



Universidad
Rey Juan Carlos

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

Guía Docente

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

CURSO 2022-2023

**Autores: Sascha Ossowski
Holger Billhardt
Alberto Fernández-Gil**



Copyright (c) 2023 Sascha Ossowski , Holger Billhardt, Alberto Fernández-Gil. Esta obra está bajo la licencia CC BY-SA 4.0, [Creative Commons Atribuciónn-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Inteligencia Artificial

Presentación

La asignatura realiza una introducción a la Inteligencia Artificial a través del concepto de agente inteligente. Se presentan las diferentes áreas de la Inteligencia Artificial como fuentes de modelos y técnicas para poder desarrollar progresivamente agentes cada vez más competentes, entendiendo por incremento de competencia la capacidad de actuar en entornos y situaciones cada vez más complejos. La asignatura pone especial énfasis en los aspectos ingenieriles y prácticos de la Inteligencia Artificial. En particular, se hará hincapié en la formalización e implementación de los diferentes mecanismos de modelización e inferencia. Para cursar la asignatura **es recomendable** tener conocimiento básico de las siguientes materias:

- Lógica
- Matemática Discreta y Álgebra
- Programación, Estructuras de Datos, Diseño y Análisis de Algoritmos

Temario

El temario se articula a través de 12 temas organizadas en 4 bloques básicos. Los temas se basan en una explicación teórica de los algoritmos y técnicas, así como en la realización de ejercicios en los que se deben aplicar estas técnicas. La programación temporal de la asignatura está concebida para 14 semanas.

Bloque temático	Tema	Apartados	Semana
I.- "Introducción a la Inteligencia Artificial"	Tema 1. "Introducción a la Inteligencia Artificial"	Historia de la I.A. Agentes inteligentes.	1
II.- "Resolución de problemas búsqueda"	Tema 2. "Búsqueda no informada"	Agentes basados en búsqueda. Método general de búsqueda. Búsqueda en amplitud. Complejidad	2
	Tema 3. "Búsqueda heurística "	Algoritmo A*. Análisis.	3
	Tema 4. "Búsqueda heurística avanzada"	Diseño y calidad de funciones heurísticas. Búsqueda on-line.	4
	Tema 5. "Búsqueda multiagente"	Búsqueda con adversario. Algoritmo minimax. Poda alfabeta. Algoritmo Expect-minimax.	5
	Tema 6. "Restricciones"	Problemas de satisfacción de restricciones. Búsqueda con estados completos. Algoritmo de backtracking cronológico. Forward checking. Consistencia de arco. Algoritmo MAC.	6
III.- "Representación del conocimiento"	Tema 7. "Lógica de descripciones"	Introducción. ALC: sintaxis y semántica. Inferencia.	7
	Tema 8. "Ontologías y Web Semántica"	Introducción a la Web Semántica. Ontologías (RDF, RDF Schema., OWL). SPARQL. Web de Datos.	8-9
	Tema 9. "Razonamiento con imprecisión"	Introducción. Subconjuntos borrosos. Operaciones con subconjuntos borrosos. Implicación e inferencia borrosa.	10
IV- "Aprendizaje automático"	Tema 10. "Introducción al Aprendizaje automático y Aprendizaje de Árboles de Decisión"	Introducción. Tipos de algoritmos de aprendizaje. Algoritmo ID3.	11
	Tema 11. "Aprendizaje de Redes Neuronales"	Aprendizaje de redes neuronales.	12
	Tema 12. "Aprendizaje por refuerzo"	Procesos de Markov. Q-learning.	13-14

Guías específicas de estudio para cada tema

Tema 1: Introducción a la Inteligencia Artificial

El tema se subdivide en 2 partes, ambas basadas principalmente en el libro de Russell y Norvig [Russell&Norvig04]:

- *Introducción a la IA*: Capítulos 1.1, 1.2, y 1.3. Se puede complementar con los capítulos 1.2 y 1.3 de [Nilsson01]
- *Agentes Inteligentes*: Capítulos 2.1, 2.2, 2.3 y (parcialmente) 2.4

Tema 2: Búsqueda no informada

El tema se basa principalmente en [Russell&Norvig04], capítulos 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 (parcialmente), y 3.5. Se puede complementar con el capítulo 8 de [Nilsson01].

Tema 3 y 4: Búsqueda heurística

El tema se subdivide en 4 partes:

- *Algoritmo A^** : Capítulo 4.1 de [Russell&Norvig04]. Nótese que nuestras funciones heurísticas h^* en este libro se denominan h . [Nilsson01] también describe el algoritmo A^* en su capítulo 9.2.1, pero utiliza una versión que busca en grafos (no en árboles, como la versión que vemos en clase). Nilsson llama la función heurística \hat{h} .
- *Aprendizaje de funciones heurísticas*: No existe una descripción detallada del método que vemos en clase, pero está basado en el capítulo 10.3.1 de [Nilsson01]. Se puede complementar con el final del capítulo 4.2 de [Russell&Norvig2004].
- *Diseño de funciones heurísticas*: Basado en el capítulo 4.2 de [Russell&Norvig04].
- *Extensiones de A^* (búsqueda aproximada)*: Basado en los capítulos 10.2.1, 10.2.2, y 10.2.3 de [Nilsson01].

Tema 5: Búsqueda multiagente

El tema se basa principalmente en [Russell&Norvig04], capítulos 6.1, 6.2, 6.3, 6.4., 6.5 (parcialmente). Se puede complementar con el capítulo 12 de [Nilsson01].

Tema 6: Representaciones Estructuradas – Restricciones

El tema de restricciones se basa principalmente en [Russell&Norvig04], capítulos 5.1, 5.2 (parcialmente), y 5.3. La *tercera* edición (en inglés) del libro de Russell y Norvig habla sobre representaciones estructuradas de estados en general en su capítulo 2.4.7.

Tema 7: Lógica de Descripciones

La referencia principal del tema es [Sattler07] y cubre prácticamente todo el tema. El libro [Billhardt15] incluye breve resumen del tema. Más en detalle, el contenido de este tema se divide en tres apartados, para los que se recomiendan las siguientes referencias:

1. Representación del conocimiento:
 - [Sattler07], sección 2.
 - [Baader03], secciones 2.2.1, 2.2.2.1, 2.2.2.2
 - [Breitman07], capítulo 3 (secciones 3.1 a 3.3)
 - [Hitzler09], capítulo 5 (secciones 5.1.1, 5.2.1)
2. Inferencia:
 - [Sattler07], sección 3.
 - [Baader03], secciones 2.2.4
 - [Breitman07], capítulo 3 (sección 3.4)
 - [Hitzler09], capítulo 5 (sección 5.3.1)
3. \mathcal{ALC} como Lógica de primer orden:
 - [Sattler07], sección 5.1
 - [Baader03], sección 2.2.1.3
 - [Hitzler09], capítulo 5 (sección 5.2.2)

Ejercicios resueltos:

- [Billhardt15] capítulo 4, ejercicio 7.4 (preguntas test).
- [Fernández10], capítulo 3, ejercicios 1-4. Algunas preguntas de test en capítulo 7.
- [Hitzler09], capítulo 5 (sección 5.5)

Tema 8: Ontologías y Web semántica

En general, se puede encontrar bastante información en la “W3C Semantic Web Activity” (<http://www.w3.org/2001/sw/>), en particular en la sección de tutoriales (<http://www.w3.org/2001/sw/BestPractices/Tutorials>).

A continuación se indican algunas referencias apropiadas a cada parte del contenido de este tema.

1. Introducción a la Web Semántica
 - [Berners-Lee01] es el artículo introductorio del creador de la Web.
 - [Shadbolt 06]
 - [Antoniou08], capítulo 1.
 - <http://www.w3.org/People/Ivan/CorePresentations/IntroThroughExample/>
 - [Allemang08], capítulo 1.
2. RDF y RDF Schema
 - [Billhardt15], breve resumen en capítulo 4 y ejercicio 4.13
 - [Breitman07], capítulo 4
 - [Hitzler09], capítulo 2
 - [Antoniou08], capítulo 3. En este libro se usa más la notación XML de RDF que la Turtle (usada más frecuentemente en la asignatura).
 - [Allemang08], capítulos 3 y 6

- <http://www.w3.org/RDF/>
 - <http://www.w3.org/TR/rdf11-primer/>
 - <http://www.w3.org/TR/rdf-schema/>
3. OWL
- [Breitman07], capítulo 5
 - [Hitzler09], capítulo 4
 - [Antoniou08], capítulo 4.
 - [Allemang08], capítulos 7 y 9 los conceptos, capítulos 8 y 10 describen ejemplos de aplicación.
 - <http://www.w3.org/OWL/>
 - <http://www.w3.org/TR/owl-guide/>
4. SPARQL
- [Hitzler09], capítulo 7 (sección 7.1)
 - <http://www.cambridge semantics.com/semantic-university/sparql-by-example>
 - <http://www.w3.org/TR/sparql11-query/>
5. La Web de Datos (Linked Data)
- Video: http://www.ted.com/talks/tim_berners_lee_on_the_next_web.html (vídeo 16 min)
 - <http://linkeddata.org/>
 - <http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>

Ejercicios resueltos:

- [Billhardt15] capítulo 4, ejercicio 7.4 (preguntas test)
- [Hitzler09], capítulo 2 (sección 2.5)

Tema 9: Razonamiento con Imprecisión

No existe una única referencia sobre este tema que se adapte a los contenidos y sobre todo al nivel de detalle del curso. A continuación se comentan algunas referencias y las partes que cubren.

- [Billhardt15]: el capítulo 5 contiene un breve resumen del tema en tres páginas
- [Peña04]: la sección 1.2 del capítulo 1 cubre gran parte de este tema
- [CCLee90]: la sección II da una introducción a los conceptos, aunque de forma más simplificada a la propuesta en la asignatura (por ejemplo, sólo propone el mínimo y máximo como intersección y unión, respectivamente).
- [Escolano] capítulo 3.3
- [KHLee05] en general es un libro que analiza en bastante profundidad, pero pueden ser interesantes los capítulos 1, 2, 8 y 9

Ejercicios resueltos:

- [Billhardt15] capítulo 5, ejercicio 7.5 (preguntas test)
- [Fernández10] contiene ejercicios resueltos en el capítulo 6. Muchos de estos ejercicios son sobre controladores borrosos, que aunque sí visto en clase los conceptos no se han analizado en detalle. Sí se debería ser capaz de resolver el 2, 4a-c, 5a, 6a, 7a, 8a, 9a, 10a, 12 (salvo parte final del apartado d), 13a, 13b1 y 14a.

Para el examen, qué es importante y qué no:

- No hay que saberse de memoria las diferentes funciones (t-normas, t-conormas, implicaciones borrosas, ...). Sí hay que saber que el mínimo y producto son t-normas y que el máximo y suma-producto son t-conormas.
- Por defecto, si no se dice lo contrario, si hay que utilizar una función de negación se usará $N(x) = 1 - x$. En el caso de t-normas y t-conormas habrá que utilizar la que se indique (o la que corresponda por dualidad).

Tema 10: Introducción al Aprendizaje Automático y Aprendizaje de Árboles de Decisión

Sobre la introducción al aprendizaje automático y los diferentes tipos de aprendizaje se pueden consultar las siguientes referencias:

- [Russell&Norvig04]: capítulo 18 secciones 1 y 2

Respecto al algoritmo básico del aprendizaje de árboles de decisión se puede encontrar información más detallada en:

- [Russell&Norvig04]: capítulo 18 seccion 3
- El algoritmo ID3 ha sido desarrollado inicialmente por Quinlan en [Quinlan79]

Una discusión más detallada y extensa del aprendizaje de árboles de decisión, otras formas de aprendizaje inductivo y un análisis de algunos aspectos teóricos del aprendizaje inductivo se encuentran en todo el capítulo 18 de [Russell&Norvig04].

En [Billhardt15], el capítulo 6 contiene un breve resumen del tema, así como varios ejercicios (algunos de ellos incluidos en las hojas del problema). El capítulo 7 incluye varias preguntas sobre los conceptos del tema.

Respecto a las formas de evaluar métodos de aprendizaje, en realidad se evalúa la calidad de los clasificadores que se hayan aprendido. Esta evaluación es similar a cualquier tipo de sistema de clasificación de cualquier ámbito (por ejemplo también la evaluación de motores de búsqueda de documentos). No hay una descripción muy detallada de estos parámetros de evaluación en los libros de referencia de la asignatura. La información que viene en la Wikipedia bajo el concepto de “Sensitivity and specificity” está bastante bien y completa.

Tema 11: Aprendizaje de Redes Neuronales

El aprendizaje de redes neuronales se incluye generalmente en el temario de “Métodos estadísticos de aprendizaje”. El temario de esta sesión se ha obtenido principalmente de del capítulo 20.5 “Redes Neuronales” de [Russell&Norvig04].

Respecto a otros métodos de aprendizaje inductivo: los capítulos 18, 19 y 20 de [Russell&Norvig04] contienen algunos algoritmos más.

Tema 12: Aprendizaje por Refuerzo

La primera parte del tema presenta problemas de decisión secuenciales mediante Procesos de decisión de Markov (capítulo 15 y 17 de [Russell&Norvig04]).

La parte de aprendizaje corresponde principalmente al capítulo 21 de [Russell&Norvig04].

El capítulo 6 de [Billhardt15] incluye un breve resumen del tema e incluye varios ejercicios (algunos de ellos incluidos en las hojas del problema).

Si un problema de decisión secuencial se puede formalizar como un Proceso de Decisión de Markov (MDP), el algoritmo de iteración de valores, presentado en clase, resuelve este tipo de problemas. Resolver aquí significa encontrar la política óptima del agente. La política de un agente representa su módulo de decisión de la acción que debe realizar en un estado determinado. La política óptima es aquella que proporciona la mayor recompensa acumulada esperada. Es decir, si el agente la sigue, en promedio, sus recompensas serán las mayores posibles.

La resolución de un MDP requiere que se conoce todo el modelo (las acciones disponibles en cada estado, las transiciones y recompensas que existen...). Sin embargo, en muchos casos no se dispone de esta información (se desconoce el modelo del entorno). En estos casos, el agente puede aprender la política óptima; actuando en el entorno y mejorando sus actuaciones con el tiempo en base a los resultados que observa de sus acciones. Este tipo de aprendizaje se denomina aprendizaje por refuerzo. Es esencialmente un aprendizaje por “prueba y error”.

El algoritmo de aprendizaje por refuerzo que presentamos en clase es el algoritmo Q-learning. En él, se pretende aprender los valores Q^* para todas las pares <estado, acción> posibles. Para ello se usa una función Q que eventualmente se aproxima a la función Q^* .

Es importante resaltar que en problemas de aprendizaje por refuerzo, en general, no se conoce a priori el entorno entero, ni los estados a los que se puede llegar con una determinada acción ni las recompensas que se pueden recibir. El proceso de aprendizaje se realiza durante la ejecución del problema de forma repetitiva. Durante este proceso se “descubre el mundo” y poco a poco se aprende tomar mejores decisiones (cuando los valores de Q se aproximan a los valores de Q^*).

Por tanto, el rendimiento de un agente al actuar en un entorno de este tipo mejora con el tiempo (porque ha aprendido más).

Referencias

- [Allemang08] D. Allemang, J. Hendler. *Semantic web for the working ontologist : modeling in RDF, RDFS and OWL*. Morgan Kaufmann Publishers. 2008.
- [Antoniou08] G. Antoniou, F. van Harmelen. *A Semantic Web Primer*. The MIT Press, cop. 2008
- [Baader03] F. Baader, W. Nutt. *Basic Description Logics*. Capítulo 2 en “The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications”. Cambridge University Press, 2003.
- [Berners-Lee01] T. Berners-Lee, J. Hendler, O. Lassila. The Semantic Web. Scientific American, Mayo 2001.
- [Billhardt15] H. Billhardt, A. Fernández, S. Ossowski. *Inteligencia Artificial. Ejercicios Resueltos*. Areces. 2015
- [Breitman07] K. Breitman, M. A. Casanova, W. Truszkowski. *Semantic Web: Concepts, Technologies and Applications*. Springer. 2007

- [CCLee90] C.C. Lee. *Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller – Part I*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 20 (2), pág. 404-418. Marzo/Abril 1990.
- [Escolano03] F. Escolano, M.A. Cazorla, M. I. Alfonso, O. Colomina, M.A. Lozano. *Inteligencia Artificial: Modelos, Técnicas y Áreas de Aplicación*. Ed. Thompson. 2003.
- [Fernández10] A. Fernández. *Sistemas expertos: representación e inferencia. Problemas resueltos*. Dykinson, URJC. 2010
- [Hitzler09] P. Hitzler, M. Krötzsch, S. Rudolph. *Foundations of Semantic Web Technologies*. CRC Press. 2009.
- [Nilsson01] Nilsson, N.: *Inteligencia Artificial — Una Nueva Síntesis*. McGraw-Hill, 2001
- [KHLee05] K. H. Lee. *First Course on Fuzzy Theory and Applications*. Springer 2005.
- [Peña04] C.A. Peña Reyes. *Coevolutionary Fuzzy Modeling*, LNCS 3204, pp. 1-26, 2004. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2004.
- [Quinlan79] J.R.Quinlan. *Discovering rules from large collections of examples: A case study*. En D. Michie (ed.). *Expert Systems in the Microelectronic Age*. Edingurgh University Press, 1979.
- [Russell&Norvig04] Stuart Russell, Peter Norvig. *Inteligencia Artificial: Un enfoque modern*. Pearson Educación S.A. Madrid, 2004.
- [Sattler07] U. Sattler. *Reasoning in Description Logics: Basics, Extensions, and Relatives*. Reasoning Web 2007, LNCS 4636
- [Shadbolt 06] N. Shadbolt, Tim Berners-Lee, W. Hall. *The Semantic Web Revisited*. IEEE Intelligent Systems, 21 (3). Mayo 2006.