



## Centro de Investigación en Matemáticas, CIMAT AC

Nombre Autorizado de la Institución

## Maestría en Ciencias con Orientación en Robótica (MCR)

Nivel y Nombre del Plan de Estudios

### Escolar

Modalidad Educativa

Agosto 2021

Vigencia

Estudios de licenciatura en ingeniería con un desempeño sobresaliente, así como gran interés por la robótica y sus aplicaciones. Se buscan preferentemente egresados de las carreras de Ingeniería Mecatrónica, Robótica, Electromecánica, Electrónica, Eléctrica, Mecánica, Automotriz, Sistemas Computacionales, Ingeniería de Software y carreras afines, pero egresados de otras ingenierías, así como Matemáticas y Física podrían ser compatibles.

Antecedente Académico

06 Tecnologías de la información y la comunicación.

Área de Estudio

Clave del Plan de Estudios: **2021**  
Diseño Curricular: **Rígido**  
Total de Ciclos del Plan de Estudios: **4 semestres**  
Duración del Ciclo Escolar: **16 semanas**  
Carga Horaria a la Semana: **12**





## FIN DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

Se ofrece una sólida formación que permita entender, generar y aplicar conocimientos de frontera en el área de la robótica e interacción humano robot, para realizar investigación original y resolver problemas técnicos sofisticados, a partir del espíritu crítico y del rigor científico. El plan de estudios contempla cursos teóricos y prácticos, con un enfoque multidisciplinario, así como un trabajo de tesis que permitirán a los egresados desempeñarse como profesionistas altamente capacitados para proponer soluciones innovadoras a problemas complejos en la industria y la sociedad. También permitirá desempeñar labores docentes o continuar su formación en programas de doctorado de prestigio internacional y dedicarse a la investigación.

## PERFIL DE EGRESO

Los maestros egresados en robótica deberán ser capaces de desarrollar investigación original en la frontera del conocimiento de manera independiente, formular apropiadamente y resolver problemas complejos, contando con capacidad de rápido aprendizaje, interacción con equipos multidisciplinarios y aplicación e integración de técnicas innovadoras provenientes de disciplinas variadas. Dichas capacidades son de utilidad independientemente del puesto o trabajo en el que el egresado se desarrolle.

Los egresados podrán optar por: A) continuar su formación en algún doctorado de prestigio, tanto nacional como internacional; B) realizar actividades docentes a nivel licenciatura y posgrado; C) crear su propia empresa de desarrollo tecnológico e innovación a partir de los resultados obtenidos durante sus estudios; D) integrarse en las áreas de investigación y desarrollo (R&D) de empresas públicas o privadas o E) insertarse en el sector productivo para resolver problemas reales en la industria y la sociedad.

Para ello, el egresado desarrollará:

**Conocimientos** teóricos y prácticos con enfoque multidisciplinario en robótica, con un importante componente matemático, en las áreas de: sistemas dinámicos, modelado matemático, control automático, planificación de movimiento, navegación autónoma, interacción humano-robot, realidad virtual, visión por computadora, vehículos autónomos, sistemas de múltiples agentes, control óptimo, teoría de juegos, etc.





**Habilidades:** Capacidad de investigación, comprensión y redacción de textos técnicos y científicos, tanto en inglés como en español, sobre temas en la frontera del conocimiento. Habilidades técnicas de a) programación (ROS, C/C++, Python, Matlab/Simulink, etc.); b) prototipado e implementación experimental.

**Aptitudes:** liderazgo, espíritu crítico, capacidad de análisis y reflexión, capacidad de creación e innovación, integración multidisciplinaria.

**Valores:** honestidad, respeto, ética profesional, equidad, no discriminación, dimensión social, búsqueda de la verdad científica.

## PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN

**Objetivos del programa:** La Maestría en Ciencias con Orientación en Robótica busca formar recursos humanos altamente calificados y con competencia internacional para contribuir con el desarrollo Científico-Tecnológico y de Innovación en la región y en el país en materia de Robótica, permitiendo fortalecer las capacidades académicas, de investigación y de innovación, así como el mejor aprovechamiento y explotación de los recursos mediante el uso oportuno de tecnologías emergentes para la solución de problemas nacionales y la automatización de los procesos.

Para esto, se ofrece un amplio abanico de materias, tanto teóricas como prácticas con un enfoque multidisciplinario, donde el primer semestre el alumno llevará en su mayoría cursos de tronco común para sentar bases sólidas, para después, con ayuda de un tutor o asesor, definir el área de conocimiento específica dentro de la cual enmarcar su trabajo de tesis, en una de las dos líneas de investigación ofrecidas, a saber a) Robótica e b) Interacción Humano-Robot.

Las asignaturas comunes para ambas líneas de investigación, tanto obligatorias como optativas son:

Asignaturas de tronco común

Obligatorias:

1. Fundamentos Físico- Matemáticos
2. Robótica 1
3. Programación y Algoritmos



4. Taller de Robótica y IHR (Interacción Humano- Robot)

Optativas:

1. Visión por Computadora 1, 2
2. Optimización
3. Aprendizaje de Máquina 1, 2
4. Temas Selectos de Visión por Computadora
5. Temas Selectos de Programación y Algoritmos
6. Temas Selectos de Matemáticas
7. Temas Selectos de Ing. Software
8. Temas Selectos de Probabilidad y Estadística
9. Temas Selectos de Inteligencia Artificial

A continuación se describen las líneas de investigación de la maestría, sus objetivos particulares, temas de especialización, asignaturas específicas y el personal docente asociado.

**Líneas de investigación:**

- **Robótica.** Tiene por objetivo desarrollar investigación original y de calidad en la frontera del conocimiento de la robótica y los sistemas autónomos, buscando la competencia internacional. En particular, se estudian de manera teórica y práctica los temas de modelado matemático, control automático, planificación de movimiento, robótica probabilística, sistemas de múltiples agentes, navegación autónoma, inteligencia artificial y percepción robótica, entre otros, aplicados especialmente a robots móviles con restricciones no holónomas, vehículos aéreos y vehículos híbridos aire/agua. En esta línea, las asignaturas ofrecidas son las siguientes:

Asignaturas:

1. Modelado y Control de Sistemas Robóticos
2. Temas Selectos de Robótica 1, 2
3. Temas Selectos de Control 1, 2
4. Robótica 2
5. Control 1, 2
6. Robótica Probabilística
7. Control de Sistemas de Múltiples Agentes
8. Robótica Aérea

La línea de investigación en Robótica cuenta actualmente con 6 profesores de tiempo completo adscritos a la institución sede CIMAT Zacatecas, así como 4 profesores asociados del equipo de robótica de CIMAT unidad Guanajuato, y un profesor externo de



Intel Guadalajara. Entre ellos, nueve cuentan con el título de doctorado y son miembros del Sistema Nacional de Investigadores SNI, uno en nivel 2, seis en nivel 1 y dos en nivel candidato.

Los perfiles del personal docente en esta línea incluyen investigadores expertos en las áreas de robótica, matemáticas, aprendizaje de máquina, visión computacional, control automático, planificación de movimientos, etc.

- **Interacción Humano-Robot.** Tiene el objetivo de formar estudiantes capaces de realizar investigación original, aplicada y de calidad en el reconocimiento automatizado de fenómenos humanos en su interacción con robots a través de ambientes de prueba y simulaciones virtuales para la resolución de problemas científicos. Para ello, se ofrecen las siguientes asignaturas de especialización:

#### Asignaturas

1. Interacción Humano-Robot I
2. Temas Selectos de Interacción Humano Robot
3. Temas Selectos de Realidad Virtual
4. Estadística y Diseño Experimental
5. Realidad Virtual / Aumentada
6. Interacción Humano Robot II
7. Ingeniería de Software en Robótica y IHR (Interacción Humano-Robot)

Para la línea de investigación en Interacción Humano-Robot, se cuenta actualmente con 4 profesores de tiempo completo pertenecientes a la institución sede, además de 2 profesores asociados procedentes de otras unidades de CIMAT. De allí, cinco cuentan con el grado de doctor y son miembros del SNI en el nivel 1.

Los perfiles del personal docente asociado a esta línea incluyen investigadores expertos en las áreas de interacción humano computadora, realidad virtual y aumentada, entornos interactivos, ingeniería de software, sistemas bioinspirados, aprendizaje de máquina, probabilidad y estadística, etc.

#### Metodología de la Investigación:

- Revisión sistemática y continua de la literatura y el estado del arte.
- Explorar las nuevas tendencias en las áreas de robótica, interacción hombre-máquina, planificación de movimientos, control automático, navegación autónoma, visión por computadora, realidad virtual, inteligencia artificial, etc., así como lo último en tecnología en cuanto a librerías de software, sensores, actuadores, prototipado rápido y diseño, etc.
- Formar recursos humanos altamente especializados en robótica, con proyectos en la frontera de la ciencia y con impacto social.



- Colaborar ampliamente con expertos del área en otros centros de investigación líderes a nivel nacional e internacional, además de otras unidades de CIMAT.
- Buscar colaboración transversal con expertos en otras disciplinas del conocimiento ligadas a la robótica: matemáticas aplicadas, control automático, transportes inteligentes, ingeniería de software, comunicaciones, inteligencia artificial, ciencias de la computación, visión artificial, electrónica, mecatrónica, etc. O con disciplinas diversas que requieran aplicaciones particulares de dispositivos robóticos: agricultura, ganadería, salud, seguridad, industria, etc.
- Buscar atacar problemas reales de la sociedad actual en los contextos local, regional, nacional y global. Se busca alinear proyectos de robótica con los problemas nacionales estratégicos (PRONACE), y con el sector productivo del estado (minería, agricultura, ganadería, turismo, seguridad, etc.).
- Validar los resultados obtenidos de manera teórica, así como en simulaciones numéricas realistas y en experimentos en tiempo real, tanto en condiciones controladas de laboratorio como en escenarios reales.
- Publicar los resultados obtenidos en las revistas y conferencias de mayor prestigio internacional en las áreas de robótica e IHR (Interacción Humano-Robot).
- Divulgar los resultados obtenidos, y la importancia de la ciencia en la sociedad, buscando captar el interés de más personas, en particular de los jóvenes, fomentando el gusto por la investigación.

## CURSO PROPEDÉUTICO

Se considera la aplicación de un curso propedéutico con duración de una semana como parte de los criterios obligatorios a evaluar en el proceso de admisión. Serán invitados a participar del curso propedéutico aquellos candidatos a la maestría que a criterio del Comité Académico del Posgrado (CAP) hayan aprobado de manera satisfactoria el examen de admisión y cumplan con el perfil y demás requisitos necesarios para ingresar al posgrado. Este consta de tres módulos, a proponer por los miembros del núcleo académico, bajo aprobación del CAP. Se contempla un módulo por cada línea de investigación, más un módulo de fundamentos matemáticos o de programación. Dicho curso propedéutico no pretende ser un curso remedial, sino una herramienta para evaluar la capacidad de aprendizaje de los estudiantes





## PERFIL DE INGRESO

El alumno deberá contar con sólidos fundamentos físico-matemáticos y de programación, así como buena lógica para resolver problemas complejos, y buena comprensión del idioma inglés. Además, deberá tener una fuerte motivación hacia la investigación aplicada y a la solución integral de problemas actuales con un enfoque en robótica.

## ADMINISTRACIÓN Y OPERATIVIDAD DEL PLAN DE ESTUDIOS

Se considera un plan de estudios rígido, que consta de 96 créditos, a cubrirse de manera tanto presencial como a distancia utilizando tecnologías de la información y comunicaciones (TICs), en cuatro semestres y un verano de investigación. El plan de estudios contempla ocho materias, cuatro materias de tronco común obligatorias, cuatro materias optativas, además de un proyecto de verano de investigación y dos seminarios de tesis.

Durante el primer semestre se deberán cubrir tres materias de tronco común y una materia optativa. El segundo semestre se cursará una materia de tronco común y dos materias optativas. El mapa curricular se completa con una materia optativa y un seminario de tesis en el tercer semestre, un proyecto de verano de investigación, para finalmente en el cuarto semestre cursar únicamente un seminario de tesis. Dicha estructura permite proveer al alumno de bases sólidas durante el primer año, mientras que el segundo año se centra en el desarrollo de un trabajo de investigación original.

Durante su primer año de maestría, el alumno deberá optar por alguna de las líneas de investigación. Dicha línea de investigación deberá ser congruente con el proyecto de tesis a realizar, y preferentemente se deberán cursar al menos dos materias optativas relacionadas con esta línea.

La elección de cursos optativos la efectuará el estudiante bajo la supervisión del tutor o asesor, a partir de la lista de cursos optativos disponibles avalados por el Comité Académico del Posgrado (CAP) y notificados cada semestre. El CAP de la maestría determinará cada semestre los cursos optativos que se ofrecerán, conciliando la calidad educativa, las necesidades del programa y la carga académica de los profesores. El CAP dará aviso oportuno al Comité de Cursos sobre las materias optativas que se vayan a ofrecer cada semestre, para su publicación y programación en los sistemas



correspondientes. Las materias optativas podrán validarse en un periodo distinto al contemplado originalmente en el mapa curricular bajo la supervisión del asesor o tutor, con el visto bueno del CAP y siguiendo el procedimiento establecido por la Coordinación de Formación Académica, para exámenes de equivalencia..

Durante los seminarios de tesis a cursar durante el segundo año del programa, el alumno deberá desarrollar un trabajo de investigación original bajo la dirección de su asesor de tesis, a quien deberá presentar avances periódicos semanalmente.

### Opciones de Titulación

Para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Orientación en Robótica, la única opción de titulación requiere :

- Haber cubierto como mínimo un total de **96 créditos** (60 obligatorios y 36 optativos) del plan de estudios.
- Después de aprobar los Seminarios de Tesis I y II, presentar y aprobar ante un comité ad-hoc un examen de grado donde se expone el trabajo de tesis.
- Aprobar un examen de inglés, cuya modalidad es determinada por el Consejo de Programas Docentes de CIMAT.
- Atender en tiempo y forma el procedimiento administrativo de graduación que establece la Coordinación de Formación Académica de CIMAT.

## SUSTENTO TEÓRICO DEL MODELO CURRICULAR

De acuerdo al diccionario de la Real Academia de la Lengua, un sistema robótico se define como: “Máquina o ingenio electrónico programable que es capaz de manipular objetos y realizar diversas operaciones”.

Como se puede apreciar de la definición anterior, un robot está compuesto de elementos mecánicos que le permiten interactuar con su ambiente, elementos electrónicos, tales como actuadores y sensores, y sistemas computacionales que le permiten ser programados para resolver tareas específicas.

Tanto los actuadores como los sensores, son elementos que le permiten al robot interactuar con el mundo físico. Los actuadores los dotan de capacidad de movimiento y manipulación; para lograr que el robot realice movimientos precisos es necesario hacer uso de herramientas como la *teoría de control*. Los sensores dotan de la capacidad de percepción a los robots. Entre los sensores más utilizados están los sensores de contacto,



sensores de rango láser, sonares y cámaras. Estas últimas proporcionan una solución barata que dota de capacidad sensorial compleja a los robots a partir de algoritmos de *visión por computadora*.

Un elemento importante para los robots es su flexibilidad para resolver distintas tareas, esto gracias a que cuentan con unidades computacionales que pueden ser *programadas*. El programar software de calidad que cumpla con los requerimientos de diseño para que el robot desarrolle exitosamente su tarea asignada, requiere de herramientas como *ingeniería de software*. El software requerido puede ser complejo en términos de la tarea asignada al robot, lo que requiere el desarrollo de *algoritmos* en el estado del arte en el área de la *inteligencia artificial*.

Los sistemas robóticos han visto una evolución constante en el rango de tareas o aplicaciones en los que se les ha empleado. En estas tareas surgen complicaciones extra como ambientes en constante cambio o incertidumbre en sensado y actuación, sólo por citar algunas. Esto ha hecho que la robótica requiere mayor desarrollo en áreas específicas en la forma de temas selectos tales como: *planificación de movimiento, robótica área, robótica probabilística* o *sistemas multi-agente*.

Cabe mencionar que la robótica está presentando una tendencia a integrarse a nuestras actividades diarias. Esto añade un elemento importante a estudiar, esto es, la *interacción humano-robot*. Inclusive, recientemente ha habido una tendencia a hacer más estrecha esta interacción a través de tecnologías emergentes como visores de *realidad virtual*. Un ejemplo de esto son sistemas de telepresencia en el que un usuario puede estar conectado a través de un visor de realidad virtual a un robot en otra locación, lo cual proporciona al usuario un nivel de inmersión sin precedentes para interacción remota. Para evaluar estos sistemas robóticos que interactúan con usuarios humanos, se necesita verificarlos a través de experimentación con personas, lo que requiere conocimiento en *diseño experimental* y herramientas *estadísticas*.

De todo lo anterior se deduce que los robots son sistemas complejos que exigen conocimientos en múltiples disciplinas del conocimiento, los cuales requieren a su vez sólidos *fundamentos físico-matemáticos* por parte de los ingenieros y científicos que trabajan con ellos, además de *experiencia práctica* en su utilización. De esta manera, se ha diseñado un mapa curricular que considera 3 materias formativas esenciales como son: Fundamentos Físico-Matemáticos, Programación y Algoritmos, Robótica y un Taller de Robótica y HRI. Los conocimientos más específicos de las diferentes áreas del posgrado se abordan en una serie de materias optativas con una seriación adecuada cuando es requerido.

## PROPUESTA DE EVALUACIÓN PERIÓDICA DEL PLAN DE ESTUDIOS

El **objetivo** de la evaluación y actualización del plan de estudios de la MCR es la mejora continua y el aseguramiento de la calidad de tal manera que se garantice que el plan de estudios:

1. Responda a las tendencias actuales en el área de robótica.
2. Facilite la generación y aplicación del conocimiento en las áreas de robótica.
3. Genere soluciones a diferentes problemas de los sectores de la sociedad con un enfoque colaborativo, de retribución social e inter-, multi- y transdisciplinario.
4. Garantice la competencia y el desempeño profesional del egresado.

**Justificación.** Las modificaciones propuestas al plan de estudios de la MCR deberán justificarse en un documento y con fundamentos en resultados cualitativos y cuantitativos de la autoevaluación de la MCR, recomendaciones de organismos acreditadores (como aquellas emanadas de las evaluación PNPC), el análisis de las tendencias en el área de robótica, entre otros.

**Periodicidad.** El plan de estudios de MCR, se evaluará periódicamente, con una frecuencia de tres años. Por otro lado, los programas de estudio se deben evaluar al finalizar cada semestre.

Para la evaluación del plan de estudio se propone la siguiente metodología:

1. Se obtiene la información de todas las partes interesadas: Evaluaciones obtenidas por los estudiantes en cada asignatura, medición del desempeño del egresado, métricas obtenidas por evaluaciones externas, etc.
2. El núcleo académico básico se reúne para analizar la situación del plan de estudios a través de un mapeo curricular. El mapeo curricular consiste en representar gráficamente los diferentes componentes del plan de estudios, de modo que la imagen completa y las relaciones y conexiones entre las partes del mapa se vean fácilmente. Una matriz curricular es una herramienta que asocia resultados esperados de aprendizaje (por ejemplo, del plan de estudios) con los elementos que lo componen (por ejemplo, de los cursos).
3. El CAP avala o rechaza la actualización sugerida considerando los objetivos del plan de la MCR. En su caso, se actualiza el plan de estudios.





4. En caso de modificaciones del plan de estudios, estas serán debidamente publicadas y notificadas a los estudiantes, personal e instancias correspondientes, entrando en vigor para las generaciones subsecuentes a la notificación de las mismas.

Dr. Víctor Manuel Rivero Mercado  
Director General

---

**NOMBRE Y CARGO DE LA PERSONA FACULTADA PARA AUTORIZAR EL PLAN DE ESTUDIOS**



**"MAPA CURRICULAR"**  
**Centro de Investigación en**  
**Matemáticas, CIMAT AC, unidad**  
**Zacatecas**  
**PLAN DE ESTUDIOS (MODALIDAD**  
**ESCOLARIZADA)**

CICLO																
PRIMER SEMESTRE	R21FFM1	-	Obligatoria		R21PROG1	-	Obligatoria		R21ROB1	-	Obligatoria				Optativa	
	Fundamentos Físico-Matemáticos				Programación y Algoritmos				Robótica 1				Optativa 1			
	48	96	9	Aula	48	96	9	Aula, Laboratorio	48	96	9	Aula, Laboratorio				
SEGUNDO SEMESTRE	R21TAL1	R21PROG1	Obligatoria				Optativa				Optativa					
	Taller de Robótica y Realidad Virtual				Optativa 2				Optativa 3							
	48	96	9	Aula, Laboratorio												
VERANO DE INVESTIGACIÓN	R21PVI1	R21TAL1	Obligatoria													
	Proyecto de Verano de Investigación															
	32	64	6	Aula, Laboratorio												
TERCER SEMESTRE	R21TES1	R21PVI1	Obligatoria				Optativa									
	Seminario de Tesis 1				Optativa 4											
	48	96	9	Aula, Oficina												
CUARTO SEMESTRE	R21TES2	R21TES1	Obligatoria													
	Seminario de Tesis 2															
	48	96	9	Aula, Oficina												

HA	144
HI	288
CR	27

HA	48
HI	96
CR	9

HA	32
HI	64
CR	6

HA	48
HI	96
CR	9

HA	48
HI	96
CR	9

**TOTAL DEL PLAN DE ESTUDIOS**

HA	512
HI	1024
CR	96

CLAVE	SERIACIÓN	TIPO DE ASIGNATURA
NOMBRE DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE		
	CRÉDITOS	INSTALACIÓN

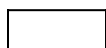
HORAS BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADEMICO →

→ HORAS INDEPENDIENTES

## "MAPA CURRICULAR"

ASIGNATURAS OPTATIVAS							
CICLO	ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE	CLAVE	SERIACIÓN	HORAS		CRÉDITOS	INSTALACIONES
				CON ACADÉMICO	INDEPENDIENTES		
1	Modelado y Control de Sistemas Robóticos	R21MCR1	-	48	96	9	Aula
1	Interacción Humano-Robot 1	R21IHR1	-	48	96	9	Aula
2 o 3	Estadística y Diseño Experimental	R21EDE1	R21FFM1	48	96	9	Aula
2 o 3	Realidad Virtual y Aumentada	R21RVA1	-	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Control de Sistemas de Múltiples Agentes	R21SMA1	R21MCR1	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Ingeniería de Software en Robótica	R21ISR1	-	48	96	9	Aula
2 o 3	Interacción Humano-Robot 2	R21IHR2	R21IHR1	48	96	9	Aula
2 o 3	Robótica Aérea	R21RAE1	R21ROB1, R21MCR1	48	96	9	Aula, Laboratorio
2 o 3	Optimización	R21OPT1	R21PROG1	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Aprendizaje de Máquina 1	R21APM1	-	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Aprendizaje de Máquina 2	R21APM2	R21APM1	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Robótica 2	R21ROB2	R21ROB1	48	96	9	Aula, Aula Virtual
2 o 3	Control 1	R21CTR1	R21FFM1	48	96	9	Aula, Aula Virtual
2 o 3	Control 2	R21CTR2	R21CTR1 o R21MCR1	48	96	9	Aula, Aula Virtual
2 o 3	Visión por Computadora 1	R21VIS1	R21PROG1	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Visión por Computadora 2	R21VIS2	R21VIS1	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Robótica Probabilística	R21ROB2	R21ROB1	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio

2 o 3	Temas Selectos de Robótica 1	R21TSR1	-	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Temas Selectos de Robótica 2	R21TSR2	-	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Temas Selectos de Programación y Algoritmos	R21TPA1	-	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Temas Selectos de Interacción Humano-Robot	R21TIH1	-	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Temas Selectos de Realidad Virtual	R21TRV1	-	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Temas Selectos de Control 1	R21TSC1	-	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Temas Selectos de Control 2	R21TSC2	-	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Temas Selectos de Visión por Computadora	R21TCV1	-	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Temas Selectos de Matemáticas	R21TSM1	-	48	96	9	Aula, Aula Virtual
2 o 3	Temas Selectos de Inteligencia Artificial	R21TIA1	-	48	96	9	Aula, Aula Virtual, Laboratorio
2 o 3	Temas Selectos de Ingeniería de Software	R21TIS1	-	48	96	9	Aula, Aula Virtual
2 o 3	Temas Selectos de Probabilidad y Estadística	R21TPE1	-	48	96	9	Aula, Aula Virtual



REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA LAS ASIGNATURAS OPTATIVAS	
HORAS BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO	192
CRÉDITOS	36

TOTAL DE ASIGNATURAS QUE INTEGRAN EL PLAN DE ESTUDIOS			
TIPO DE ASIGNATURA	HORAS BAJO CONDUCCIÓN DE UN ACADÉMICO	HORAS INDEPENDIENTES	CRÉDITOS

OBLIGATORIAS	320	640	60
OPTATIVAS	192	384	36

SUMAS TOTALES	512	1024	96
---------------	-----	------	----

## 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

**R21FFM1**

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, así como los fundamentos de la teoría de modelado matemático, sistemas dinámicos y control. 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 mismo buscando su asociación con el estado del arte de la robótica.

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. **Introducción** (1 sesión)
- II. **Definiciones de conjunto** (2 sesiones)
  - A. notación y conceptos básicos
- III. **Álgebra lineal** (6 sesiones)
  - A. conceptos básicos
  - B. matrices y vectores (producto cruz, producto punto, determinante, transpuesta, rango, espacio nulo etc.)
  - C. solución de sistemas lineales, independencia, inversa y pseudoinversa
  - D. normas
  - E. descomposiciones y formas canónicas (valores y vectores propios, valores singulares SVD)
- IV. **Topología y espacios métricos** (2 sesiones)
  - A. conceptos topológicos básicos
  - B. espacios topológicos



- C. homeomorfismo
  - D. variedades
  - E. producto cartesiano
  - F. caminos y conectividad
  - G. Jacobianos y Gradientes
- V. Teorema de la función implícita** (1 sesión)
- VI. Grafos y búsquedas** (4 sesiones)
- A. conceptos básicos
  - B. tipos de grafos
  - C. recorridos
  - D. greedy-Search y Dijkstra
  - E. A \*
  - F. D \*
  - G. Completitud, Eficiencia, y Optimalidad
- VII. Probabilidad y estadística** (5 sesiones)
- A. conceptos básicos
  - B. funciones de densidad (Gauss, uniforme, exponencial, etc.)
  - C. momentos (esperanza, media, covarianza, etc)
  - D. Ley de Bayes
- VIII. Modelado matemático y Movimiento de cuerpo rígido** (5 sesiones)
- A. modelado: Newton-Euler, Euler-Lagrange, Hamilton
  - B. representaciones de orientación (ángulos de euler, SE(3), cuaterniones)
  - C. cinemática de cuerpo rígido (representación homogénea SO(3))
  - D. dinámica de cuerpo rígido
- IX. Sistemas dinámicos y conceptos básicos de control** (3 sesiones)
- A. espacio de estados
  - B. estabilidad (Lineal y no lineal)
  - C. tipos de estabilidad (asintótica, exponencial, tiempo finito, etc.)
  - D. control lineal (PID)
  - E. control no lineal (Lyapunov, linearización, etc.)
- X. Optimización** (3 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. 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.  
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

**Programación y Algoritmos I**

**SEMESTRE 1**

CICLO ESCOLAR

R21PROG1

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

El curso tiene como objetivo dar a los estudiantes sólidos fundamentos en programación, y en particular utilizando el lenguaje C y C++.

## CONTENIDO TEMÁTICO

### I. Introducción

- A. Estructura y sintaxis de un programa en C; Archivos de cabecera; Palabras reservadas; Tipos de datos; Variables, declaración; Alcance de las variables, locales y globales; Tipos de expresiones. *Lvalue*, *rvalue*; Operadores aritméticos, lógicos, relacionales y misceláneos; *printf* y *scanf*; Compilación; Redirección de la entrada y salida estándar; Errores comunes; Tiempo de compilación y tiempo de ejecución; *argv* y *argc*.
- B. Condiciones; *if*, *else*; *for*; *do while*; *break* y *continue*; *while*.

### II. Funciones

- A. Declaración y definición de funciones; Partes de una función; Paso de argumentos por copia; Archivos cabecera propios; Compilación con varios archivos de declaración y definición de funciones.

### III. Memoria y arreglos:

- A. *Heap*, *stack*, *code*, *globals*; Notas sobre eficiencia; Arreglos; Direcciones de memoria; Arreglos en funciones; Arreglos en ciclos; Arreglos multidimensionales.

### IV. Lectura y escritura de archivos:

- A. Apertura y modos de apertura; Lectura; Escritura; Archivos binarios.

### V. Apuntadores y memoria dinámica:

- A. Apuntadores; Operadores *\**, *&* y *[]*; Apuntador *NULL*; Memoria dinámica; *malloc* y *free*; Arreglos con memoria dinámica; Aritmética de apuntadores; Apuntadores y archivos de texto.

### VI. Cadenas de caracteres:

- A. Caracteres especiales y secuencias de escape; Manejo de strings; *string.h*.

### VII. Estructuras, uniones:

- A. Tipos *enum*; *typedef struct*; memoria en la estructura; Funciones que reciben y devuelven estructuras; *typedef*; Estructuras y apuntadores; Aritmética de apuntadores en estructuras; *union*; estructuras y uniones; Arreglos de estructuras.

### VIII. Clases de almacenamiento:

- A. *auto*, *register*, *static*, *extern*.

- IX. Apuntadores a funciones:**
  - A. Sintaxis; Funciones que reciben y devuelven apuntadores a funciones; *typedef*.
- X. Funciones con número variable de argumentos:**
  - A. *va\_list*; *va\_start*, *va\_end*.
- XI. Operaciones con bits:**
  - A. Operadores; Generadores de pseudo-aleatorios.**
- XII. Preprocesador:**
  - A. Macros; El preprocesador de C; directivas en gcc; Macros predefinidas; Concatenación; Definición condicional de macros; Compilación condicional.
- XIII. Algoritmos y complejidad:**
  - A. Invariante de ciclo; Orden; *Merge Sort* (recursión); *Insertion sort*.
- XIV. Estructuras de datos y recursividad:**
  - A. Listas ligadas; Listas doblemente ligadas; Algoritmos recursivos para (manejo de memoria en) listas ligadas; Algoritmo de Shunting-Yard; Árboles binarios.
- XV. Introducción a la programación orientada a objetos:**
  - A. Conceptos OOP; Objeto; Abstracción; Encapsulamiento; Herencia; Polimorfismo; Sobrecarga de funciones y operadores; Compilación con g++; Tipos de datos; namespace.
- XVI. Clases:**
  - A. *class*; Datos y funciones miembro; Constructor; Modificadores de acceso; Inicializaciones; Sobrecarga del constructor; Constructor de copia; Destructor; Funciones *friend*; Funciones *inline*; Apuntador *this*; Miembros *static*.
- XVII. Herencia:**
  - A. Clases base y heredada.
- XVIII. Sobrecarga de funciones y operadores:**
  - A. Sobrecarga de funciones; Sobrecarga de operadores; Operadores sobrecargables.
- XIX. Polimorfismo, Abstracción, Encapsulamiento, Interfaces:**
  - A. Polimorfismo de funciones en clases derivadas; Funciones virtuales.
  - B. Ejemplos de abstracción mediante etiquetas de acceso.
  - C. Ejemplos de encapsulamiento.
  - D. Clases abstractas; Funciones puramente virtuales.
- XX. Temas misceláneos:**
  - A. *Makefiles*; *Multithreading*.

## BIBLIOGRAFÍA

1. R. Sedgewick. 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.

#### 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

Robótica I

SEMESTRE 1

CICLO ESCOLAR

R21ROB1

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

1. JC Latombe, Robot Motion Planning, Kluwer Academic Press, 1991.
2. JP Laumond, Robot Motion Planning and Control. Springer Verlag, 1998 (available freely at <http://www.laas.fr/~jpl>).
3. 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
4. S. M. LaValle, "Planning Algorithms", Cambridge University Press, available freely at <http://msl.cs.uiuc.edu/planning/>, 2006.
5. 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

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

48 hrs con docente, en 32 sesiones de 1:30 hrs  
96 hrs independientes  
9 créditos

**SEMESTRE 1, Optativa**

CICLO ESCOLAR

**R21MCR1**

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

### Interacción Humano-Robot I

**SEMESTRE 1, Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R21IHR1**

**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 con simulación en realidad virtual y aumentada.

## 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
- III. Experiencia de usuario**
  - A. Experiencia de usuario
  - B. Del diseño de un producto a la experiencia de usuario
  - C. Elementos de la experiencia de usuario
- IV. Biosensores**
  - A. Introducción a sensores de video y profundidad
  - B. Radar y Lidar, audio

- C. Electroencefalograma e Imagen por resonancia magnética funcional, IRMf
- D. Rastreador ocular
- E. Táctiles
- F. Actividad galvánica de la piel
- G. Ritmo cardíaco
- H. Fusión de sensores

#### PRÁCTICAS I y II

#### **V. 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. Grados de libertad
- H. Contexto Móvil
- I. Errores de interacción
- J. Interfaces naturales de usuario

#### PRÁCTICA III

#### **VI. Realidad Virtual y Aumentada**

- A. Funcionamiento humano
- B. Visores
- C. Óptica
- D. Rastreo ocular y movimiento de cabeza
- E. Medios interactivos
- F. Aplicaciones en robótica

#### PRÁCTICAS IV

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

- A. Telepresencia
- B. Tecnologías de asistencia
- C. Métricas y métodos de evaluación
- D. Reconocimiento de emoción y generación
- E. Habla y comprensión
- F. Robots colaborativos (cobots)
- G. Interacciones entre humanos y enjambres
- H. Localización y modelado simultáneo

#### PRÁCTICAS V y VI

#### **VIII. Proyecto final**

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, gafas de realidad virtual, electroencefalogramas, entre otros sensores y robots.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Bartneck, C., Belpaeme, T., Eyssele, F., Kanda, T., Keijsers, M., & Šabanović, S. (2020). Human-robot interaction: An introduction. Cambridge University Press.
2. Wilf, M., Cheraka, M. C., Jeanneret, M., Ott, R., Perrin, H., Crottaz-Herbette, S., & Serino, A. (2020). Combined Virtual reality and Haptic robotics induce space and movement invariant sensorimotor adaptation. *Neuropsychologia*, 107692.
3. 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).
4. MacKenzie, I. S. (2013). *Human-computer interaction: An empirical research perspective*. Newnes, Elsevier.

5. Hartson, R., & Pyla, P. S. (2012). *The UX Book: Process and guidelines for ensuring a quality user experience*. Elsevier.
6. Courage, C., & Baxter, K. (2005). *Understanding your users: A practical guide to user requirements methods, tools, and techniques*. Gulf Professional Publishing.
7. VIRTUAL REALITY, By Steven M. LaValle. Cambridge University Press, <http://lavalle.pl/vr/>
8. 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).
9. 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.
10. 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).
11. 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.
12. 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.
13. Fast-Berglund, Å., Palmkvist, F., Nyqvist, P., Ekered, S., & Åkerman, M. (2016). Evaluating cobots for final assembly. *Procedia CIRP*, 44, 175-180.
14. Suresh, A., & Martínez, S. (2020). Human-swarm Interactions for Formation Control Using Interpreters. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 1-14.
15. 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).
16. 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

**Taller de Robótica y HRI**

**SEMESTRE 1**

**CICLO ESCOLAR**

**R21TAL1**

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 personalizar** (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/>



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

**Estadística y Diseño Experimental**

**SEMESTRE 2, 3 Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R21EDE1**

## 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. Vercruyssen, 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 / Aumentada 1**

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R20RVA1**

**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 opticas
  - 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

### **Robótica Aérea**

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R21RAE1**

**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

Ingeniería de Software en Robótica e IHR

SEMESTRE 2, 3 Optativa

CICLO ESCOLAR

R21ISR1

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

**Visión por Computadora 1**

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R21VIS1**

**CLAVE DE LA ASIGNATURA**

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

Este curso pretende dar los fundamentos de la Visión Computacional, desde las herramientas geométricas necesarias para modelar la formación de imágenes y la reconstrucción 3D, hasta las herramientas de procesamiento de imágenes, de probabilidades y de optimización requeridas para resolver problemas de tipo reconocimiento de objeto, segmentación de imágenes, colorización.

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. Geometría de cámaras**
  - A. Modelos geométricos de cámaras
  - B. Geometría proyectiva
  - C. Calibración de cámaras
- II. Procesamiento de imágenes de bajo nivel**
  - A. Color y textura
  - B. Filtros lineales y no-lineales
  - C. Detección de bordes
  - D. Detección de puntos característicos
- III. Geometría de múltiples vistas**
  - A. Geometría de dos vistas
  - B. Geometría de tres vistas
  - C. Reconstrucción proyectiva, afín, Euclidiana
  - D. Estereo-visión
- IV. Rastreo**
  - A. Elementos generales del problema de rastreo
  - B. Rastreo por filtros estocásticos
  - C. Rastreo por detección
- V. Flujo óptico**
  - A. Técnicas densas
  - B. Técnicas ralas

## VI. Segmentación de imágenes

- A. Segmentación por agrupamiento
- B. Segmentación por técnicas probabilísticas
- C. *Graph cuts*

### 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

**Visión por Computadora 2**

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R21VIS2**

**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**

**R21RPR1**

**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.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

**Robótica 2**

**SEMESTRE 2, 3 Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R21ROB2**

**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

**Optimización 1**

**SEMESTRE 2,3 Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R21OPT1**

**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

### Interacción Humano-Robot II

**SEMESTRE 2, 3 Optativa**

CICLO ESCOLAR

**R20IHR2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

## FINES DE APRENDIZAJE O FORMACIÓN

Al finalizar esta asignatura, el alumno será capaz de reconocer las bases teóricas de cómputo afectivo y cognitivo, podrá seleccionar las mejores técnicas para adquirir, procesar y analizar señales de biosensores, y podrá desarrollar y evaluar soluciones en el área de interacción humano-robot a través del uso de *soft-computing* (v.g., lógica difusa, aprendizaje máquina, etc.).

## CONTENIDO TEMÁTICO

- I. Introducción a la computación para la cognición humana**
  - A. Modelos mentales y cognitivos
  - B. Detección del afecto
  - C. Generación del afecto
- II. Procesamiento de imágenes**
  - A. Filtrado
  - B. Convolución
  - C. Detección de características
  - D. Redes neuronales convolucionales

PRÁCTICA I
- III. Procesamiento de señales**
  - A. Adquisición y extracción de características
    1. Interfaces cerebro-computadora



- 2. Seguimiento ocular
- 3. Señales Fisiológicas
- B. Clasificación de señales  
PRÁCTICA II
- IV. Técnicas de Soft computing**
  - A. Lógica difusa
  - B. Redes neuronales
  - C. Aprendizaje por refuerzo  
PRÁCTICA III
- V. Aplicaciones interactivas humano-robot**
  - A. Robots sociales
  - B. Colaboración humano-robot
  - C. Robots aprendiendo de los humanos  
PRÁCTICA IV
- VI. 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 45%, presentaciones 15%, 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 sociables, rastreadores oculares, gafas de realidad virtual, electroencefalogramas, entre otros sensores y robots.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Thomaz, Andrea, Guy Hoffman, and Maya Cakmak. "Computational human-robot interaction." *Foundations and Trends in Robotics* 4.2-3 (2016): 105-223.  
<http://guyhoffman.com/publications/ThomazHoffmanCakmak16.pdf>
2. MacKenzie, I. S. (2012). *Human-computer interaction: An empirical research perspective*. Newnes.
3. Calvo, R. A., D'Mello, S., Gratch, J. M., & Kappas, A. (Eds.). (2015). *The Oxford handbook of affective computing*. Oxford University Press, USA.
4. Rosebrock, A. (2017). *Deep Learning for Computer Vision with Python: Practitioner Bundle*. PyImageSearch.
5. Rosebrook, A. (2016). *Practical Python and OpenCV+ Case Studies: An Introductory, Example Driven Guide to Image Processing and Computer Vision*. PyImageSearch.
6. Chollet, F. (2018). *Deep Learning mit Python und Keras: Das Praxis-Handbuch vom Entwickler der Keras-Bibliothek*. MITP-Verlags GmbH & Co. KG.
7. A. Oppenheim y R.W. Schafer. *Discrete-time signal processing*. Prentice-Hall, 1989.
8. R.N. Bracewell. *The Fourier transform and its applications*. McGraw-Hill, 1978.
9. J.G. Proakis and D.G. Manolakis. *Digital Signal Processing*. Prentice Hall, 2006.
10. A.V. Oppenheim, R. W. Schafer. *Discrete-time signal processing*. Prentice Hall, 1999, 2nd edition.
11. S. Mitra. *Digital Signal Processing: a Computer-Based Approach*. McGraw-Hill Education, 4th edition, 2010.
12. Lonza, A. (2019). *Reinforcement Learning Algorithms with Python: Learn, understand, and develop smart algorithms for addressing AI challenges*. Packt Publishing Ltd.
13. Graesser, L., & Keng, W. L. (2019). *Foundations of Deep Reinforcement Learning: Theory and Practice in Python*. Addison-Wesley Professional.
14. Krohn, J., Beyleveld, G., & Bassens, A. (2019). *Deep Learning Illustrated: A Visual, Interactive Guide to Artificial Intelligence*. Addison-Wesley Professional.
15. Yarbus, A. L. (2013). *Eye movements and vision*. Springer.

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

**Aprendizaje de Máquina 1**

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R21APM1**

## 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    |

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

### Aprendizaje de Máquina 2

<b>SEMESTRE 2, 3, Optativa</b>
CICLO ESCOLAR
<b>R21APM2</b>
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

## DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

**Control de sistemas de múltiples agentes**

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R21SMA1**

**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 prescrito
- 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

Control 1

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

CICLO ESCOLAR

**R21CTR1**

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.
- 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 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.

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 2**

**SEMESTRE 2, 3, Optativa**

**CICLO ESCOLAR**

**R21CTR2**

**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.
- 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 la 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.

**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.

