



Sistemas Inteligentes

Tema 1 - Introducción

Curso 2020/2021

Facultade de Informática
Universidade da Coruña

INTRODUCCIÓN

¿Cómo podríamos definir el concepto de Inteligencia?

¿Qué es la Inteligencia Artificial?

¿Cuáles son los objetivos que persigue la Inteligencia Artificial?

¿Qué es un Sistema Experto?

¿Qué es la Ingeniería del Conocimiento?

¿Qué son los agentes inteligentes?

¿Qué es la búsqueda?

El nacimiento de la IA (1952-1956)

■ La CIBERNÉTICA y las primeras RNA en 1940

- Investigación en Neurología: el cerebro era una red eléctrica de neuronas que se activaban en pulsos de todo o nada
- “Estudio de las analogías entre los sistemas de control y comunicación de los seres vivos. En particular en el dominio de las aplicaciones de los mecanismos de regulación biológica a la tecnología” (Wiener)
- MIT Modelos que permitan establecer un conjunto de principios sencillos que expliquen las actividades de la mente humana
- Craik Analogías y modelos en la resolución de problemas
- Pitts Sistemas MIMO (Multiple Input Multiple Output) con RNAs (Redes de Neuronas Artificiales)
- Shannon El ordenador es un simulador de la actividad cerebral
- Neumann Arquitectura secuencial de los ordenadores

El nacimiento de la IA (1952-1956)

TRES ARTÍCULOS CLAVE

- Wiener, Rosenblueth y Bigelow sugieren cómo conferir fines y propósitos a las máquinas
- McCulloch y Pitts ponen de manifiesto de qué modo las máquinas pueden emplear la lógica y la abstracción, y demuestran que las leyes de entrada-salida pueden modelarse con RNAs
- Craik propone que las máquinas empleen modelos y analogías en la resolución de problemas

El nacimiento de la IA (1952-1956)

■ Test de Turing (1950)

- Crear máquinas que puedan pensar... La gran pregunta:
 - ¿Puede pensar una máquina?
 - Incapacidad de diferenciar entre entidades inteligentes indiscutibles y seres humanos
 - <http://www.bbc.com/news/technology-27762088>

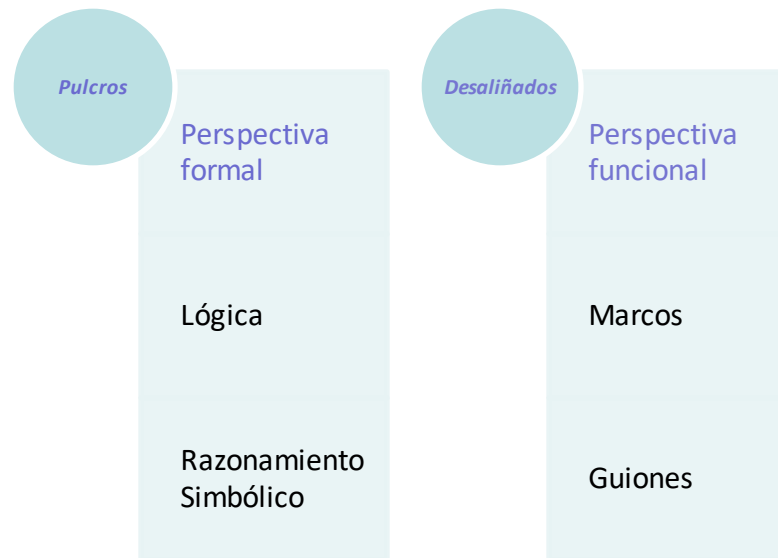
■ Juegos e IA

- Damas y Ajedrez: habilidad suficiente para desafiar a un aficionado respetable

■ Logic Theorist (Newell y Herbert): Razonamiento simbólico

El nacimiento de la IA (1952-1956)

- El Proyecto de Investigación de verano de Inteligencia Artificial en Darmouth en 1956 (<http://raysolomonoff.com/dartmouth/>)
 - Interés: teoría de autómatas, redes neuronales y estudio de la inteligencia
 - Asistentes: McCarthy, Minsky, Newell, Simon, Shannon, Samuel...
 - Sesión de Tormenta de Ideas:
 - ¿Sería posible construir máquinas inteligentes?



La era de los éxitos: Los años dorados (1956-1974)

- La IA mostraba comportamiento inteligente a un nivel increíble en sus programas.
 - Razonamiento como búsqueda
 - Lenguaje natural como interfaz
 - Expectativas muy altas:
 - Se propone el Test de Turing
 - Asimov escribe : I, Robot
- Fallos en apreciar la dificultad del problema abordado
- Desaparición de fondos de apoyo en investigación
- Muerte del conexionismo durante más de 10 años

Llega el primer invierno (1974-1980)

- Capacidad limitada de los programas de IA: Problemas juguete
 - **Limitada capacidad de las computadoras**
 - El exitoso trabajo de Quillian's en LN se demostró con un vocabulario de solo 20 palabras, el máximo número que cabía en memoria.
 - **La intratabilidad y la explosión combinatoria**
 - **El conocimiento y el razonamiento de sentido común**
 - **La paradoja de Moravec's**
 - Las computadoras pueden derrotar a los mejores jugadores del mundo de ajedrez, pero todavía no podemos hacer que piensen como un niño de 4 años.
 - **El problema del frame y la cualificación**
- **Los informes Lighthill y ALPAC (DARPA) → Aportación económica parada**

Vuelve la primavera: El Boom (1980-1987)

- El conocimiento es el foco:
 - Nacen los sistemas expertos (Feigenbaum y DENDRAL)
 - La palabra de moda es “conocimiento”
 - Millones de dólares de ROI (retorno en inversión)
 - Renace el conexionismo (Hopfield y Rummelhart)
 - Productos comerciales

El segundo invierno (1987-1993)

- Colapso del mercado del hardware especializado para IA
- Mantenimiento y actualización caros en los sistemas expertos
- Nicho estrecho
- Corte en el apoyo financiero
- Expectativas demasiado altas : Proyecto 5º Generación en Japón
- Rechazo del modelo de procesamiento simbólico de la mente → tesis de mente embebida en el cuerpo

El éxito entre bambalinas (1993-2001)

- Precaución y éxito:
 - Deep Blue, DARPA Grand Challenge, DARPA Urban Challenge...
 - Crece la capacidad de las computadoras
 - Enfoque a problemas específicos aislados
 - Se consiguen algunas de las viejas metas
 - Fragmentación en subcampos que compiten:
 - Agentes Inteligentes
 - Victoria de los *pulcros*: Herramientas matemáticas sofisticadas.
 - IA encubierta en otras aplicaciones

La nueva primavera (2000-actualidad)

- Explosión del Big Data
- Aproximaciones disruptivas: *Deep Learning*



- Alpha Go (2015): entrenado a partir de millones de miles de partidas jugadas entre humanos
- Alpha Go Zero (2017): aprendizaje por refuerzo

Definiendo la Inteligencia

- Para MALRAUX la inteligencia es la posesión de los medios necesarios para dominar cosas y hombres
- Para MINSKY la inteligencia es la capacidad para resolver problemas que aún no se entienden
- Para HASSENSTEIN la inteligencia:
 - No está condicionada por desencadenantes innatos, ni por adaptaciones a situaciones concretas
 - Se caracteriza porque toda situación nueva, una vez percibida, se domina sin recurrir al ensayo
 - Permite representar in mente distintas situaciones y sus interpretaciones de cara a la resolución de un problema
- Para la Real Academia de la Lengua Española (www.rae.es) ¿?

Definiendo la Inteligencia

- DEFINICIÓN FENOMENOLÓGICA DE INTELIGENCIA
 - Los seres inteligentes se comunican
 - Los seres inteligentes tienen conocimiento interno (autoconocimiento)
 - Los seres inteligentes tienen memoria y son capaces de procesar nuevas experiencias
 - Los seres inteligentes tienen intencionalidad
 - Los seres inteligentes son creativos
 - Los seres inteligentes infieren y razonan
- Inferencia es la comprensión de un significado en función de información relacionada
- Razonamiento es una colección de inferencias conectadas

Definiciones de Inteligencia Artificial

- Ciencia que estudia los mecanismos generales necesarios para lograr que los ordenadores hagan cosas que, por ahora, los humanos hacemos mejor
- Disciplina encargada de diseñar máquinas que sean capaces de realizar tareas que, de ser realizadas por humanos, requerirían inteligencia
- Rama de las ciencias de la computación que intenta encontrar esquemas generales de representación del conocimiento, y formalizar procesos de razonamiento coherentes, que permitan resolver problemas difíciles en dominios de aplicación concretos
- Ciencia que utiliza elementos simbólicos y numéricos, conjuntos semánticos, procesos heurísticos, y mecanismos inferenciales lógicos, para emular los procesos cognoscitivos y el razonamiento de los humanos
- El diccionario Merrian Webster:
 - Una rama de la ciencia de la computación que trata de simular comportamiento inteligente en computadoras
 - La capacidad de una máquina para imitar comportamiento inteligente humano

INTRODUCCIÓN

Planteamiento científico de la IA

- Como ciencia, la IA trata de desarrollar vocabulario, conceptos y métodos que ayuden a comprender y a reproducir comportamiento inteligente

Planteamiento ingenieril de la IA

- Como ingeniería, la IA define y utiliza un conjunto de métodos que nos permiten adquirir conocimiento de alto nivel, formalizarlo, representarlo según un esquema computacionalmente eficaz, y utilizarlo para resolver problemas en dominios de aplicación concretos

Niveles epistemológicos de la IA

- Programas de IA
- Sistemas Basados en Conocimiento
- Sistemas Expertos

Programas de Inteligencia Artificial

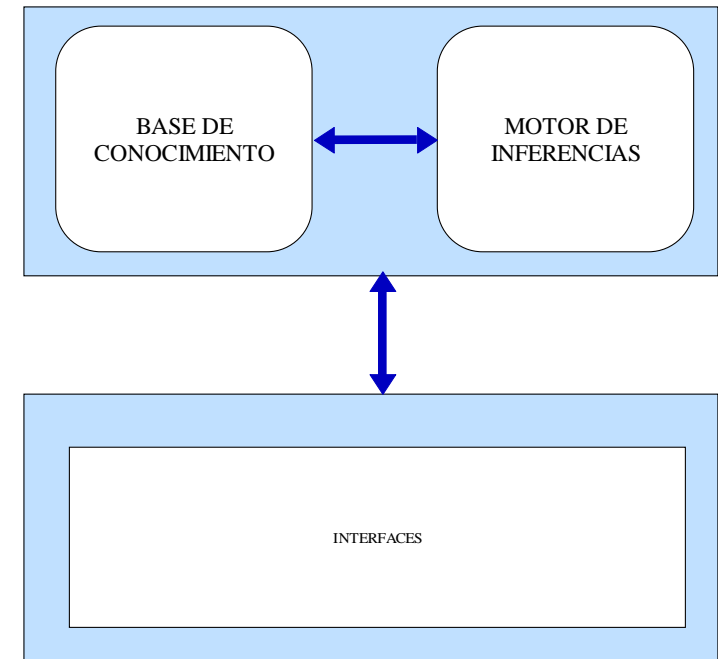
Programas de ordenador que exhiben cierto comportamiento inteligente, fruto de la aplicación de heurísticas

- El **conocimiento heurístico** es un tipo de conocimiento difícilmente formalizable, que se establece implícitamente para tratar de encontrar respuestas más o menos correctas –pero siempre válidas- a un problema concreto
- La utilización de conocimiento heurístico no garantiza encontrar soluciones óptimas, pero sí permite el hallazgo de soluciones aceptables –si existen-

Programas de IA en los que los conocimientos del dominio y las estructuras de control del conocimiento se encuentran físicamente separados

■ Arquitecturas específicas:

- Las estructuras “control” y “conocimientos” pueden ser desarrolladas de manera independiente
- Una misma “base de conocimientos” puede ser manipulada por muchas estructuras de control diferentes
- Una misma estructura de control puede manipular a muchas “bases de conocimientos” diferentes

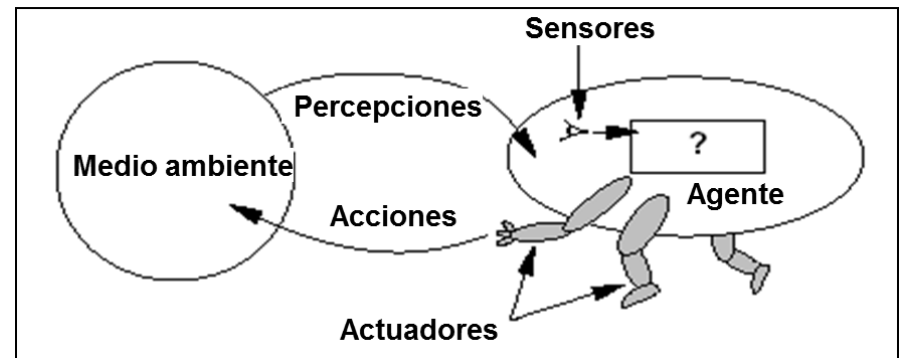


SISTEMAS EXPERTOS

- Sistemas basados en conocimiento que utilizan conocimiento particular de un dominio de aplicación concreto para resolver problemas del mundo real, limitados en tamaño, pero de gran complejidad
 - Normalmente, los sistemas basados en conocimiento explicitan el conocimiento (diferencia con los sistemas inteligentes)
 - Los sistemas expertos contienen conocimiento de expertos humanos, entre otras fuentes.
- Tipos de conocimiento
 - Conocimiento Público
 - Puede obtenerse directamente a partir de fuentes típicas, libros y manuales. Es comúnmente aceptado y reconocido
 - Conocimiento Semipúblico
 - Es explícito, pero no universalmente reconocido, ni comúnmente aceptado. Es el conocimiento de grupos de especialistas
 - Conocimiento Privado
 - No es explícito, no está universalmente reconocido, ni es comúnmente aceptado. Es de marcado carácter heurístico

- Russell y Norvig
 - El objetivo es explicar y construir agentes que reciben percepciones del ambiente, y proceden a ejecutar acciones
 - Cada uno de tales agentes se implanta mediante una función que correlaciona percepciones y acciones
 - Se pueden definir diversos procedimientos útiles para representar tales funciones:
 - Sistemas de producción
 - Agentes reactivos
 - Planificadores lógicos
 - Redes semánticas
 - Sistemas lógicos de decisión

Estructura de los agentes. Función



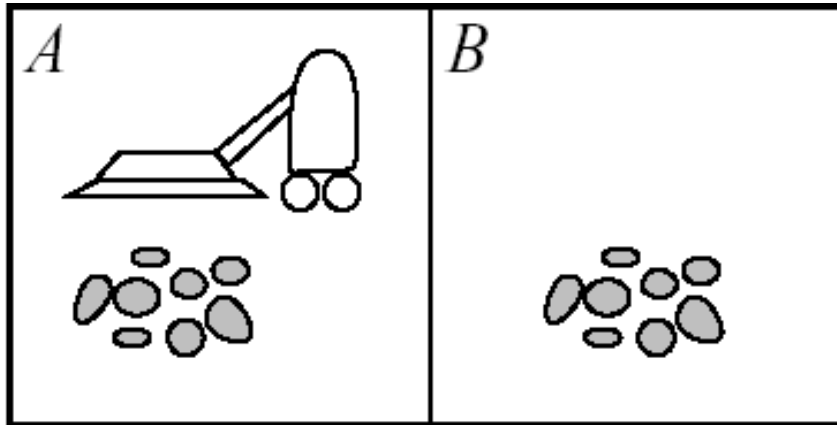
- La *función del agente* proyecta una percepción en una acción,

$$f: P^* \rightarrow A$$

- Se puede presentar en forma de tabla (percepción-acción)

<i>secuencias de percepción</i>	<i>acción a llevar a cabo</i>
...	...
...	...

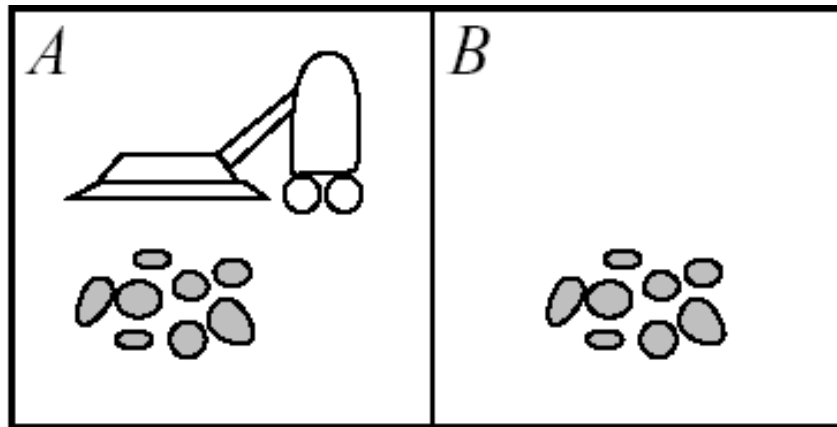
Estructura de los agentes. Ejemplo de Función



- **Percepciones:** localización y contenidos,
 - [A, Sucio], ...
- **Acciones:**
 - Izquierda, Derecha, Aspirar

<i>secuencias de percepción</i>	<i>acción a llevar a cabo</i>
[A, limpio]	Derecha
[A, sucio]	Aspirar
[B, limpio]	Izquierda
[B, sucio]	Aspirar
[A, limpio], [A, limpio]	Derecha
[A, limpio], [A, sucio]	Aspirar
...	...

Estructura de los agentes. Ejemplo de Función



- **Percepciones:** localización y contenidos,
 - $[A, \text{Sucio}], \dots$
- **Acciones:**
 - *Izquierda, Derecha, Aspirar*

función AGENTE-ASPIRADORA-REACTIVO ([localización, estado]) **devuelve** una acción

si *estado* = *Sucio* entonces devolver *Aspirar*

de otra forma, si *localización* = A **entonces devolver** *Derecha*

de otra forma, si *localización* = B **entonces devolver** *Izquierda*

Estructura de los agentes: Programa y arquitectura

- La IA es el *programa* del agente,
 - *Software* que determina el comportamiento del agente e implementa la función del agente
- El programa del agente se ejecuta en computadores con sensores y actuadores (*hardware* del agente)

Agente = Arquitectura + Programa

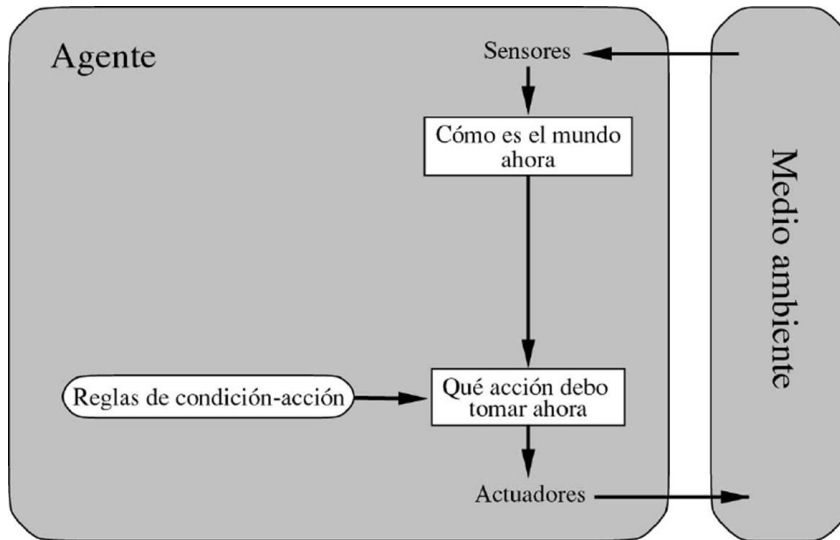
- La *arquitectura*
 - engloba los módulos que componen el agente
 - estructura el programa del agente
 - Partes imprescindibles:
 - Componente de percepción, facilita las percepciones de los sensores
 - Componente de selección de acciones
 - Componente de acción, activa los actuadores

Tipos básicos de agentes

Programas para agentes se diferencian por los métodos que emplean para seleccionar las acciones

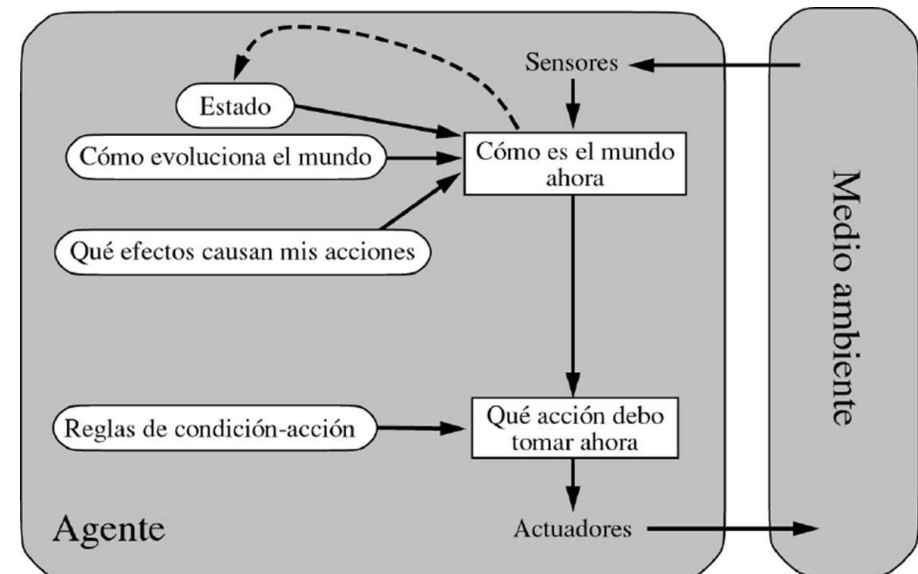
Tipo	Características
Reactivo simple	<ul style="list-style-type: none">• Es el tipo de agente más sencillo• Selecciona la acción en base a percepciones actuales• Inteligencia limitada
Basado en modelos	<ul style="list-style-type: none">• Mantiene un estado interno que almacena:<ul style="list-style-type: none">(1) cómo evoluciona el mundo,(2) cómo afectan al mundo las acciones ejecutadas
Basado en objetivos	<ul style="list-style-type: none">• Conoce una serie de objetivos a alcanzar• Planifica la secuencia de acciones para lograr sus metas
Basado en utilidad	<ul style="list-style-type: none">• Cada estado tiene asociado una utilidad• Utilidad: valor numérico, representa la bondad del estado• El agente debe alcanzar los estados de mayor utilidad

Tipos básicos de agentes (II)

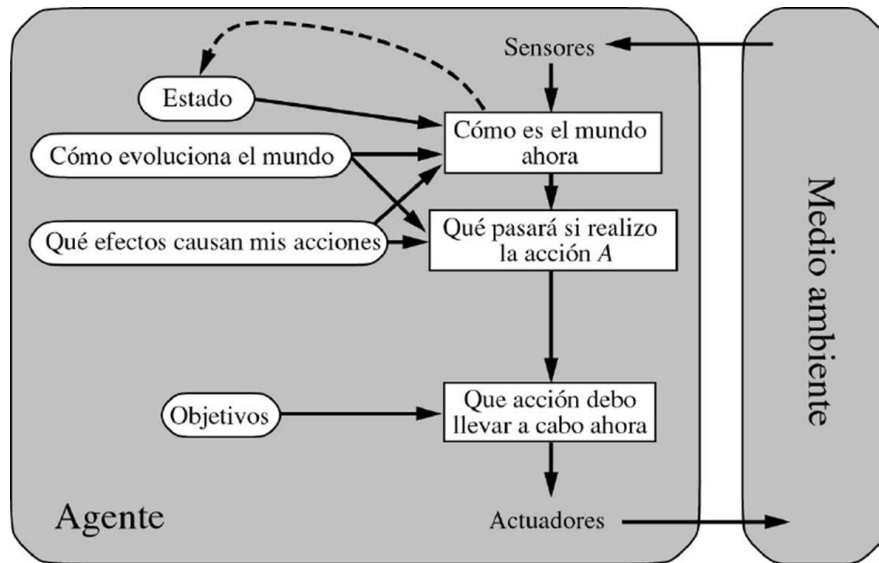


AGENTE REACTIVO SIMPLE

AGENTE BASADO EN MODELOS

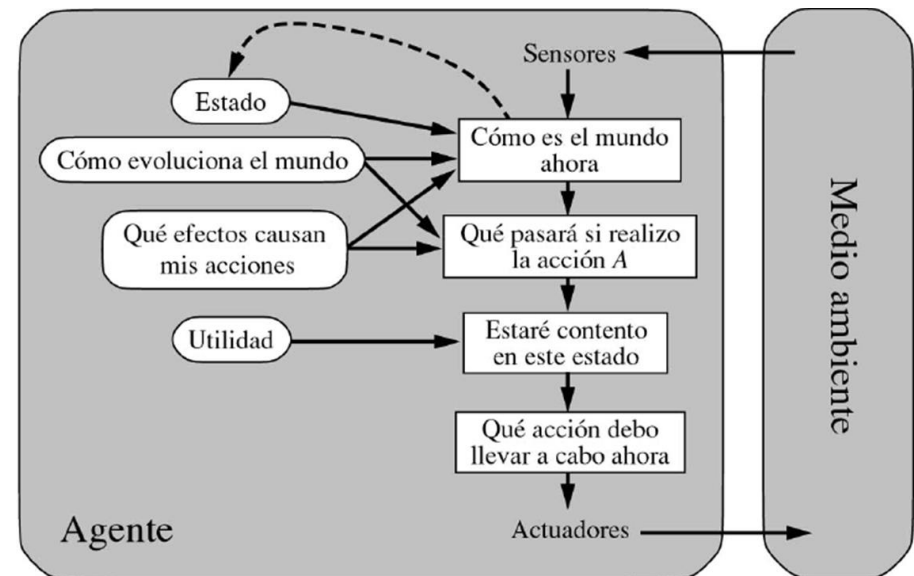


Tipos básicos de agentes (III)



BASADO EN METAS

BASADO EN UTILIDAD



- Los agentes inteligentes deben maximizar una **medida de rendimiento** (satisfacer una meta)
- Problema de decisión *complejo*:
 - Un agente en la ciudad de Arad (Rumanía) en viaje de vacaciones
 - La medida de rendimiento puede considerar algunos factores: tomar el sol, mejorar el rumano, visitar monumentos, ...
- Problema de decisión *simplificado*:
 - El agente con un vuelo no reembolsable desde Bucarest al día siguiente
 - Rechaza cualquier acción que no sea llegar a Bucarest, la meta actual
- Las metas ayudan a **organizar** el comportamiento limitando los objetivos

- Paso 1: **Formulación de metas**
 - Basada en la situación actual y en la medida de rendimiento del agente
 - Meta: Conjunto de estados del mundo en los que se satisface el objetivo
 - Tarea del agente: Encontrar la secuencia de acciones que permita alcanzar algún estado meta

■ Paso 2: **Formulación del problema**

- A partir de una meta dada, es el proceso de decidir qué acciones y estados considerar para alcanzarla
- ¿Cómo es el entorno?
 - Desconocido: No es posible elegir porque no conoce su resultado (estado)
 - Conocido: Cómo decidir entre varias opciones inmediatas de valor desconocido?
 - Examinar todas las secuencias posibles de acciones que nos llevan a estados de valor conocido.
 - Seleccionar la mejor entre todas las secuencias de posibles acciones que le lleven eventualmente a estados de valor conocido

- La solución a cualquier problema es una secuencia fija de acciones (bajo las condiciones anteriores)
- El proceso de buscar esa secuencia se llama **búsqueda**
- Paso 3: **Búsqueda**
 - **Algoritmo de búsqueda:**
 - *Entrada*: un problema
 - *Salida*: una secuencia de acciones (una solución)
- Paso 4: **Ejecución**
 - Una vez se encuentra la solución, se llevan a cabo las acciones recomendadas
- El diseño del agente será del tipo formular-buscar- ejecutar

- **Deterministas, completamente observables** \Rightarrow problemas de estado único
 - El agente sabe exactamente en qué estado estará; la solución es una secuencia.
- **No-observable** \Rightarrow problema conformante
 - El agente puede no tener idea de dónde está; la solución (si hay) es una secuencia.
- **No deterministas y/o parcialmente observables** \Rightarrow Problemas de contingencia, las percepciones proporcionan **nueva** información sobre el estado actual.
 - La solución es un **plan de contingencia** o una **política** a menudo búsqueda **intercalada**, ejecución.
- **Espacio de estados desconocido** \Rightarrow problema de exploración (“online”)

Pseudocódigo de un agente simple solucionador de problemas

Forma restringida de agente general:

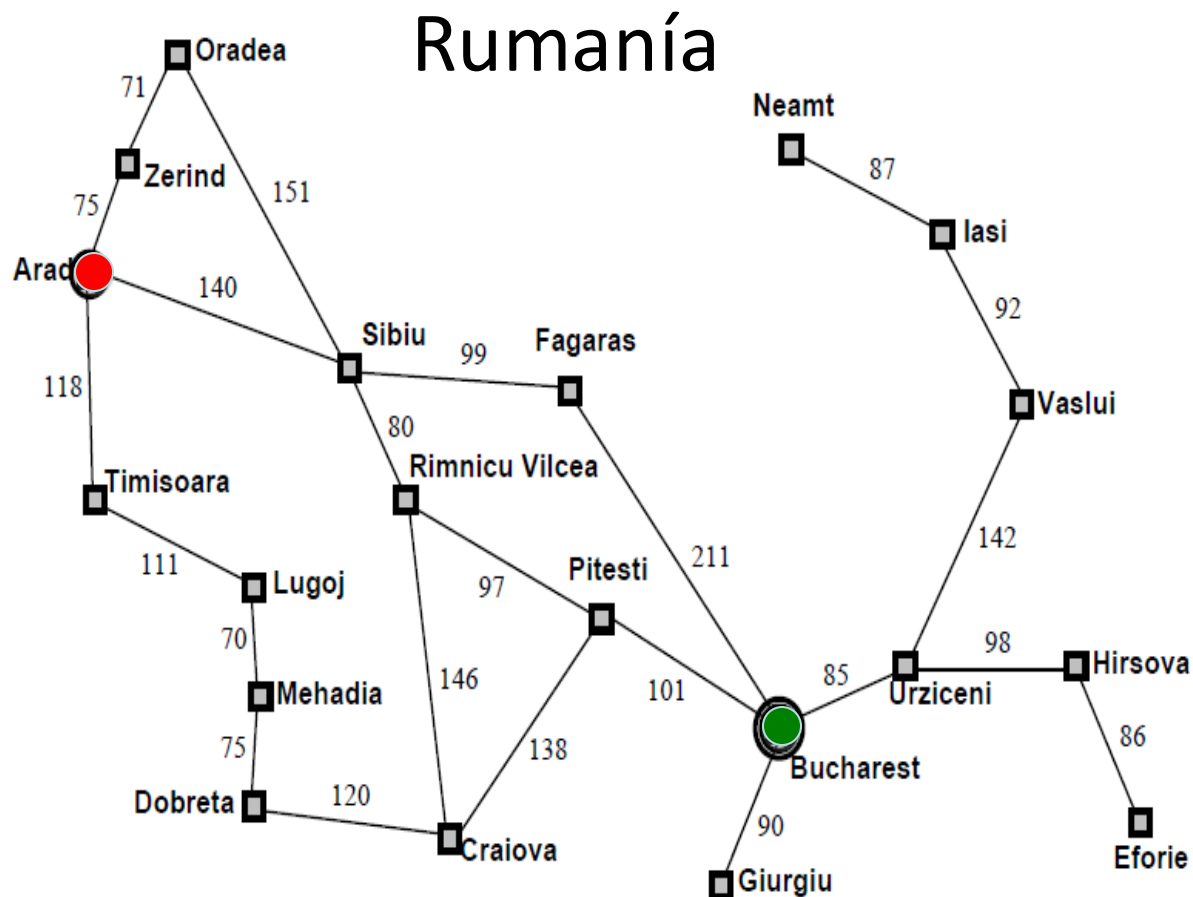
```
función AGENTE-SENCILLO–SOLUCIONADOR-PROBLEMAS (percepción) devuelve una acción  
entradas: percepción, una percepción  
estático: sec, una secuencia de acciones, inicialmente vacía  
          estado, una descripción del estado actual del mundo  
          meta, una meta, inicialmente nula  
          problema, una formulación del problema  
estado ← ACTUALIZAR-ESTADO (estado, percepción)  
si sec está vacía entonces  
    meta ← FORMULAR–META (estado)  
    problema ← FORMULAR–PROBLEMA (estado, meta)  
    sec ← BÚSQUEDA (problema)  
    si sec = fallo entonces devolver una acción nula  
    acción ← PRIMERO (secuencia)  
    sec ← RESTO (secuencia)  
devolver acción
```

NOTA: Es una solución de problemas offline: la solución se ejecuta con “ojos cerrados”
Online: la solución implica actuar sin conocimiento completo.

Ejemplo: Encontrar una ruta en Rumanía

- El agente está de vacaciones en la ciudad de Arad (Rumanía). El vuelo de vuelta sale mañana desde Bucarest
- Formular objetivo:
 - Llegar a Bucarest cuanto antes
- Formular problema:
 - estados: estar en una ciudad de Rumania
 - acciones: conducir de una ciudad a otra
- Encontrar una solución:
 - secuencia de ciudades que nos lleve desde Arad hasta Bucarest

Mapa de carreteras simplificado (con costes)



Definición formal del problema (I)

- Cinco componentes:

1. **Estado inicial** del agente. P.ej., *En (Arad)*

2. Descripción de **acciones** disponibles:

- Para un estado dado, s , $ACCIONES(s)$ devuelve el conjunto de acciones legales en s .

- P.ej., $ACCIONES(En(Arad)) = \{Ir(Sibiu), Ir(Timisoara), Ir(Zerind)\}$

3. Descripción de lo que hace cada acción (**modelo de transición**).

- $RESULT(s,a)$ devuelve el estado que resulta de realizar la acción a en el estado s^* .

- P. ej.: $RESULT(En(Arad), Ir(Zerind)) = En(Zerind)$

*Sucesor: cualquier estado alcanzable desde un estado dado mediante una única acción

Definición formal del problema (II)

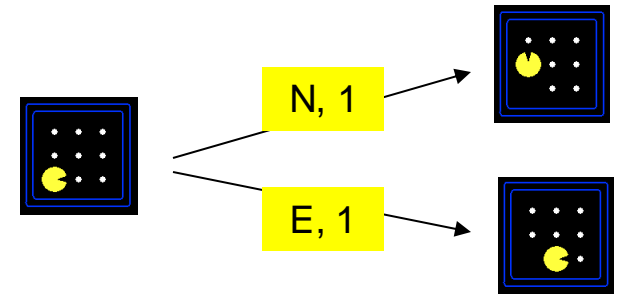
- El estado inicial, las acciones y el modelo de transición definen implícitamente el **espacio de estados** del problema:
 - Conjunto de todos los estados alcanzables desde el estado inicial a través de cualquier secuencia de acciones
 - Forma un **grafo** en el que los **nodos** son *estados* y los **arcos** entre nodos las *acciones*
 - Un **camino** es una secuencia de estados conectados por una secuencia de *acciones*

Definición formal del problema (III)

4. Test objetivo o **prueba de meta** determina si un estado es el estado meta
 - Si pertenece a un conjunto explícito de estados meta, p. ej. $\{En(Bucarest)\}$
 - Si cumple con una propiedad abstracta, p.ej. El “jaque mate” del ajedrez
5. Función **coste** del camino, asigna un coste numérico a cada camino y refleja la *medida de rendimiento*
 - El coste de un camino se asume como la suma de los costes de las acciones individuales a lo largo del camino. P.ej. suma de distancias, acciones ejecutadas, ...
 - El coste individual de una acción a , desde s a s' se denota $C(s,a,s')$
 - Asumiremos que los costes son no negativos.

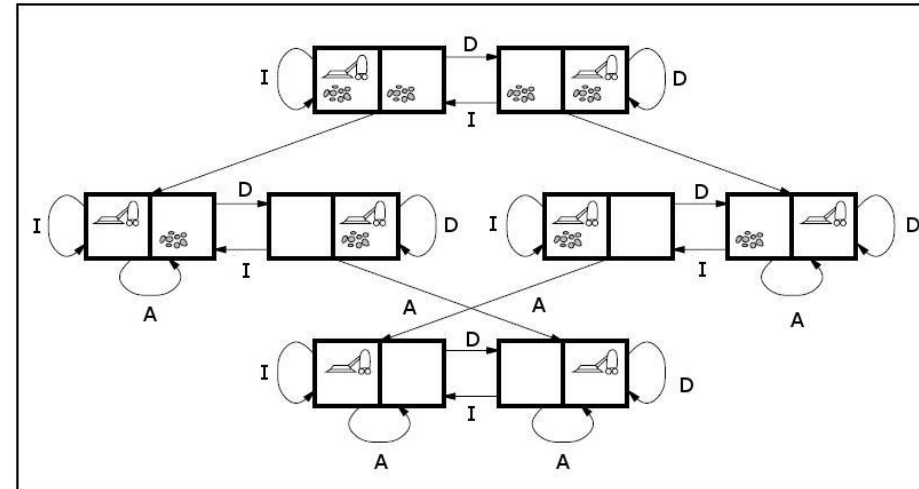
Problema de búsqueda

- Un **problema de búsqueda** consiste en:
 - Estado inicial
 - Conjunto de acciones
 - Modelo de transición
 - Prueba de meta
 - Función de coste del camino.
- **Solución**: secuencia de acciones (un plan) que transforma el estado inicial en el estado meta
- La función de coste del camino mide la *calidad* de dicha solución
- La **solución óptima** es aquella de todas las soluciones que tiene el menor coste de camino.



Problemas de juguete. El mundo de la aspiradora

- **Estados:** Localización del agente y de la basura
- **Estado inicial:** Cualquiera
- **Acciones:** I, D y A (Aspirar)
- **Modelo de transición:** Efectos esperados en las acciones (excepto I en la izquierda, D en la derecha y A si no hay suciedad que no tienen efecto)
- **Test de meta:** Todas las localizaciones limpias
- **Coste del camino:** Número de pasos (coste del paso unitario)



Problemas de juguete. El 8-puzzle

- **Estados:** localización de las fichas y el blanco
- **Estado inicial:** Cualquiera
- **Acciones:** Derecha, Izquierda, Arriba, Abajo
- **Modelo de transición:** Dado un estado y una acción, devuelve el estado resultado
- **Test de meta:** El estado meta coincide con la configuración objetivo
- **Coste del camino:** Número de pasos (coste del paso unitario)

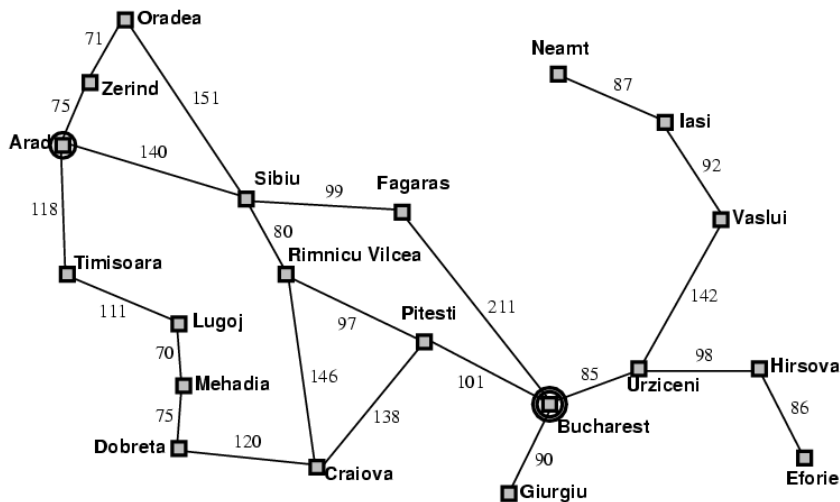
7	2	4
5		6
8	3	1

Estado inicial

	1	2
3	4	5
6	7	8

Estado meta

Problemas reales. El problema de encontrar rutas



- **Estados:** Ciudades
- **Estado inicial:** Arad
- **Acciones:** Cambiar de ciudad (mapa)
- **Modelo de transición:** Agente en la ciudad destino
- **Test de meta:** ¿Estado = Bucarest?
- **Función de coste:** distancia en kilómetros

Lo que no debes olvidar (I)

- Un **agente** es un ente que percibe y actúa en un entorno mediante sensores y actuadores, respectivamente.
- La **función del agente** especifica la acción a realizar por un agente en base a la secuencia de percepciones recibida
- La **medida de rendimiento** evalúa el comportamiento del agente en un entorno determinado
- Un **agente racional** actúa siempre con el objeto de maximizar el valor esperado dada la secuencia de percepciones hasta el momento
- Los programas del agente implementan (algunas) funciones del agente
- Las descripciones REAS (Rendimiento-Entorno-Actuadores-Sensores) definen entornos tarea

Lo que no debes olvidar (II)

- Los entornos se pueden categorizar en varias dimensiones:
 - ¿Observable, Determinista, Episódico, Estático, Discreto, Agente único?
- Existen varias arquitecturas básicas de agentes:
 - Reactivo, Reactivo con estado, basado en metas y basado en utilidades.

- **Formulación de metas, formulación del problema, búsqueda y solución** son los pasos básicos de la solución de problemas
- La formulación de problemas suele requerir **abstraer** detalles del mundo real para definir un espacio de búsqueda que pueda ser factible explorar.
- Los componentes formales de un problema de búsqueda son **estado inicial, acciones disponibles, modelo de transición, prueba de meta y función de coste** del camino. Los tres primeros definen implícitamente el **espacio de estados** del problema.
- Una **solución** es una secuencia de acciones que transforma el estado inicial en el estado meta. La **solución óptima** es la que tiene el menor coste de camino.

- Russell & Norvig, *Artificial Intelligence, a modern approach*. Pearson, Prentice Hall, 3rd edition, 2010
- Moret, Alonso, Cabrero, Guijarro & Mosqueira. *Fundamentos de Inteligencia Artificial*. Servicio de Publicaciones UDC. 2004
- Nilsson, *Problem-Solving Methods in Artificial Intelligence*, McGraw-Hill, eds., 1971
- Rich & Knight, *Inteligencia Artificial*, McGraw-Hill, eds., 1994.
- Palma & Marín, eds. *Inteligencia Artificial: Técnicas, Métodos, y Aplicaciones.*, McGrawHill. 2008
- Nau, Ghallab & Traverso, *Automated Planning: Theory & Practice..* Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2004.