

Guia docent

2707150 - RL - Aprenentatge per Reforç

Última modificació: 30/01/2026

Unitat responsable: Facultat d'Informàtica de Barcelona
Unitat que imparteix: 723 - CS - Departament de Ciències de la Computació.
Titulació: MÀSTER UNIVERSITARI EN INTEL·LIGÈNCIA ARTIFICIAL (Pla 2017). (Assignatura optativa).
Curs: 2025 **Crèdits ECTS:** 4.0 **Idiomes:** Anglès

PROFESSORAT

Professorat responsable:

Altres: Segon quadrimestre:
MARIO MARTÍN MUÑOZ - 10

CAPACITATS PRÈVIES

Conceptes bàsics de Deep Learning.

COMPETÈNCIES DE LA TITULACIÓ A LES QUALS CONTRIBUEIX L'ASSIGNATURA

Específiques:

CEA11. Capacidad de comprender las técnicas avanzadas de Inteligencia Computacional, y saber diseñar, implementar y aplicar estas técnicas en el desarrollo de aplicaciones, servicios o sistemas inteligentes.
CEA3. Capacidad de comprender los principios básicos de funcionamiento de las técnicas principales de Aprendizaje Automático, y saber utilizarlas en el entorno de un sistema o servicio inteligente.
CEA9. Capacidad de comprender las técnicas avanzadas de Sistemas Multiagentes, y saber diseñar, implementar y aplicar estas técnicas en el desarrollo de aplicaciones, servicios o sistemas inteligentes.
CEP2. Capacidad de resolver los problemas de toma de decisiones de las diferentes organizaciones, integrando herramientas inteligentes.
CEP3. Capacidad de aplicacion de las tecnicas de Inteligencia Artificial en entornos tecnologicos e industriales para la mejora de la calidad y la productividad.
CEP8. Capacidad de respetar el entorno ambiental y disenar y desarrollar sistemas inteligentes sostenibles.

Genèriques:

CG3. Capacitat per a la modelització, càlcul, simulació, desenvolupament i implantació en centres tecnològics i d'enginyeria d'empresa, particularment en tasques de recerca, desenvolupament i innovació en tots els àmbits relacionats amb la Intel·ligència Artificial.
CG4. Capacitat per a la direcció general, direcció tècnica i direcció de projectes de recerca, desenvolupament i innovació en empreses i centres tecnològics, en l'àmbit de la Intel·ligència Artificial.

Transversals:

CT3. TREBALL EN EQUIP: Ser capaç de treballar com a membre d'un equip interdisciplinari, ja sigui com un membre més o duent a terme tasques de direcció, amb la finalitat de contribuir a desenvolupar projectes amb pragmatisme i sentit de la responsabilitat, tot assumint compromisos considerant els recursos disponibles.

METODOLOGIES DOCENTS

Les classes de teoria introdueixen tots els coneixements, les tècniques i els conceptes necessaris que es posen en pràctica en les classes de laboratori. Les classes de teoria seran majoritàriament del tipus classe magistral, però algunes d'elles poden ser del tipus classe expositiva participativa, amb participació dels estudiants en la resolució de problemes o exercicis.

Les classes de laboratori tenen com a objectiu que els estudiants treballin amb eines de programari que permeten aplicar les tècniques presentades a teoria a problemes reals. Els estudiants usaran aquestes eines per desenvolupar el seu treball pràctic de l'assignatura, que constarà d'una part de treball autònom individual i una part de treball en equip de 2/3 persones. Una part del temps de les classes de laboratori es dedicarà a l'orientació i supervisió per part del professor d'aquests treballs autònoms i cooperatius.

OBJECTIUS D'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

1. Conèixer els algorismes més importants i estat de l'art en l'àrea d'aprenentatge per reforçament
2. Saber formalitzar computacionalment un problema del món real com a aprenentatge per reforçament i saber implementar en els entorns més actuals els algorismes d'aprenentatge que els resoln
3. Conèixer i entendre les tècniques més avançades i recents en el camp dels sistemes Multi-Agent per aprendre a cooperar o competir.
4. Comprendre les dificultats i les ineficiències de l'enfocament d'aprenentatge de reforç i proposar les tècniques i enfocaments que els podrien resoldre
5. Entendre la necessitat, fonaments i particularitats de l'aprenentatge de comportaments i les seves diferències respecte a l'aprenentatge automàtic de classificació i no-supervisat.
6. Conèixer quins tipus de problemes es poden modelitzar com un problema d'aprenentatge per reforç i identificar les tècniques que es poden aplicar per resoldre-les

HORES TOTALES DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores aprenentatge autònom	59,5	59.50
Hores grup gran	27,0	27.00
Hores grup petit	13,5	13.50

Dedicació total: 100 h

CONTINGUTS

Introducció: L'aprenentatge de comportaments en agents i descripció dels principals elements en l'aprenentatge de reforç

Descripció:

Intuïció, motivació i definició del marc de l'aprenentatge per reforçament (RL). Elements clau en RL.

Trobat polítics òptims mitjançant la programació dinàmica

Descripció:

Com aprendre un comportament amb coneixement complet del model del món: solució algebraica, avaluació iterada de polítiques i avaluació iterada de valors.

Introducció als enfocaments sense models del món.

Descripció:

Algorismes bàsics per a l'aprenentatge de reforç: Montecarlo, Q-learning, Sarsa, TD (λ). La necessitat d'exploració. Diferències entre els mètodes On-policy i Off-policy.

Aproximació de funcions a l'aprenentatge de reforç

Descripció:

La necessitat de l'aproximació de funcions i mètodes incrementals en RL. L'aproximació del descens del gradient. RL amb aproximació de funció lineal. La triada mortal per a l'aproximació de funcions en RL. Mètodes per lots i xarxes neuronals per a l'aproximació de funcions.

Aprenentatge per reforç profund (DRL)

Descripció:

Revolució a RL introduint Deep Learning. Com tractar la mortal tríada amb l'algorisme DQN. Aplicació de DQN al cas dels jocs Atari. Evolucions de l'algorisme DQN: Double DQN, Prioritized Experience Replay, aprenentatge en múltiples passos i funcions de valor distribuïdes. Rainbow: l'algorisme d'última generació per un espai d'acció discret.

Mètodes del gradient en la política

Descripció:

Què fer en espais d'acció continus. Com les polítiques probabilístiques permeten aplicar el mètode de gradient directament a la xarxa de polítiques. L'algorisme REINFORCE. Els algorismes Actor-Critic. Algorismes d'última generació en espais d'acció continus: DDPG, TD3 i SAC.

Temes avançats: Com tractar el problema del reforç espars

Descripció:

El problema de la recompensa esparsa. Introducció a tècniques avançades d'exploració: curiositat i empoderament en RL. Introducció a l'aprenentatge curricular per facilitar l'aprenentatge de l'objectiu. RL jeràrquic per aprendre tasques complexes. L'aprenentatge de les funcions de valor universals i Hindsight Experience Replay (HER).

Temes avançats: Aprenentatge de reforç basat en models (MBRL)

Descripció:

Separar l'aprenentatge de la política de l'aprenentatge d'un model de món té alguns avantatges i alguns problemes. Eficiència de l'aprenentatge en RL per al·lucinació i imaginació.

Temes avançats: Cap a l'aprenentatge continu la vida als agents

Descripció:

És RL un camí per obtenir una Intel·ligència Artificial General? Aprenentatge multitasca en RL, Transferència d'aprenentatge en RL i Meta-aprenentatge en RL. Enfocaments d'última generació.

Aprenentatge de reforç en el marc multi-agent

Descripció:

Aprenentatge de conductes en un entorn on actuen diversos agents. Aprenentatge de conductes cooperatives, Aprenentatge de conductes competitives i casos mixtos. Algorismes d'última generació. El cas especial dels jocs: el cas AlfaGo i l'extensió a Alfa-Zero.

ACTIVITATS

Introducció, motivació i exemples d'aplicacions amb èxit a RL

Descripció:

Desenvolupament del tema corresponent de l'assignatura i exercicis de laboratori.

Objectius específics:

5, 6

Competències relacionades:

CG4. Capacitat per a la direcció general, direcció tècnica i direcció de projectes de recerca, desenvolupament i innovació en empreses i centres tecnològics, en l'àmbit de la Intel·ligència Artificial.

CG3. Capacitat per a la modelització, càlcul, simulació, desenvolupament i implantació en centres tecnològics i d'enginyeria d'empresa, particularment en tasques de recerca, desenvolupament i innovació en tots els àmbits relacionats amb la Intel·ligència Artificial.

CEA3. Capacidad de comprender los principios básicos de funcionamiento de las técnicas principales de Aprendizaje Automático, y saber utilizarlas en el entorno de un sistema o servicio inteligente.

CEP3. Capacidad de aplicación de las técnicas de Inteligencia Artificial en entornos tecnológicos e industriales para la mejora de la calidad y la productividad.

CEA11. Capacidad de comprender las técnicas avanzadas de Inteligencia Computacional, y saber diseñar, implementar y aplicar estas técnicas en el desarrollo de aplicaciones, servicios o sistemas inteligentes.

CEP2. Capacidad de resolver los problemas de toma de decisiones de las diferentes organizaciones, integrando herramientas inteligentes.

Dedicació: 2h

Grup gran/Teoria: 1h

Aprenentatge autònom: 1h

Definició del marc RL. Elements clau a RL. Trobar la política òptima mitjançant la Iteració de valor i la Iteració de polítiques

Descripció:

Desenvolupament del tema corresponent de l'assignatura i exercicis de laboratori

Objectius específics:

1, 5, 6

Competències relacionades:

CG4. Capacitat per a la direcció general, direcció tècnica i direcció de projectes de recerca, desenvolupament i innovació en empreses i centres tecnològics, en l'àmbit de la Intel·ligència Artificial.

CG3. Capacitat per a la modelització, càlcul, simulació, desenvolupament i implantació en centres tecnològics i d'enginyeria d'empresa, particularment en tasques de recerca, desenvolupament i innovació en tots els àmbits relacionats amb la Intel·ligència Artificial.

CEA3. Capacidad de comprender los principios básicos de funcionamiento de las técnicas principales de Aprendizaje Automático, y saber utilizarlas en el entorno de un sistema o servicio inteligente.

CEP3. Capacidad de aplicación de las técnicas de Inteligencia Artificial en entornos tecnológicos e industriales para la mejora de la calidad y la productividad.

CEA11. Capacidad de comprender las técnicas avanzadas de Inteligencia Computacional, y saber diseñar, implementar y aplicar estas técnicas en el desarrollo de aplicaciones, servicios o sistemas inteligentes.

CEP2. Capacidad de resolver los problemas de toma de decisiones de las diferentes organizaciones, integrando herramientas inteligentes.

Dedicació: 9h

Grup gran/Teoria: 2h

Grup petit/Laboratori: 1h

Aprenentatge autònom: 6h

Introducció als enfocaments sense models. Monte-Carlo, Q-learning, Sarsa, TD (λ)

Descripció:

Desenvolupament del tema corresponent de l'assignatura

Objectius específics:

1, 5, 6

Competències relacionades:

CG4. Capacitat per a la direcció general, direcció tècnica i direcció de projectes de recerca, desenvolupament i innovació en empreses i centres tecnològics, en l'àmbit de la Intel·ligència Artificial.

CG3. Capacitat per a la modelització, càlcul, simulació, desenvolupament i implantació en centres tecnològics i d'enginyeria d'empresa, particularment en tasques de recerca, desenvolupament i innovació en tots els àmbits relacionats amb la Intel·ligència Artificial.

CEA3. Capacidad de comprender los principios básicos de funcionamiento de las técnicas principales de Aprendizaje Automático, y saber utilizarlas en el entorno de un sistema o servicio inteligente.

CEP3. Capacidad de aplicación de las técnicas de Inteligencia Artificial en entornos tecnológicos e industriales para la mejora de la calidad y la productividad.

CEA11. Capacidad de comprender las técnicas avanzadas de Inteligencia Computacional, y saber diseñar, implementar y aplicar estas técnicas en el desarrollo de aplicaciones, servicios o sistemas inteligentes.

CEP2. Capacidad de resolver los problemas de toma de decisiones de las diferentes organizaciones, integrando herramientas inteligentes.

Dedicació: 7h

Grup gran/Teoria: 2h

Grup petit/Laboratori: 1h

Aprenentatge autònom: 4h

Aproximació de funcions en RL

Descripció:

Desenvolupament del tema corresponent de l'assignatura i exercicis de laboratori.

Objectius específics:

1, 2, 4

Competències relacionades:

CG4. Capacitat per a la direcció general, direcció tècnica i direcció de projectes de recerca, desenvolupament i innovació en empreses i centres tecnològics, en l'àmbit de la Intel·ligència Artificial.

CG3. Capacitat per a la modelització, càlcul, simulació, desenvolupament i implantació en centres tecnològics i d'enginyeria d'empresa, particularment en tasques de recerca, desenvolupament i innovació en tots els àmbits relacionats amb la Intel·ligència Artificial.

CEA3. Capacidad de comprender los principios básicos de funcionamiento de las técnicas principales de Aprendizaje Automático, y saber utilizarlas en el entorno de un sistema o servicio inteligente.

CEP8. Capacidad de respetar el entorno ambiental y diseñar y desarrollar sistemas inteligentes sostenibles.

CEP3. Capacidad de aplicación de las técnicas de Inteligencia Artificial en entornos tecnológicos e industriales para la mejora de la calidad y la productividad.

CEA11. Capacidad de comprender las técnicas avanzadas de Inteligencia Computacional, y saber diseñar, implementar y aplicar estas técnicas en el desarrollo de aplicaciones, servicios o sistemas inteligentes.

CEP2. Capacidad de resolver los problemas de toma de decisiones de las diferentes organizaciones, integrando herramientas inteligentes.

CT3. TREBALL EN EQUIP: Ser capaç de treballar com a membre d'un equip interdisciplinari, ja sigui com un membre més o duent a terme tasques de direcció, amb la finalitat de contribuir a desenvolupar projectes amb pragmatisme i sentit de la responsabilitat, tot assumint compromisos considerant els recursos disponibles.

Dedicació: 5h

Grup gran/Teoria: 2h

Grup petit/Laboratori: 1h

Aprenentatge autònom: 2h

Aprenentatge per reforç profund

Descripció:

Desenvolupament del tema corresponent de l'assignatura i exercicis de laboratori

Objectius específics:

1, 2, 4

Competències relacionades:

CG4. Capacitat per a la direcció general, direcció tècnica i direcció de projectes de recerca, desenvolupament i innovació en empreses i centres tecnològics, en l'àmbit de la Intel·ligència Artificial.

CG3. Capacitat per a la modelització, càlcul, simulació, desenvolupament i implantació en centres tecnològics i d'enginyeria d'empresa, particularment en tasques de recerca, desenvolupament i innovació en tots els àmbits relacionats amb la Intel·ligència Artificial.

CEA3. Capacidad de comprender los principios básicos de funcionamiento de las técnicas principales de Aprendizaje Automático, y saber utilizarlas en el entorno de un sistema o servicio inteligente.

CEP8. Capacidad de respetar el entorno ambiental y diseñar y desarrollar sistemas inteligentes sostenibles.

CEP3. Capacidad de aplicación de las técnicas de Inteligencia Artificial en entornos tecnológicos e industriales para la mejora de la calidad y la productividad.

CEA11. Capacidad de comprender las técnicas avanzadas de Inteligencia Computacional, y saber diseñar, implementar y aplicar estas técnicas en el desarrollo de aplicaciones, servicios o sistemas inteligentes.

CEP2. Capacidad de resolver los problemas de toma de decisiones de las diferentes organizaciones, integrando herramientas inteligentes.

CT3. TREBALL EN EQUIP: Ser capaç de treballar com a membre d'un equip interdisciplinari, ja sigui com un membre més o duent a terme tasques de direcció, amb la finalitat de contribuir a desenvolupar projectes amb pragmatisme i sentit de la responsabilitat, tot assumint compromisos considerant els recursos disponibles.

Dedicació: 12h

Grup gran/Teoria: 3h

Grup petit/Laboratori: 1h

Aprenentatge autònom: 8h

Mètodes del gradient en la política

Descripció:

Desenvolupament del tema corresponent de l'assignatura i exercicis de laboratori

Objectius específics:

1, 4

Competències relacionades:

CG4. Capacitat per a la direcció general, direcció tècnica i direcció de projectes de recerca, desenvolupament i innovació en empreses i centres tecnològics, en l'àmbit de la Intel·ligència Artificial.

CG3. Capacitat per a la modelització, càlcul, simulació, desenvolupament i implantació en centres tecnològics i d'enginyeria d'empresa, particularment en tasques de recerca, desenvolupament i innovació en tots els àmbits relacionats amb la Intel·ligència Artificial.

CEA3. Capacidad de comprender los principios básicos de funcionamiento de las técnicas principales de Aprendizaje Automático, y saber utilizarlas en el entorno de un sistema o servicio inteligente.

CEP8. Capacidad de respetar el entorno ambiental y diseñar y desarrollar sistemas inteligentes sostenibles.

CEP3. Capacidad de aplicación de las técnicas de Inteligencia Artificial en entornos tecnológicos e industriales para la mejora de la calidad y la productividad.

CEA11. Capacidad de comprender las técnicas avanzadas de Inteligencia Computacional, y saber diseñar, implementar y aplicar estas técnicas en el desarrollo de aplicaciones, servicios o sistemas inteligentes.

Dedicació: 14h

Grup gran/Teoria: 3h

Grup petit/Laboratori: 2h

Aprenentatge autònom: 9h

Treballs pràctics dirigits

Objectius específics:

2, 3, 6

Competències relacionades:

CG4. Capacitat per a la direcció general, direcció tècnica i direcció de projectes de recerca, desenvolupament i innovació en empreses i centres tecnològics, en l'àmbit de la Intel·ligència Artificial.

CEA9. Capacidad de comprender las técnicas avanzadas de Sistemas Multiagentes, y saber diseñar, implementar y aplicar estas técnicas en el desarrollo de aplicaciones, servicios o sistemas inteligentes.

CEA3. Capacidad de comprender los principios básicos de funcionamiento de las técnicas principales de Aprendizaje Automático, y saber utilizarlas en el entorno de un sistema o servicio inteligente.

CEP8. Capacidad de respetar el entorno ambiental y diseñar y desarrollar sistemas inteligentes sostenibles.

CEP3. Capacidad de aplicación de las técnicas de Inteligencia Artificial en entornos tecnológicos e industriales para la mejora de la calidad y la productividad.

CEA11. Capacidad de comprender las técnicas avanzadas de Inteligencia Computacional, y saber diseñar, implementar y aplicar estas técnicas en el desarrollo de aplicaciones, servicios o sistemas inteligentes.

CEP2. Capacidad de resolver los problemas de toma de decisiones de las diferentes organizaciones, integrando herramientas inteligentes.

CT3. TREBALL EN EQUIP: Ser capaç de treballar com a membre d'un equip interdisciplinari, ja sigui com un membre més o duent a terme tasques de direcció, amb la finalitat de contribuir a desenvolupar projectes amb pragmatisme i sentit de la responsabilitat, tot assumint compromisos considerant els recursos disponibles.

Dedicació: 12h

Grup petit/Laboratori: 2h

Aprenentatge autònom: 10h

Examen final

Dedicació: 7h

Activitats dirigides: 3h

Aprenentatge autònom: 4h

Estudi de l'estat de l'art en un treball de tema avançat

Dedicació: 10h

Aprenentatge autònom: 10h

Temes avançats sobre aprenentatge del comportament: augment de l'eficiència de la mostra

Dedicació: 16h

Grup gran/Teoria: 6h

Grup petit/Laboratori: 2h

Aprenentatge autònom: 8h

RL multiagent

Objectius específics:

3

Competències relacionades:

CG4. Capacitat per a la direcció general, direcció tècnica i direcció de projectes de recerca, desenvolupament i innovació en empreses i centres tecnològics, en l'àmbit de la Intel·ligència Artificial.

CEA9. Capacidad de comprender las técnicas avanzadas de Sistemas Multiagentes, y saber diseñar, implementar y aplicar estas técnicas en el desarrollo de aplicaciones, servicios o sistemas inteligentes.

CEP8. Capacidad de respetar el entorno ambiental y diseñar y desarrollar sistemas inteligentes sostenibles.

CEP3. Capacidad de aplicación de las técnicas de Inteligencia Artificial en entornos tecnológicos e industriales para la mejora de la calidad y la productividad.

CEP2. Capacidad de resolver los problemas de toma de decisiones de las diferentes organizaciones, integrando herramientas inteligentes.

CT3. TREBALL EN EQUIP: Ser capaç de treballar com a membre d'un equip interdisciplinari, ja sigui com un membre més o duent a terme tasques de direcció, amb la finalitat de contribuir a desenvolupar projectes amb pragmatisme i sentit de la responsabilitat, tot assumint compromisos considerant els recursos disponibles.

Dedicació: 8h

Grup gran/Teoria: 2h

Grup petit/Laboratori: 2h

Aprenentatge autònom: 4h

SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

La nota (M) es calcula de la següent manera:

$$M = 0,20 * \text{Quiz} + 0,30 * \text{Pràctic} + 0,5 * \text{Teòric}$$

on

* Quiz * es refereix a un Quiz amb preguntes teòriques i conceptuals sobre la primera part del curs

* Pràctic * fa referència a la implementació d'un algorisme RL sobre un problema realitzat a Python

* Teòric * es refereix a un estudi de l'estat de l'art en un treball de tema avançat que ha de triar l'estudiant

RECURSOS

Enllaç web:

- <http://www.fib.upc.edu/en/masters/mai.html>. Master in Artificial Intelligence

- <https://www.cs.upc.edu/~mmartin/ATCI-RL.html>. Web page of the course with all materials.