



Universidad  
Rey Juan Carlos



Planificación y Sistemas Cognitivos

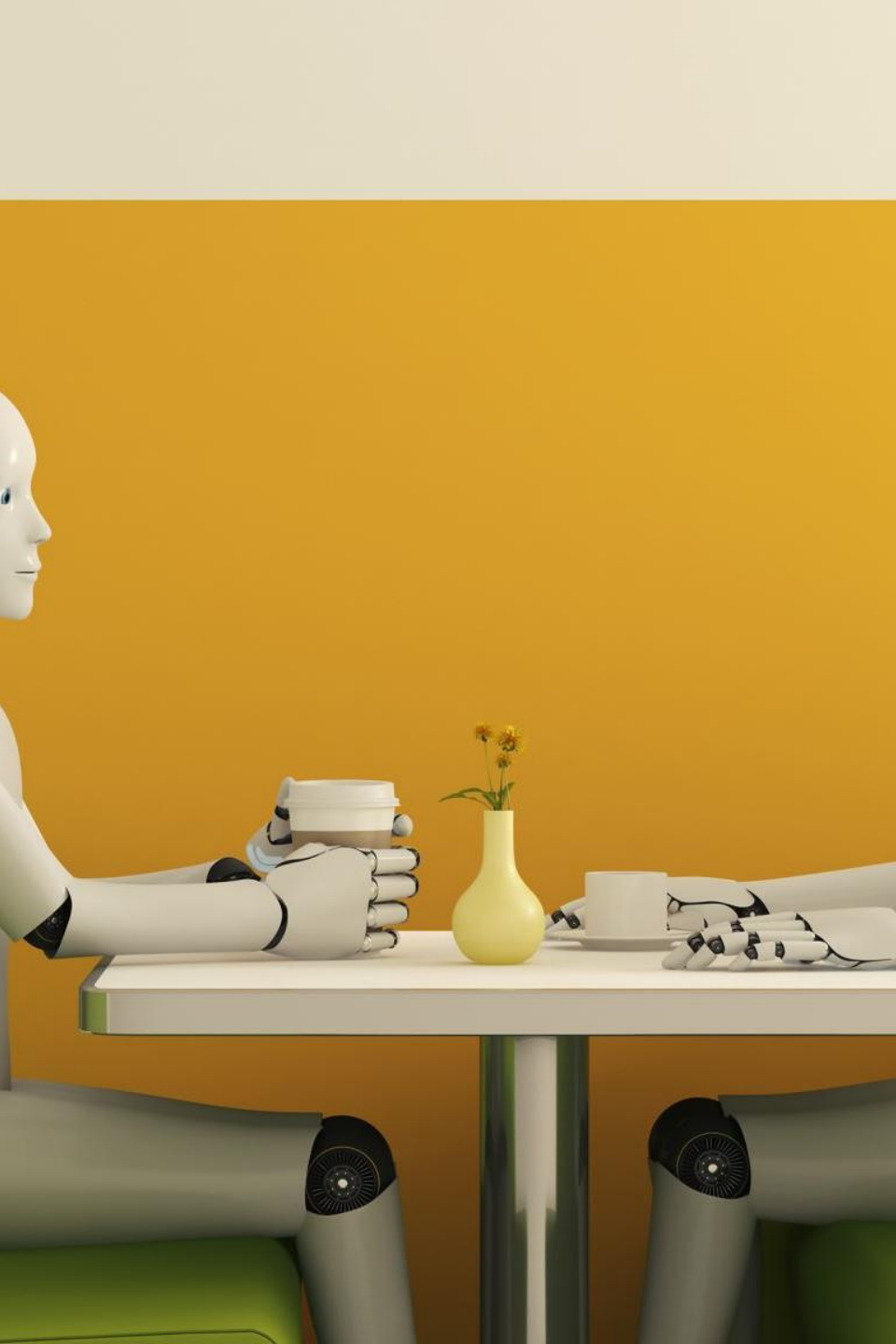
# Sistemas cognitivos II

FRANCISCO JOSÉ ROMERO RAMÍREZ  
FRANCISCO.ROMERO@URJC.ES

# Índice de contenidos

---

1. Introducción
2. Memoria
3. Representación del conocimiento
4. El "Symbol Grounding Problem"



# 1. Introducción

# 1. Introducción

---

- ¿Alguna vez te has preguntado cómo recuerdas la ruta hacia tu casa? o ¿cómo memorizas fórmulas complejas para un examen?
- ¿Cómo puede un robot recordar la ubicación de los objetos o aprender de sus interacciones con el entorno?

# 1. Introducción

---

La **memoria y conocimiento** no son solo fundamentales para las actividades diarias de los seres humanos, sino que también es crucial para el funcionamiento de los robots. En el corazón de la inteligencia artificial y la robótica, la memoria permite a los sistemas **aprender** de experiencias pasadas, **adaptarse** a nuevos entornos, **anticiparse** a los eventos, realizando tareas complejas de manera autónoma.

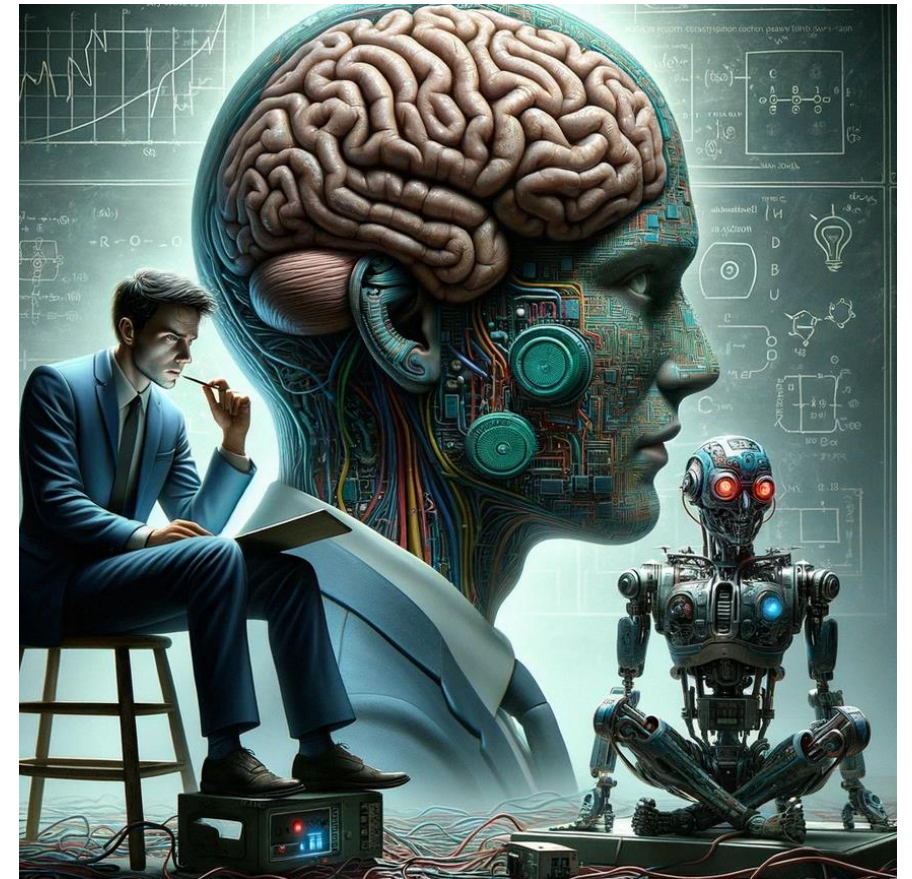
Objetivos de la clase:

- **Comprender los Tipos de Memoria:** Exploraremos los diferentes tipos de memoria en humanos: sensorial, a corto plazo y a largo plazo, y cómo estos conceptos se aplican en la robótica.
- **Representación del conocimiento:** Analizaremos cómo los robots utilizan el conocimiento para navegar, aprender y realizar tareas.
- **El "Symbol Grounding Problem":** Discutiremos las dificultades que presenta la representación simbólica del conocimiento. Relación de los símbolos internos del sistema a conceptos del mundo real.

# 1. Introducción

---

Para diseñar robots que puedan actuar de manera inteligente en un mundo cambiante, los ingenieros necesitan **inspirarse en la complejidad de la memoria humana**. Esta lección nos llevará a través de la comprensión de cómo funcionamos nosotros mismos y cómo esa comprensión puede trasladarse al diseño y mejora de sistemas cognitivos en robots.



# 1. Introducción

---

La memoria y el conocimiento son dos conceptos fundamentales en la comprensión del funcionamiento cognitivo humano y de sistemas inteligentes.

## Podríamos decir que ...

**Memoria:** Es la capacidad de **almacenar, retener y recordar información**. La memoria puede incluir datos, experiencias, aprendizajes previos, entre otros. No solo implica guardar datos, sino también organizarlos y hacerlos accesibles para su uso en procesos como el aprendizaje, la toma de decisiones o la imaginación.

**Conocimiento:** Es el **resultado de procesar y entender la información** que se ha almacenado en la memoria. El conocimiento implica una comprensión más profunda y la habilidad de aplicar la información a diferentes situaciones. No solo es recordar información, sino también entenderla, relacionarla con otros datos y utilizarla de manera efectiva.



## 2. Memoria



## 2. Memoria

---

- La memoria desempeña un papel crucial y a veces inesperado en la cognición.
- Existe un gran paralelismo entre **memoria** y **conocimiento**.
- El conocimiento es fundamental en los sistemas cognitivos, ya que proporciona el contenido que complementa la arquitectura cognitiva (próximas sesiones).
- La memoria **no** es sólo un mecanismo pasivo encargado de almacenar conocimientos ocurridos en el pasado.
- La memoria y el conocimiento son equivalentes: **ambos encapsulan la experiencia** que surge de la interacción con el mundo.

## 2. Memoria

---

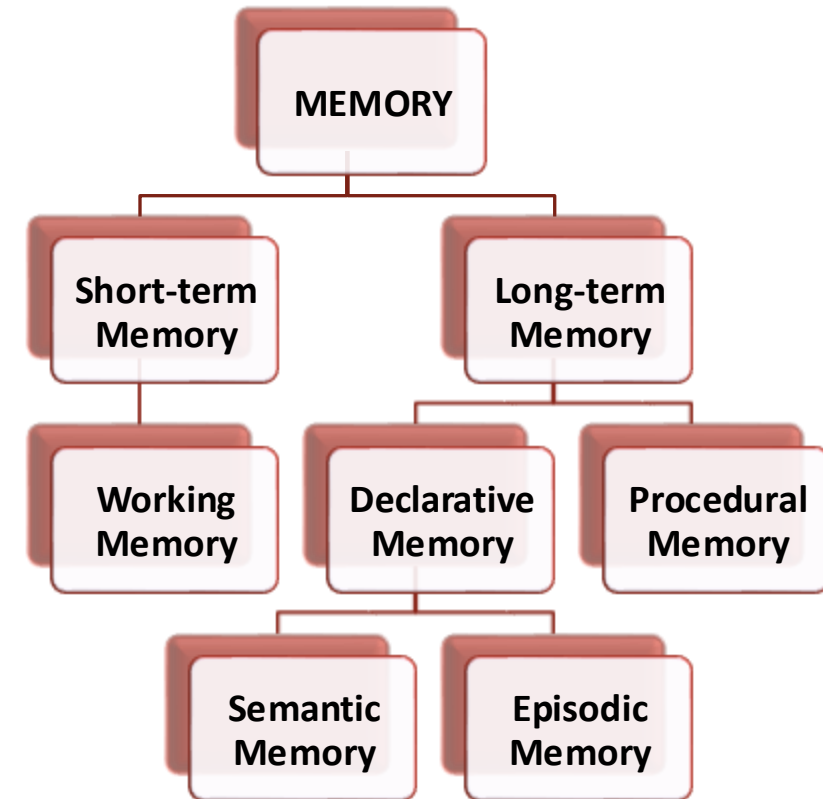
La memoria está involucrada en procesos de ...



## 2.1. Tipos de memorias

---

- short-term vs. long-term
- declarative vs. procedural
- semantic vs. episodic
- modal vs. amodal
- hetero-associative vs. auto-associative



Una taxonomía simplificada de la memoria.

## 2.1. Tipos de memorias

---

- **short-term vs. long-term**
- declarative vs. procedural
- semantic vs. episodic
- modal vs. amodal
- hetero-associative vs. auto-associative

### **Short-term** (a corto plazo)

- Denominadas también memoria de trabajo.
- Breve almacenamiento y recuperación inmediata de detalles sustanciales

### **Long-term** (a largo plazo)

- Permite al ser humano sentirse continuo y coherente en sus pensamientos, es decir, ser una persona continua con una vida continua.
- Esencial de la interacción social entre las personas en la vida diaria, permite recordar nombres, eventos, deberes, relaciones, etc.

## 2.1. Tipos de memorias

- short-term vs. long-term
- **declarative vs. procedural**
- semantic vs. episodic
- modal vs. amodal
- hetero-associative vs. auto-asso

### Declarative

- **Conocimiento de las cosas / hechos**
- Memoria del "saber que"
- Memoria proposicional (verdadero o falso)
- Puede comunicarse de un agente a otro a través del lenguaje
- Puede adquirirse en un único acto de percepción o cognición
- Accesible al recuerdo consciente
- Memoria explícita

### Procedural

- **Memoria de las acciones orientada a las habilidades**
- Memorial del "saber cómo"
- Sólo puede demostrarse
- Se adquiere progresivamente y puede requerir cierta práctica.
- No es accesible a la memoria consciente
- Memoria implícita
- Memoria no declarativa

## 2.1. Tipos de memorias

- short-term vs. long-term
- declarative vs. procedural
- **semantic vs. episodic**
- modal vs. amodal
- hetero-associative vs. auto-asso

### Episódica

- Instancias específicas de la experiencia del agente: autobiográficas
- Contexto espacial y temporal explícito( qué ocurrió, dónde ocurrió y cuándo ocurrió)
- Esta secuencia temporal es el único elemento estructural de la memoria episódica.

### Semántica

- Conocimiento general sobre el mundo del agente: hechos, ideas y conceptos.
- Puede ser independiente de las experiencias específicas del agente. Memoria necesaria para el uso del lenguaje
- Derivada de la memoria episódica a través de un proceso de generalización y consolidación.

## 2.1. Tipos de memorias

---

- short-term vs. long-term
- declarative vs. procedural
- semantic vs. episodic
- **modal vs. amodal**
- hetero-associative vs. auto-associative

### **Modal**

- Vinculada directamente a una modalidad sensorial concreta, como la visión, la audición o el tacto.
- Sin embargo, es más probable que la memoria episódica sea modal, ya que está estrechamente vinculada a las experiencias específicas de los agentes.

### **Amodal**

- No tiene una asociación necesaria con las experiencias sensoriomotoras.
- Los hechos declarativos semánticos, representados simbólicamente, suelen ser amodales.

## 2.1. Tipos de memorias

- short-term vs. long-term
- declarative vs. procedural
- semantic vs. episodic
- modal vs. amodal
- **hetero-associative vs. auto-associative**

### **Associative**

- Un elemento de información o un patrón se vincula a otro.
- El primer elemento o patrón se utiliza para recordar el segundo, por asociación.

### **Hetero-associative**

- Recupera un recuerdo de carácter diferente al de entrada.
- Por ejemplo, un olor o un sonido determinados pueden evocar un recuerdo visual de un acontecimiento pasado.

### **Auto-associative**

- Recupera un recuerdo de la misma modalidad que el que lo evocó.
- Una foto de un objeto favorito puede evocar una imagen mental de ese objeto con todo detalle.



## 2.2. La función de la memoria

---

### ¿Para qué recordamos cosas?

- Para reconocer objetos, acontecimientos y personas que hemos visto antes: **actuar de forma adecuada** (atracción/evitación).
- La memoria hace posible que los cambios que se producen como resultado del aprendizaje y del desarrollo **persistan**.
- **La memoria también permite proyectar hacia el futuro**



## 2.2. La función de la memoria

---

Uno de los pilares centrales de la capacidad cognitiva:

- La capacidad de **simular internamente los resultados de posibles acciones** y seleccionar la más adecuada para la situación actual.
- La memoria puede verse como un mecanismo que **permite a un agente cognitivo prepararse para actuar**, superando mediante la anticipación las limitaciones inherentes al "aquí y ahora" de sus capacidades perceptivas.
- Un sistema cognitivo no funciona sólo en función de los datos sensoriales que recibe, sino que se prepara para lo que espera y se adapta a lo inesperado.

## 2.2. La función de la memoria

---

La memoria es un proceso **activo** y **constructivo**, fundamentalmente **asociativo**.

- Los recuerdos son evocados por desencadenantes asociados, posiblemente otros recuerdos.
- Si tienes una red de recuerdos asociativos, puedes recorrerla **hacia delante o hacia atrás**.
  - Recorrerla **hacia delante** proporciona el elemento **predictivo anticipatorio** de la memoria, que sugiere una posible secuencia de acontecimientos que conducen a un objetivo deseado.
  - Recorrerla **hacia atrás** permite **explicar** cómo pudo ocurrir un acontecimiento o **imaginar** cómo podría haber sido de otra manera.

## 2.3. Autoproyección, prospección y simulación interna

---

La memoria desempeña al menos cuatro **funciones en la cognición**

- Recordar acontecimientos pasados
- Anticipar acontecimientos futuros
- Imaginar el punto de vista de otras personas
- Navegar por el mundo

Las cuatro funciones implican **autoproyección**

- Capacidad de un agente para cambiar la **perspectiva de sí mismo** en el aquí y ahora.
- Lo hace mediante **simulación interna**, es decir, la construcción mental de una perspectiva alternativa imaginada.

## 2.3. Autoproyección, prospección y simulación interna

---

Existen **cuatro formas de simulación interna**

1. **La evocación de recuerdos episódicos** (recordar el pasado)
2. **Navegación** (orientarse topográficamente, es decir, en relación con el entorno actual)
3. **Teoría de la mente** (adoptar la perspectiva de otra persona sobre los asuntos)
4. **Prospección** (anticipar posibles acontecimientos futuros)

## 2.3. Autoproyección, prospección y simulación interna

---

Las cuatro formas son **constructivas**, implican una forma de imaginación.

- Bien para la prospección, la teoría de la mente o la navegación.
- ¿pero recordar el pasado? ... más sobre esto en un momento
- Hay una diferencia entre **conocer el futuro** y **proyectarse sobre él**.
- **La proyección se basa en la experiencia, el conocimiento no.**
- La **memoria episódica** (experiencias) y la **memoria semántica** (hechos) facilitan distintos tipos de prospección.

## 2.3. Autoproyección, prospección y simulación interna

---

- Memoria episódica
  - **Re-experimenta** tu pasado
  - **Pre-experimenta** tu futuro

Proyectarse hacia adelante en el tiempo es importante cuando se formula un objetivo

- Crear una imagen mental de uno mismo representando el acontecimiento.
- **Preexperimentar episódicamente** el desarrollo de un plan para alcanzar ese objetivo.
- **Episodic Future Thinking** [Atance and O'Neill 2001]

## 2.3. Autoproyección, prospección y simulación interna

---

### La memoria episódica es intrínsecamente constructiva

- Los recuerdos episódicos antiguos se reconstruyen de forma ligeramente distinta cada vez que se asimila o recuerda un nuevo recuerdo episódico
- La hipótesis de la **simulación episódica constructiva** [Schacter y Addis 2007]
  - La memoria episódica permite la **simulación de múltiples futuros posibles**.
  - Esto impone una necesidad **aún mayor** de capacidad constructiva debido a la necesidad de extrapolar más allá de las experiencias pasadas.

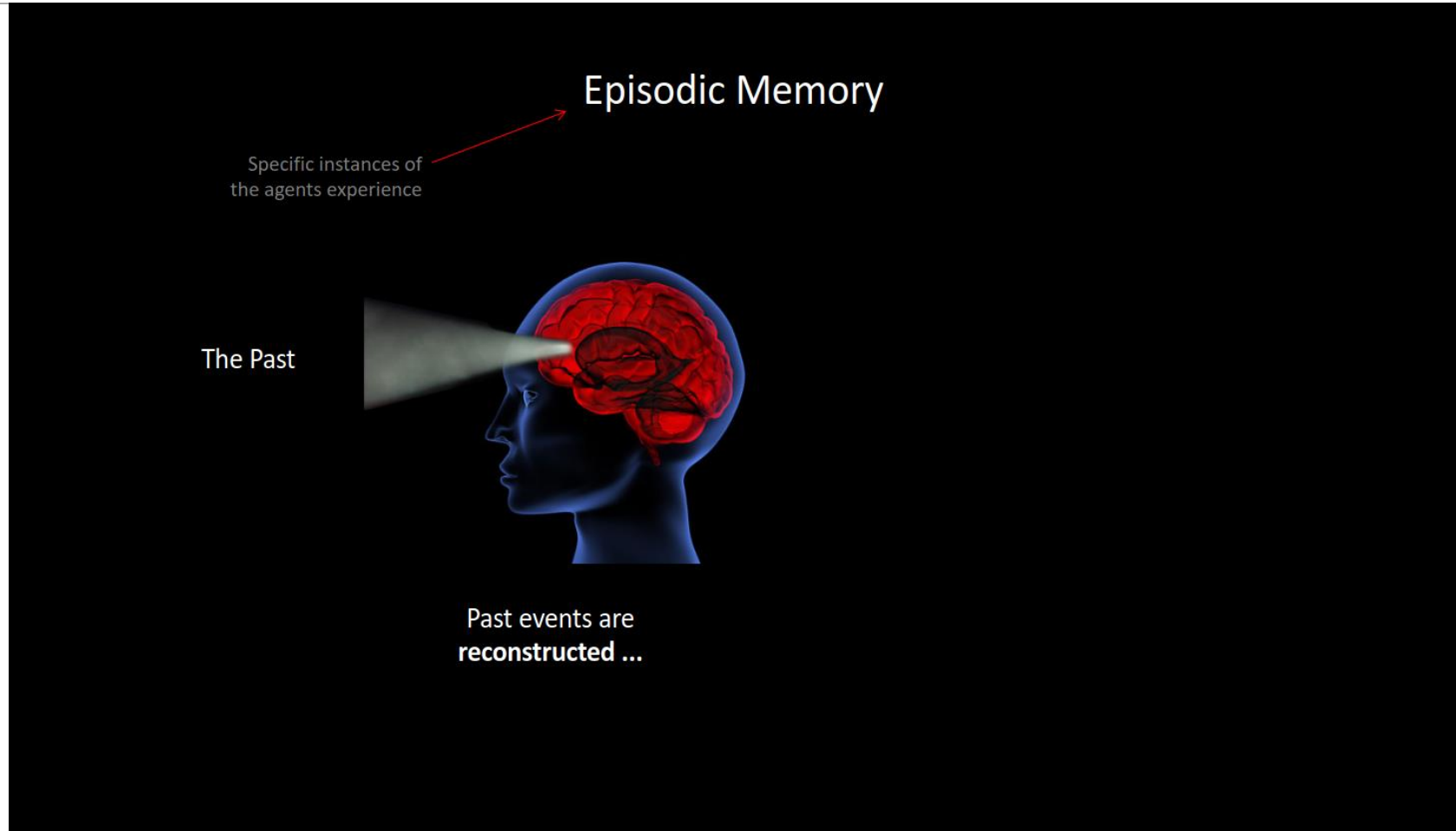


## 2.3. Autoproyección, prospección y simulación interna

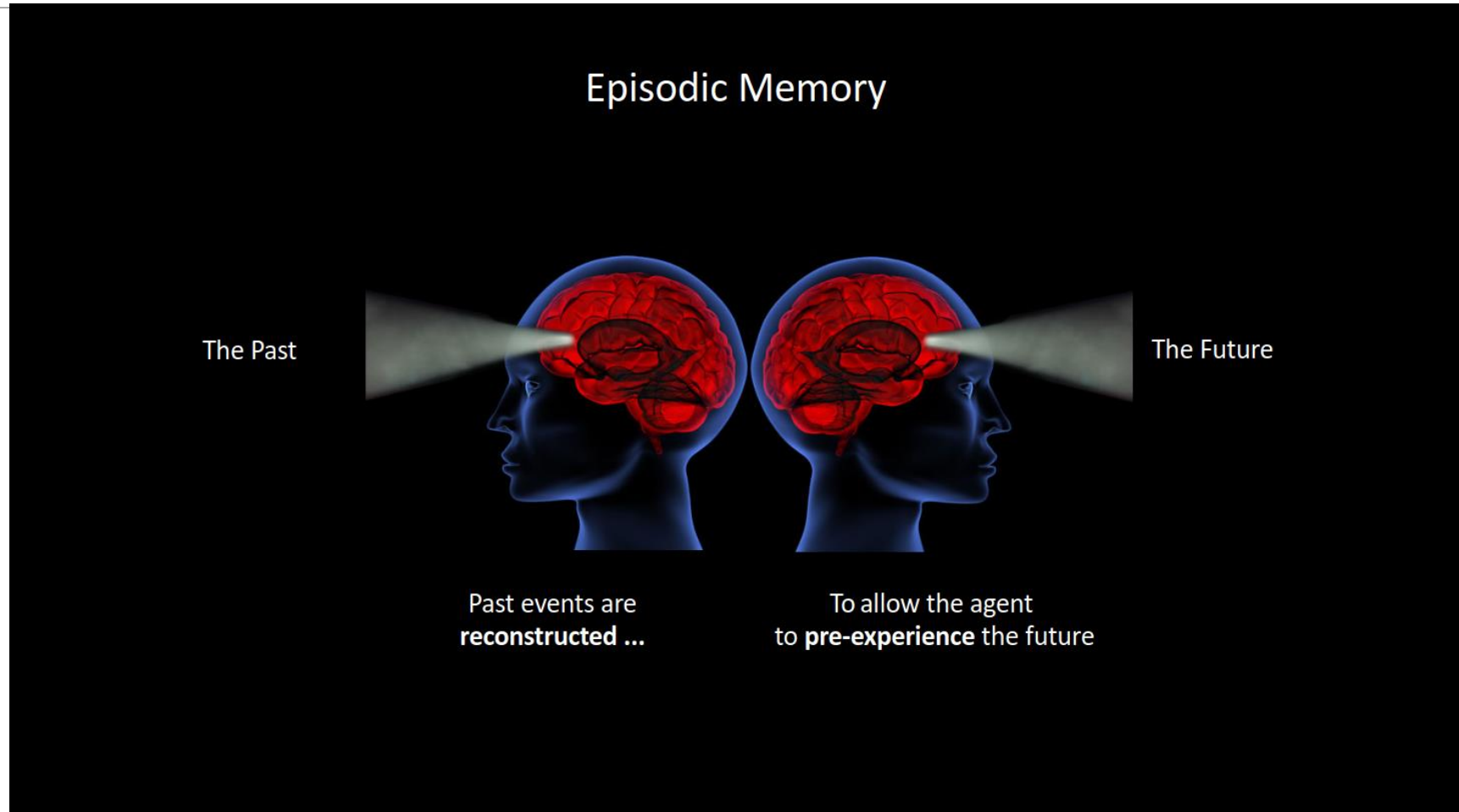
---



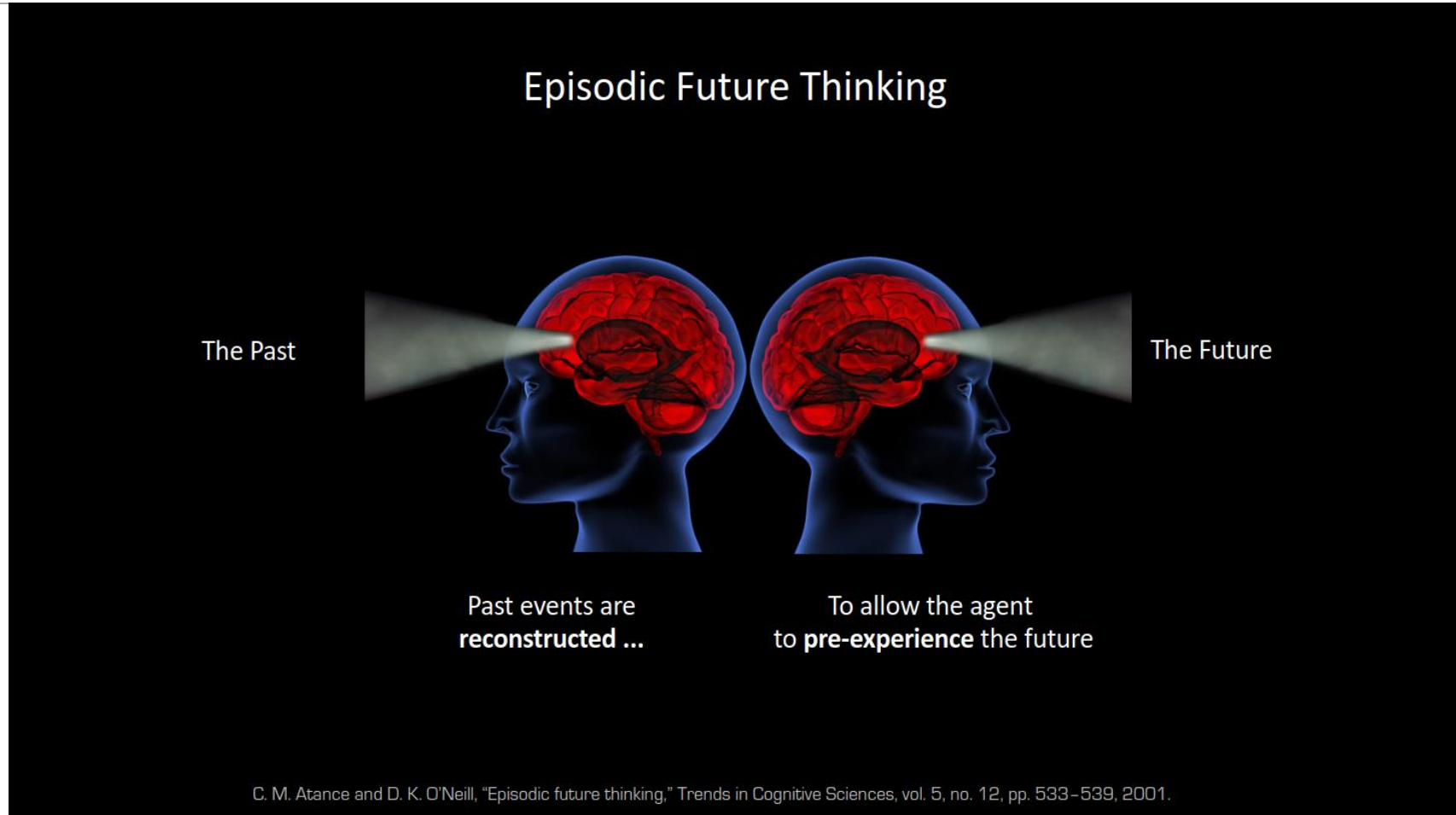
## 2.3. Autoproyección, prospección y simulación interna



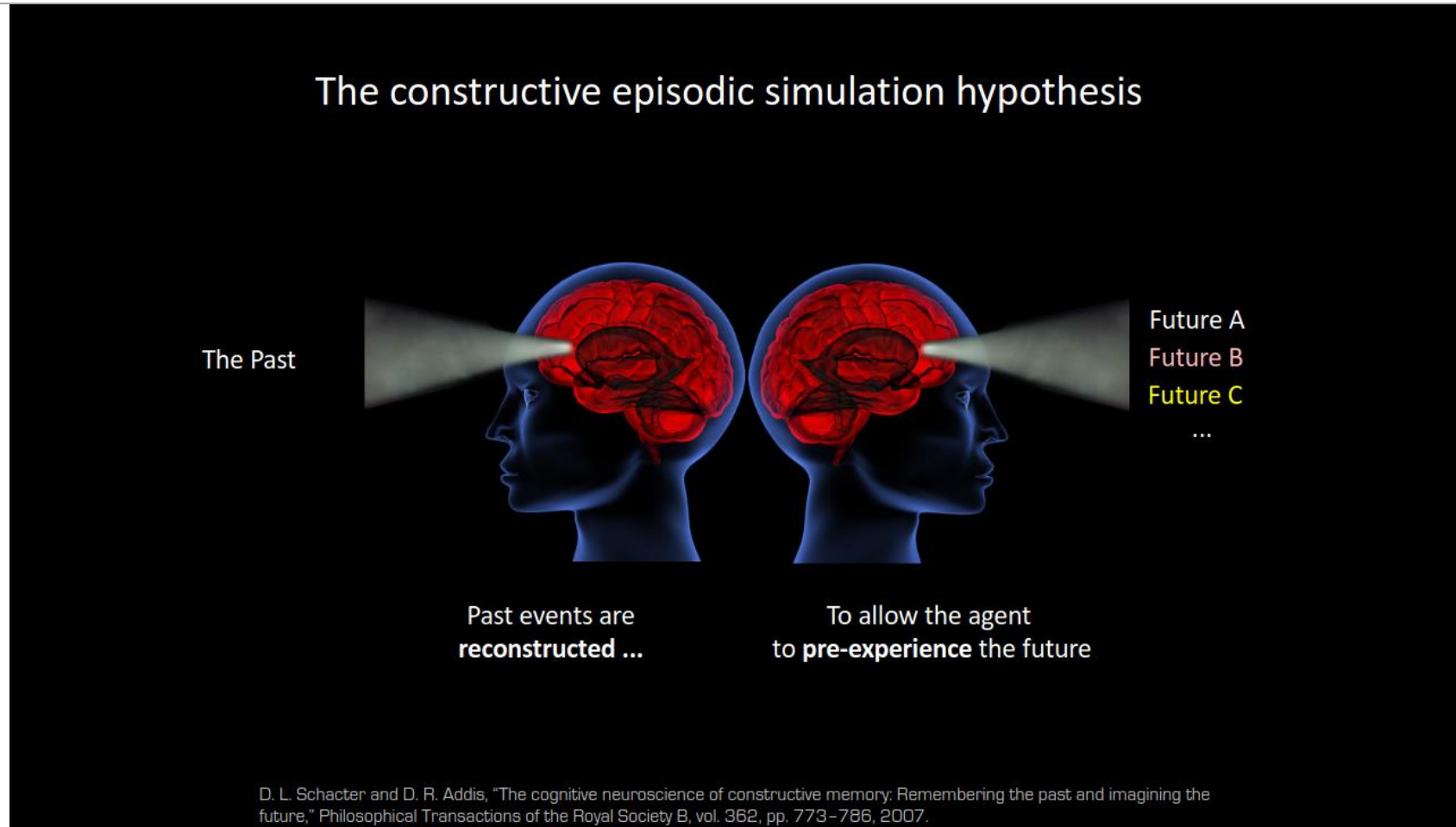
## 2.3. Autoproyección, prospección y simulación interna



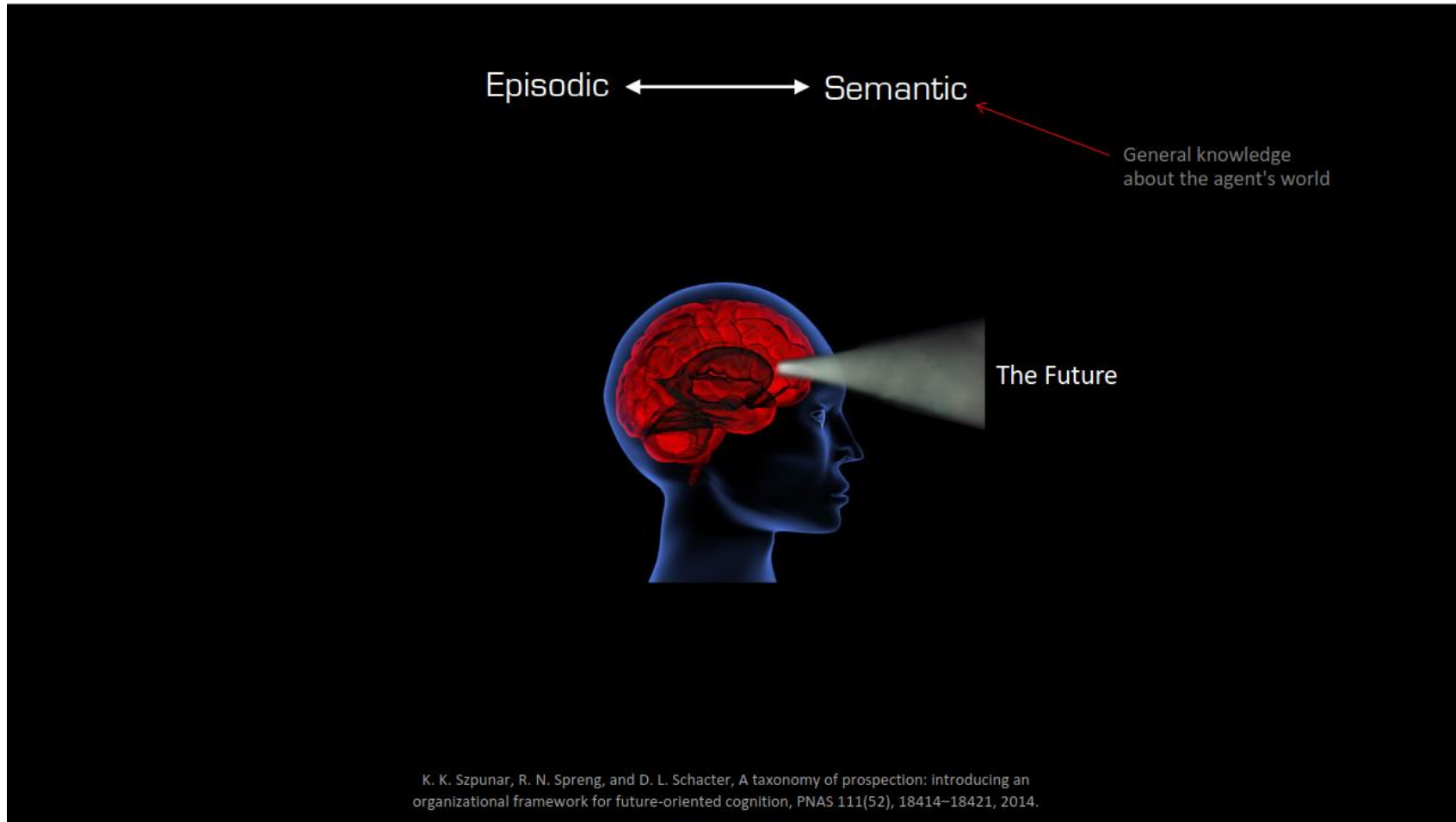
## 2.3. Autoproyección, prospección y simulación interna



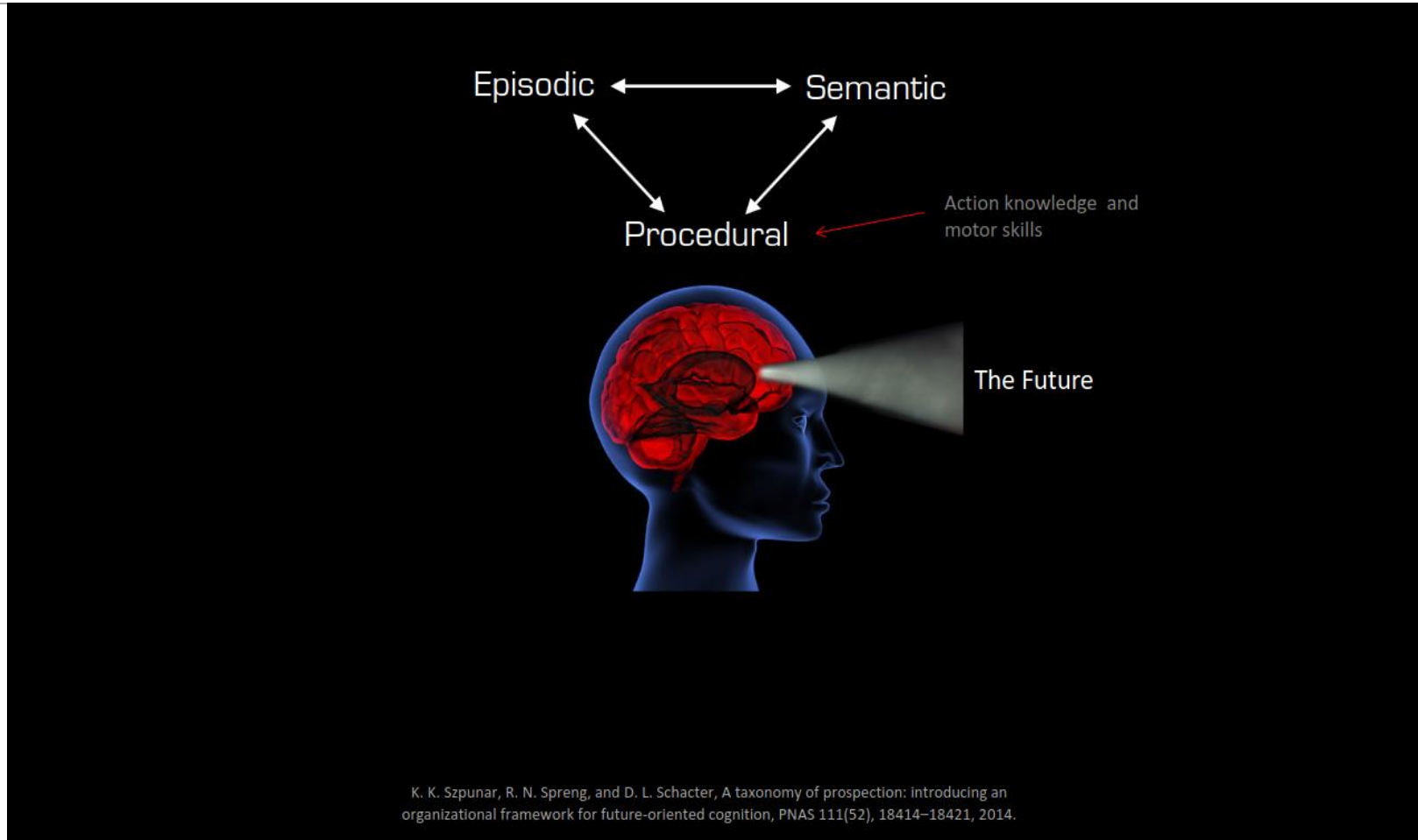
## 2.3. Autoproyección, prospección y simulación interna



## 2.3. Autoproyección, prospección y simulación interna



## 2.3. Autoproyección, prospección y simulación interna





### 3. Representación del conocimiento



# 3. Representación del conocimiento

---

- La representación del conocimiento "se ocupa de cómo el conocimiento puede **definirse** y **manipularse de forma automatizada** por programas de razonamiento".
- "[Conocimiento son] los **objetos, conceptos y relaciones** que se supone que existen en un área de interés (dominio). Una colección de conocimientos, representada utilizando un lenguaje de representación del conocimiento, se llama **base de conocimiento**; y un programa para ampliar y/o consultar una base de conocimiento es un **sistema basado en conocimiento**. El conocimiento difiere de los datos o la información en que **a partir del conocimiento existente puede crearse nuevo conocimiento utilizando la inferencia lógica**. Si la información es datos más significado, el conocimiento es información más procesamiento". (FOLDOC, 1994)

# 3. Representación del conocimiento

---

- Representación semántica y simbólica del conocimiento basado en expresiones lógicas formales (IA clásica).
- Los conceptos sobre el mundo del agente, sus acciones y las consecuencias de dichas acciones pueden **describirse mediante reglas causales y predicados conectados entre sí** a partir de entidades o variables comunes.
- Un agente puede hacer proposiciones para determinar si estas expresiones son verdaderas o falsas a través del razonamiento.
- Un agente, puede usar las expresiones como sus como fuente de conocimiento siempre que pueda adquirir información y utilizar el razonamiento para determinar el resultado correcto.

# 3. Representación del conocimiento

- Uso de lenguajes tales como Lisp y Prolog permiten escribir **relaciones (hechos o reglas) como cláusulas** que pueden utilizarse en consultas.
- En estas representaciones conocimiento, las reglas o conceptos incorporados al agente se denominan **conocimiento explícito**, y este conocimiento se utiliza para inferir **nuevos conceptos** inicialmente desconocidos para el agente como **conocimiento implícito**.
- En robótica, la representación del conocimiento va más allá del formalismo lógico de la IA, que sólo utiliza predicados, y abarca otros componentes importantes para un sistema robótico: los **módulos de percepción, sistemas de actuación, sistemas de planificación, etc.**

```
kitchen(room) :-  
    contains(room, fridge),  
    contains(room, stove).  
  
living_room(room) :-  
    contains(room, sofa).  
  
bathroom(room) :-  
    contains(room, toilet),  
    contains(room, sink).
```

Diferentes predicados permiten determinar si la habitación es una cocina, comedor o baño en función de lo que se ha encontrado en esta.

# 3. Representación del conocimiento

---

- Conocimiento de alto nivel:
  - Representación semántica y estructural de las relaciones entre distintos componentes.
- Conocimiento de bajo nivel:
  - No tienen estructura ni símbolos y se refieren al programa de control o al sistema físico del robot.
- Una representación del conocimiento **da sentido a las entradas** que un robot adquiere y las **utiliza en sus tareas**. Por ejemplo, un robot puede seguir una trayectoria determinada o una primitiva para realizar una tarea, pero se pueden utilizar conocimientos de alto nivel para darle sentido, como definir qué es o qué hace la manipulación.
- Una representación del conocimiento representa de forma innata habilidades o acciones en una **ontología** (conjunto de términos o lenguaje). Debe de contener **conceptos o reglas** basados en distintas modalidades de datos, debe permitir la **ampliación o el aprendizaje** de nuevos conceptos, debe servir para **razonar** lógica y estadísticamente, y que **defina adecuadamente** los objetos, acciones/habilidades y estados necesarios para las manipulaciones.

# 3. Representación del conocimiento

---

- Extraer intrínsecamente significado (de alto nivel) de los símbolos (de bajo nivel) a través de la experiencia y la interacción con el mundo. Un robot o agente artificialmente inteligente tiene que adquirir **qué significado hay** detrás de lo que puede ver o hacer en su entorno. ***Symbol grounding problem.***
- ***Pero, ¿realmente entiende lo que está haciendo/viendo?***
- No podemos limitarnos a asociar símbolos a conceptos o significados sin tener en cuenta cómo el agente inteligente establece estas conexiones.

# 3. Representación del conocimiento

---

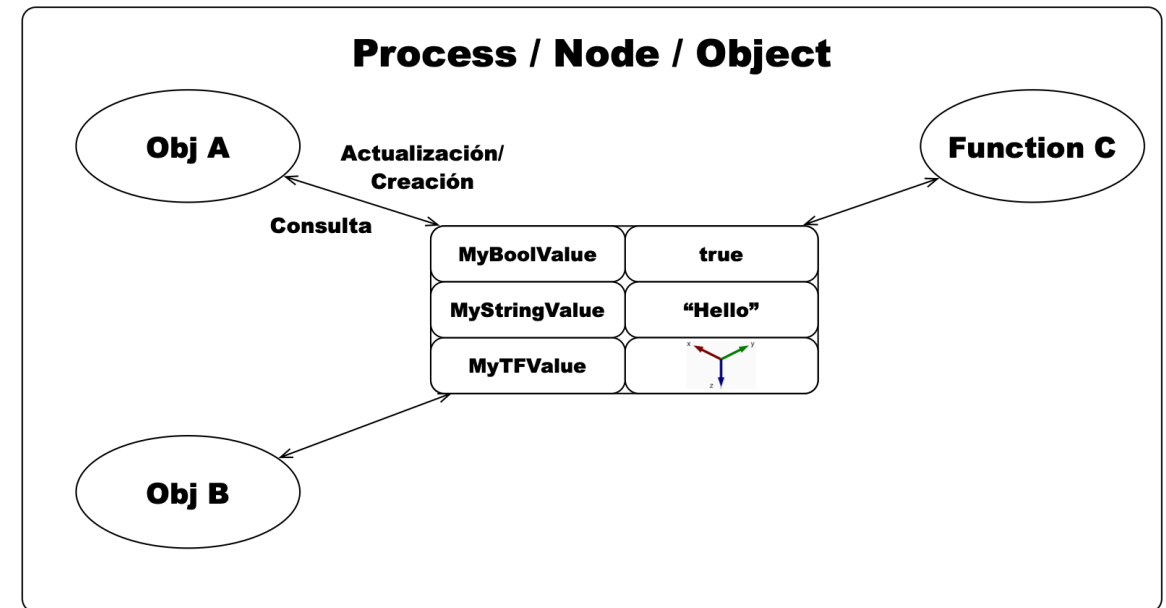
- En la toma de decisiones a alto nivel son empleadas intensamente información simbólica:
  - Estableciendo objetivos
  - Evaluando predicados.
- Es más conveniente usar localizaciones (cocina, salón,...), objetos (jarrón, bote,...) y personas (Paco, María,...) en lugar de su codificación interna (sub-simbólica).
- En algún lugar se tiene que producir esta traducción de simbólico a sub-simbólico.
- Necesidad de centralización de los datos (coherencia, disponibilidad...)
- Accesible desde todos los niveles de una arquitectura

Location	Position	Size
Kitchen	(1.45, 6.78, 1.0)	(5, 10)
Corridor	(10.5, -3.00, 0.0)	(2, 10)
Bedroom	(5.22, 2.8, -3.14)	(3, 3)

Object	Position	ID	Last TS
Glasses	(1.45, 6.78, 1.0)	1	-1
Corridor	(10.5, -3.00, 0.0)	2	102
Bedroom	(5.22, 2.8, -3.14)	3	10.5

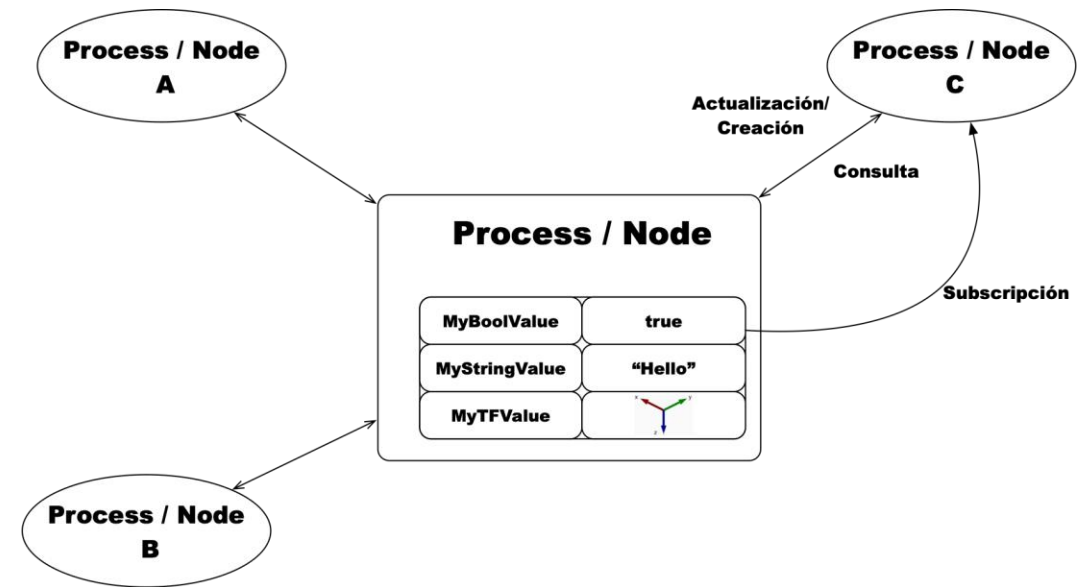
# 3.1. Sistemas basados en pizarra (Blackboard)

- Es un tabla clave/valor accesible desde los componentes de la arquitectura
- El valor puede ser de cualquier tipo
- Implementaciones
  - Objeto único en memoria
  - Nodo centralizado
  - Nodo distribuido
- Ejemplos:
  - Blackboard de los Behavior Trees



# 3.1. Sistemas basados en pizarra (Blackboard)

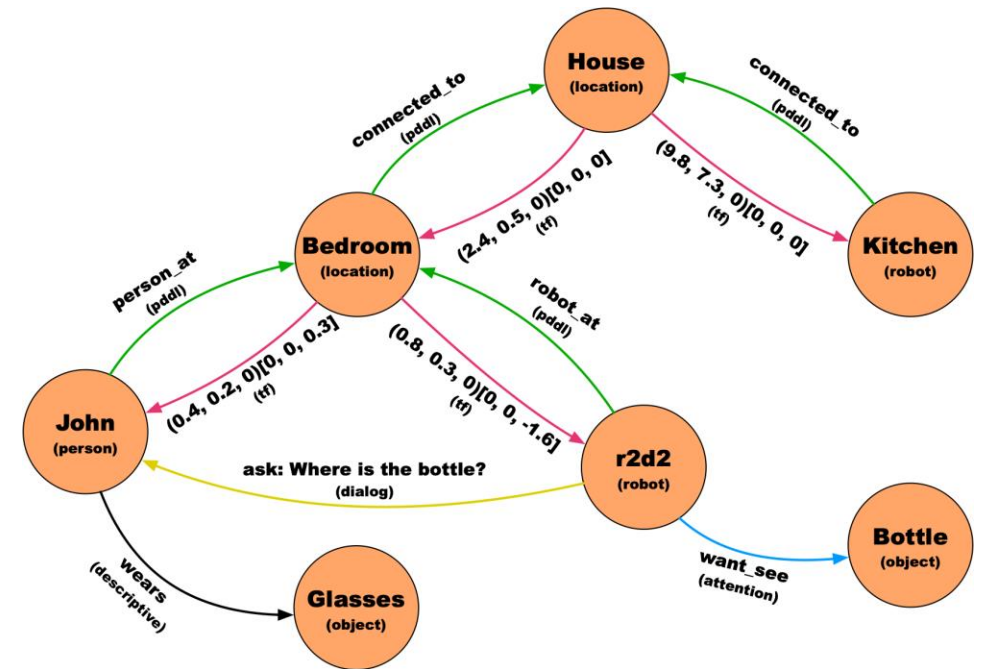
- Es un tabla clave/valor accesible desde los componentes de la arquitectura
- El valor puede ser de cualquier tipo
- Implementaciones
  - Objeto único en memoria
  - Nodo centralizado
  - Nodo distribuido
- Ejemplos:
  - Blackboard de los Behavior Trees





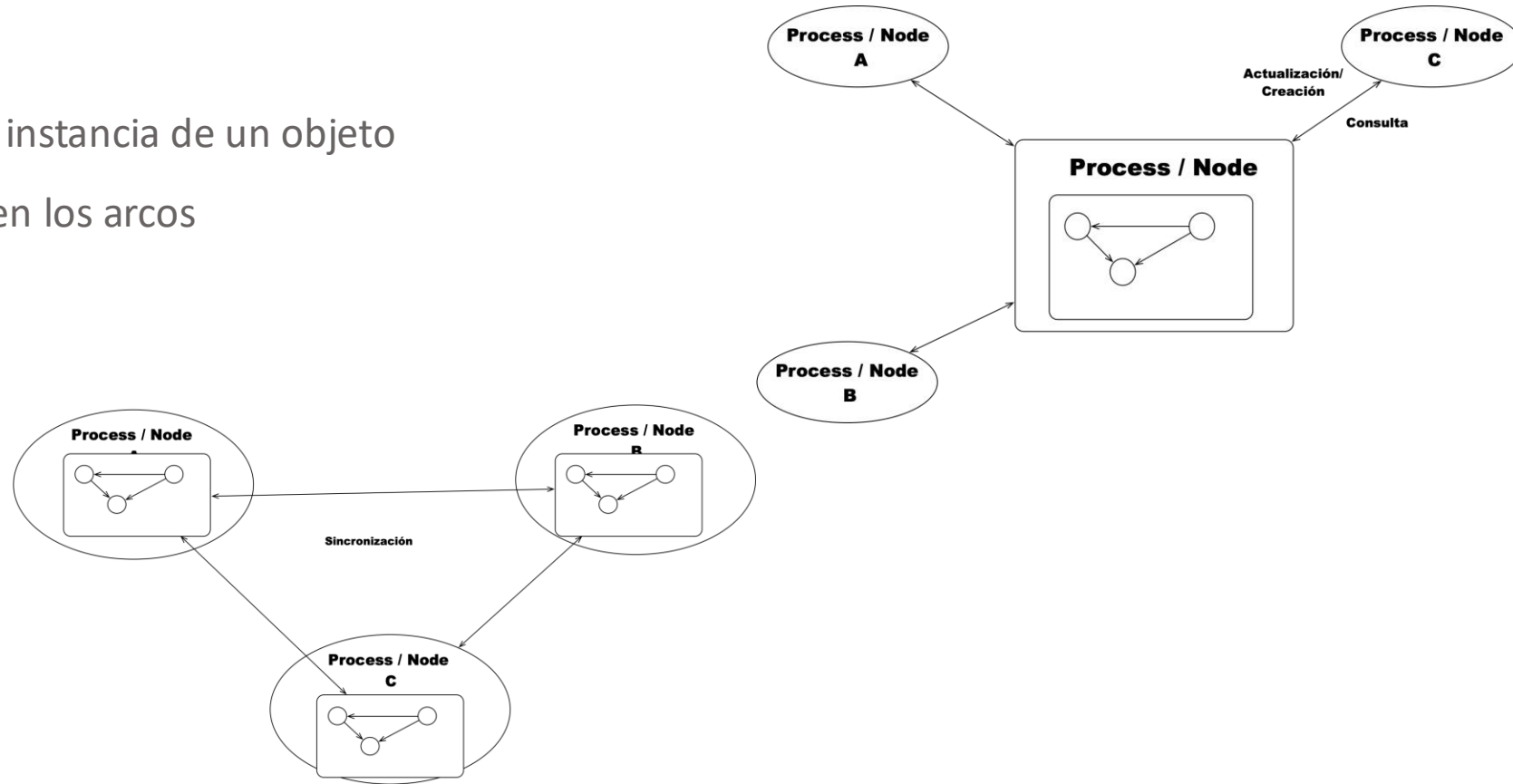
## 3.2. Sistemas basados en grafo

- Cada nodo del grafo es una instancia de un objeto
- Las relaciones se codifican en los arcos
- Detalles
  - Tipos de nodos y arcos
  - Significado semántico
- Distribuido, centralizado

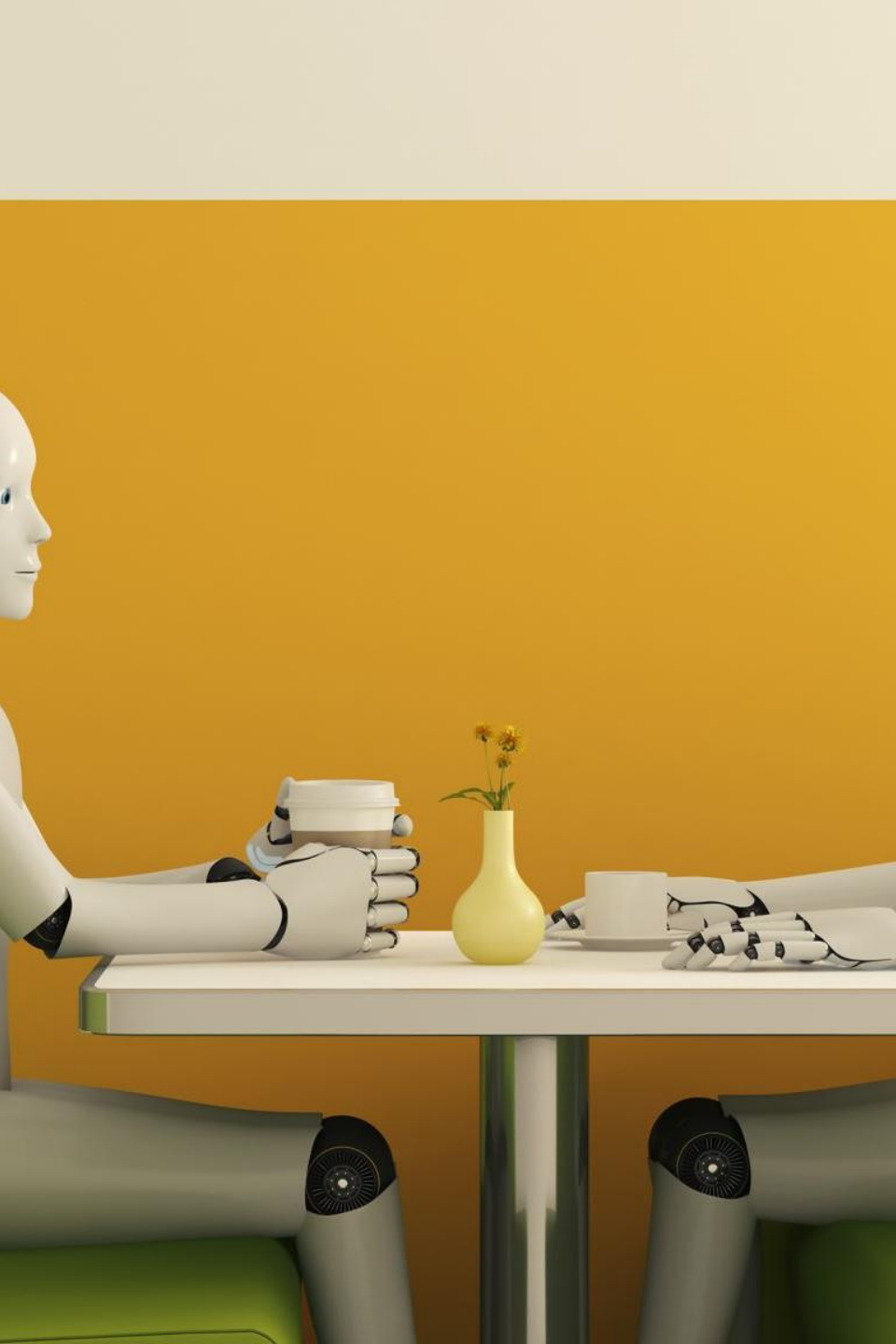


## 3.2. Sistemas basados en grafo

- Cada nodo del grafo es una instancia de un objeto
- Las relaciones se codifican en los arcos
- Detalles
  - Tipos de nodos y arcos
  - Significado semántico
- Distribuido, centralizado



[https://github.com/fmrnico/ros2\\_knowledge\\_graph](https://github.com/fmrnico/ros2_knowledge_graph)



## 4. El "Symbol Grounding Problem"

# 4. El "Symbol Grounding Problem"

---

- Suponiendo que un sistema cognitivo posea alguna forma de representación simbólica del mundo que lo rodea, es decir, un conjunto de símbolos que representan objetos en el mundo del agente:
  - ¿Cómo la representación (símbolos), adquieren significado?
  - **¿Cómo adquieren contenido semántico las representaciones puramente simbólicas?**
- A la sintaxis se le puede asignar un significado semántico, de modo que los símbolos y las cadenas de símbolos puedan representar objetos, acontecimientos o conceptos, y describirlos o sustituirlos.
- Pero, ¿cómo asignar este significado? "Symbol Ground Problem" [Harnad 1990].

# 4. El "Symbol Grounding Problem"

---

- Puntos clave:
  - Conexión entre símbolos y mundo real.
  - Percepción y acción.
  - Interacción humana.
  - Aprendizaje y adaptación.
  - Integración multisensorial.

Resolver este problema es esencial para crear robots que puedan funcionar de manera efectiva e independiente en entornos humanos.

## 4. El "Symbol Grounding Problem"

---

- Las representaciones simbólicas tienen que conectarse de abajo arriba (bottom-up) en representaciones intermedias no simbólicas de dos tipos:
  1. Representaciones icónicas
    - Derivadas directamente de **datos sensoriales** (por ejemplo, imágenes visuales o patrones motrices).
    - Permiten discriminar entre distintos objetos
  2. Representaciones categóricas
    - Se basan en los resultados de procesos **aprendidos e innatos** que detectan características invariantes de categorías de objetos y acontecimientos a partir de los datos sensoriales (por ejemplo, características de los objetos, comportamientos repetidos... la comida está buena; los perros muerden).

## 4. El "Symbol Grounding Problem"

---

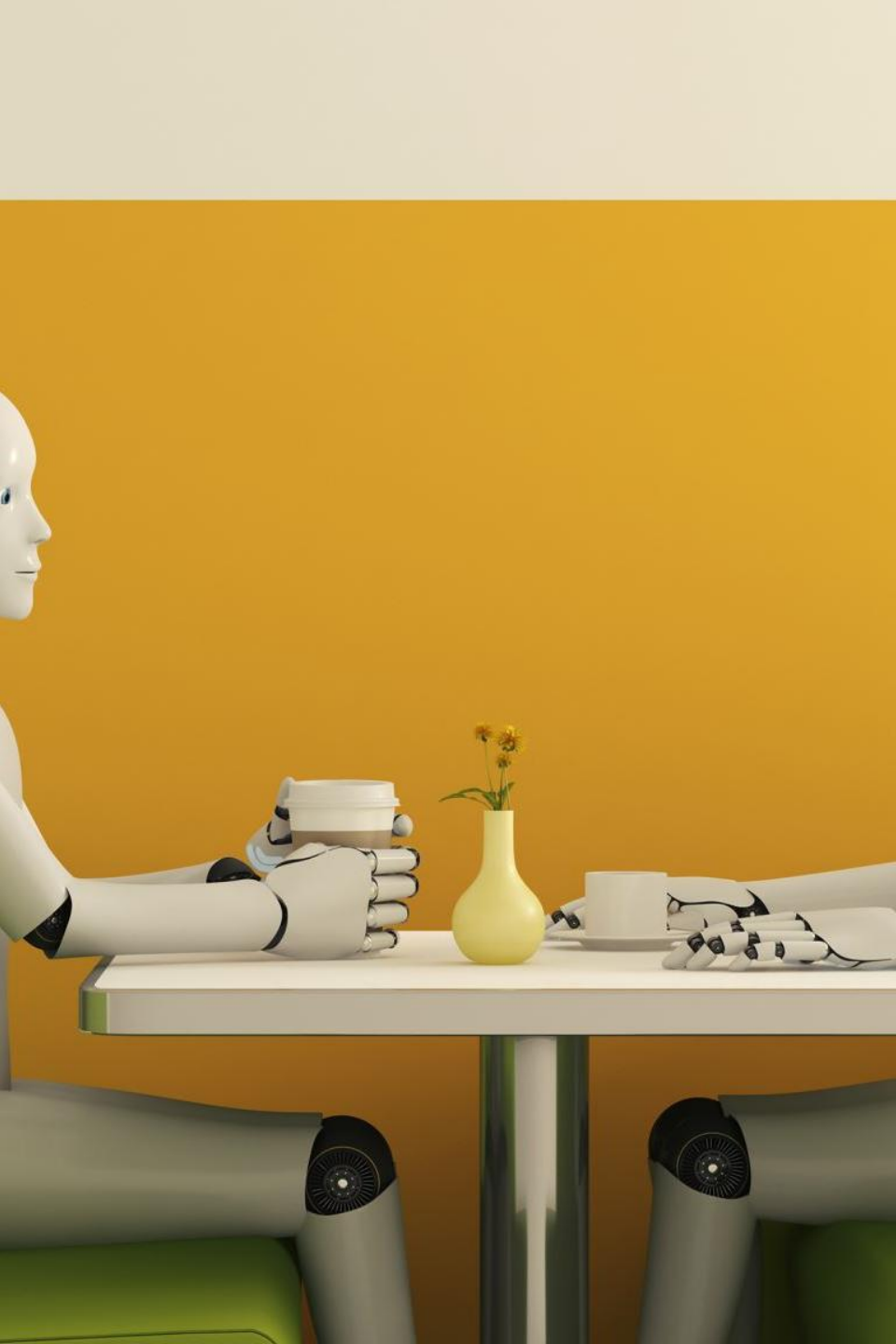
- A partir de estos símbolos elementales pueden derivarse representaciones simbólicas de orden superior.
  - Ambos tipos de representación son sub-simbólicos
  - Se requiere un proceso sub-simbólicos para aprender las invarianzas y formar así las categorías.
- Sistemas híbridos (simbólico y no simbólico). Enfoques cognitivos & emergentes.

## 4. El "Symbol Grounding Problem"

---

- Establecer una relación entre una etiqueta simbólica que denota algún objeto y la percepción sensorial de ese objeto.
  - Mantener esa relación durante largos periodos de tiempo, incluso cuando ese objeto no puede verse
- Sólo se ocupa de la base de los objetos físicos
  - No se ocupa de los conceptos abstractos (guerra o paz).





# Referencias bibliográficas

# Referencias bibliográficas

---

- Vernon, D., "Cognitive Architectures" in Cognitive Robotics, A. Cangelosi and M. Asada (Eds.), MIT Press, in press.
- Artificial Intelligence: A Modern Approach, Stuart Russel, Peter Norving
- A Concise Introduction to Robot Programming with ROS2. Francisco Martín Rico. CRC Press. 2022.
- C. M. Atance and D. K. O'Neill, "Episodic future thinking," Trends in Cognitive Sciences, vol. 5, no. 12, pp. 533–539, 2001.
- D. L. Schacter and D. R. Addis, "The cognitive neuroscience of constructive memory: Remembering the past and imagining the future," Philosophical Transactions of the Royal Society B, vol. 362, pp. 773–786, 2007.
- K. K. Szpunar, R. N. Spreng, and D. L. Schacter, A taxonomy of prospection: introducing an organizational framework for future-oriented cognition, PNAS 111(52), 18414–18421, 2014
- Paulius, David & Sun, Yu. (2019). A Survey of Knowledge Representation in Service Robotics. Robotics and Autonomous Systems. 118. 10.1016/j.robot.2019.03.005.