Formulario de aprobación de curso de posgrado/educación permanente

Asignatura: Un robot que actúa para conocer: Inferencia Activa en una Arquitectura Cognitiva

Modalidad: (posgrado, educación permanente o ambas)	**Posgrado**	X
	Educación permanente	

Profesor de la asignatura: Prof. Pablo Bustos, investigador y profesor del RoboLab de la Escuela Politécnica de la Universidad de Extremadura, Cáceres, España.

Profesor Responsable Local: Dr. Gonzalo Tejera López (Grado 5 Efectivo, Instituto de Computación)

Otro(s) docente(s): Guillermo Trinidad Barnech (Grado 2 Efectivo, Instituto de Computación).

Programa(s) de posgrado: Maestría y Doctorado en Informática y Maestría en ciencias cognitivas.

Instituto o unidad: Instituto de Computación

Departamento o área: Departamento de Arquitectura de Sistemas

Horas Presenciales: 20

Nº de Créditos: 4

Público objetivo: estudiantes de posgrado interesados en el área robótica, la inteligencia artificial y las ciencias cognitivas.

Cupos: Sin Cupos.

Objetivos: Comprender y aplicar los principios de la inferencia activa (Active Inference) y del principio de energía libre al diseño de sistemas robóticos autónomos, integrando percepción, estimación de estados, aprendizaje, toma de decisiones y control en un marco probabilístico unificado. Desarrollar una perspectiva crítica sobre las decisiones de modelado, las implicancias de su implementación y los métodos adecuados para evaluar su contribución al comportamiento autónomo.

Objetivos específicos

Al finalizar el curso, se espera que los participantes sean capaces de:

Comprender los fundamentos matemáticos de la energía libre, la inferencia variacional y los modelos generativos, e interpretar la relación entre evidencia, exactitud y complejidad en la formulación de creencias probabilísticas.
Analizar e implementar arquitecturas de inferencia activa basadas en creencias distribuidas y procesos coordinados, comprendiendo cómo se descompone la energía libre global y cómo se integran estimaciones parciales en un modelo compartido.
Diseñar mecanismos de estimación y actualización temporal de creencias para la percepción robótica, incluyendo la detección y persistencia de objetos, la localización, la asociación de datos y el tratamiento de la incertidumbre y los errores correlacionados.
Aplicar la inferencia activa a la toma de decisiones y al control, utilizando la energía libre esperada, la ganancia de información y los criterios de diseño óptimo de experimentos para seleccionar acciones y puntos de vista, y articulando estos mecanismos con técnicas de planificación y seguimiento de trayectorias.

Formular modelos probabilísticos coherentes para representar relaciones entre objetos, calibrar el sistema mediante inferencia y evitar inconsistencias derivadas del doble conteo de evidencia o de la introducción de supuestos heurísticos no justificados por el modelo.
Diseñar estrategias de evaluación experimental para sistemas robóticos basados en inferencia activa, mediante comparaciones de políticas en lazo cerrado, análisis de contribuciones de los distintos mecanismos y evaluación de alternativas, incluyendo modelos de referencia y componentes cuya eliminación no produzca una degradación significativa.
Desarrollar una perspectiva crítica sobre la inferencia activa como metodología de ingeniería, identificando sus posibilidades, limitaciones y compromisos de diseño, y evaluando qué afirmaciones teóricas y experimentales pueden sostenerse en una implementación robótica real.

Conocimientos previos exigidos:

- **Para Ingenieros:** Conocimientos avanzados en cálculo, álgebra lineal, teoría de probabilidad y estadística. Competencia en al menos un lenguaje de programación relevante (como Python, C++, Java). Conocimiento de estructuras de datos y algoritmos. Fundamentos de inteligencia artificial, incluyendo técnicas básicas de aprendizaje automático.

- **Para Estudiantes de Ciencias Cognitivas:** Conocimientos en procesos cognitivos como percepción, atención, memoria, lenguaje y toma de decisiones. Familiaridad con teorías y modelos de la mente humana. Conocimientos básicos de programación, preferentemente en Python.

Conocimientos previos recomendados: No tiene.

Metodología de enseñanza:

Descripción de la metodología:
El curso consiste en cinco sesiones presenciales de cuatro horas. Cada sesión tendrá una parte teórica y una práctica en la que los estudiantes implementarán en simulación los conceptos vistos en teoría. En cada sesión se tendrán varios ejercicios consistentes en completar plantillas de código en los lenguajes Python y C++.

Día 1 — Recordatorio de la Teoría de la Probabilidad. La energía libre. Modelos generativos, inferencia variacional y la cota inferior de la evidencia; la energía libre como exactitud menos complejidad. La percepción como inferencia bajo un modelo, no como reconstrucción a partir de los datos. La energía libre esperada y sus dos términos, pragmático y epistémico, y por qué un mismo funcional expresa a la vez qué creer y qué hacer. La aproximación de Laplace y las creencias gaussianas, la forma que adoptará todo lo demás.

Día 2 — La arquitectura. Una memoria de trabajo distribuida como grafo compartido, y la descomposición de una energía libre global en términos que pertenecen a procesos distintos. Los agentes de concepto: cada uno sostiene una creencia sobre una clase de objeto, publica lo que solo él puede calcular y responde a un contrato común. Y el compromiso metodológico que vertebra el curso — sin umbrales: una compuerta es lo que parece un modelo cuando el modelado todavía no se ha hecho, y su sustituto correcto es casi siempre una precisión.

Día 3 — La creencia en el tiempo. De dónde vienen las creencias y cómo terminan: el nacimiento como comparación de modelos y no como recuento, la ausencia como evidencia y no como detección fallida, el olvido como volatilidad inferida. La localización como una creencia más, con la geometría de la habitación aportando la verosimilitud. Asociación de datos, verosimilitudes cualificadas, y qué cambia cuando los errores son compartidos en lugar de independientes.

Día 4 — La acción. Las affordances como ofertas publicadas y tasadas: lo que un objeto puede hacer por la incertidumbre del robot, medido en nats. La selección por energía libre esperada; el siguiente mejor punto de vista como diseño óptimo de experimentos; la identidad entre ganancia de información, información mutua y ese criterio. Después, el control: las rutas como optimización, el seguimiento de caminos como asignación de polos, y por qué una geometría bien planteada permite que el seguidor no lleve término de obstáculos. Se cierra con el robot volviendo el mismo objetivo sobre sí mismo: la calibración como inferencia.

Día 5 — Estructura, evidencia y honestidad. Las relaciones entre objetos como variables latentes, y el doble conteo que aparece siempre que una estimación se devuelve a quienes la produjeron. Después, la mitad más difícil: cómo se evalúa un sistema así cuando ningún conjunto de datos grabado puede responder, por qué la comparación debe enfrentar una política contra otra dentro de un mismo lazo cerrado, y un balance término a término de qué mecanismos se ganaron su sitio — incluidos los nulos. El énfasis recae en todo momento sobre la inferencia activa como disciplina de ingeniería y no como vocabulario: qué cuesta tomarse en serio el principio de energía libre, qué preguntas de diseño resuelve, cuáles deja abiertas y cómo distinguir unas de otras. Quien lo siga debería salir capaz de leer la literatura con criterio, y de juzgar qué parte de ella puede sostener un sistema real.

Detalle de horas:

- Horas de clase (teórico): 10
- Horas de clase (práctico): 10
- Horas de clase (laboratorio): 0
- Horas de consulta: 4
- Horas de evaluación: 2
    - Subtotal de horas presenciales: 26
- Horas de estudio: 14
- Horas de resolución de ejercicios/prácticos: 0
- Horas proyecto final/monografía: 20
    - Total de horas de dedicación del estudiante: 60

Forma de evaluación:
Los estudiantes realizarán un trabajo final individual. Este trabajo es obligatorio y eliminatorio.

Temario:

1.- Fundamentos de inferencia activa: modelos generativos, inferencia variacional, energía libre y representación probabilística de creencias.
2.- Arquitecturas de inferencia: creencias distribuidas, memoria compartida y coordinación de procesos.
3.- Percepción y estimación: evolución temporal de creencias, detección y seguimiento de objetos, localización y asociación de datos.
4.- Acción y control: energía libre esperada, ganancia de información, selección de acciones, planificación y control de trayectorias.
5.- Modelado y evaluación: relaciones entre objetos, calibración, evaluación experimental en lazo cerrado y análisis crítico de sistemas de inferencia activa.

Bibliografía:

1. Parr, T., Pezzulo, G., & Friston, K. J. (2022). Active Inference: The Free Energy Principle in Mind, Brain, and Behavior. The MIT Press.

2. Friston, K. (2010). The free-energy principle: A unified brain theory? Nature Reviews Neuroscience, 11, 127–138. https://doi.org/10.1038/nrn2787

3. Buckley, C. L., Kim, C. S., McGregor, S., & Seth, A. K. (2017). The free energy principle for action and perception: A mathematical review. Journal of Mathematical Psychology, 81, 55–79. https://doi.org/10.1016/j.jmp.2017.09.004

4. Friston, K., FitzGerald, T., Rigoli, F., Schwartenbeck, P., O'Doherty, J., & Pezzulo, G. (2016). Active inference and learning. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 68, 862–879. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.06.022

5. Da Costa, L., Parr, T., Sajid, N., Veselic, S., Neacsu, V., & Friston, K. (2020). Active inference on discrete state-spaces: A synthesis. Journal of Mathematical Psychology, 99, 102447. https://doi.org/10.1016/j.jmp.2020.102447

6. Lanillos, P., Meo, C., Pezzato, C., et al. (2021). Active inference in robotics and artificial agents: Survey and challenges. arXiv preprint. https://arxiv.org/abs/2112.01871

7. Pio-Lopez, L., Nizard, A., Friston, K., & Pezzulo, G. (2016). Active inference and robot control: A case study. Journal of the Royal Society Interface, 13(122), 20160616. https://doi.org/10.1098/rsif.2016.0616

8. Pezzato, C., Ferrari, R., & Corbato, C. H. (2020). A novel adaptive controller for robot manipulators based on active inference. IEEE Robotics and Automation Letters, 5(2), 2973–2980.

9. Da Costa, L., et al. (2022). How active inference could help revolutionise robotics. Entropy, 24(3), 361. https://doi.org/10.3390/e24030361

10. Sajid, N., Ball, P. J., Parr, T., & Friston, K. J. (2021). Active inference: Demystified and compared. Neural Computation, 33(3), 674–712. https://doi.org/10.1162/neco_a_01357

11. Bustos P., Zapata N. & Núñez P. (2026) Active Scene Graphs. 26 International Workshop on Physical Agents, Jarandilla de la Vera, Cáceres, Spain

Datos del curso

Fecha de inicio y finalización: 30 de noviembre a 4 de diciembre de 2026.

Horario y Salón: 9 a 13 hs. Salón a confirmar.

Arancel:
No corresponde

Arancel para estudiantes inscriptos en la modalidad posgrado:
Arancel para estudiantes inscriptos en la modalidad educación permanente: