

Sistemas Inteligentes

Jose Aguilar
CEMISID, Escuela de Sistemas
Facultad de Ingeniería
Universidad de Los Andes
Mérida, Venezuela



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
MÉRIDA VENEZUELA

Mi nombre: Jose Aguilar

**Sitio de Trabajo: CEMISID, Dpto. de Computación
Escuela de Ing. de Sistemas
Facultad de Ingeniería
Universidad de los Andes
Mérida, Venezuela**

Contacto: aguilar@ula.ve

<http://ing.ula.ve/~aguilar>

Objetivo del Curso

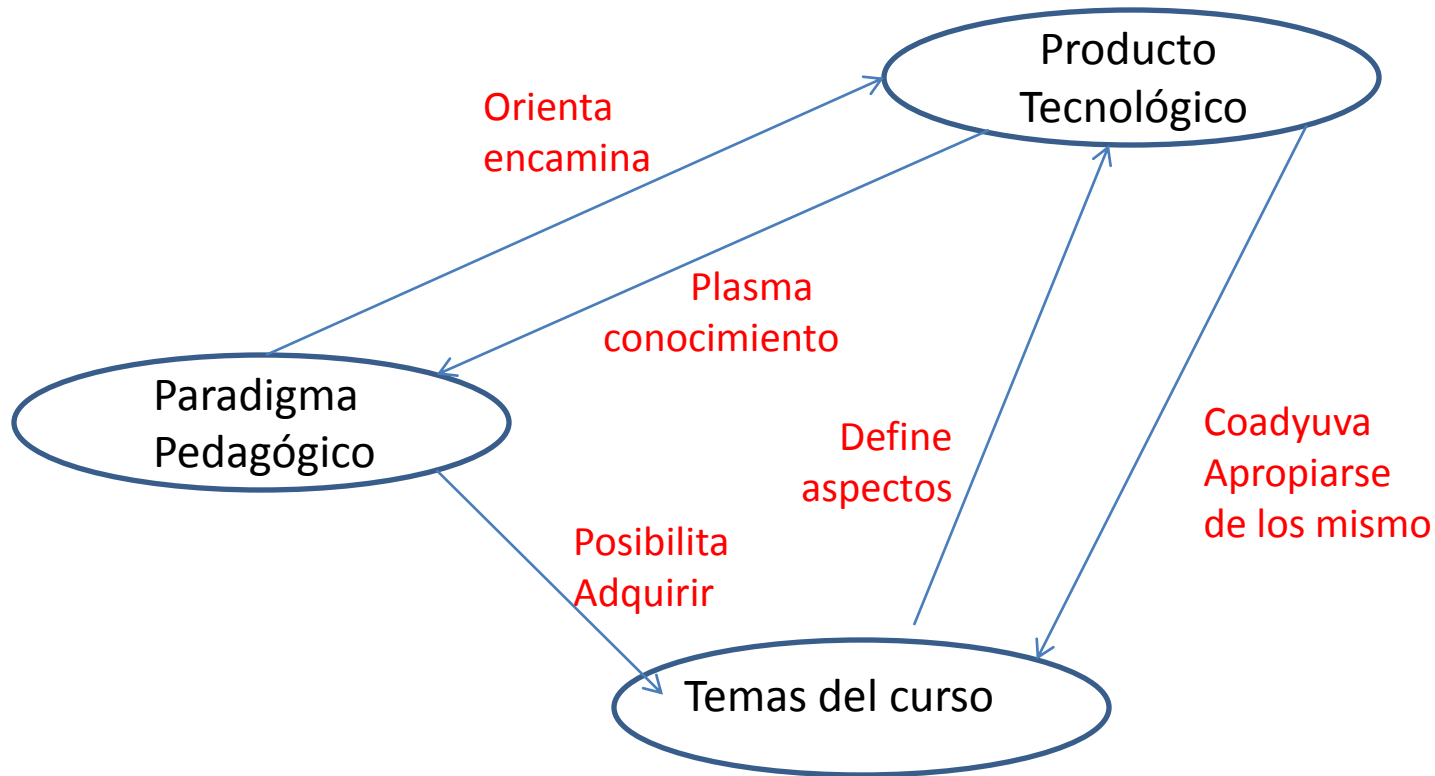
Las tecnologías de informática y comunicaciones han venido siendo usadas de una manera masiva en diferentes ámbitos del acontecer social. Una parte de su uso es para la realización de tareas que requieren, por su complejidad, mucha inteligencia.

En ese sentido, una rama de las ciencias computacionales se ha dedicado a estudiar como reproducir ese comportamiento inteligente, tanto individual como colectivo, a nivel computacional.

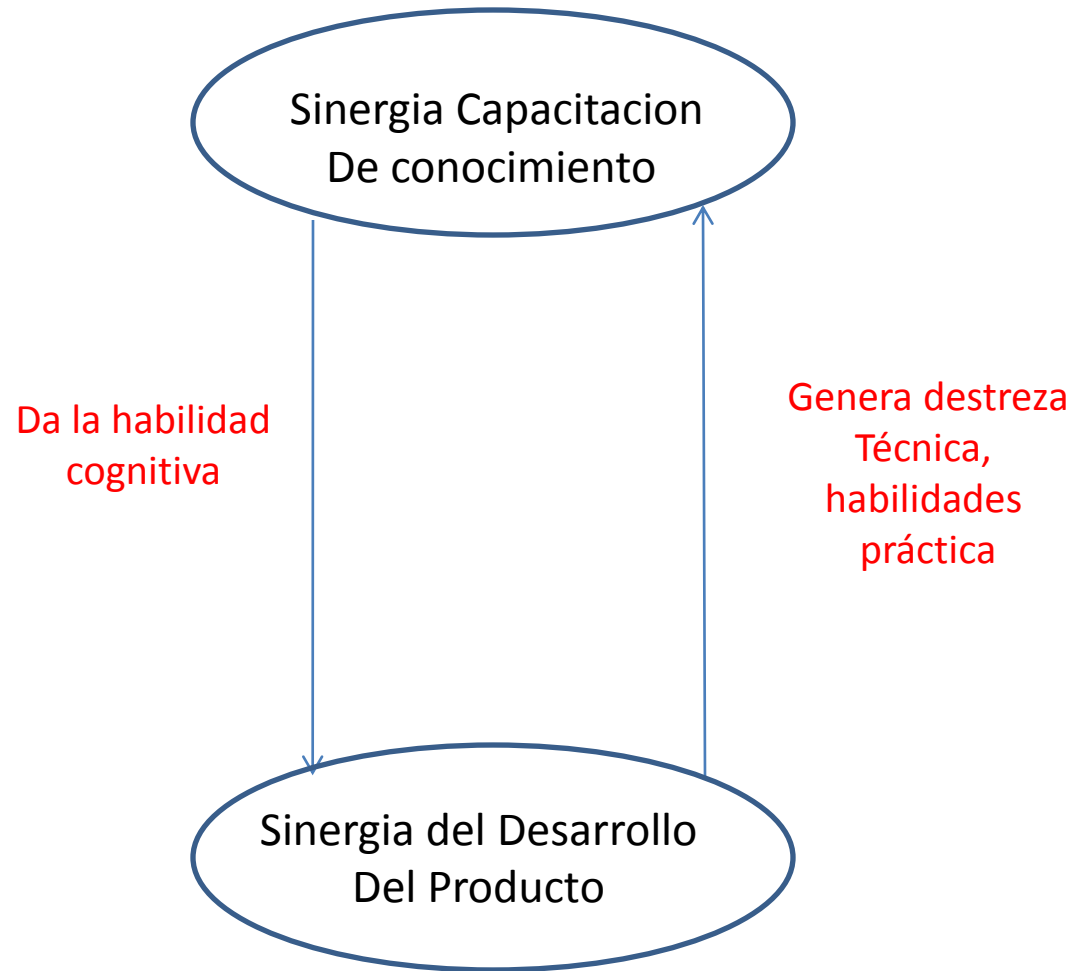
La aplicación de los modelos de inteligencia computacional que se han venido desarrollando ha sido muy amplia.

En este curso daremos una breve introducción, pero completa, de los diferentes aspectos que actualmente se discuten en el ámbito de los sistemas inteligentes, en las ciencias computacionales

Dinámicas del Curso



Dinámicas del Curso



Dinámicas Sinergias

Sinergia Capacitación de Conocimientos (SCC)

- Se aprende la teoría, bases conceptuales, etc.
- ¿Cómo se trabaja?:
 - Todo el material en línea,
 - Internet como fuente de conocimiento
 - Espacios de presentación, discusión y debate

Sinergias

Sinergia Desarrollo de Productos (SDP)

Durante todo el curso el estudiante llevara un proyecto donde va aplicando el contenido del mismo.

- Los alumnos trabajarán en grupos. Además del trabajo en clase se requiere también de trabajo fuera de las clases.
- Definición y caracterización de productos (obras) sobre los cuales se irán plasmando el conocimiento adquirido
- Los productos (obras) al final deben contener todo el contenido adquirido en el curso inmerso en él
- Se aprende a usar las técnicas, metodologías, etc.
- ¿Cómo se trabaja?:
 - Metodología Ágil para la construcción del proyecto
 - Se debe dar cuenta del recorrido del desarrollo del producto diariamente (entregan informe de avance)

Contenido

Unidad I. Introducción a los Sistemas Inteligentes

- Tema 1 Conceptos de base
- Tema 2 Inteligencia Artificial
- Tema 3 Teoría de Agentes
- Tema 4 Inteligencia Artificial Distribuidas

Unidad II. Introducción a las Técnicas Inteligentes clásicas

- Tema 1 Redes Neuronales Artificiales
- Tema 2 Computación Evolutiva
- Tema 3 Lógica difusa

Contenido

Unidad III Avances en la Inteligencia Artificial Distribuida

- Tema 1 sistemas multiagentes
- Tema 2 sistemas emergentes
- Tema 3 inteligencia colectica

Unidad IV Introducción a las Técnicas Inteligentes distribuidas

- Tema 1 Lógica de enjambres
- Tema 2 Modelos basados en Colonias de insectos
- Tema 3 Modelos basados en Fenómenos Físicos

BIBLIOGRAFIA

- S. Russell, P. Norvig, "Artificial Intelligence: A Modern Approach" Prentice Hall, New York, USA, 1995.
- J. Aguilar, M. Cerrada, F. Hidrobo, A. Ríos, "SMA y sus aplicaciones en Automatización Industrial", Tallies Gráficos , ULA, 2012
- N. Nilsson, "Artificial Intelligence: a new synthesis", Morgan Kaufmann Publishers, 1998.
- G. Weiss, "Multi- agent System: a modern approach to distributed artificial intelligence", MIT Press, 1999.
- S. Fernández; J. González, y J. Mira, Problemas Resueltos De Inteligencia Artificial: Búsqueda y Representación. Addison-Wesley. España, 1998.
- J. Mira, A. Delgado, J. Boticario, y J. Díez, Aspectos Básicos de la Inteligencia Artificial. Sanz y Torres. Madrid, 1995.
- E. Rich, y K. Knight, Inteligencia Artificial. McGraw Hill, Madrid 1994.
- G. Pajares, M.Santos, "Inteligencia Artificial e Ingeniería del Conocimiento", Alfaomega, México, 2006
- , <http://aima.cs.berkeley.edu/>. con casi 900 enlaces a páginas relacionadas con el campo de la Inteligencia Artificial
- J. Aguilar, F. Rivas (eds.), "Introducción a las Técnicas Inteligentes", Editorial Venezuela, 2002.

ESTRUCTURA DE EVALUACIÓN

- Trabajo en clases 30%
- Entrega del Trabajo final 60%
- Debate en aula y asistencia 10%

Los parámetros de evaluación son los siguientes:

- Seguimiento de actividades programadas en el curso.
- Cumplimiento de las fechas programadas para la presentación de trabajos
- Participación efectiva en las diferentes exposiciones de los temas asignados
- Elaboración y presentación de trabajos

Recorrido Sinergia Desarrollo de Productos

- Se seguirá metodología **yPBL**
 - Ramas de: diseño (funcional y técnico) y desarrollo
 - Iterativo (ágil)
 - Fases de análisis, diseño, implementación y pruebas
- Cada día se avanzará en diseño y desarrollo según SCC mostrando:
 - Herramientas de desarrollo, etc.
 - Informes de Avances, informes de iteraciones

yPBL

- **Metodología de aprendizaje inspirada en Ingeniería de software**
- **Permite construir aplicaciones reales de software mientras se aprende.**
- **Cada Iteración:**
 - **Cubre un tópico del curso aplicado al producto tecnológico**
 - **Se redefinen roles en los grupos, recursos usados, cronogramas**
 - **Interactuamos todos para alcanzar los objetivos de aprendizaje**



Requerimientos:

Análisis:

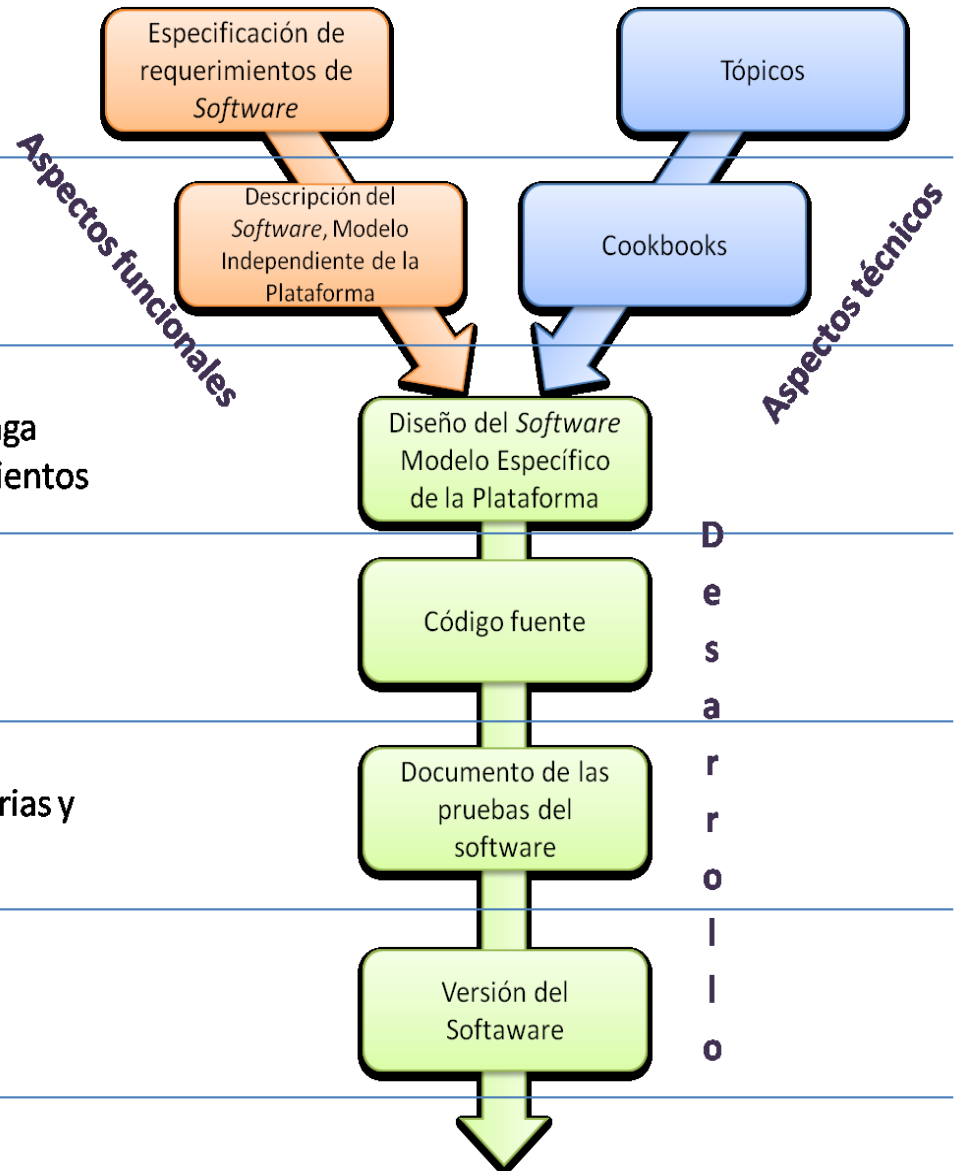
Diseño:

Implementación:

Prueba:

Entrega:

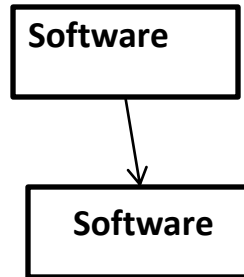
Entregar la solución al cliente



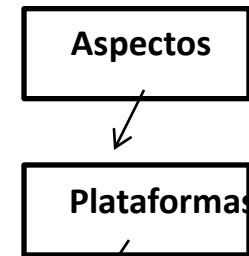
yPBL

- Requerimientos
- Análisis
- Diseño
- Implementación
- Pruebas
- Liberación

Rama Funcional



Rama Técnica



Modelos

Código

tests

Disposición

Rama Desarrollo

Iteraciones

- | I1 | I2 | I3 | I4 |
|--|---|---|---|
| Introducción a los Sistemas Inteligentes | Introducción a las Técnicas Inteligentes clásicas | Avances en la Inteligencia Artificial Distribuida | Introducción a las Técnicas Inteligentes distribuidas |

Plantillas

Definición de la obra

- Nombre
- Descripción
- Objetivo
- Importancia para la empresa
- Cliente/Doliente y uso

Informes Técnicos

- Objetivo de la iteración
- Caracterización en el producto
- Diseño en el producto
- Prototipo y pruebas

Plantillas

Informe Final

- Introducción
- Presentación del producto
- Propuestas de Diseño en el producto
- Prototipos y pruebas
- Conclusiones



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
MÉRIDA VENEZUELA

Plantillas

CookBook (10% nota final)

- Resumen (Abstract)
- Palabras Claves (Keywords)
- Contribuyentes (Contributors)
- Versiones (Releases)
- Introducción (Introduction)
- Ingredientes: Definiciones y Terminología (The ingredients: Definitions and terminology)
 - Ingrediente 1 (Ingredient 1)
- Recetas (Recipes)
 - Receta 1: Una primera receta (Recipe1: A first recipe (e.g. a HelloWorld recipe))
 - Paso 1: descripción paso 1 (Step1: short description of step 1)
- Documentación Recomendada (Recommended documentation)
- Referencia 1 (Reference 1)
- Retroalimentación (Feedback)

CRONOGRAMA

Unidad	<u>SESION 1</u>	<u>SESION 2</u>
<i>1</i>	X	
<i>2</i>	X	
<i>3</i>	X	X
<i>4</i>		X



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
MÉRIDA VENEZUELA

Unidad I. Introducción a los Sistemas Inteligentes

PORQUE COMPUTACIÓN INTELIGENTE?

- ***TEORÍA QUE EXPLIQUE QUE ES INTELIGENCIA, COMO ELLA PROCESA INFORMACIÓN IMPRECISA, Y GUARDA, RECUPERA, CORRELACIONA, INFIERE Y EXTRAE VALORES PRECISOS.***
- ***TECNOLOGÍA QUE CON POCA CANTIDAD DE RECURSOS, PUEDA PROCESAR UNA GRAN CANTIDAD DE INFORMACIÓN IMPRECISA EN CORTO TIEMPO Y PROVEA BUENOS RESULTADOS***

PORQUE COMPUTACIÓN INTELIGENTE?

Entrada

***Conoc. Sist.
Humano***

***Intelig.
Biológ.***

***Conoc.
Estructurado***

***Sist.
Artificial***

Datos

***Sistemas
Compt.***

Nivel Organizacional

***Orgánico
Biológ.***

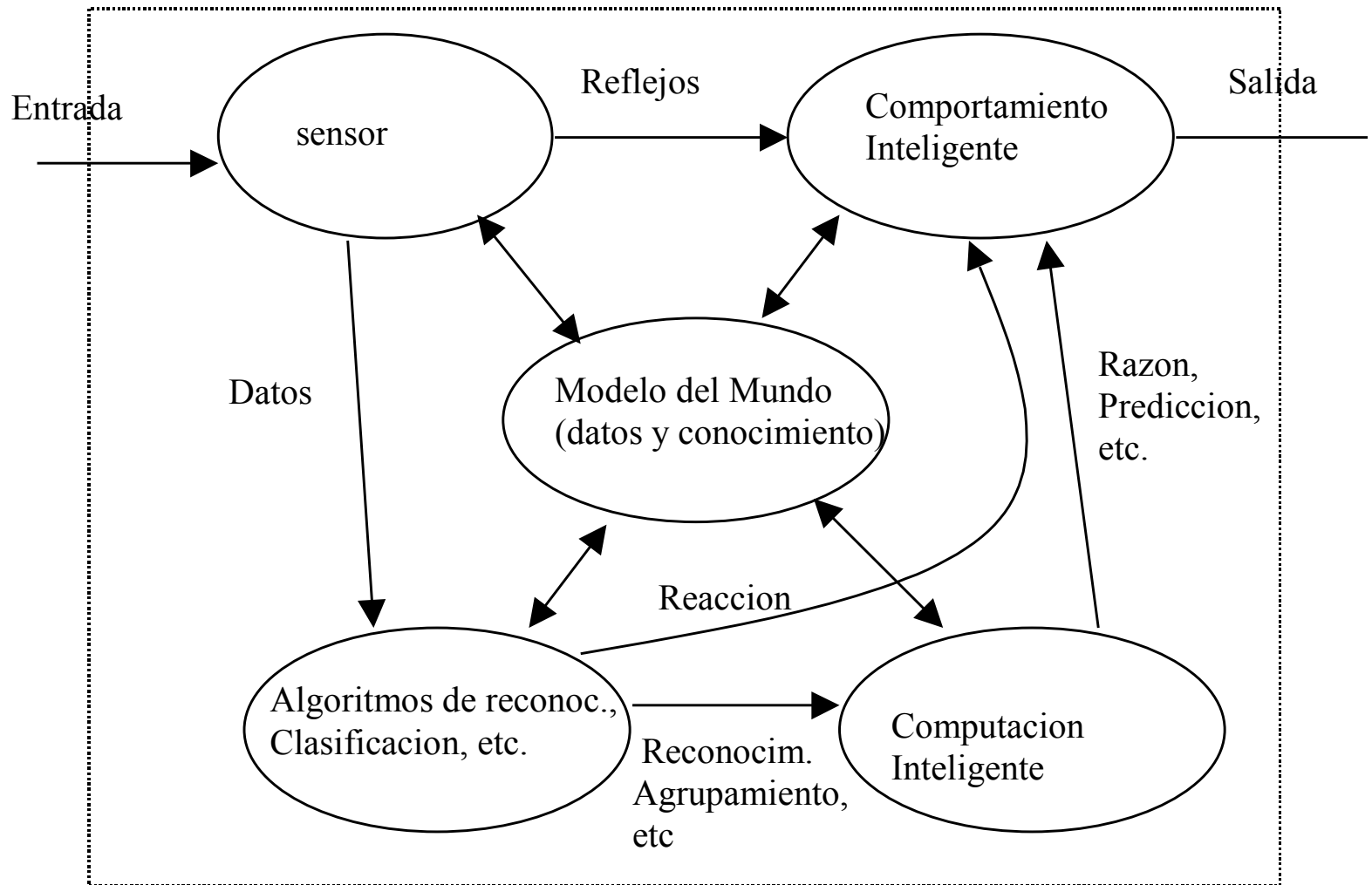
***Inteligencia
Artificial***

***Compt.
Intelig.***

Simbólico

Numérico

COMPUTACIÓN INTELIGENTE



COMPUTACIÓN INTELIGENTE

***METODOLOGÍA COMPUTISTA QUE TIENE LA
HABILIDAD DE APRENDER O TRATAR
NUEVAS SITUACIONES. ELLA
FRECUENTEMENTE ES DISEÑADA PARA
EMULAR UNO O MAS ASPECTOS DE LOS
SISTEMAS BIOLÓGICOS O SOCIALES***

Inteligencia Artificial

Inteligencia: capacidad de adquirir y usar conocimiento

¿Cómo el cerebro percibe, entiende, predice y manipula?

⇒ Actuar, Aprender, Comunicarse y Razonar

- *La Inteligencia Artificial trata de conseguir que los computadores **simulen en cierta manera la inteligencia humana.***
- *Se acude a sus técnicas cuando es necesario **incorporar en un sistema informático, conocimiento o características propias del ser humano.***

Definición. Aspectos y Características de la Inteligencia Artificial

Envuelve entender cómo el *conocimiento* es adquirido, representado y almacenado; cómo el *comportamiento inteligente* es generado y aprendido; cómo *motivos*, *emociones*, y *prioridades* son desarrolladas y usadas; cómo *señales sensoriales* son transformadas en símbolos; cómo los símbolos son manipulados para *actuar lógicamente, razonar, planear*; y cómo los mecanismo de inteligencia producen *fenómenos* de ilusión, creencia, esperanza, temor y sueños

La Inteligencia Artificial ha tenido que hacer frente a una serie de problemas:

- Los computadores no pueden manejar (no contienen) verdaderos significados.
- Los computadores no tienen autoconciencia (emociones, sociabilidad, etc.).
- Un computador sólo puede hacer aquello para lo que está programado.
- Las máquinas no pueden pensar realmente.

Algunos objetivos de la Investigación en Inteligencia Artificial

- Emulación de la forma de **razonamiento humano**: los sistemas expertos, la resolución de problemas,
- Interés en el **control automático**.
- **Reconocimiento de patrones** que abarca la comprensión y la síntesis del habla, de imágenes y la visión artificial.
- **Representación del conocimiento**, conceptualización cognoscitiva, procesamiento del lenguaje natural.
- **Emulación de comportamientos y sistemas biológicos**: cerebro, proceso evolutivo, etc.
- Estudio de la **inteligencia colectiva** (técnicas bio-inspiradas): Colonias de Hormigas, ...

RETOS

- Hacer programas que razonen racionalmente
- Hacer programas que aprendan y descubran
- Hacer programas que jueguen
- Hacer programas que se comuniquen naturalmente con los humanos
- Hacer programas que muestren signos de vida
- Hacer programas que se comporten inteligentemente

Características de la Inteligencia Artificial

- **Uso de símbolos no matemáticos.** Otros tipos de programas como los compiladores y sistemas de bases de datos, también procesan símbolos.
- **El comportamiento de los programas no es descrito explícitamente por el algoritmo.** El programa especifica cómo encontrar la secuencia de pasos necesarios para resolver un problema dado (programa declarativo).
- **Las conclusiones** de un programa declarativo no son fijas y son determinadas parcialmente por las conclusiones intermedias alcanzadas durante las consideraciones al problema específico.

Características de la IA

- El **razonamiento basado en el conocimiento**, implica que estos programas incorporan factores y relaciones del mundo real y del ámbito del conocimiento en que ellos operan.
- Los programas de IA pueden distinguirse entre el **programa de razonamiento o motor de inferencia y la base de conocimientos**.
- **Aplicabilidad a datos y problemas mal estructurados**. Un ejemplo es en planificación: con poca información, incierta.

Áreas

- Inteligencia Artificial
 - Teoría de agentes
 - Sistemas multiagentes
- Técnicas Inteligentes clásicas
 - Redes neuronales artificiales
 - Lógica difusa
 - Algoritmos genéticos
- Técnicas avanzadas: son más recientes, normalmente específicas para ciertos problemas y modelan específicas cosas

Aplicaciones

Es inimaginable



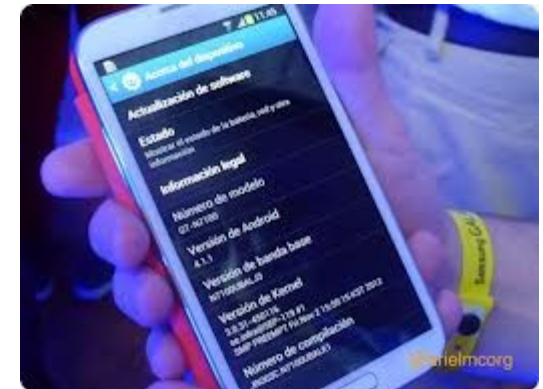
En todas las áreas pueden ser usadas

Reconocimiento

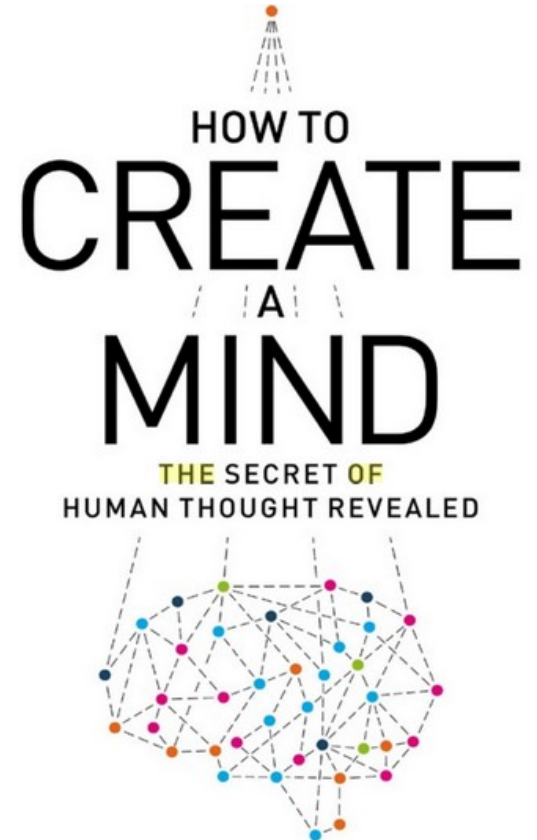
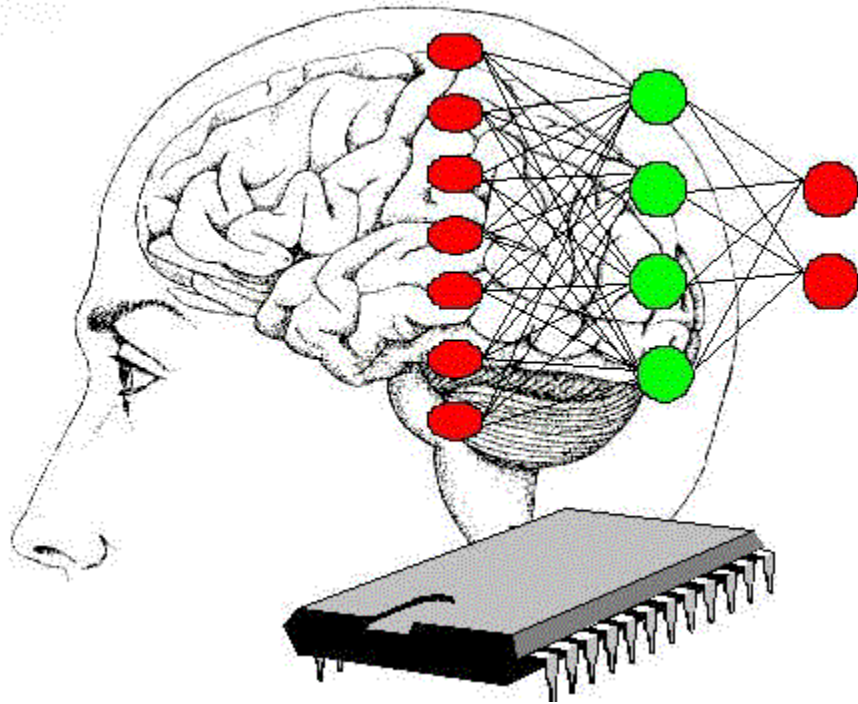
Predicción

Optimización

Planificación



Retos



Agentes

Agente

Definición de la real academia de la lengua española
(www.rae.es):

Persona o cosa que produce un efecto y que obra con poder de otra.

Tres elementos fundamentales;

1. **Produce** un efecto,
2. **Obra** (ejecuta alguna acción)
3. Lo hace **en función de otro**.

Agentes

Los agentes de software son capaces de *decidir por sí mismos* qué hacer en una determinada situación. *Mantienen información* acerca de su entorno, y *toman decisiones* en función de su percepción del estado de dicho entorno, sus experiencias anteriores, y los objetivos que tienen planteados. Además, los agentes *pueden comunicarse* con otros agentes para colaborar y alcanzar objetivos comunes. [Denney 2008]

Agente

Es cualquier cosa que pueda percibir su ambiente a través de *sensores*, y actuar sobre él a través de *actuadores*

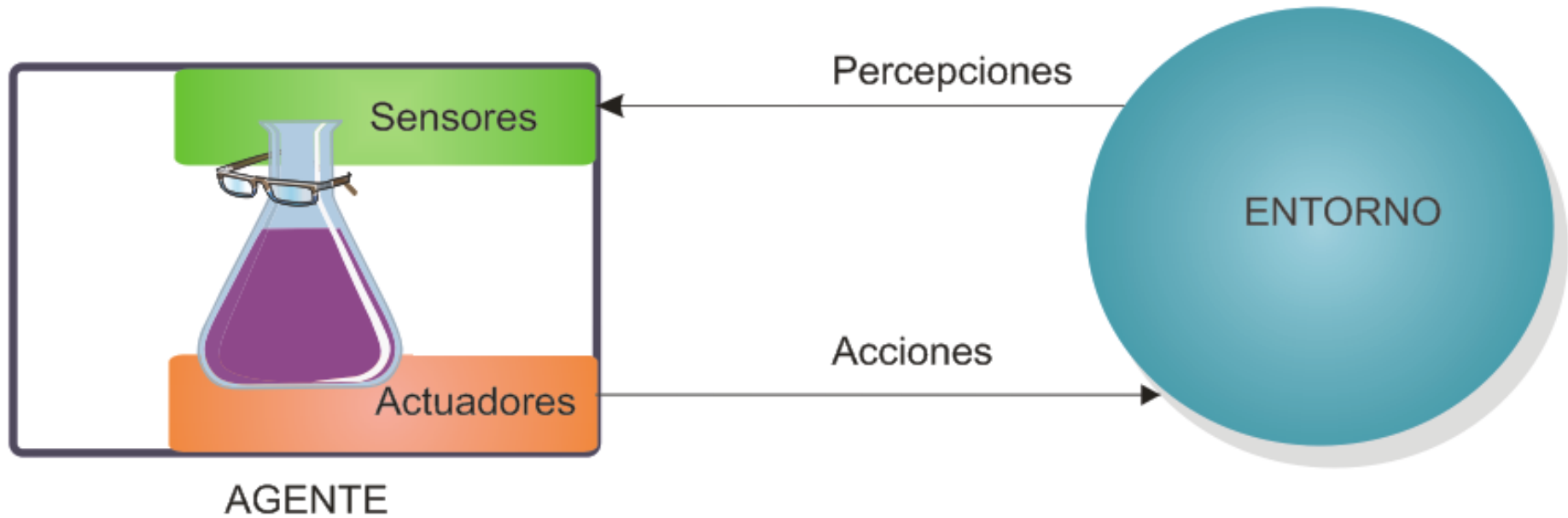
- Agente Humano: ojos, oídos, manos, brazos, etc.,
- Agente Robot: cámaras, sensores y varios motores actuadores

Agente

Es un sistema computacional que está situado en un entorno, que es capaz de realizar acciones autónomas flexibles en ese entorno para alcanzar sus objetivos

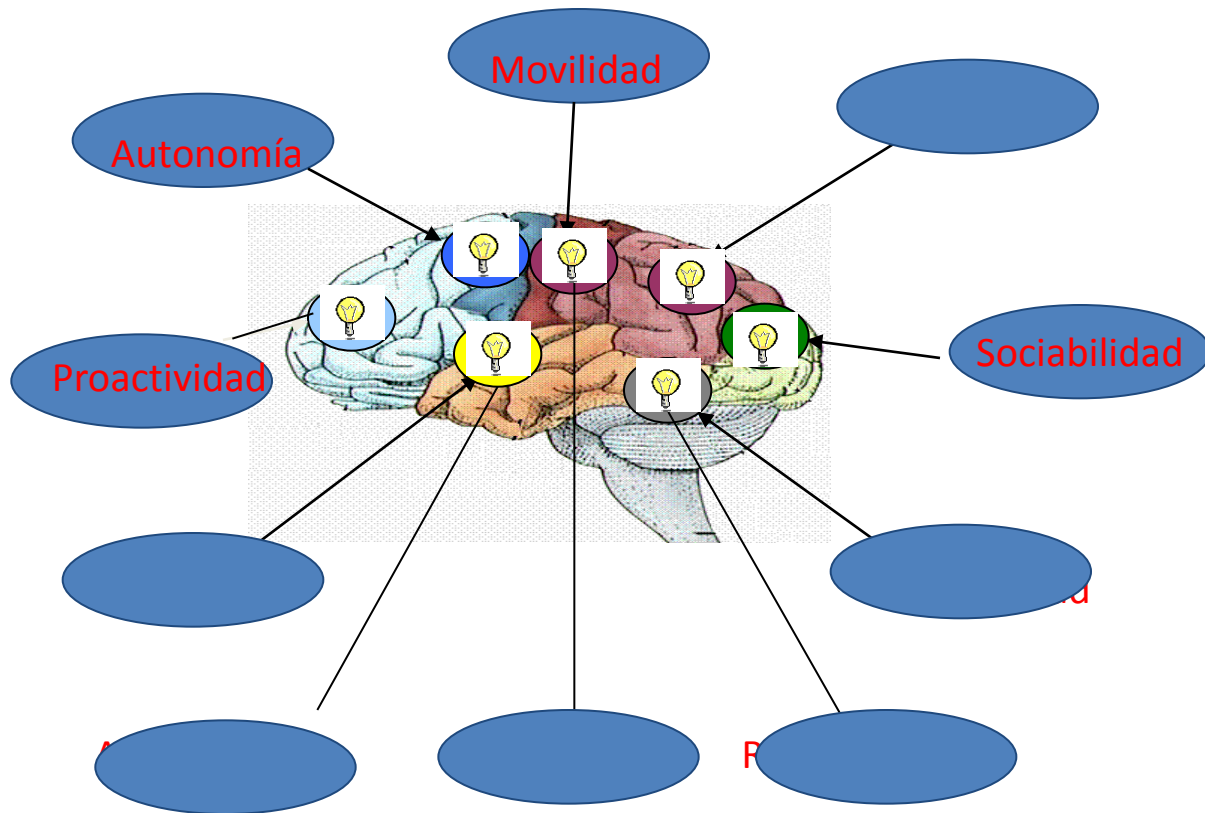
- Caracterizado por:
 - SU ESTRUCTURA (ARQUITECTURA)
 - SUS ACCIONES (COMPORTAMIENTO)
- Arquitectura+programa

Agentes



Agentes

Propiedades de un agente



Otras propiedades de los Agentes

- Comunicación
- Veracidad.
- Benevolencia
- Inteligencia
- Asincronismo

Estructura Abstracta de los Agentes

- Estados del Ambiente

$$S=\{s_1, s_2, \dots\}$$

- Capacidades de actuar

$$A=\{a_1, a_2, \dots\}$$

- Agente Básico

$$\text{acción: } S^* \rightarrow A$$

- Historia del Agente

$$h: s_0 - a_0 \rightarrow s_1 - a_1 \rightarrow s_2 \dots$$

Agentes vs. Objetos

- Un Agente puede ser autonomo
- Un Agente es capaz de generar comportamientos flexibles (reactivos, proactivos)
- Un Agente puede convivir en una comunidad de ellos de forma racional (social)
- Desde el punto de vista de implantación, cada agente es un elemento activo (al menos un hilo de ejecución).

Procedimiento de base:

1. Percibo (*Actualiza Memoria*)
2. Decido (*Escoge Acción*)
3. Actúo (*Actualiza Memoria*)

Descripción práctica de un agente:

Sus Tareas.

Sus Conocimientos.

Su Comunicación

Otros aspectos importantes a considerar en los Agentes

- Mecanismos para resolver un problema
- Mecanismo para planificar sus actividades /tareas
- Mecanismos para representar el conocimiento
- Mecanismo de razonamiento
- Mecanismos de aprendizaje
- Mecanismos de percepción
- Mecanismos para comunicarse

Elementos de un Agente

- Medida de Rendimiento
- Secuencia de Percepción
- Conocimiento del ambiente
- Acciones que el agente realiza

mapeo de la secuencia percibida a las acciones

racionalidad: por cada secuencia percibida tomar acción basado en el conocimiento que tiene que maximice el rendimiento

Ambiente

- Completamente observable o no (Accesibilidad)
- Determinista o estocástico
- Episódico o secuencial (Interdependencia de eventos)
- Estático o no (Dinamismo)
- Discreto o Continuo (Continuidad)

Ejemplos de Ambiente

	Ajedrez	Conducir
Compl. observable	Si	No
Determinista	Si	No
Episódico	No	No
Estático	Si	No
Discreto	Si	No

Descripción PASE

Medida de Rendimiento, Actuadores, Sensores y Ambiente,

Ejemplo descripción PASE

- Sistema Automático de Manejo de Carro:
 - Medida de rendimiento: Seguro, rápido, comfortable viaje, etc.
 - Ambiente: Calles, tráfico, peatones, cliente
 - Actuadores: Volante, freno, corneta
 - Sensores: Cámaras, velocímetro, GPS, sensor de gasolina, etc.

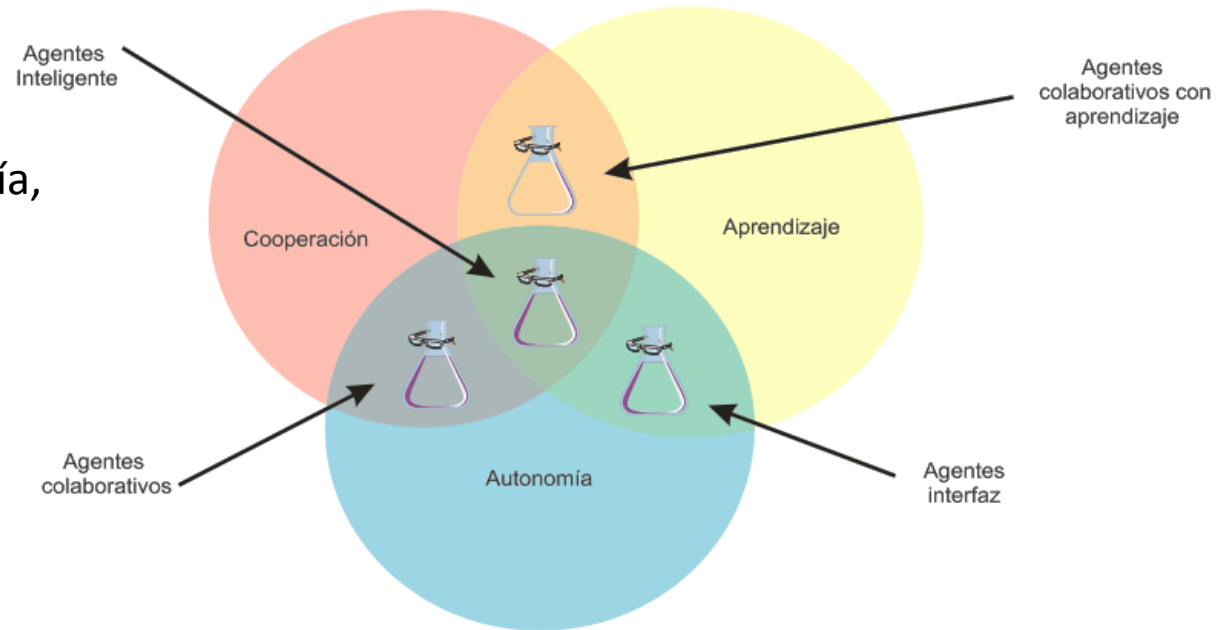
Ejemplo descripción PASE

- Sistema de diagnóstico Medico
 - Medida Rendimiento: Salud paciente, mínimo costo
 - Ambiente: Hospital, staff medico, paciente
 - Actuadores: Sistema de preguntas, tratamientos,
 - Sensores: Teclado, sensores de síntomas, respuestas de pacientes,

Tipos de Agentes

Muchas clasificaciones

Según tres propiedades: Autonomía,
Aprendizaje y Cooperación



Tipos de Agentes (según toma de decisiones)

- **Reactivos:** función situación-acción, Mecanismos de reacción. Sin planificación. Agente que actúa por reflejos. Entorno subsimbólico (capacidades sensoriales y motrices).
 - Acción: $S \rightarrow A$ S: Edos. del ambiente
- **Con Percepción:** A: posibles acciones
 - ver: $S \rightarrow P$ P: Percepciones
 - Acción: $P \rightarrow A$
- **Con Estados:**
 - ver: $S \rightarrow P$
 - Acción: $E \rightarrow A$ E: Estados Internos
 - próximo: $ExP \rightarrow E$

Tipos de Agentes (según toma de decisiones)

- **Basados en deducción lógica**

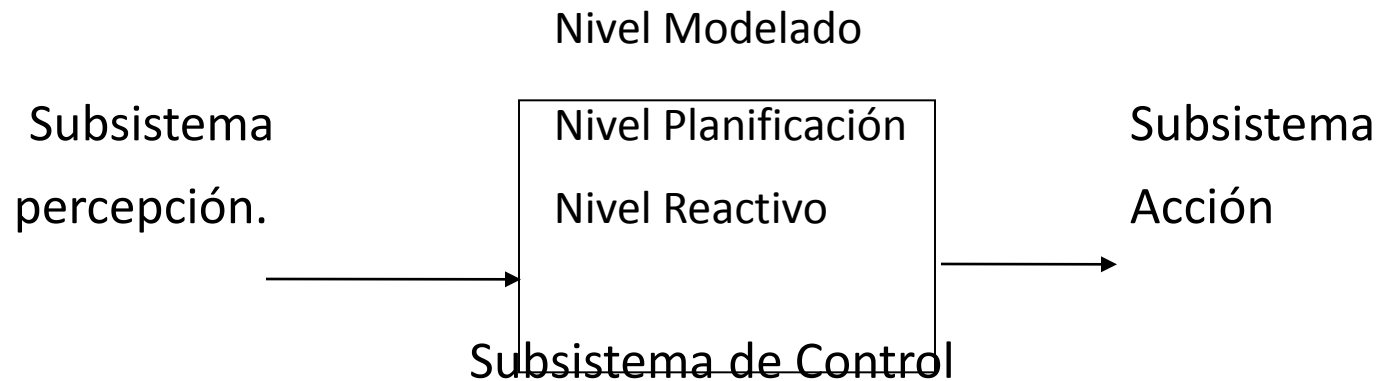
- ver: $S \rightarrow P$

- Acción: $D \rightarrow A$

D: BD de sentencias lógicas

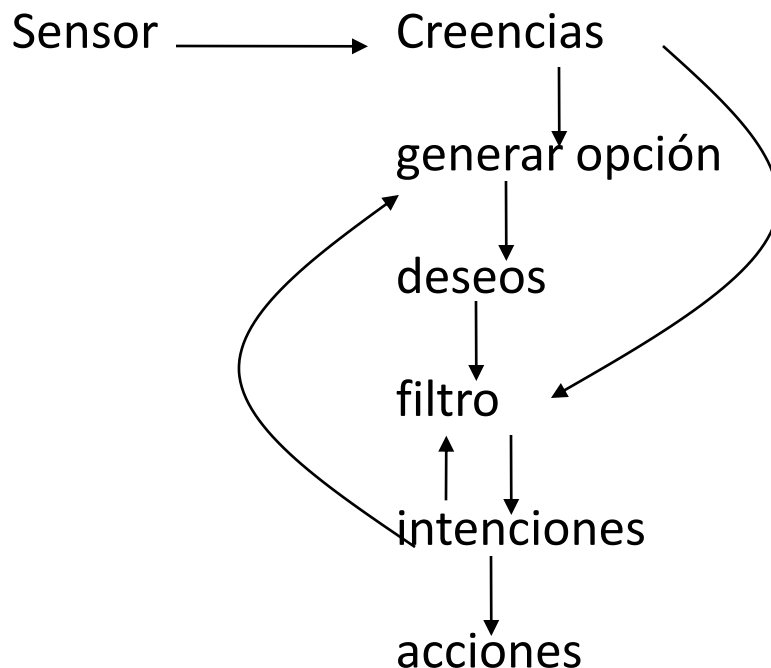
- próximo: $D \times P \rightarrow D$

- **Arquitectura multinivel:** depende de la interacción entre varios elementos que razonan sobre distintas abstracciones del entorno



Tipos de Agentes (según toma de decisiones)

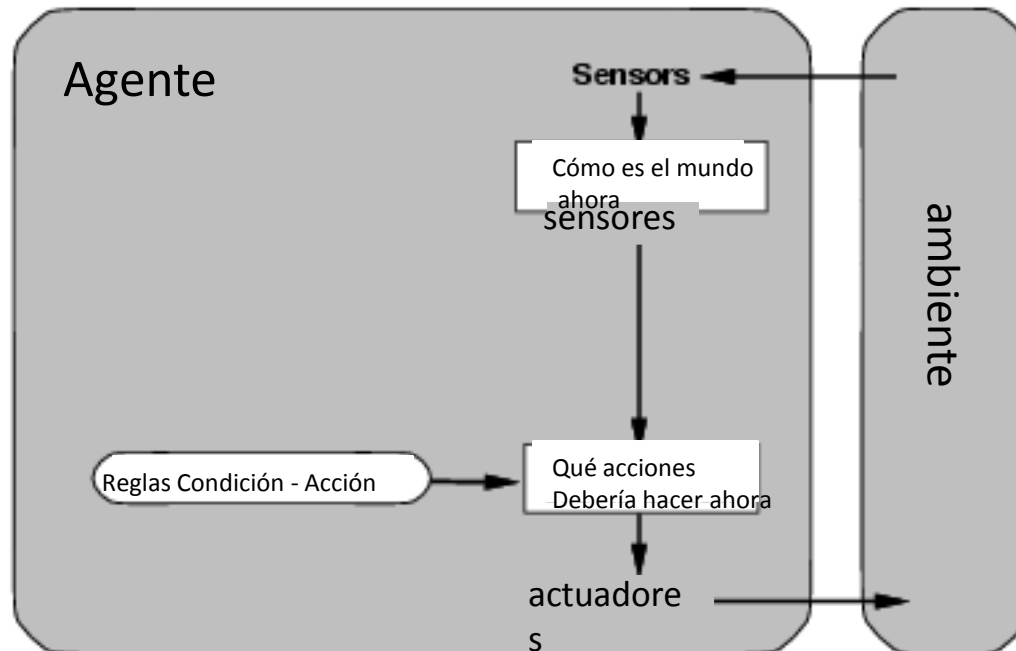
- **Agentes BDI** (*Belief, Desires and Intentions*) depende de la manipulación de estructuras de datos que representan las creencias, deseos e intenciones del agente
 - **Creencias**: Modelan el estado del Mundo.
 - **Deseos**: Permiten la elección de estados posibles del mundo.
 - **Intenciones**: Son el compromiso para alcanzar un cierto estado



Tipos de Agentes (según relación entre percepción y acciones)

Agente Reflexivo

1. Interpreta (percepción)
2. Determina regla (si < -- > entonces <-->)
3. Actúa (según regla)

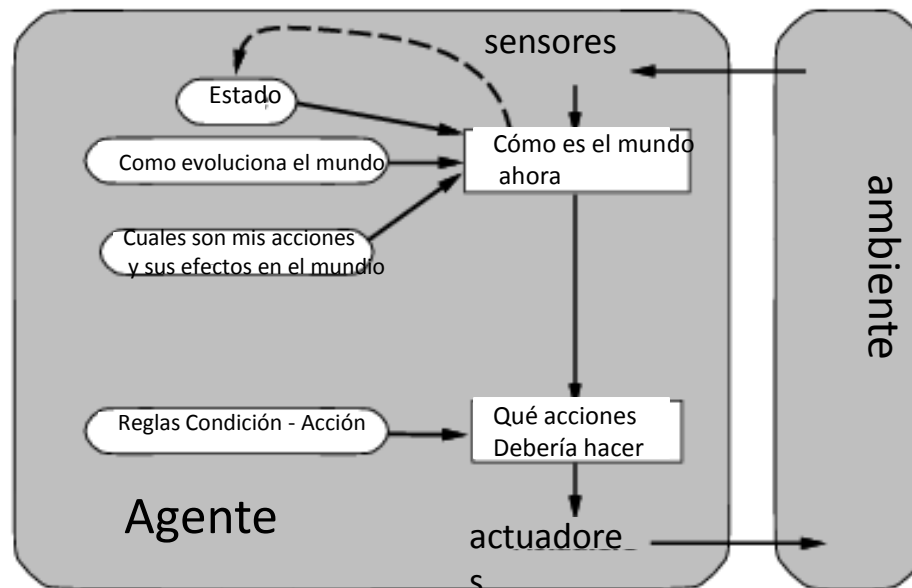


Tipos de Agentes (según relación entre percepción y acciones)

Agente Reflexivo con estado interno

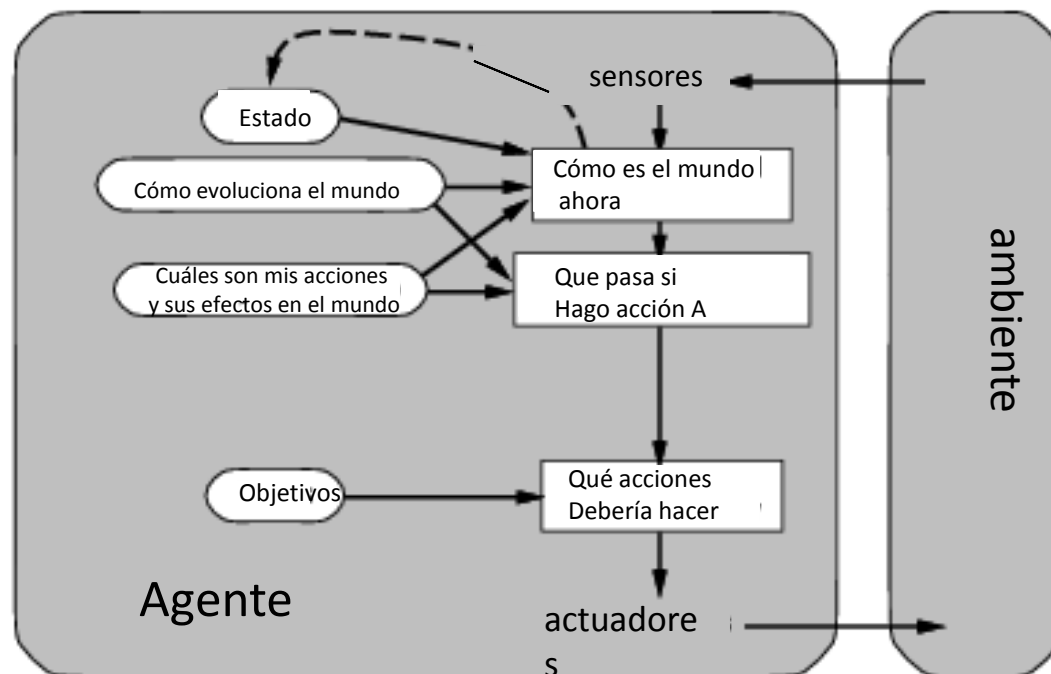
1. Actualiza estado (estado, percepción)
2. Determina regla (estado, reglas)
3. Actúa (según regla)
4. Actualiza estado (estado, acción)

Requiere de modelos del mundo!!



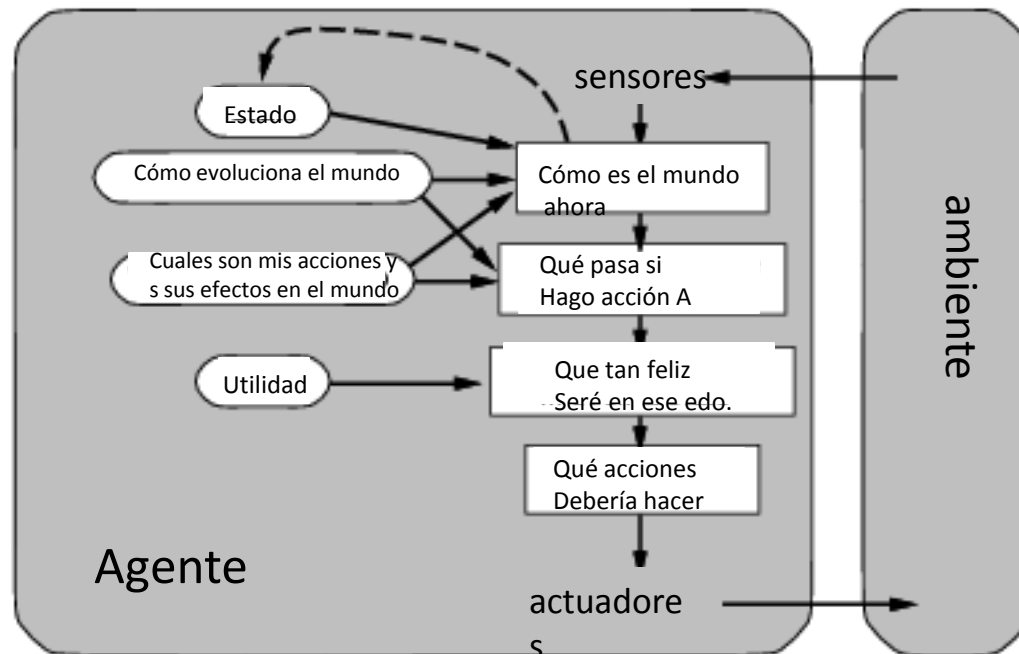
Agente con objetivos

1. Actualiza Memoria (estado, según lo que percibió)
2. Determina acción (estado, qué yo quisiera cumplir (objetivos): *búsqueda y/o planificación*)
3. Actúa (Acción inmediata, o la que corresponda según la secuencia obtenida por el proceso de búsqueda y/o plan.)
4. Actualiza estado (estado, acción)

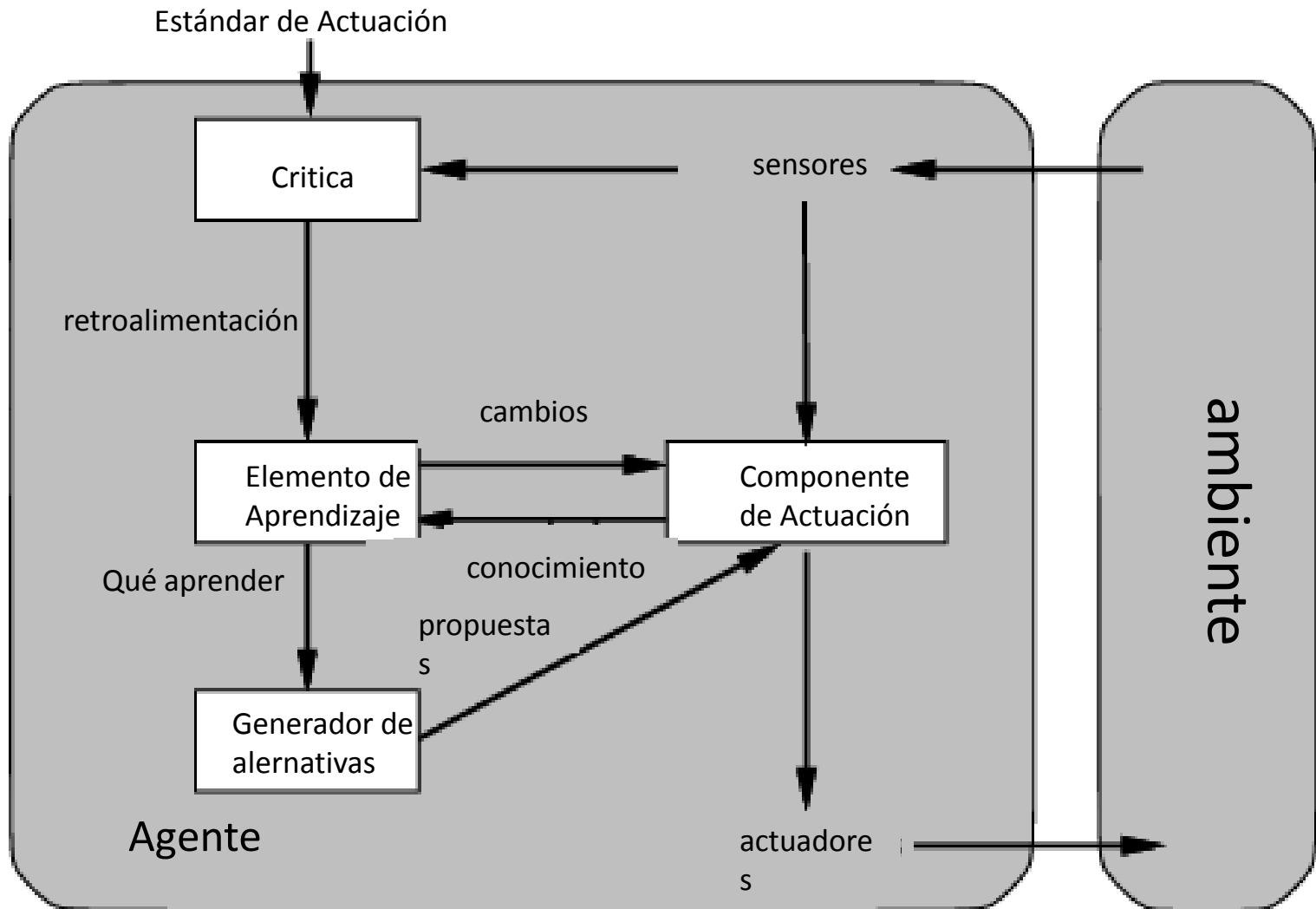


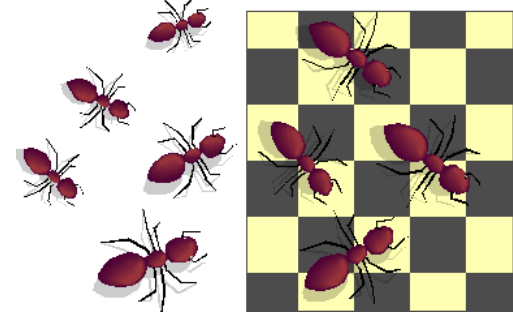
Agente con función de utilidad

1. Actualiza Memoria (estado, según lo que percibió)
2. Determina acciones (estado, qué yo quisiera cumplir (objetivos))
3. Selecciona acción (acciones, función de utilidad)
4. Actúa (según acción seleccionada)
5. Actualiza estado (estado, acción)



Agente que aprende





Soluciones de problemas mediante agentes de búsqueda

Agentes y Búsqueda

- Partes

- Formulación del Objetivo (edo. Actual, medida rend.)
- Formulación del Problema (acciones y edos. A considerar)
- Algoritmo de Búsqueda de Solución
- Ejecutar

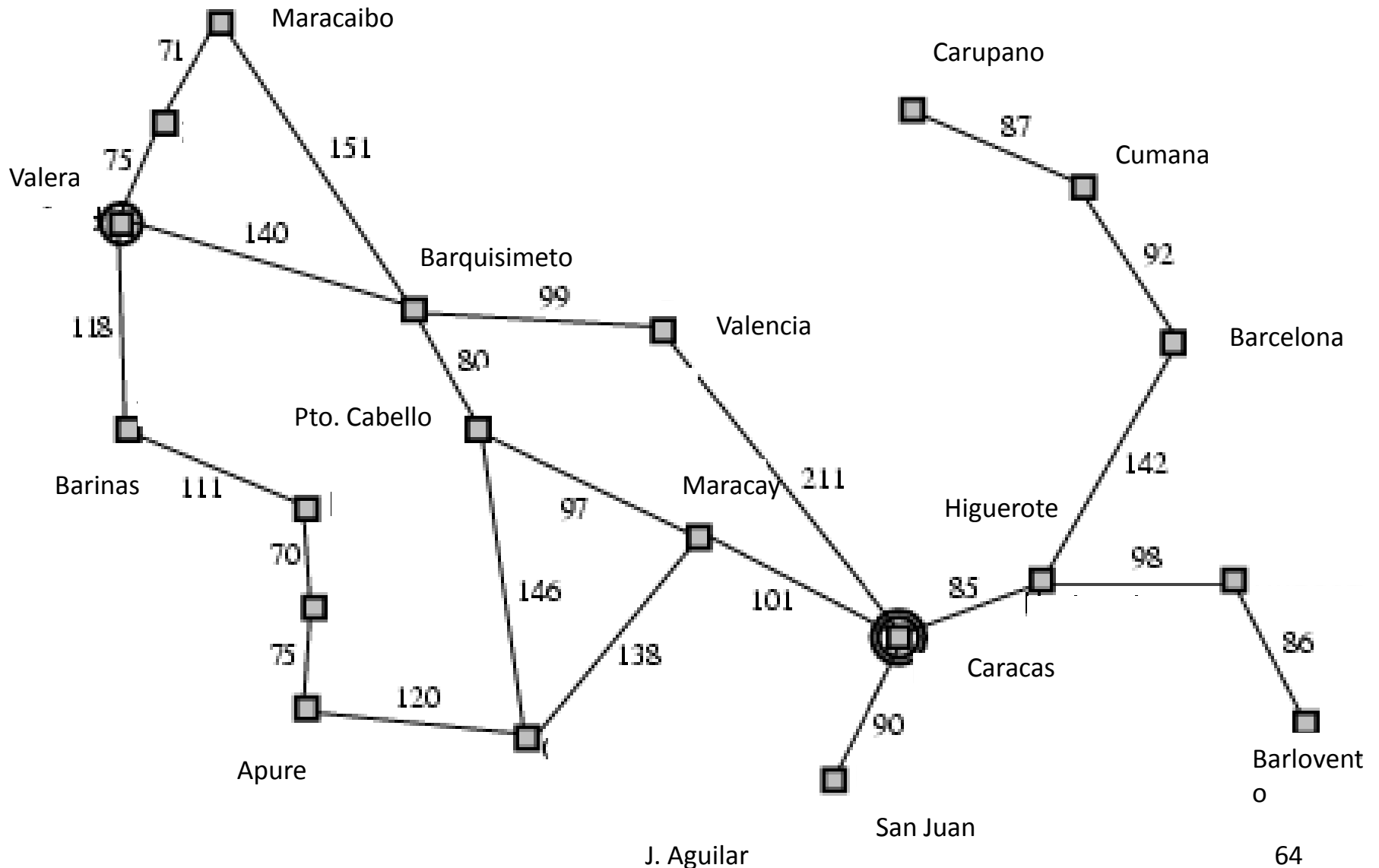
```
function SIMPLE-PROBLEM-SOLVING-AGENT(percept) returns an action
  static: seq, an action sequence, initially empty
           state, some description of the current world state
           goal, a goal, initially null
           problem, a problem formulation

  state ← UPDATE-STATE(state, percept)
  if seq is empty then do
    goal ← FORMULATE-GOAL(state)
    problem ← FORMULATE-PROBLEM(state, goal)
    seq ← SEARCH(problem)
  action ← FIRST(seq)
  seq ← REST(seq)
  return action
```

Ejemplo: Viajar

- Estoy en Valera y quiero ir a Caracas
- **Objetivo:**
 - Estar en Caracas
- **Problema:**
 - **Espacio de Estados (camino):** recorrido por varias ciudades
 - **Acciones (Operadores):** ir entre las ciudades
 - **Estado Inicial:** Valera
- **Solución:**
 - Secuencias de ciudades, p.e., Valera, Barquisimeto, Valencia, Maracay, Caracas

Ejemplo: Venezuela



Formulación de un problema

es el procesos que consiste en decidir qué acciones y estados habrán de considerarse y es el paso que sigue a la formulación de metas.

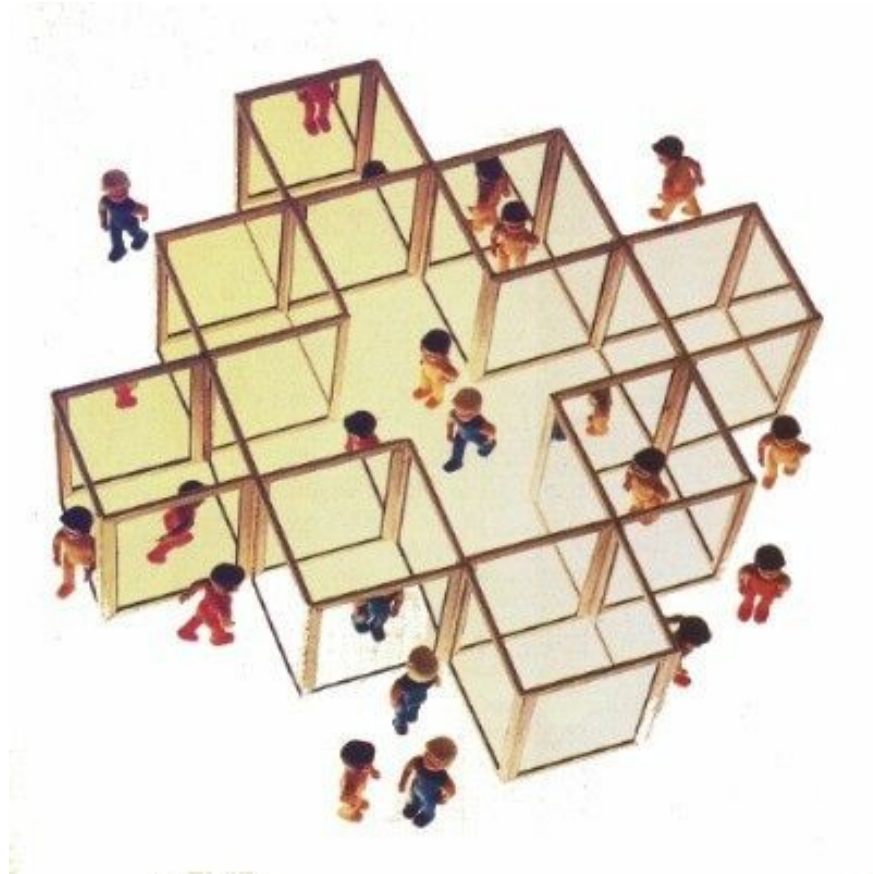
- Para el problema del viaje a través de Venezuela, se considera una estado el estar en una ciudad determinada, y como acción, el traslado de una ciudad a otra.

Agentes de Búsqueda

- Definición de un problema desde la IA:
 - Test Objetivo
 - Espacio de Estados
 - Estado Inicial
 - Operadores: Funcion sucesor
 - Función de Costo para evaluar caminos
- Otros aspectos:
 - Reducción del espacio

Estado Inicial

Es el estado que el agente sabe que se encuentra.



Operadores

Posibles acciones que el agente puede emprender

- La formulación mas común usa una **función de sucesor**. Dado un estado particular x , $S(x)$ regresa un conjunto de pares ordenados $\langle \text{acción}, \text{sucesor} \rangle$

$$S(\text{En}(\text{Mda})) \rightarrow \{ \langle \text{Ir}_a(\text{Bqto}), \text{En}(\text{Bqto}) \rangle, \\ \langle \text{Ir}_a(\text{Vra}), \text{En}(\text{Vra}) \rangle \}$$

Espacio de Estados

Conjunto de todos los estados que pueden alcanzarse a partir del estado inicial, mediante una secuencia de operadores.

- La función sucesor define el **espacio de estados**,
- Una **ruta** en el espacio de estados es una secuencia de acciones que permite pasar de un estado a otro.

Test objetivo

El test objetivo es lo que el agente aplica para decidir si se trata de un estado meta.

- A veces se compara el estado actual con un conjunto de estados meta,
- En otros, se busca una propiedad en el sistema.



Función de costo

Función mediante la que se asigna un costo a una solución dada.

- El costo total es la suma de todos los costos de cada una de las acciones individuales del agente.

Se denota como g .

Solución

- Los cuatro elementos indicados (estado inicial, operadores, prueba de meta y función costo de ruta) serán las entradas al algoritmo de búsqueda.
- La salida producida por el algoritmo es la solución,

Por ejemplo, una ruta que va desde el estado inicial al estado que satisface el test objetivo.

Determinación de una ruta

- Consiste en definir una ruta en función de la especificación de ubicaciones y las transiciones mediante los vínculos que relacionan una y otra ubicación.
- Los algoritmos que resuelven estos problemas se usan en:
 - ruteo en redes de comunicación,
 - sistemas para planificación de viajes aéreos,

Determinación de una ruta

- **Estados:** Cada uno es representado por un aeropuerto y la hora actual.
- **Estado inicial:** Es especificado por el problema.
- **Función de sucesor:** Regresa los estados resultantes de tomar cualquier vuelo programado, que sale después de la hora actual, más el tiempo de vuelo entre aeropuertos, desde el aeropuerto actual a otro.
- **Test objetivo:** Verifica si estamos en el destino a una hora pre-especificada.
- **Función de Costo:** Depende del costo monetario, el tiempo de espera, el tiempo de vuelo, procedimientos de migración, calidad de asiento, hora del día, tipo de avión, bonificaciones por viajes frecuentes, etc.

Determinación de una ruta

- Estado Inicial: Valera
- Objetivos
 - **Explicito:** $x = \text{"ir a Caracas"}$
 - **Implicito:** $\text{Jaquemate}(x)$
- Función de Costo
 - Suma de distancias,
- Espacio de Estados (caminos)
- Operador $S(x) = \text{accion-nuevo estado}$
 - $S(\text{Valera}) = \{ \langle \text{Valera} \rightarrow \text{Bqto}, \text{Bqto} \rangle, \dots \}$

Búsqueda de Soluciones

Después de definir un problema, se prosigue con la búsqueda de la solución.

- La búsqueda se hace en el espacio de estados, y la idea es mantener y ampliar un conjunto de secuencias de solución parciales.
- Se busca generar una secuencia de acciones para lograr el estado meta.

Agentes y Búsqueda

- Algoritmo de búsqueda:
 - Permitir la transición entre estados usando los operadores
 - Controlar esos movimientos
- Tareas de Búsqueda
 - **búsqueda ciega (Búsquedas sin contar con información)**: no utiliza información sobre el problema. No existe información acerca de los pasos necesarios o costos para pasar de un estado a otro. Normalmente, se realiza una búsqueda exhaustiva.
 - **Búsqueda heurísticas (Búsqueda respaldada con información)**: usan información sobre el problema como costos, etc. se posee información muy valiosa para orientar la búsqueda para que sea mas óptima

Estrategias de Búsqueda

Búsqueda No Informada (Ciega)

1. Búsqueda por amplitud
2. Búsqueda de costo uniforme
3. Búsqueda por profundidad
4. Búsqueda limitada por profundidad
5. Búsqueda por profundización iterativa
6. Búsqueda bidireccional

Búsqueda Informada (Heurística))

1. Búsqueda avara
2. Búsqueda A*
3. Búsqueda A*PI
4. Búsqueda A*SRM

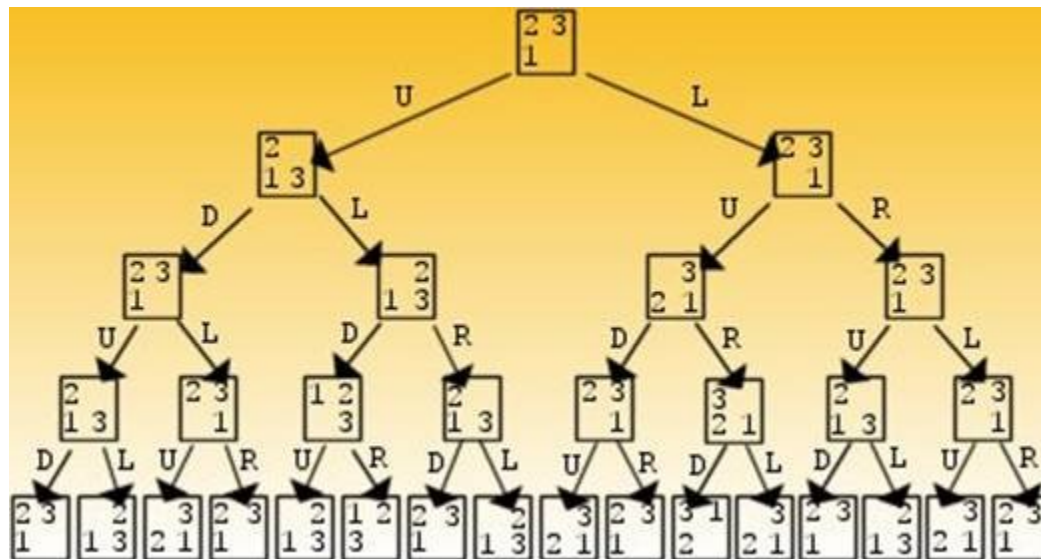
Búsqueda ciega

- La búsqueda consiste **escoger uno de los estados posibles** conocidos (una de las opciones).
- Si hay varios estados que se pueden expandir, la elección de cual se expande primero se hace según una **estrategia de búsqueda**.
- El proceso de búsqueda se concibe como la construcción de un **árbol de búsqueda** sobrepuesto al espacio de estados.
- Las técnicas **se diferencian** en el orden en que expanden los nodos en el árbol de búsqueda.



Árbol de Búsqueda

- La **raíz** del árbol de búsqueda corresponde al **estado inicial**
- Los **nodos hoja** del árbol de búsqueda o no se han expandido, o no tienen sucesores, por lo que al expandirlos generaron un conjunto vacío



Algoritmo general de búsqueda ciega

- Inicial árbol con el **edo. inicial** del problema
- Si no hay **candidato para expandir** entonces
 - **falla**
- de lo contrario
 - escoger nodo hoja para **expandir según estrategia**
 - Si **nodo es edo. objetivo** entonces
 - **Solución** del problema
 - de lo contrario
 - **expandir** nodo y **añadir** el nodo al árbol de búsqueda

Búsqueda no informada o ciega

- Estrategia de búsqueda (a quien expandir)
 - Por extensión o amplitud
Padre, sus hijos, etc. **Completa pero no optima**
 - Uniforme
Expande nodo más barato
 - Por Profundidad
Expande un nodo hasta su hoja y regresa. **Completa pero no optima**
 - Por Profundidad limitada. **Ni completa ni optima**
 - Profundidad Iterativa
Prueba diferentes profundidades. **Completa y optima**
 - Bidireccional

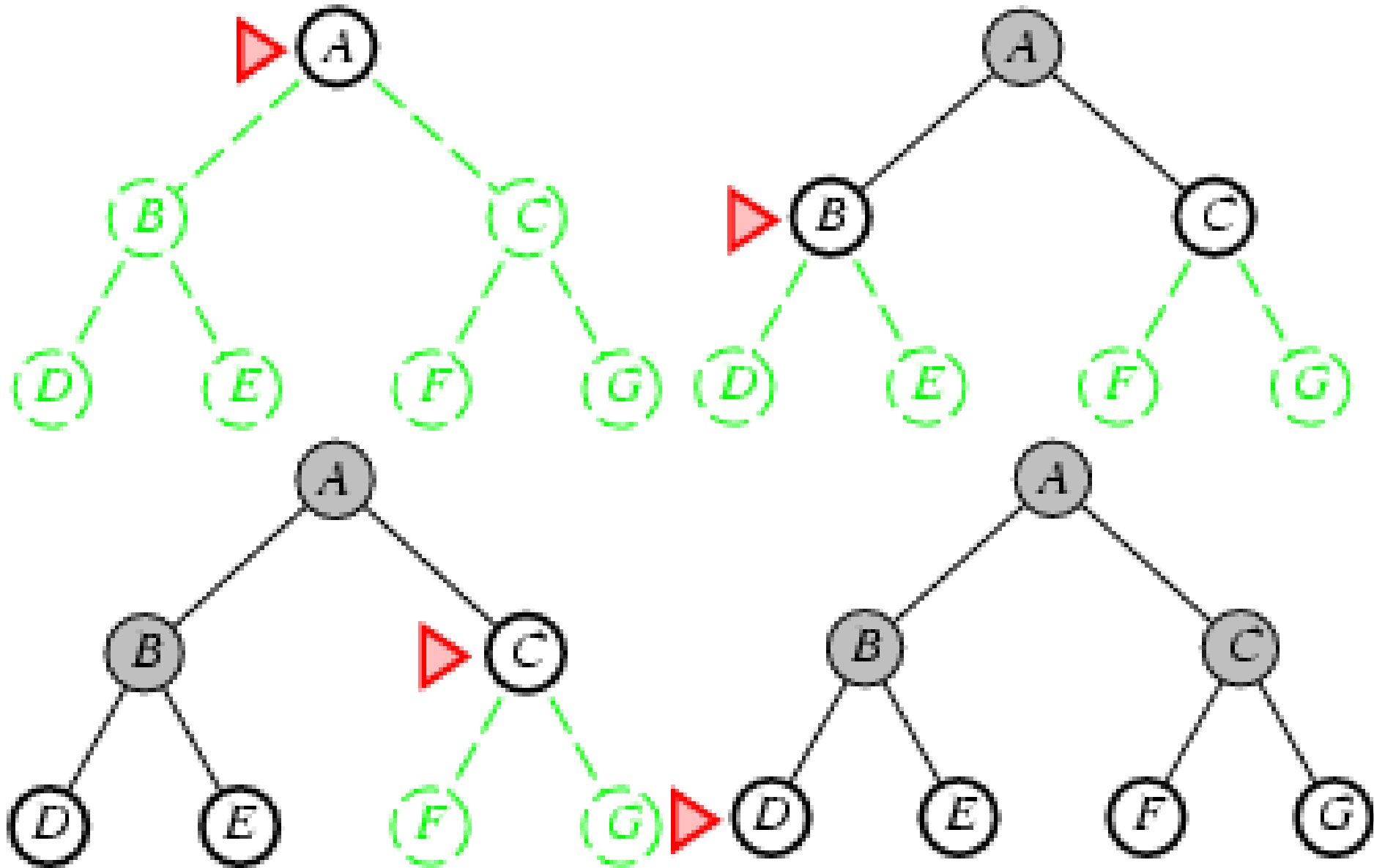
Búsqueda por amplitud o extensión

Todos los **nodos que están en la profundidad d** del árbol de búsqueda **se expanden** antes de los nodos que estén en la profundidad $d+1$.

- Si son varias las soluciones, este tipo de búsqueda **permitirá siempre encontrar primero el estado meta más próximo a la raíz.**
- **El tiempo y la cantidad de memoria necesaria crece exponencialmente** con respecto a la profundidad.

Es sub-óptima y completa.

Por extensión o amplitud



Búsqueda por profundidad

Siempre se expande uno de los nodos que se encuentren en los mas profundo del árbol.

Solo si la búsqueda conduce a un callejón sin salida, se revierte la búsqueda y se expanden los nodos de niveles menos profundos.

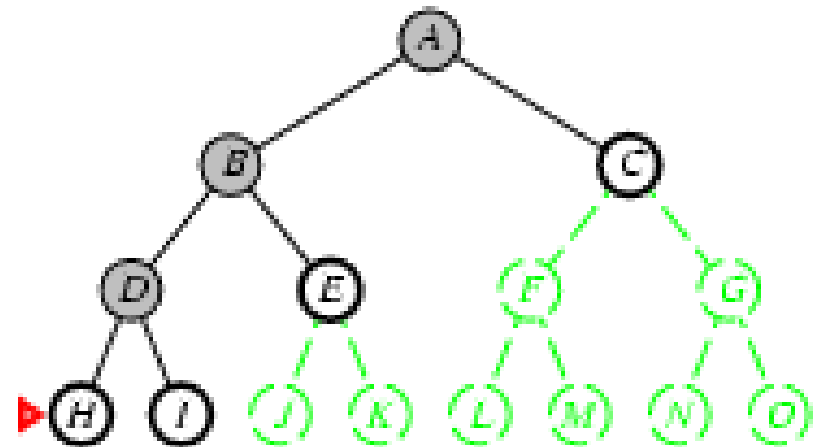
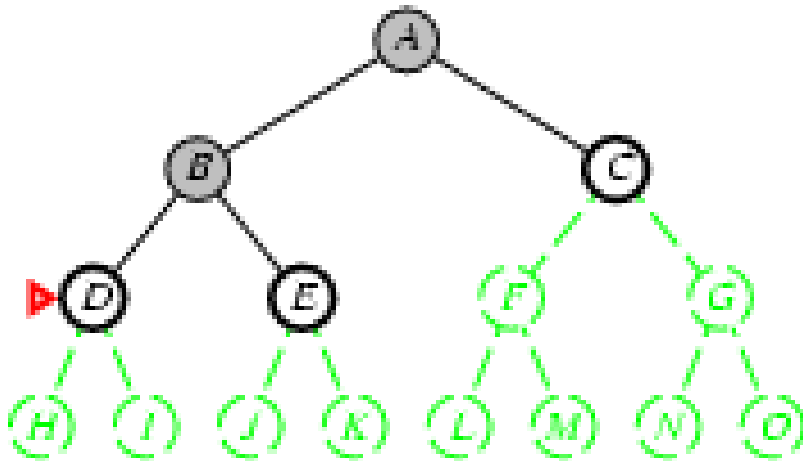
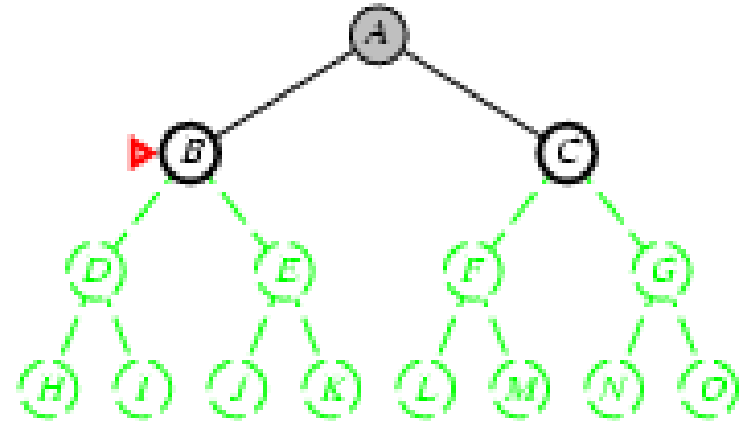
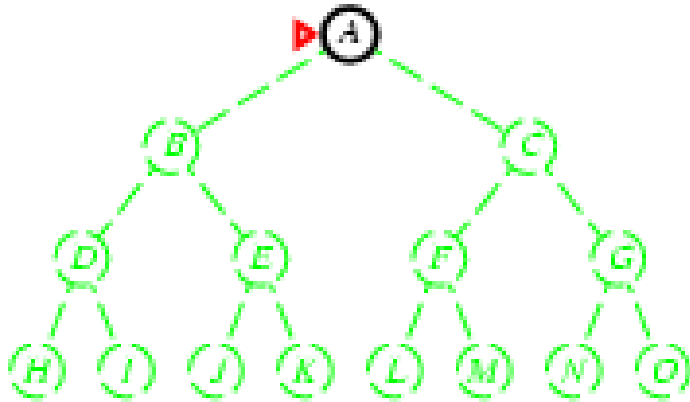
Esta búsqueda,

- o se queda atorada en un bucle infinito, y nunca es posible regresar al encuentro de una solución,
- o encuentra una ruta de solución más larga que la solución óptima.

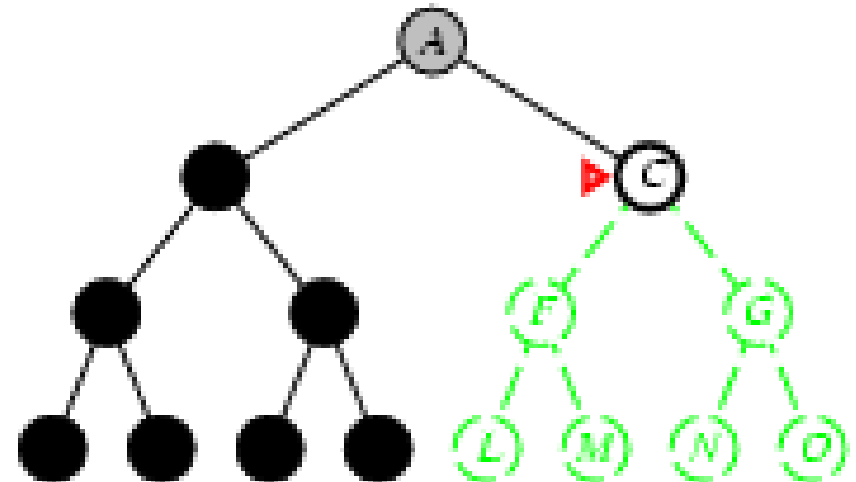
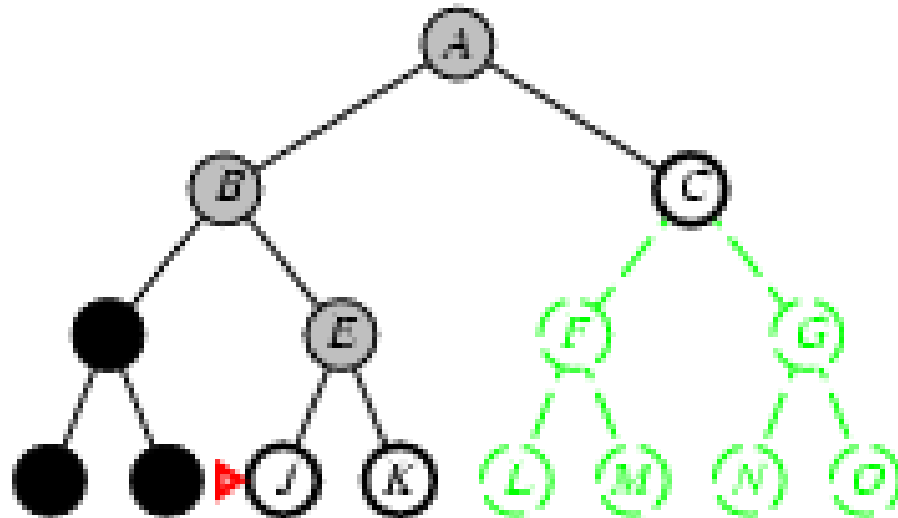
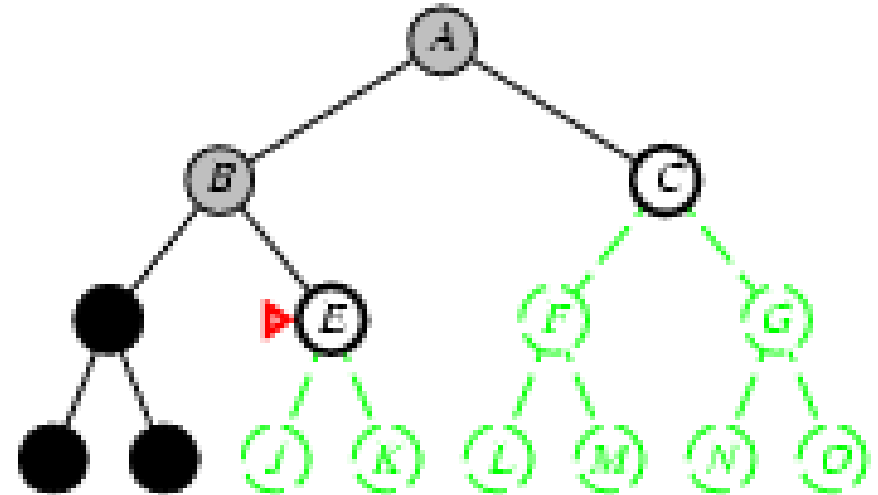
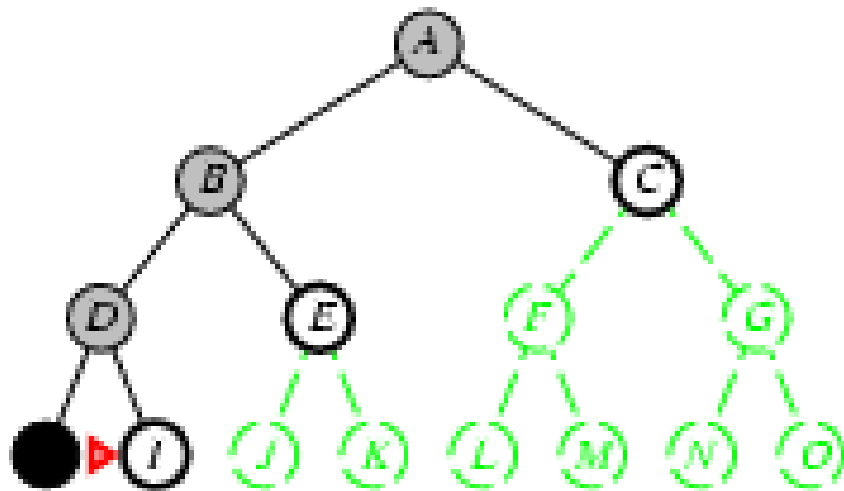
El tiempo necesario crece exponencialmente con respecto a la profundidad, mientras que el espacio requerido en memoria lo hace en forma lineal

No es óptima pero completa.

Por profundidad



Por profundidad



Agentes y Búsqueda

	<u>t espacio Opt Comp</u>			
– Por extensión	b^d	b^d	no	si
– Uniforme	b^d	b^d	si	si
– Por Profundidad	b^m	b^m	no	si
– Profundidad limitada	b^l	b^l	no	quizás
– Iterativo Profundidad	b^d	b^d	si	si
– Bidireccional	$b^{d/2}$	$b^{d/2}$	si	si

b: factor de ramificación

d: profundidad de la solución

m: máxima profundidad del árbol

l: limite de profundidad

Algoritmos de Búsqueda Informados

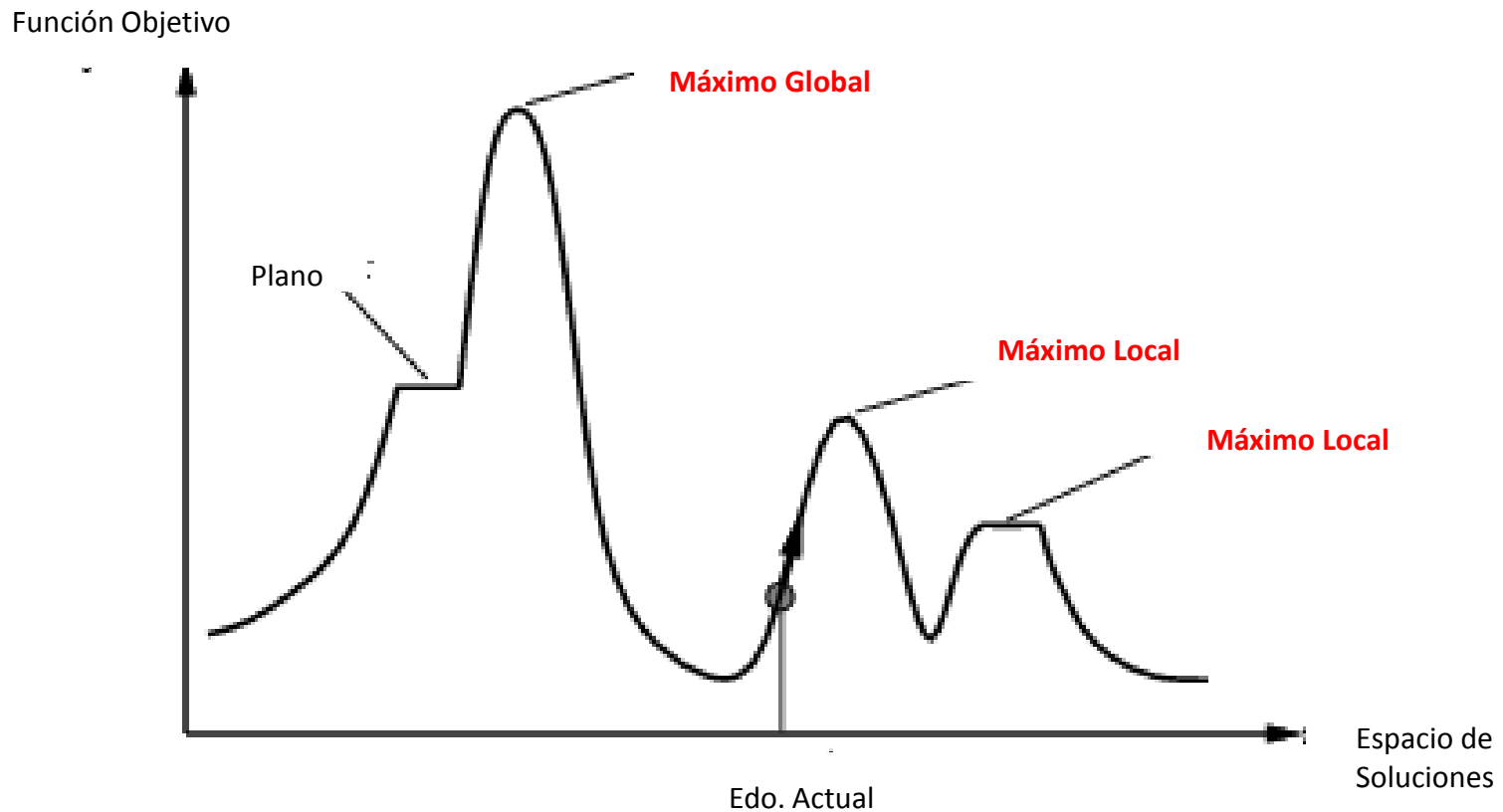
- Usan funciones de evaluación y se detienen al conseguir una *buena solución*
- Algoritmos heurísticas
 - *Minimizar costo estimado para alcanzar objetivo* desde donde estoy
 - Ejemplo Algoritmo de Búsqueda: Primero el Mejor para expandir
- Clasificación
 - *Iterativo* (Descenso de Gradiente, Algoritmos Genéticos, Temple Simulado) vs. *Constructivo* (Primero el Mejor)
 - *Búsqueda Local* (Temple Simulado) vs. *Búsqueda Global* (Algoritmos Genéticos)

Agentes y Búsqueda

- Algoritmo Heurística General (**CONSTRUCTIVO**)
 - Crear árbol de búsqueda solo con nodo raíz
 - Crear una lista de vecinos al nodo actual para expandir
 - Seleccionar cada nodo de la lista y evaluar solución parcial (uso Función de Evaluación)
 - Escoger para expandir mejor sucesor y repetir si no es edo. objetivo
- Hillclimb (**ITERATIVO**: mejora solución inicial)
 - Actual = Solución-Inicial(problema)
 - Lazo hasta converger
 - próximo= solución vecina a la actual (problema)
 - Si valor(actual) > valor(próximo)
 - actual=próximo

Búsqueda Local

- Problema: cuidado con los máximos locales



Primero el Mejor (constructivo)

- Idea: usar una **función de evaluación** $f(n)$ por nodo
 - Estima que tan "deseable" es
- Algoritmo:
- Tomar nodo actual
 - Evaluar los nodos sucesores
 - Si alguno es el estado final
 - Detenerse
 - de lo contrario
 - Expandir nodo no expandido mas deseable
 - Regresar al paso inicial hasta no tener a quien expandir

Primero el Mejor

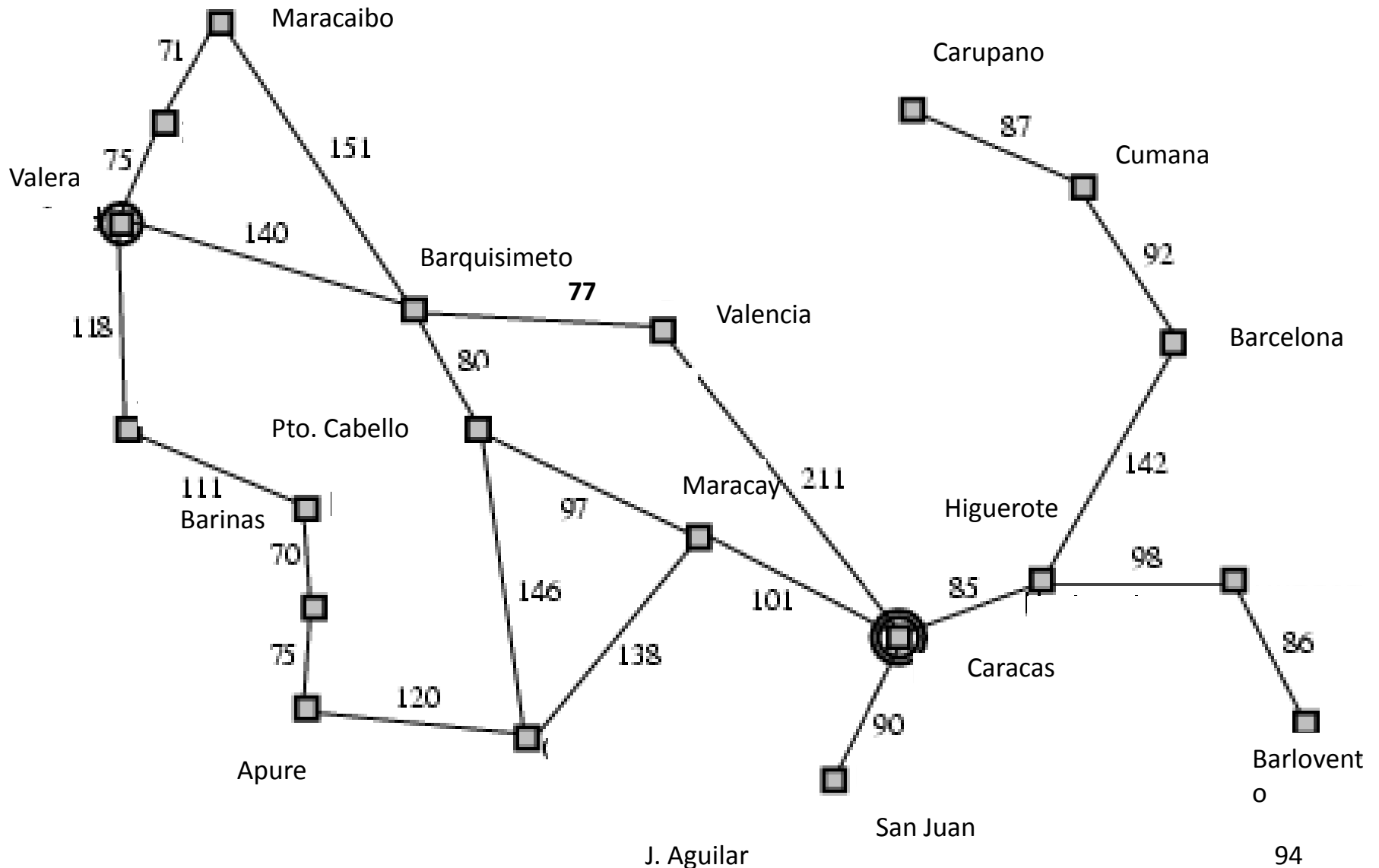
Ejemplo: problema del viajero

- Función de evaluación $f(n)$ = estima costo desde n hasta *objetivo*

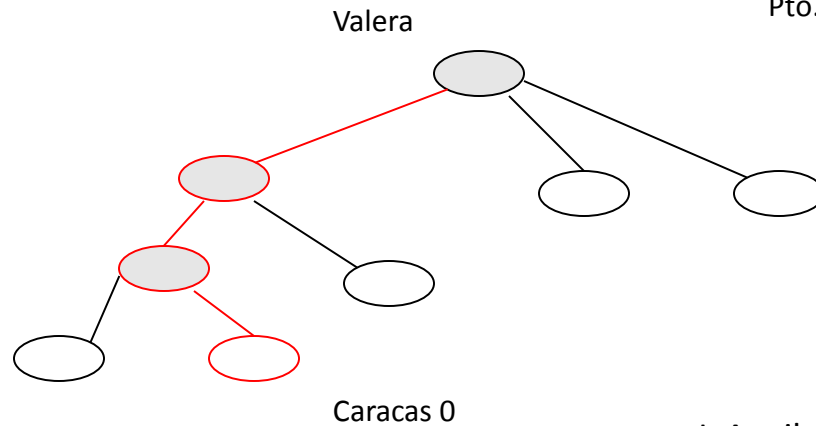
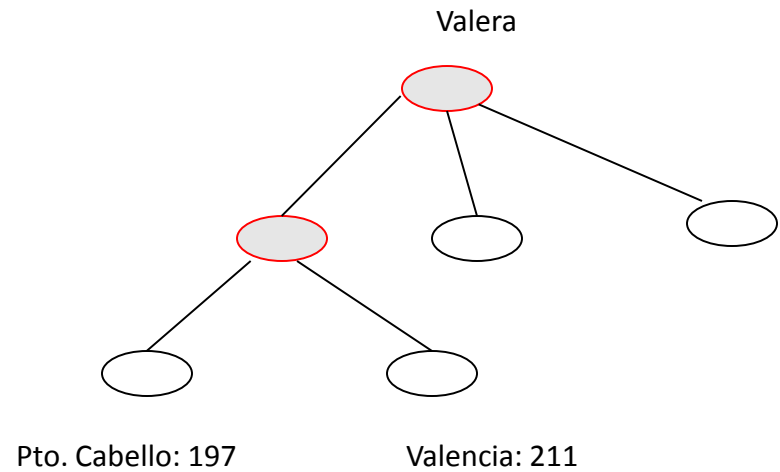
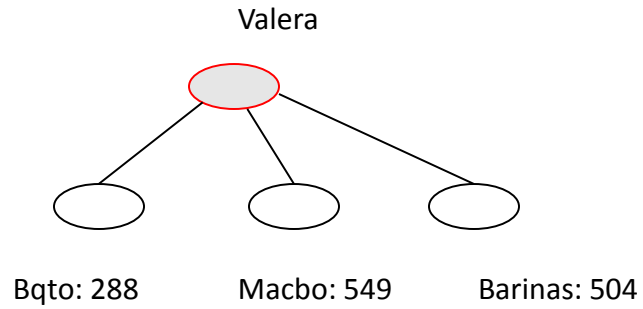
Por ejemplo: $f(n)$ = distancia desde n a
Caracas

- Algoritmo expande nodo que **parece** estar mas cerca del objetivo

Ejemplo: Venezuela



Solución



Curso de Inteligencia Artificial:

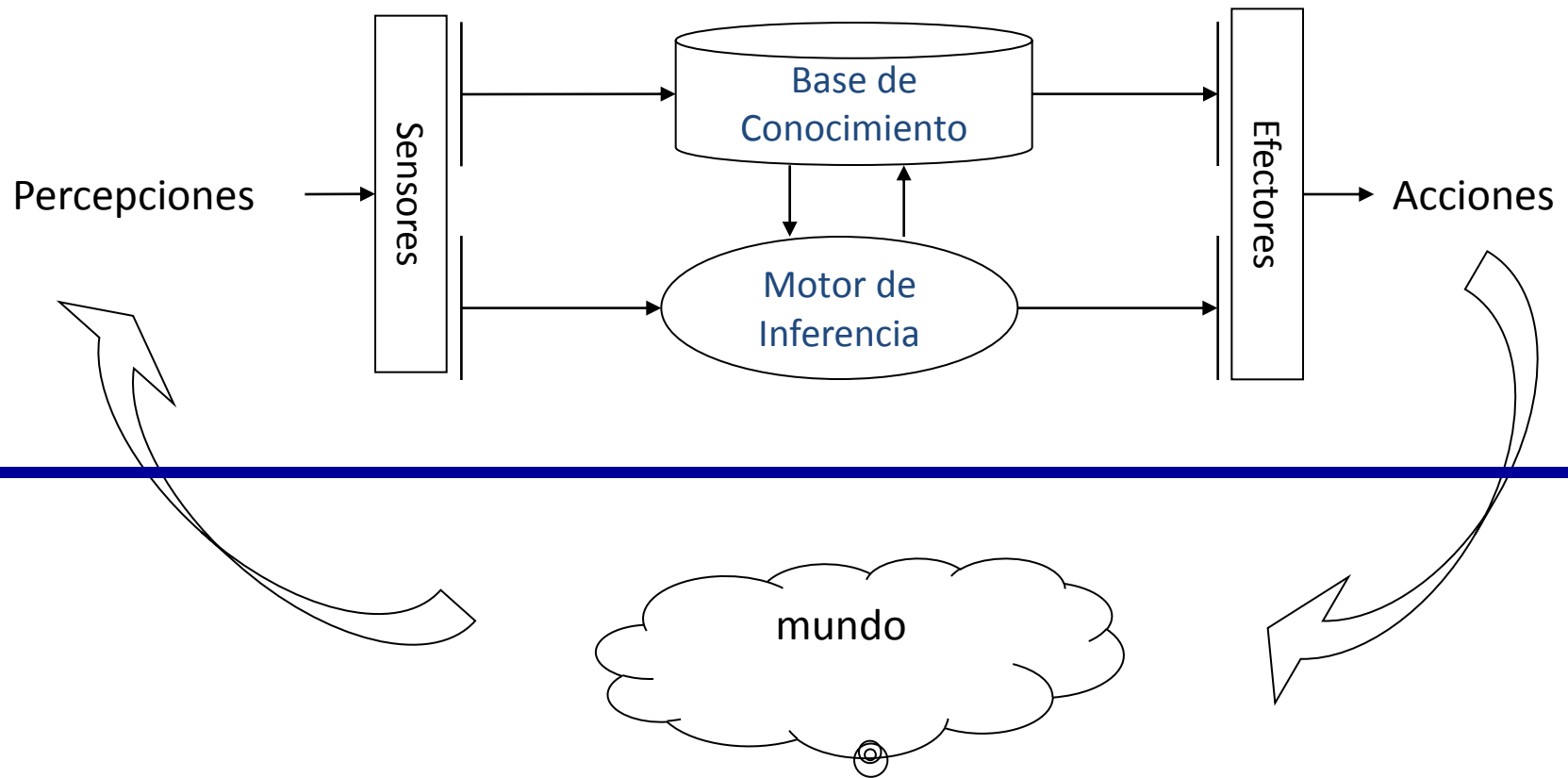
Representación del Conocimiento

Agentes Basado en Conocimiento

- Un agente basado en conocimiento (ABC), es aquel sistema que posee **conocimiento** de su mundo, y es **capaz de razonar** sobre las posibles acciones que puede tomar para cambiar su mundo.
- El agente es un conjunto de **sentencias**, representado mediante un **lenguaje de representación de conocimiento**.

Agentes Basado en Conocimiento

Agente



Elementos

- Lenguaje de representación de conocimiento.
 - Lenguaje formal de representación: lógica proposicional, lógica de predicados, etc..
 - El conocimiento se representa mediante **sentencias**.
- Mecanismos de razonamiento: Inferencia.
 - Es la derivación de nuevas sentencias a partir de las sentencias almacenadas y nuevas percepciones.
 - **Adición** de nuevo conocimiento (**aprender**)
 - **Consultas** a la BC (**razonar**)

Lenguaje + Inferencia = Lógica

Base de Conocimiento (KB)

- Almacena un conjunto de conocimientos acerca del mundo, usando un lenguaje de representación de conocimiento.
- Cada conocimiento está representado por una sentencia (axioma) o hecho (instancia) del mundo.
- La BC tiene **conocimiento previo**, que corresponde al conocimiento no aprendido.
- Siempre que se ejecuta el ABC, sucede dos cosas:
 - El programa informa a la BC lo que percibe.
 - El programa pregunta a la BC qué hacer.

razonamiento lógico.

Construcción Base de Conocimiento: Ingeniería de Conocimiento

1. Sobre que hablar
2. Decidir vocabulario
3. Escoger una lógica
4. Construir sentencias
5. Definir mecanismos de Inferencia
6. Hacer validaciones
7. Inferir nuevos hechos

Un Genérico Agente Basado en Conocimiento

Indicar(BC, percepción_sentencia(percibido,t))

Acción<- Preguntar(BC,consulta(t))

Indicar(BC, Acción_sentencia (Acción,t))

t+1

Regresa(Acción)

Racionalidad

- **Razonamiento:** conjunto de actividades mentales que consisten en conectar unas ideas con otras de acuerdo a ciertas reglas.
- **Inteligencia:** es la capacidad de entender, asimilar, elaborar información y conocimiento, y utilizarlos adecuadamente. Está íntimamente ligada a otras funciones mentales como la percepción (o capacidad de recibir dicha información), y la memoria (o capacidad de almacenarla).

Racionalidad

Es una capacidad humana que permite pensar, evaluar y actuar, de acuerdo a ciertos principios de optimidad y consistencia, para satisfacer algún objetivo o finalidad.

- Usando la razón el ser humano intenta *elegir* para conseguir los mayores beneficios.
- Cualquier construcción mental llevada a cabo mediante procedimientos racionales tiene por tanto una *estructura lógica* distinguible.
- El ser humano tiene *otras formas para tomar decisiones* o idear comportamientos donde la racionalidad no parece el principal motor mental, adjetivadas a veces como "irracionales".

Racionalidad

- Un Agente simple que razona acerca de las acciones implica:

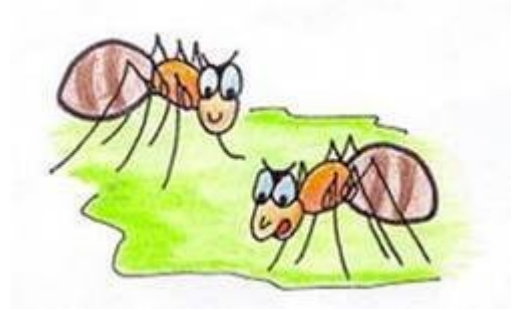
- 1) *Una Medida de Rendimiento*
- 2) *Una secuencia percibida*
- 3) Lo que *conoce* del ambiente
- 4) Las *acciones* que puede ejecutar

para cada posible percepción, debe escoger la acción que le maximice su rendimiento, en base a la secuencia percibida y a su BC

- Posee:
 - Un hilo propio de control:
 - Su actividad es ordenar *seguir adelante*
 - Maneja su propio destino, tal que le da **autonomía**, por ejemplo, le permite *detenerse o decir no*

Medida de rendimiento

- Para cada conjunto de percepciones, el agente toma la acción que **maximiza su rendimiento**, basado en la información de la percepción y su propio conocimiento implícito.
- Medida del desempeño
 - Evalúa el “cómo”
 - ¿qué tan exitoso ha sido un agente?
 - Debe ser objetiva
- La racionalidad NO ES omnisciencia, clarividencia, ni exitosa necesariamente.
- La racionalidad se puede ver como un **éxito** *esperado*, *tomando como base lo que se ha percibido*.



La racionalidad depende de 4 factores:

- De la *medida con la que se evalúa* el grado de éxito logrado.
- De todo lo que hasta este momento haya percibido el agente (*secuencia de percepciones*).
- *Del conocimiento* que posea el agente acerca del medio.
- De *las acciones* que el agente pueda emprender.

Racionalidad

- Elementos de la racionalidad:
 - Representación del Conocimiento (lenguaje)
 - Mecanismo de Razonamiento
 - Formas de Planificación
 - Mecanismos de Aprendizaje Automático
- La racionalidad es una conducta compleja:
 - Adaptar la conducta a condiciones cambiantes,
 - Aprender y usar nuevo conocimiento

Conocimiento

El **Conocimiento** son los contenidos sabidos o conocidos por un individuo o sociedad. p. ej., un conocimiento en las sociedades actuales es el hecho de que la Tierra es redonda.

- Por ejemplo, se diría que la existencia de brujas era conocida en la Edad Media, incluso si actualmente decimos que estas creencias son infundadas, y no constituyen propiamente conocimientos.
- Las ciencias constituyen uno de los principales tipos de conocimiento.
- Hay también, no obstante, muchos tipos de conocimiento no científicos:
 - el *saber hacer* como en la artesanía, o el saber nadar, etc.;
 - el conocimiento de la lengua, de las tradiciones, leyendas, costumbres o ideas de *una cultura* particular;
 - el conocimiento que los individuos tienen de su propia *historia*
 - los conocimientos comunes a una sociedad dada, incluso a la humanidad (saber para qué sirve un martillo, saber que el agua extingue el fuego).

Tipos de Conocimiento del Agente

- *Conocimiento del estado actual* (ej. sobre el progreso actual de la solución, sobre mi estado interno)
- *Conocimiento de sus capacidades* (ej. descripción de las tareas, recetas, etc. que puede hacer)
- *Conocimiento evaluativo* (ej. tiempo para realizar una tarea, tiempo estimado de terminación, etc.)
- *Conocimiento del dominio* (ej. ambiente, etc.)

El *conocimiento* puede ser distinguido de las *creencias* considerando el conocimiento como una creencia que es verdadera 100%

Inferencia

- Según la filosofía, existen tres modos básicos de razonamiento:
- **Deducción.** inferencia desde las causas hacia los efectos, o desde lo universal hacia lo particular.
- **Inducción.** Recorre el camino inverso.
- **Abducción o retroducción.** Relacionado con la génesis de la hipótesis

Inferencia	Deductiva o analítica	
	Sintética	Inducción
		Hipótesis

Razonamiento

- **RAZONAMIENTO DEDUCTIVO:**

De premisas generales a conclusiones particulares

- Parte de categorías generales, para hacer afirmaciones sobre casos particulares.
- La conclusión debe poder derivarse necesariamente de las premisas (las premisas implican lógicamente la conclusión), aplicando a éstas algunas de las reglas de inferencia.

- **RAZONAMIENTO ABDUCTIVO :**

Dada una conclusión conocida, proponiendo hipótesis que la expliquen.

- En caso de conflicto entre hipótesis, se escoge la que mejor explique el suceso.
- Consiste en derivar hipótesis novedosas sobre la causa
- Ejemplo: si sabemos que llover implica mojar algo, si se ve mojado se puede hipotetizar que llovió

Razonamiento

- **RAZONAMIENTO INDUCTIVO:**

De premisas particulares a una conclusión general

- consiste en obtener conclusiones generales a partir de premisas que contienen datos particulares. Por ejemplo, de la observación repetida de objetos o acontecimientos de la misma índole, se establece una conclusión para todos los objetos o eventos de dicha naturaleza.
 - *Premisas:*
 - He observado el cuervo número 1 y era de color negro.
 - El cuervo número 2 también era negro.
 - El cuervo número 3 también
 - *Conclusión:* todos los cuervos son negros.
- En este razonamiento, se generaliza para todos los elementos de un conjunto la propiedad observada en un número finito de casos.
- Ahora, la verdad de las premisas no convierte en verdadera la conclusión, ya que en cualquier momento podría aparecer una excepción.
- De ahí que la conclusión de un razonamiento inductivo sólo pueda considerarse probable, es siempre una información incierta y discutible.

Razonamiento

- **Deducción (Específico):**
Regla: "Todas las bolas de la bolsa x son blancas".
Caso: "Estas bolas provienen de la bolsa x".
Deducción: "Estas bolas son blancas".
- **Inducción (Generalizo):**
Caso: "Estas bolas proceden de la bolsa x"
Caso: "Estas bolas son blancas".
Inducción: "En la bolsa x todas las bolas son blancas"
- **Abducción (Hipótesis):**
Regla: "Todos las bolas de la bolsa x son blancas".
Caso: "Estas bolas son blancas"
Abducción: "Estas bolas proceden de la bolsa x".

Razonamiento

1	Todos los hombres son mortales	$\forall x \text{ hombre}(x) \rightarrow \text{mortal}(x)$	implicación
2	Juan es hombre	$\text{hombre}(\text{Juan})$	hecho
3	Juan es mortal	$\text{mortal}(\text{Jean})$	conclusión

- Si tenemos 1 y 2, entonces podemos concluir (**deducción**).
- Si tenemos 2 y 3, entonces necesitamos encontrar una regla (**inducción**, aprendida desde ejemplos)
- Si tenemos 1 y 3 y no tenemos hipótesis (2), entonces necesitamos encontrarla (**abducción**, donde encontramos las causas de las consecuencias usando reglas. Típicamente es del dominio de diagnóstico)

Representación del Conocimiento

Expresar el conocimiento de forma que sea manejable por el computador, de modo que pueda ser utilizado por los agentes.

- Aproximación Simbólica vs. No simbólica
- Paradigmas de representación de conocimiento
 - Procedural
 - Relacional
 - Jerárquico
 - Lógico

Representación del Conocimiento

El lenguaje consta de dos aspectos:

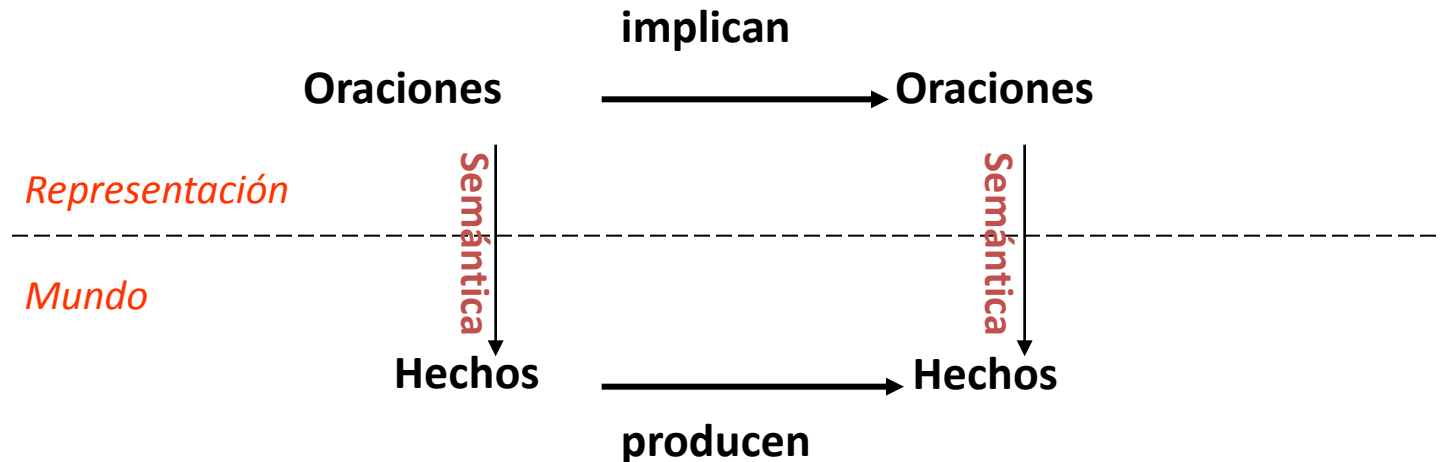
- **Sintaxis.**
 - Explica las posibles configuraciones mediante las cuales se forma las oraciones o sentencias (lenguaje).
 - Define las sentencias en el lenguaje
- **Semántica.**
 - Determina los hechos del mundo a los que se hace alusión en las oraciones o sentencias.
 - Define el “significado” de las sentencias

Representación del Conocimiento

- **Lenguajes lógicos:** son lenguajes formales para representar información tales que conclusiones puedan ser alcanzadas
=>.inferencia
- **Ejemplos de lenguajes lógicos**
 - Calculo Proposicional (hechos)=>V/F/D
 - Calculo de Predicado de Primer Orden (Hechos, Objetos, Relaciones) =>V/F/D
 - Lógica Temporal(hechos, Objetos, Relaciones y tiempo) =>V/F/D
 - Teoría de probabilidad (hechos) =>Grado de Creer
 - Lógica Difusa (Grados de Verdad) =>Grado de Creer

Lenguajes lógicos

- Procedimiento de Inferencia
 - Determinar Activación de Sentencias dada una Sentencia
- La inferencia lógica genera nuevas oraciones que son consecuencia de oraciones ya existentes.



Calculo Proposicional

- Gramática

Sentencia $\rightarrow$ SentenciaAtomica | SentenciaCompleja

SentenciaAtomica $\rightarrow$ Verdad | Falso | P | Q, ...

SentenciaCompleja $\rightarrow$ (Sentencia) | Sentencia conexión

Sentencia | $\neg$ Sentencia

Conexión $\rightarrow \wedge \mid \vee \mid \Rightarrow \mid \Leftrightarrow$

Calculo Proposicional

- Ejemplos:

$$\neg P \vee Q \wedge R \Rightarrow S$$

$$((\neg P) \vee (Q \wedge R)) \Rightarrow S$$

- Semántica (Tabla de la Verdad)

P	Q	$\neg P$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$P \Leftrightarrow Q$
F	F	V	F	F	V	V
F	V	V	F	V	V	F
– Proceso recursivo para evaluar una sentencia, por ejemplo: $\neg P_1 \wedge (P_2 \vee P_3) = \text{true} \wedge (\text{true} \vee \text{false}) = \text{true} \wedge \text{true} = \text{true}$						
V	F	F	F	F	V	F
V	V	F	V	V	V	V

Validez e inferencia

- Se puede obtener la validez de una oración compleja de la siguiente manera:

infiriendo



P	H	$P \vee H$	$(P \vee H) \wedge \neg P$	$((P \vee H) \wedge \neg P) \Rightarrow P$
F	F	F	F	V
F	V	V	F	V
V	F	V	V	V
V	V	V	F	V

Calculo Proposicional

- Sintaxis

- Si S es una sentencia, $\neg S$ es una sentencia (**negación**)
- Si S_1 y S_2 son sentencias, $S_1 \wedge S_2$ es una sentencia (**conjunción**)
- Si S_1 y S_2 son sentencias, $S_1 \vee S_2$ es una sentencia (**disyunción**)
- Si S_1 y S_2 son sentencias, $S_1 \Rightarrow S_2$ es una sentencia (**implicación**)
- Si S_1 y S_2 son sentencias, $S_1 \Leftrightarrow S_2$ es una sentencia (**bicondicional**)

- Semántica

$\neg S$ es verdad sii S es falso

$S_1 \wedge S_2$ es verdad sii S_1 es verdad **Y** S_2 es verdad

$S_1 \vee S_2$ es verdad sii S_1 es verdad **O** S_2 es verdad

$S_1 \Rightarrow S_2$ es verdad sii S_1 es verdad **entonces** S_2 es verdad

o, es verdad sii S_1 es falso **entonces** S_2 es falso

$S_1 \Leftrightarrow S_2$ es verdad sii $S_1 \Rightarrow S_2$ es verdad **Y** $S_2 \Rightarrow S_1$ es verdad

Lógica de Predicados

- Lógica de primer orden.
- Es una lógica con suficiente expresividad para representar nuestro sentido común.
- La **lógica de predicados** tiene alcances ontológicos más amplios.
- Considera el mundo constituido por **objetos** y **propiedades** que los distinguen, a diferencia de la lógica proposicional que sólo permite representar **hechos**.

Lógica de Predicados

- Está basada en la idea de que las **sentencias** realmente expresan relaciones entre objetos, así como también **cualidades** y **atributos** de tales objetos.
 - Los objetos pueden ser personas, objetos físicos, o conceptos.
 - Las cualidades, relaciones o atributos, se denominan **predicados**.
 - Los objetos se conocen como **argumentos** o **términos** del predicado.
- Al igual que las proposiciones, **los predicados tienen un valor de veracidad**, pero a diferencia de las proposiciones, su valor de veracidad, **depende de sus términos**. Un predicado puede ser verdadero para un conjunto de términos, pero falso para otro.

Proposiciones y Predicados

- Un **proposición** es una **oración completa** donde se afirma algo acerca de un sujeto identificado.
- Una sentencia en lógica de predicados es una **oración completa**, donde se afirma algo acerca de un sujeto. El sujeto puede ser una constante o una variable.

sentencia = oración = enunciado

Predicado

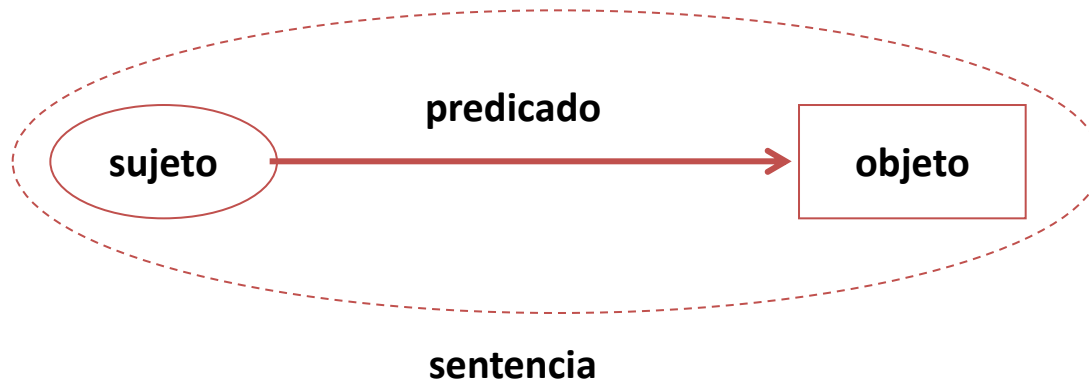
Un **predicado** es lo que se **afirma** del **sujeto**.

Predicado.

- Propiedades
- Cualidades
- Relaciones
- Atributos.
- Funciones

Sujeto.

- Términos, Cosas, Personas, Conceptos



Lógica de Predicado de Primer Orden

- Componentes

 - Objetos

 - Propiedades

 - Relaciones

 - Funciones

- Rector de la Universidad de los Andes es Joven

 - Objetos: Rector, ULA

 - Propiedad: Joven

- Juan es Rector de la Universidad de los Andes

 - Objetos: Juan, ULA

 - Relación: Rector

Lógica de Predicado 1er Orden

- Elementos del lenguaje:
 - Conectores: $\wedge$ (y), $\neg$ (no), $\vee$ (o), $\supset$ (implica)
 $\Rightarrow$ (conllevar), $\Leftrightarrow$ (equivalente).
 - Predicados (relaciones/Función): Padrede(...) describe algo que es verdad.
 - Expresiones (hechos): Padrede(Vanesa, Jose)
 - Objetos
 - Sentencias:

$[\text{Mayorque}(7,2) \wedge \text{Menorque}(15,4)] \vee \text{Hermano}(\text{Jose}, \text{Luis})$

Lógica de Predicado de Primer Orden

- Gramática

Sentencia $\rightarrow$ SentenciaAtomica | SentenciaCompleja |

Cuantificador Variable Sentencia

SentenciaAtomica $\rightarrow$ Predicado (termino, ...)

SentenciaCompleja $\rightarrow$ (Sentencia) | Sentencia conexión

Sentencia | $\neg$ Sentencia

Conexión $\rightarrow \wedge$ | $\vee$ | $\supset$ | $\Leftrightarrow$

Termino $\rightarrow$ Constante | Variable | función(termino)

Cuantificador $\rightarrow \exists$ | $\forall$

Sintaxis (1)

El alfabeto está formado por:

- **Sentencia atómica:**

predicado (término,)
termino = término

- **Sentencias:**

$\neg$ sentencia
sentencias_atómicas.
(sentencia conectiva sentencia)

cuantificador variable,,
sentencia

- **Término:**

función
constante
variable

- **Símbolos de conectivas:**

($\wedge$, $\vee$, $\Leftrightarrow$, $\Rightarrow$, $\vee$ $\neg$)

- **Cuantificador universal:**

$\forall$ (para todos)

- **Cuantificador existencial:**

$\exists$ (existe al menos uno)

Sintaxis

Oraciones atómicas

- Los términos y signos de predicado se combinan para formar oraciones atómicas, mediante las que se afirman hechos.
- Una oración atómica está formada por un signo de predicado y por una lista de términos entre paréntesis,

Hermano(Ricardo, Juan)

MadreDe(María, Juan)

- Una oración atómica es verdadera si la relación a la que alude el signo de predicado es válida para los objetos a los que aluden los argumentos.

Sintaxis

Oraciones Complejas

- Mediante los conectores lógicos se pueden construir oraciones más complicadas, ejemplo:

$\text{Hermano}(\text{Ricardo}, \text{Juan}) \wedge \text{Hermano}(\text{Juan}, \text{Jose})$

$\text{Mayor}(\text{Juan}, 30) \vee \text{Menor}(\text{Juan}, 40)$

$\text{Mayor}(\text{Juan}, 30) \Rightarrow \neg \text{Menor}(\text{Juan}, 30)$

$\neg \text{Hermano}(\text{Robin}, \text{Juan})$

Lógica de Predicado de Primer Orden

- **Sentencia Atómica**

Hermano(Jose, Juan)

Casados(Padrede(Jose), Madre de(Juan))

- **Sentencia Compleja**

Hermano(Jose, Juan) Y Hermano(Juan, Jose)

MasViejo(Juan, 30) $\Rightarrow$ $\neg$ MasJoven(Juan,30)

- **Cuantificadores:** permiten expresar propiedades de grupos completos de objetos en vez de enumerarlos por sus nombres

$\exists x$ Perro(x) $\Rightarrow$ Amamanta(x) (existencial)

$\forall x$ Hermano(x, Juan) $\Rightarrow$ Estudia (x) (universal)

$\forall x$ (Estudia(x) Y ($\exists x$ (Hermano(Jose ,x)))

General: < cuantificador><variable> <sentencia>

Cuantificación universal ($\forall$)

- Facilita la expresión de reglas generales, ejemplo: en vez de decir “Mancha es un gato” y “Mancha es un mamífero” se usa:
 - $\forall x \text{ Gato}(x) \Rightarrow \text{Mamífero}(x)$
- Lo cual equivale a
 - $\text{Gato}(\text{Mancha}) \Rightarrow \text{Mamífero}(\text{Mancha}) \wedge \text{Gato}(\text{Rebeca}) \Rightarrow \text{Mamífero}(\text{Rebeca}) \wedge \text{Gato}(\text{Félix}) \Rightarrow \text{Mamífero}(\text{Félix}) \wedge \text{Gato}(\text{Juan}) \Rightarrow \text{Mamífero}(\text{Juan}) \wedge \dots$
- Por lo tanto, la primera expresión será válida si y sólo si todas estas últimas son también verdaderas, es decir, si P es verdadera para todos los objetos x del universo.

Por lo tanto, a $\forall$ se le conoce como cuantificador **universal**.

Propiedades cuantificadores

- $\forall x \forall y$ es lo mismo que $\forall y \forall x$
- $\exists x \exists y$ es lo mismo que $\exists y \exists x$
- $\exists x \forall y$ **no** es lo mismo que $\forall y \exists x$
 - $\exists x \forall y \text{ Quiere}(x,y)$
“hay una persona quien ama a c/u en el mundo”
 - $\forall y \exists x \text{ Quiere}(x,y)$
“Cada quien en el mundo es amado por al menos una persona”
- **Cuantificador de dualidad:** uno puede ser expresado usando el otro
 - $\forall x \text{ LeGusta}(x, \text{Helado})$
 $\neg \exists x \neg \text{LeGusta}(x, \text{Helado})$
 - $\exists x \text{ LeGusta}(x, \text{Cebolla})$
 $\neg \forall x \neg \text{LeGusta}(x, \text{Cebolla})$

Lógica de Predicado de Primer Orden

- Alto Orden Lógico

$$\forall x,y (x=y) \Leftrightarrow \forall p p(x)=p(y)$$

- Operador λ

$$\lambda x,y x-y$$

$$\lambda 25, 25 \Rightarrow 0 \text{ (hace la operación)}$$

- Cuantificador $\exists!$

$$\exists! x \text{ Rey}(x)$$

- Axiomas: capturan los hechos básicos
- Dominio: coherente cuerpo de conocimiento sobre algo

Lógica de Predicado de Primer Orden

- Simple Agente Reflexivo

$\forall a \text{ Percibo}(a, t) \Rightarrow \text{Acción}(\text{recoger}, a)$

- Otros Operadores

$\text{Ir}(\text{persona}, \text{sitio})$

$\text{En}(\text{posición}, \text{tiempo}, \text{Jose})$

- Ejemplo: Todos los paquetes en hab. 27 son mas pequeños que los que están en la hab. 28

$(\forall x, y)[\text{Paquete}(x) \wedge \text{Paquete}(y) \wedge \text{En}(x, 27) \wedge \text{En}(y, 28)] \supset \text{Maspequeno}(x, y)$

Lógica de Predicado de Primer Orden

Mas ejemplos

- Juan es Oso, Oso es animal, animal son cosas
 $\text{Oso}(\text{Juan})$
 $\forall b \text{ Oso}(b) \Rightarrow \text{Animal}(b)$
 $\forall a \text{ Animal}(a) \Rightarrow \text{CosaFisica}(a)$
- Todos los animales tienen un cerebro, el cual es parte de todo animal
 $\forall a \text{ Animal}(a) \Leftrightarrow \text{Cerebrode}(a)$
 $\forall a \text{ Partede}(a, \text{Cerebrode}(a))$
- Carlos tiene cerebro pequeño
 $\text{Tamano}(\text{Cerebrode}(\text{carlos}), \text{cerebrode}(\text{tipicohumano})) = \text{pequeño}$

Lógica de Predicado de Primer Orden

- Razonamiento de un Agente (inferir)

$\text{En}(x,y) \wedge \text{Sucio}(x) \supset \text{absorber}(x)$

$\text{En}(0,0) \wedge \text{Caminando}(\text{Sur}) \wedge \text{Sucio}(0,1) \supset \text{Hacer}(\text{rotar_este})$

- Tipos de Razonamiento

- Regla Causal (**deduzco**)

$\forall l1, l2, s \quad \text{En}(l1, s, \text{jose}) \wedge \text{Camino}(l1, l2) \Rightarrow \text{En}(l2, s+t, \text{jose})$

- Regla Diagnostico (**Generalizo**)

$\forall x \quad \text{En}(\text{Florida}, \text{Agosto}, x) \wedge \text{LlueveFuerte}(\text{Florida}) \Rightarrow \text{Tormenta}(\text{Florida})$

- **Abducción**

$\forall x \quad \text{Lluevesobre}(x) \Rightarrow \text{Mojado}(x)$

$\text{Percibe}(\text{mojado}(x)) \Rightarrow \text{Hipótesis (ha llovido)}$

Lógica de Predicado de Primer Orden

- Preferencias entre acciones

$$\left\{ \begin{array}{l} \forall a, s \text{ Grande}(a, s) \wedge \neg \exists b \text{ Grande}(b, s) \Rightarrow \text{acción}(a) \\ \forall a, s \text{ Mediano}(a, s) \wedge \neg \exists b (\text{Grande}(b, s) \vee \text{Mediano}(b, s)) \Rightarrow \text{acción}(a) \end{array} \right.$$

- Agentes con Objetivos

$$\forall s \text{ Quiere}(\text{Oro}, s) \Rightarrow \dots$$

- Requiere:

Inferir

Buscar

Planificar

Uso Lógica de Predicado de Primer Orden

- BC:

$\forall x \text{ Rey}(x) \wedge \text{Codicioso}(x) \Rightarrow \text{Malo}(x)$

$\text{Rey}(\text{Juan})$

$\text{Codicioso}(\text{Juan})$

$\text{Hermano}(\text{Richard}, \text{Juan})$

- Instanciando BC:

$\text{Rey}(\text{Juan}) \wedge \text{Codicioso}(\text{Juan}) \Rightarrow \mathbf{\text{Malo}(\text{Juan})}$

Lógica de Predicado de Primer Orden

- Otro Ejemplo

Misil(M1)

Dueno(Carlos,M1)

$\forall x \text{ Misil}(x) \text{ y Dueno}(\text{Carlos}, x) \Rightarrow \text{Vender}(\text{Oeste}, \text{Carlos}, x)$

y se puede inferir

Vender(Oeste,Carlos,M1)

Ingeniería de Conocimiento en LPO

1. Identificar la tarea
2. Identificar Conocimiento Relevante
3. Decidir vocabulario: conceptos, funciones, y constantes => **Ontología**
4. Codificar conocimiento => Axiomas de la ontologías (sentencias lógicas)
5. Codificar instancias del problema (descripciones)
6. Hacer consultas al procedimiento de inferencia
7. Depurar la BC

Reglas de Producción

- Forma mas popular de representación del conocimiento
 - Pertenece al paradigma declarativo
 - Es de la forma si ... entonces
 - Soporta los distintos tipos de razonamiento
 - Es fácil incorporar nueva información

Si antecedente entonces consecuente

- Una base de reglas puede tener varias reglas que se activan, la estrategia de control dirá cual se activa primero

Prolog: Programación Lógica

El lenguaje de programación PROLOG (“PROgrammation en LOGique”) fue creado por Alain Colmerauer y sus colaboradores alrededor de 1970.

Es un primer intento de diseñar un lenguaje de programación que posibilitara al programador especificar sus problemas en lógica.

Juega un importante papel dentro de la Inteligencia Artificial, ya que se utiliza para los Sistemas de Procesamiento de Conocimiento

PROLOG es un lenguaje de programación computadores que se basa en la Lógica de Primer Orden

Prolog: Programación Lógica

- Algoritmo = Lógica + Control
- Bases: hacia atrás
- Programa = conjunto de clausulas (clauses)

Una clausula es $\text{head} \text{ :- literal}_1, \dots \text{literal}_n.$

- Ejemplo:

$\text{traidor}(X) \text{ :- americano}(X), \text{cañón}(Y), \text{vende}(X,Y,Z), \text{hostil}(Z)$

Curso de Inteligencia Artificial

Unidad V: Incertidumbre

Jose Aguilar
CEMISID, Facultad de Ingeniería
Universidad de los Andes
Mérida, Venezuela
aguilar@ula.ve

¿Cuándo hay incertidumbre?

Se dice que hay incertidumbre cuando
no se posee información suficiente o
ambigua como para asignarle un grado
de veracidad a una sentencia.

Ejemplo de incertidumbre

Un muchacho desea **vender periódicos** en la cafetería de la universidad y tiene que decidir **cuántos debe comprar**.

La **experiencia indica** que la demanda diaria varia entre 15 a 30 periódicos. Además, debe pagar 2 Bs por cada diario para venderlos en 3 Bs. cada uno.

Los **periódicos que no son vendidos** durante el día **se pierden**.

Determinar el número de diarios que el muchacho debe encargar.

Conceptos vinculados a agentes

- Algunas sentencias pueden ser:
 - Verificadas por percepción
 - Inferidas desde el estado actual y/o previo conocimiento
- Pero, en ciertos casos el agente debe actuar con incertidumbre por:
 - Desconocimiento completo del ambiente
 - No comprensión de la situación
 - Complejidad del problema
 - Poca fiabilidad de la información
 - Imprecisión inherente al modelo mental

Agente actuando bajo incertidumbre

Un problema con lógica de primer orden, es que los **agentes casi nunca tienen acceso a la verdad completa acerca de su entorno.**

En casi todos los casos habrá cuestiones importantes para las cuales el agente **no puede encontrar una respuesta categórica.**

Por lo tanto, el agente debe **actuar bajo incertidumbre.**

Incertidumbre

- Por ejemplo: debo ir al aeropuerto que esta a 30 Km. ya que debo tomar un avión
 - Tengo un Plan que me hará llegar 90 min. antes
 - Tengo otro Plan que me hará llegar 240 min. antes y otro 120 min. antes,

¿Cuál escojo?

- Lo correcto es tomar la decisión racional, En este caso es considerando la importancia relativa de los diferentes objetivos (**esperar vs. tomar el avión**), y el grado con el cual ellos se pueden lograr

Incertidumbre

- Acción A_t = llegar al aeropuerto t minutos antes del vuelo
Cual es el A_t idóneo?
- Problemas:
 1. Ambiente parcialmente observable (estado de las calles, planes de los otros conductores, etc.)
 2. Ruido en los sensores (reporte del tráfico)
 3. Incertitud sobre el futuro (caucho desinflado, accidente, etc.)
 4. Complejidad en el modelado y predicción del trafico

“ A_{25} me permitirá llegar a tiempo si no hay accidentes en la ruta, no se me desinfla el caucho, ...”

“ A_{1440} me permitirá llegar a tiempo, pero me obligara a dormir en el aeropuerto...”

Incertidumbre

Manejando Conocimiento Incierto

$\forall p \text{ Sintoma}(p, \text{dolormuela}) \Rightarrow \text{Enfermedad}(p, \text{Caries})$ no verdad

$\forall p \text{ Enfermedad } (p, \text{Caries}) \Rightarrow \text{Sintoma}(p, \text{dolormuela})$ Tampoco!!

Solo haciendolo exhaustivo!!!

$$\forall p \text{ Sintoma}(p, \text{dolormuela}) \Rightarrow \text{Enfermedad}(p, \text{Caries}) \vee \text{imposible} \\ \text{Enfermedad}(p, \text{Oido}) \vee \dots$$

Incertidumbre

- **Lógica primer orden falla por:**
 - ***Pereza***. Es mucho trabajo listar el conjunto completo de antecedentes o consecuencias necesarios para asegurar que una regla no tenga excepciones, y se vuelve muy pesado usar las enormes reglas que resultan.
 - ***Ignorancia teórica***. La ciencia médica no tiene una teoría completa para el dominio.
 - ***Ignorancia práctica***. Podemos tener incertidumbre acerca de un paciente en particular porque todos los tests necesarios no han sido o no pueden ser realizados. (Aunque conozcamos todas las reglas).
- **Solución**
 - **Teoría Estadística**
Grados de Creencia => teoría de probabilidades
 - **Lógica Difusa**
Grados de Verdad => teoría de los conjuntos difusos

Incertidumbre

Probabilidad provee una forma de resumir la incertidumbre que viene de la ignorancia y pereza

- Probabilidad 0.8 significa 80% grado de creencia y no 80% verdad (ver lógica difusa=> conocido como grado de verdad)
- 0.8 significa que el 80% paciente tienen caries al dolerle la muela y el 20% es el resto de casos (pereza o ignorancia)
- En sentencias: 0 => creencia total que será falsa
1 => creencia total que será verdad

Incertidumbre

La teoría de Probabilidad se puede aplicar a

- **Sucesos o eventos:** probabilidad de ocurrencia (clásico de la teoría de probabilidades)
- **Proposiciones:** probabilidad de que sean o no ciertas (indica grado de credibilidad de las proposiciones basado en las evidencias con las que se cuentan)

=> de interés en I.A, a partir de ellas se pueden hacer inferencias!!

- Ejemplo: Juan se referirá a Caracas en su discurso según la información con la que contamos

Sintaxis

- Elemento básico: **variable aleatoria**
- **Similar a lógica proposicional**: posibles mundos definidos asignando valores a variables aleatorias.
 - **Variables Aleatorias lógicas**
 - *Caries* (Tengo una caríe?)
 - **Variables Aleatorias Discretas**
 - *Clima* es *<soleado, lluvioso, nublado>*
Dominio de valores debe ser exhausto y mutuamente excluyente
- **Proposición se construye asignando valores a las variables**:
 - *Clima = soleado, Caries = falsa*
- Proposiciones complejas se forman desde proposiciones elementales conectadas por operadores lógicos
 - *Clima = soleado $\vee$ Caries = falsa*

Sintaxis

- **Evento Atómico:** Una **completa** especificación del estado del mundo sobre el que el agente esta incierto

Si el mundo se describe por dos variables lógicas *Caries* y *dolormuela*, hay 4 eventos atómicos:

$Caries = false \wedge dolormuela = false$

$Caries = false \wedge dolormuela = true$

$Caries = true \wedge dolormuela = false$

$Caries = true \wedge dolormuela = true$

- Eventos atómicos son también **mutuamente excluyentes y exhaustivos**

Incetidumbre

- **Evidencias (percepción):** usada para evaluar las probabilidades en las sentencias
 - Antes de la evidencia => a priori o probabilidad incondicional
 - Después de la evidencia => a posteriori o probabilidad condicional
- **Teoría de decisión:**
 - Teoría de Utilidad es usada para representar e inferir preferencias
 - Teoría de Decisión = teoría de probabilidad + teoría de utilidad

Un agente es racional si escoge la acción que le de mas utilidad, según la teoría de la decisión

Manejando conocimiento incierto

La probabilidad que un agente asigna a una proposición depende de las percepciones que ha recibido hasta el momento

la evidencia

Así como el estado de una implicación puede cambiar cuando se agregan más sentencias a la BC, las probabilidades pueden cambiar cuando se adquiere más evidencia.

- Antes de obtener la evidencia, hablamos de

probabilidad incondicional o previa;

- luego de obtener la evidencia, hablamos de

probabilidad condicional o posterior.

Incertidumbre

Agente de decisión

1. Calcular las **probabilidades de ocurrencia de cada acción**, dada las descripciones de las acciones y probabilidades desde el estado actual
2. **Seleccionar acción con mayor utilidad**, dada las probabilidades de su ocurrencia

Notación básica de probabilidad

Probabilidad incondicional. Ej. $P(\text{Caries}) = 0.1$ Si Caries denota la proposición que un paciente particular tenga caries, significa **que en ausencia de cualquier otra información**, el agente asignará una probabilidad de 0.1 al evento de un paciente con caries.

Las proposiciones también pueden incluir las llamadas **variables aleatorias o al azar**:

$$P(\text{Clima} = \text{Soleado}) = 0.7$$

$$P(\text{Clima} = \text{Lluvia}) = 0.2$$

$$P(\text{Clima} = \text{Nublado}) = 0.08$$

$$P(\text{Clima} = \text{Nieve}) = 0.02$$

$P(\text{Clima})$ representa la probabilidad

de todos los valores posibles de

Clima, en este caso:

$$P(\text{Clima}) = \langle 0.7, 0.2, 0.08, 0.02 \rangle$$

Incertidumbre

- **A priori o probabilidad incondicional:** no se tiene evidencias

$$P(\text{caries})=0.1$$

$$P(\text{clima}=\text{soleado})=0.72$$

$$P(\text{clima}=\text{lluvioso})=0.08$$

$$P(\text{clima}=\text{nublado})=0.1$$

$$P(\text{clima}=\text{con nieve})=0.1$$

- **Distribución de Probabilidad:** da valores a todas las asignaciones posibles

$$P(\text{clima})=(0.72,0.1,0.08,0.1)$$

- **Distribución de Probabilidad Conjunta:** para un conjunto de variables aleatorias da la probabilidad de cada evento atómica de ellas

$$P(A \text{ y } B) = P(A \text{ B}) = P(A)P(B) \text{ ya que } A \text{ y } B \text{ son independientes}$$

$$P(\text{Clima}, \text{Caries}) = \text{una matriz de } 4 \times 2$$

<i>Caries vs Clima</i>	soleado	lluvioso	nublado	con nieve
V	0.072	0.008	0.01	0.01
F	0.648	0.072	0.09	0.09

Regla del Producto

Notación básica de probabilidad

Probabilidad condicional. Cuando el agente ha obtenido alguna evidencia concerniente a las proposiciones previamente desconocidas.

Probabilidad condicional, con notación $(A \mid B)$ se lee '*probabilidad de A dado que todo lo que conocemos es B*'

$P(A \mid B)$ solo puede ser usado cuando todo lo que se conoce es B. Tan pronto se conozca C se debe calcular $P(A \mid B \wedge C)$.

$\mathbf{P}(X \mid Y)$ es una tabla bidimensional que da los valores de $P(X=x_i \mid Y=y_j)$ para cada par posible i, j .

Incertidumbre

- A posteriori o probabilidad condicional

$$P(\text{caries} | \text{dolormuela}) = 0.8$$

“probabilidad de caries a sabiendas que tiene dolor de muela”

$$P(A | B) = P(A \cap B) / P(B)$$

- Nueva evidencia puede ser irrelevante:

$$P(\text{caries} | \text{dolormuela}, \text{soleado}) = P(\text{caries} | \text{dolormuela}) = 0.8$$

- Pero si conocemos más:

$$P(\text{caries} | \text{dolormuela}, \text{infección bucal}) = 0.9$$

Incertidumbre

- Probabilidad de llegar a tiempo si conozco algo:
p.e., $P(A_{25} \mid \text{hay accidentes reportados}) = 0.06$
- Pero como dijimos antes, probabilidad cambia con mas evidencias:
p.e., $P(A_{25} \mid \text{hay accidentes reportados, 5 a.m.}) = 0.25$

$P(A_{25} \text{ estaré a tiempo} \mid \dots)$	= 0.04
$P(A_{90} \text{ estaré a tiempo} \mid \dots)$	= 0.70
$P(A_{120} \text{ estaré a tiempo} \mid \dots)$	= 0.95
$P(A_{1440} \text{ estaré a tiempo} \mid \dots)$	= 0.9999

Escogencia depende entre mi **prioridad** por perder vuelo vs. cuanto esperar

Axiomas de probabilidad

- A posteriori o probabilidad condicional

$$P(A \text{ Y } B) = P(A, B) = P(A|B)P(B) = P(B|A)P(A)$$

Regla del Producto

para A y B dependientes

$$P(A \text{ O } B) = P(A) + P(B) - P(A \text{ Y } B)$$

$$P(A) + P(\neg A) = 1$$

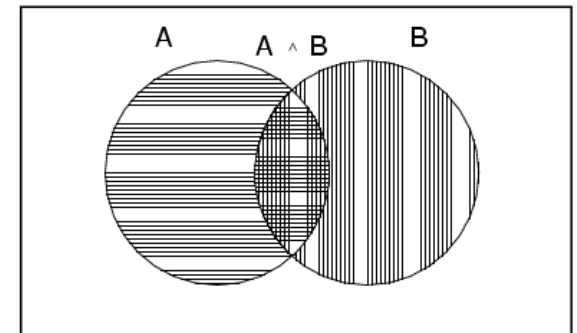
$$0 \leq P(A) \leq 1$$

- Distribución de Probabilidades

	dolormuela	¬dolormuela
Caries	0.04	0.06
¬Caries	0.01	0.89

$$P(\text{Caries o dolormuela}) = 0.04 + 0.01 + 0.06 = 0.11$$

diferente a: $P(\text{caries} | \text{dolormuela}) = P(\text{caries Y dolormuela}) / P(\text{dolormuela}) = 0.04 / (0.04 + 0.01) = 0.8$



Incertidumbre

Ejemplo Regla del producto

- Existen dos candidatos A y B a gerentes en una empresa.
- Las probabilidades de ganar de cada uno son 0,7 y 0,3, respectivamente.
- Si gana A, la probabilidad de introducir nuevo productos es 0,8; si gana B, la probabilidad es 0,4.

¿Cuál es la probabilidad, antes de las elecciones, de que sea introducido un nuevo producto?

- **Solución:** Si llamamos N al nuevo producto, será:

$$\begin{aligned} P(N \cup A) + P(N \cup B) &= P(N \cap A) + P(N \cap B) = \\ &= P(A) * P(N/A) + P(B) * P(N/B) = \\ &= 0,7 * 0,8 + 0,3 * 0,4 = 0,56 + 0,12 = 0,68. \end{aligned}$$

Incertidumbre

- **Regla de la Cadena** es derivada por la aplicación sucesiva de la regla del producto :

$$\begin{aligned}
 P(X_1, \dots, X_n) &= P(X_1, \dots, X_{n-1}) P(X_n \mid X_1, \dots, X_{n-1}) \\
 &= P(X_1, \dots, X_{n-2}) P(X_{n-1} \mid X_1, \dots, X_{n-2}) P(X_n \mid X_1, \dots, X_{n-1}) \\
 &= \dots \\
 &= \prod_{i=1}^n P(X_i \mid X_1, \dots, X_{i-1})
 \end{aligned}$$

- **Recordar que A y B son independientes ssi**

$$P(A/B) = P(A) \quad \text{o} \quad P(B/A) = P(B) \quad \text{o} \quad P(A \text{ Y } B) = P(A) P(B)$$

Por ejemplo:

$$P(\text{Dolormuela}, \text{Caries}, \text{Clima}) = P(\text{Dolormuela}, \text{Caries}) P(\text{Clima})$$

Independencia Condicional

- Si yo tengo caries, la probabilidad que este hinchado no depende si tengo o no dolor de muela:

$$P(\text{hinchado} / \text{dolormuela}, \text{caries}) = P(\text{hinchado} / \text{caries})$$

Hinchado es **condicionalmente independiente** de *dolormuela* dado *Caries*

- Por otro lado, son *Equivalentes*:

$$P(\text{Dolormuela}, \text{Hinchado} / \text{Caries}) = P(\text{Dolormuela} / \text{Caries}) P(\text{Hinchado} / \text{Caries})$$

Independencia Condicional

- Usando regla de la cadena:

$$P(\textit{Caries}, \textit{dolormuela}, \textit{hinchado})$$

$$= P(\textit{Caries}, \textit{dolormuela}) P(\textit{hinchado} \mid \textit{Caries}, \textit{dolormuela})$$

$$= P(\textit{Caries}) P(\textit{dolormuela} \mid \textit{Caries}) P(\textit{hinchado} \mid \textit{Caries}, \textit{dolormuela})$$

Si *hinchado* condicionalmente independiente de *dolormuela* :

$$= P(\textit{Caries}) P(\textit{dolormuela} \mid \textit{Caries}) P(\textit{hinchado} \mid \textit{Caries})$$

Incertidumbre

Regla de Bayes:

- Vincula la probabilidad de A dado B con la probabilidad de B dado A
$$P(B|A) = P(A|B)P(B)/P(A)$$
- Excelente para **diagnóstico** desde una posible **causa**:

$$P(\text{Causa} | \text{Efecto}) = P(\text{Efecto} | \text{Causa}) P(\text{Causa}) / P(\text{Efecto})$$

Ejemplo: sabiendo la probabilidad de tener nariz húmeda dado que se tiene meningitis, se podría saber (si se tiene algún dato más), la probabilidad de tener meningitis si se tiene nariz húmeda,

N: nariz húmeda

M: Meningitis

$$P(N|M) = 0.5$$

$$P(M) = 1/5000$$

$$P(N) = 1/20$$

$$P(M|N) = P(N|M)P(M)/P(N) = 0.002$$

Incertidumbre

$$P(\text{Causa}, \text{Efecto}_1, \dots, \text{Efecto}_n) = P(\text{Causa}) \prod_i P(\text{Efecto}_i | \text{Causa})$$

Si condicionalmente independencia entre los efectos!!!



Regla de la suma:

$$P(X+Y|Z) = P(X|Z) + P(Y|Z) + P(X,Y|Z)$$

Para proposiciones mutuamente exclusivas: $P(X_1+X_2+\dots+X_k) = \sum_i P(X_i|Z)$

Incertidumbre

- Comparación

$$P(B|A)/P(C|A)=P(A|B)P(B)/P(A|C)P(C)$$

probabilidad que ocurra C más que B dado que ocurre A

Ejemplo:

G: Gripe

$$P(M|N)/P(G|N)=1/80$$

significa que gripe es 80 veces mas probable que meningitis al tener nariz húmeda

Resumen razonamiento estocástico

- Probabilidad es un formalismo para manejo del conocimiento incierto
- Distribución de probabilidad conjunta especifica la probabilidad de eventos atómicos juntos
- Consultas pueden ser respondidas verificando probabilidad ocurrencia de eventos
- Conocimiento parcial se puede incluir usando cálculos probabilísticos:
Independencia , dependencia condicional, etc. proveen las herramientas para ello

Incertidumbre y decisiones racionales

Para tomar decisión, un agente debe tener preferencias entre los diferentes resultados posibles.

La teoría de utilidad representa y razona con preferencias.

La teoría general de decisiones racionales combina preferencias con probabilidades:

Teoría de Decisión=Teoría de Probabilidades+Teoría de Utilidad

Utilidad esperada máxima: la idea fundamental de la teoría de decisión es que un agente es racional si y solo si elige la acción que produce la utilidad más grande esperada,

Utilidad

Utilidad Esperada por realizar una acción A:

$$UE(A|E) = \sum_i P(\text{RESULT}_i(A)|E, \text{Do}(A)) U(\text{RESULT}_i(A))$$

- ⇒ un agente tiene todos los posibles resultados de ejecutar la acción no determinística A en $\text{RESULT}_i(A)$, donde RESULT da la utilidad respectiva
- ⇒ $\text{Do}(A)$ es la proposición de que A es ejecutada en el actual momento
- ⇒ E son las evidencias actuales que tiene el agente disponible

$P(\text{RESULT}_i(A)|E, \text{Do}(A))$

=> modelo probabilístico

$\text{RESULT}_i(A)$

=> búsqueda o planificación

Agente escogerá la acción A que maximice la utilidad esperada (MUE)

Utilidad

$$MUE = \max_A (\sum_i P(\text{Result}_i(A) | E, \text{Do}(A)) U(\text{Result}_i(A)))$$

- Trabajar con evidencia que descubrimos que es verdad (VI).

Si tenemos evidencia que E_j ocurre, entonces mejor acción actual α es:

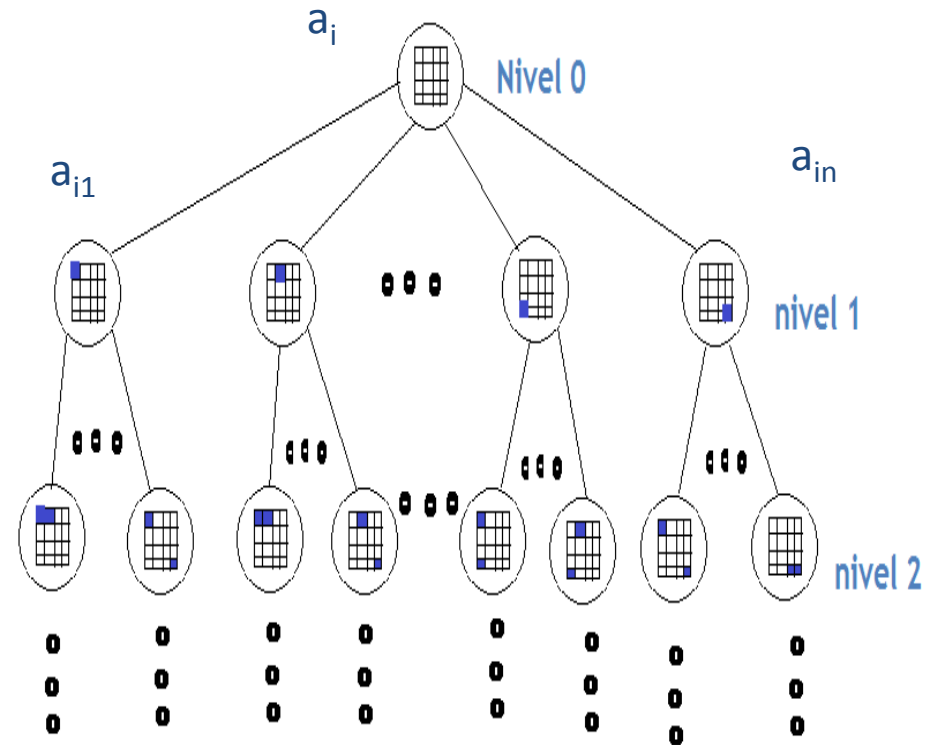
$$MUE(\alpha | E_j) = \max_{\alpha} \sum_i P(\text{Result}_i(\alpha) | \text{Do}(\alpha), E_j) U(\text{Result}_i(\alpha))$$

Como E es una variable aleatoria cuyo valor es desconocido, se debe estimar el valor de descubrir su valor E_j desde todos los valores posibles e_{jk} que conocemos de E usando nuestras creencias sobre esos valores

$$VI(E_j) = \sum_k P(E_j = e_{jk} | E) UE(\alpha | E_j = e_{jk})$$

Red bayesiana para el manejo de incertidumbre

Según MUE, la mejor acción será entre todas las posibles jugadas desde a_i , aquella en la cual se **maximice la razón de la utilidad de la acción y la probabilidad de que ella ocurra dado que ocurrió a_i** (se puede aplicar desde nodo hoja recursivamente)



$$MUE = \max_j \left(U(a_{ij}) * P(a_{ij} | a_i) \right) \quad \forall j = 1, n$$

Utilidad

Agente que recoge información

Percibir D

Con D calcular $VI(E_j)$ y $Costo(E_j)$

SI $VI(E_j) > Costo(E_j)$

Hacer acción según $MUE(\alpha \mid E_j)$

de lo contrario

buscar otra acción desde E

Donde: $Costo(E_j)$ es el costo por obtener la evidencia E_j a través de test, cuestionarios, etc.