  
Trabajos prácticos.  
Resolución de ejercicios.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

Tareas.  
Implementación de simulaciones.  
Proyecto final integrador.  
Lecturas de artículos.  
Investigación de temas específicos.  
Presentaciones orales.

#### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Tareas	25%
Exámenes	40%
Exposiciones	10%
Proyecto final	25%

#### MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Presencial con TIC.  
Aula virtual.  
Asesorías y aula virtual.  
Bibliotecas digitales.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

**Visión por Computadora 1**

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R24VIS1**

**CLAVE DE LA ASIGNATURA**

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

Este curso pretende exponer los fundamentos matemático-computacionales de la visión computacional, desde las herramientas geométricas necesarias para modelar la formación de imágenes y permitir reconstrucción 3D, hasta los conceptos y técnicas de procesamiento de imágenes, de probabilidades y de optimización requeridos para plantear y resolver problemas de medio y alto nivel como detección/reconocimiento/seguimiento de objetos, la segmentación de imágenes, entre otros.

## CONTENIDO TEMÁTICO

### I. Introducción.

- A. Un panorama general de la visión por computadora.
- B. Repaso de elementos matemáticos útiles.
  - 1. Matrices; kernel; rango; eigenvalores y eigenvectores.
  - 2. SVD; QR; Cholesky.
  - 3. Coordenadas homogéneas y geometría proyectiva.
  - 4. Transformaciones euclidianas 2D y 3D.

### II. Geometría de la visión.

- A. Sensores visuales.
  - 1. La Camara Oscura.
  - 2. Lentes. Superficies fotosensibles.
  - 3. Visión humana.
- B. Geometría proyectiva.
  - 1. Introducción a la geometría proyectiva.
  - 2. Geometrías afines y euclidianas. Noción de estratificación.
- C. Modelos de cámaras.

1. Modelos proyectivos de cámaras.
2. Modelos afines de cámaras.
- D. Calibración de cámaras.
  1. Calibración a partir de correspondencias 2D-3D.
  2. Calibración a partir de escenas planas.
  3. Calibración en la práctica.
  4. Principios de auto-calibración.
- E. Geometría de dos vistas.
  1. Geometría de 2 vistas de escenas planas. Estimación de homografías.
  2. RANSAC.
  3. Geometría epipolar. Estimación de matrices fundamentales.
- F. Estructura a partir de movimiento.
  1. Principios de estructura a partir de movimiento.
  2. Ajuste de haces.

### **III. Procesamiento de imágenes**

- A. Representación de imágenes de color.
  1. Interpolación. Sub-muestreo.
  2. Espacios de color.
  3. Operadores diferenciales y de convolución.
  4. Representación de espacio de escala.
- B. El pipeline de procesamiento de las cámaras.
- C. Detección de características de bajo nivel.
  1. Operadores diferenciales.
  2. Detección de bordes.
  3. Detección de esquinas/blobs.
  4. Detección y caracterización de puntos característicos.
- D. Modelos variacionales para la restauración de imágenes.
  1. Modelos de degradación de imágenes.
  2. Restauración de imágenes como problema inverso.
  3. Formulaciones variacionales de problemas inversos.
  4. Ecuaciones de Euler-Lagrange.
  5. Métodos numéricos y aplicaciones.
- E. Priors de imágenes no-locales
  1. Promedios no-locales.
  2. Priors profundos de imágenes (DIP)
- F. Introducción a las redes neuronales convolucionales.
  1. Principios generales de redes neuronales.
  2. Redes neuronales convolucionales (CNNs) y aplicaciones.
  3. Arquitecturas comunes.
- G. Realce de imágenes.
  1. Métodos locales de procesamiento de contraste.
  2. Métodos globales de procesamiento de contraste.

### **IV. Análisis de imágenes**

- A. Análisis de Fourier.
  1. Una breve introducción al análisis armónico.

2. Analisis de Fourier 1D y sus aplicaciones.
3. Analisis de Fourier 2D y sus aplicaciones.
- B. Analisis de Fourier de tiempo reducido.
  1. Limites del analisis de Fourier.
  2. Transformación de Fourier de tiempo reducido.
  3. Filtros de Gabor y aplicaciones.
- C. Transformadas de Fourier discretas y análisis tiempo-frecuencia.
  1. Teorema de muestreo.
  2. Principio de incertidumbre.
- D. Análisis por ondículas.
  1. Análisis por ondículas 1D.
  2. Transformada continua de ondícula.
  3. Transformada discreta de ondícula.
  4. Análisis Multi-Resolución (MRA): MRA 1D, Ondícula rápida, Transformada de ondícula a partir de MRA. MRA 2D .

#### V. Tareas visuales de medio y alto nivel.

- A. Flujo óptico.
- B. Segmentación de imágenes.
- C. Aplicación a la detección de objetos.
- D. Rastreo visual.
  1. Rastreo visual como problema de filtrado Bayesiano recursivo.
  2. MOT y asociación de datos.
  3. Rastreo por detección. Estrategias SORT/DeepSort.
- E. SLAM visual.
  1. Planteamiento del problema y aplicaciones.
  2. Algunos sistemas VSLAM competitivos.
- F. Aplicaciones: Realidad aumentada.
  1. Realidad aumentada basada en marcadores.
  2. Realidad aumentada sin marcadores.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. D. Forsyth and J. Ponce, "Computer Vision", a Modern Approach. Prentice Hall, 2003.
2. R. Hartley and A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision", Cambridge University Press, 2003.
3. R. Szeliski, "Computer Vision: Algorithms and Applications", Springer, 2010.
4. J.E. Solem, "Programming Computer Vision with Python", O'Reilly, 2012.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

- Clases con el profesor
- Ejercicios
- Exámenes

## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

- Tareas
- Desarrollo de proyectos
- Lectura de publicaciones especializadas
- Preparación de presentaciones

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

- Tareas 50%.
- Exámenes 30%.
- Proyecto 20%.

## MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

- Presencial con TIC
- Aula virtual
- Asesorías y aula virtual
- Bibliotecas digitales

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

**Visión por Computadora 2**

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R24VIS2**

**CLAVE DE LA ASIGNATURA**

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

El curso Visión Computacional 2 explora temas avanzados de visión por computadora, tanto a bajo nivel (filtrado no-lineal, algoritmos avanzados de *inpainting*, de segmentación...), como a nivel intermedio (reconstrucción de escenas, *bundle adjustment*) o a alto nivel (reconocimiento de objetos, aprendizaje profundo).

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. Visión computacional bajo nivel**
  - A. Recordatorios de filtrado lineal
  - B. Filtrado no-lineal
  - C. Técnicas variacionales en visión por computadora
  - D. Aplicaciones: inpainting
  - E. Aplicaciones: segmentación
- II. Visión computacional de nivel intermedio**
  - A. Recordatorios de geometría de múltiples vistas
  - B. Estimación de la matriz fundamental
  - C. Auto-calibración
  - D. Estructura a partir de movimiento
  - E. Bundle adjustment
- III. Visión computacional alto nivel**
  - A. Técnicas de reconocimiento: Objetos específicos
  - B. Técnicas de reconocimiento: Bolsas de Palabras
  - C. Técnicas de reconocimiento: Algoritmos por partes
  - D. Técnicas de reconocimiento: Boosting
  - E. Introducción al Aprendizaje Profundo

## BIBLIOGRAFÍA

1. D. Forsyth and J. Ponce, "Computer Vision", a Modern Approach. Prentice Hall, 2003.



2. R. Hartley and A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision", Cambridge University Press, 2003.
3. R. Szeliski, "Computer Vision: Algorithms and Applications", Springer, 2010.
4. J.E. Solem, "Programming Computer Vision with Python", O'Reilly, 2012.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

- Clases con el profesor
- Ejercicios
- Exámenes

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

- Tareas
- Desarrollo de proyectos
- Lectura de publicaciones especializadas
- Preparación de presentaciones

#### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

- |                      |     |
|----------------------|-----|
| - Tareas             | 40% |
| - 2 Exámenes         | 30% |
| - Presentación Final | 30% |

#### MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

- Presencial con TIC
- Aula virtual
- Asesorías y aula virtual
- Bibliotecas digitales

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

**Robótica Probabilística**

**SEMESTRE 2, 3 Optativa**

CICLO ESCOLAR

**R24RPR1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

El objetivo de esta clase es formar a los alumnos al uso de técnicas de filtrado Bayesiano tal como se les conoce en robótica, y estudiar unos casos particulares en los cuales estas técnicas están particularmente adecuadas, como el de la localización de robots móviles o el de SLAM (Simultaneous Localization and Mapping).

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. Bases teóricas**
  - A. Sistemas lineales
  - B. Probabilidades
  - C. Estimación por mínimos cuadrados
- II. Filtros Bayesianos**
  - A. Derivación de las ecuaciones del filtro
  - B. Propagación de estados y covarianzas
  - C. Filtro Bayesiano discreto
  - D. Filtro de Kalman (tiempo discreto)
  - E. Filtro de Kalman (tiempo continuo)
  - F. Filtro de Kalman Extendido (EKF)
  - G. Filtro de Kalman sin esencia (UKF)
  - H. Filtro de partículas
  - I. Suavizado óptimo
  - J. Filtro H-infinity
- III. Localización de robots**
  - A. Modelos de movimiento con incertidumbre
  - B. Modelos de percepción con incertidumbre
  - C. Localización con filtros de Kalman
  - D. Localización con filtros de partículas

#### IV. Localización y Mapeo Simultáneos

- A. El problema de Localización y Mapeo Simultáneo (SLAM)
- B. SLAM con filtros de Kalman (EKF-SLAM)
- C. El algoritmo Fast-SLAM
- D. SLAM visual y aplicaciones

#### BIBLIOGRAFÍA

1. D. Simon, *Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches*, Wiley, 2006.
2. S. Thrun, *Probabilistic Robotics*, MIT Press, 2005.
3. M.S. Grewal, A.P. Andrews. *Kalman Filtering. Theory and Practice*. Prentice Hall, 1993.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO

Cursos presenciales  
Resolución de problemas  
Implementación de simulaciones  
Desarrollo de proyectos  
Lectura de publicaciones especializadas  
Presentaciones orales.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE INDEPENDIENTES

Lecturas de artículos  
Implementación de simulaciones.  
Proyecto final integrador.  
Investigación de temas específicos.  
Preparación de presentaciones.

#### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Tareas: 30%.  
Examen final: 25%.  
Proyecto: 30%.  
Presentación de un artículo científico en clase: 15%.

## MODALIDADES TECNOLÓGICAS E INFORMÁTICAS

Presencial con TIC.

Aula virtual.

Asesorías y aula virtual.

Bibliotecas digitales.