

Inteligencia Artificial

Tema 7. Representación del conocimiento

José Manuel Fuertes García
jmf@ujaen.es

Departamento de Informática
Universidad de Jaén



8 de mayo de 2017

Objetivos

1. Conocer cómo representar hechos sobre el mundo en un agente (qué contenido incorporar a la base de conocimiento del agente).
2. Conocer qué es una ontología.
3. Conocer los conceptos: categoría, objeto, acción, situación y evento.
4. Conocer los sistemas de razonamiento para categorías.

Índice

Introducción

Categorías y objetos

Acciones, situaciones y eventos

Eventos mentales y objetos mentales

Sistemas de razonamiento para categorías

Agentes basados en el conocimiento

Agentes y conocimiento

- ▶ Los agentes *razonan* sobre su entorno.
- ▶ La *Lógica* es uno de los formalismos que se puede emplear para sustentar los razonamientos.
- ▶ Pero, ¿cómo *plasmar* el entorno para razonar sobre él?
- ▶ El agente debe representar internamente lo que *sabe* del universo (la **base de conocimiento**).
 - ▶ Los objetos o entidades que lo componen.
 - ▶ Su evolución e interacciones.
- ▶ En dominios restringidos, es fácil encontrar representaciones consistentes.

Ingeniería Ontológica *versus* Ingeniería del Conocimiento

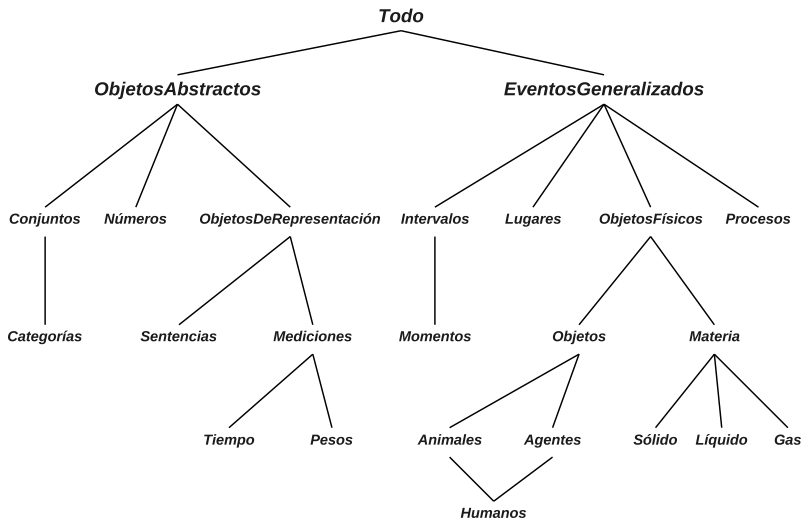
Ingeniería Ontológica e Ingeniería del Conocimiento

- ▶ **Ingeniería del Conocimiento:** Investiga un dominio concreto, aprende los conceptos importantes y sus relaciones, y crea una representación formal de los mismos.
- ▶ **Ingeniería Ontológica:** Representación del conocimiento *global*, no restringida a un dominio concreto.
 - ▶ Es una tarea ingente, prácticamente imposible.
 - ▶ Por definición no se puede representar *todo*, pero se pueden generar categorías en las que podría caber cualquier *cosa*.

Ontología superior

- ▶ Presenta un marco de trabajo general para los conceptos.
- ▶ Usaremos la Lógica de Primer Orden (LPO) para organizar su contenido.
 - ▶ En realidad, la LPO tiene problemas para tratar con excepciones e información incierta.
- ▶ Cualquier ontología para un dominio específico, cuando se la generaliza, debería converger a una ontología superior.
- ▶ Una ontología de propósito general:
 - ▶ Debe ser aplicable a cualquier dominio específico.
 - ▶ Para un dominio dispar, debe unificar las diferentes áreas de conocimiento, ya que puede haber razonamientos que involucren varias áreas.

Ejemplo de ontología superior



Índice

Introducción

Categorías y objetos

Acciones, situaciones y eventos

Eventos mentales y objetos mentales

Sistemas de razonamiento para categorías

Categorías y objetos

- ▶ La organización de objetos en categorías es vital para la representación del conocimiento.
- ▶ La mayor parte del proceso de razonamiento se hace con categorías, aunque la interacción final sea a nivel de objetos.
- ▶ Normalmente, los objetos se perciben, luego se infiere su categoría, y finalmente se hacen predicciones sobre ellos a partir de la categoría a la que pertenecen.
- ▶ Las categorías sirven para organizar el conocimiento a través de la **herencia**: todos los objetos de una categoría *heredan* las cualidades de la misma.

Relaciones

- ▶ Pueden darse entre objetos y categorías (ej.: pertenencia), o entre distintas categorías (ej.: subclasificación).
- ▶ Las relaciones de subclasificación organizan las categorías en **taxonomías**.
 - ▶ Una taxonomía proporciona una organización jerarquizada y sistemática de los objetos de un dominio.
- ▶ Categorías que no son subclases unas de otras también pueden relacionarse:
 - ▶ Ser disjuntas o no.
 - ▶ Proporcionar una partición de otro conjunto.
 - ▶ etc.

Objetos compuestos

- ▶ Un objeto puede formar parte de otro. Podemos definir una relación *ParteDe* para especificar esto.
- ▶ Un objeto compuesto puede ser:
 - ▶ **Estructurado**. Por ejemplo, un bípedo tiene dos piernas unidas a su cuerpo.
 - ▶ No estructurado, también conocido como **montón**.

Medidas

- ▶ Todos los objetos tienen propiedades que pueden ser cuantificadas numéricamente.
- ▶ Una misma característica puede representarse de diversas formas. Por ejemplo, una longitud puede ser 1,5 pulgadas o 3,81 centímetros.
- ▶ Existen medidas no cuantitativas, más difíciles de representar. Ejemplos: la dificultad de un ejercicio, la belleza de un poema, etc.
 - ▶ Aunque no pueda asociarse un valor numérico a las medidas, basta con que pueda establecerse un orden entre ellas.

Sustancias y objetos

- ▶ Existen porciones de realidad que no pueden individualizarse:
 - ▶ Objetos individuales (contables): Una mesa, un gato, etc.
 - ▶ Materia o sustancia (no contables): mantequilla, agua, aire, arena, etc.
- ▶ Si definimos la categoría *Mantequilla*, cualquier porción de mantequilla pertenecerá a ella, y se comportará como un objeto.
 - ▶ Si dividimos una porción de mantequilla en dos, ambas pertenecerán a la categoría *Mantequilla*.
 - ▶ Si definimos la categoría *KiloDeMantequilla*, se comporta como una sustancia.
- ▶ **Propiedades intrínsecas**: pertenecen a la sustancia del objeto más que al objeto en sí (color, viscosidad, punto de fusión...).
- ▶ **Propiedades extrínsecas**: pertenecen al objeto más que a la sustancia (tamaño, peso, forma...).

Índice

Introducción

Categorías y objetos

Acciones, situaciones y eventos

Eventos mentales y objetos mentales

Sistemas de razonamiento para categorías

Cálculo de situaciones

- ▶ Un agente que razone tiene que poder predecir y manejar los resultados de sus acciones.
- ▶ Un método consiste en emplear *situaciones* para caracterizar los estados resultantes de ejecutar acciones.
- ▶ Una **situación** es un término que contiene un estado inicial S_0 , junto con los estados generados por diferentes acciones.
- ▶ Los **flujos** son funciones que varían de una situación a la siguiente.
- ▶ Al acto de deducir el resultado de una secuencia de acciones, se le denomina **proyección**.
- ▶ Una **acción** en cálculo de situaciones tiene dos elementos:
 - ▶ Un axioma de posibilidad, que dice cuándo una acción puede llevarse a cabo.
 - ▶ Un axioma de efecto, que indica el resultado de una acción.

El problema del marco

- ▶ Cuando se lleva a cabo una acción, hay cosas que cambian.
- ▶ **Problema del marco:** Representar todas las cosas que permanecen inalteradas después de una acción.
 - ▶ Permite acotar qué cosas han de recalcularse cuando se lleva a cabo una acción.
 - ▶ No es sencillo, porque hay que gestionar los efectos implícitos de las acciones.

El cálculo de eventos

- ▶ Cuando hay varios agentes llevando a cabo acciones que se solapan en el tiempo, el cálculo de situaciones se queda *corto*.
- ▶ El cálculo de eventos se basa en intervalos de tiempo, en lugar de en situaciones.
- ▶ Los flujos tienen lugar en intervalos de tiempo.
- ▶ Pueden definirse **eventos generalizados**, con una extensión determinada tanto en el espacio como en el tiempo.
 - ▶ Un objeto físico puede entenderse como un evento generalizado, ya que corresponde con un trozo del espacio-tiempo.

Índice

Introducción

Categorías y objetos

Acciones, situaciones y eventos

Eventos mentales y objetos mentales

Sistemas de razonamiento para categorías

Eventos mentales y objetos mentales

- ▶ En muchos casos, un agente necesita razonar sobre los procesos mentales propios o de otros agentes.
 - ▶ Conocer sus propias limitaciones (si no puede conocer nada sobre la geografía rumana, no tiene sentido intentar calcular la mejor ruta de Arad a Bucarest).
 - ▶ Saber cómo razonan otros agentes. Por ejemplo, escoger a un policía para pedirle ayuda sobre cómo llegar a Bucarest.
- ▶ Se modeliza tanto las cosas que *sabe* un agente (sus objetos mentales), como sus mecanismos de razonamiento (eventos mentales).
- ▶ Es necesario distinguir entre **conocimiento** y **creencia**.
 - ▶ Un agente normalmente trabaja con creencias, que varían con el tiempo.

Índice

Introducción

Categorías y objetos

Acciones, situaciones y eventos

Eventos mentales y objetos mentales

Sistemas de razonamiento para categorías

Razonando con categorías

- ▶ Una vez representado el conocimiento mediante categorías, necesitamos sistemas que nos permitan razonar sobre ellas.

Lógica Descriptiva

- ▶ Constituye un lenguaje formal para construir y combinar definiciones de categorías.
- ▶ Proporciona algoritmos para decidir las relaciones de subconjunto y superconjunto entre categorías.

Sistemas Basados en Reglas

- ▶ Permiten capturar la experiencia humana en la resolución de problemas.
- ▶ Representan el conocimiento como heurísticas o formas de proceder de los expertos
- ▶ Proporcionan una separación explícita entre el conocimiento del

Razonando con categorías

Redes Semánticas y Marcos

- ▶ Representan gráficamente una base de conocimiento.
- ▶ Proporcionan algoritmos eficientes para inferir propiedades de un objeto.

Ontologías

- ▶ Son sistemas que fomentan la construcción de bases de conocimiento a partir del ensamblado o reutilización de diversos componentes de conocimiento.
- ▶ Una ontología es una especificación formal de una conceptualización compartida.

Razonando con categorías

Sistemas Basados en Modelos Probabilísticos

- ▶ A diferencia de los sistemas basados en reglas que evalúan las categorías representadas como verdaderas o falsas, el conocimiento humano está formado por afirmaciones y reglas que no siempre son totalmente ciertas.
- ▶ Estos sistemas permiten modelar y manejar el conocimiento incierto utilizando probabilidades.

Razonando con categorías

Conjuntos Borrosos

- ▶ Nuestro conocimiento está plagado de sentencias *vagas*: velocidad moderada, bajas presiones incremento súbito, amor eterno...
 - ▶ La falta de nitidez de estos predicados suponen una fuente de inconsistencias.
- ▶ La publicación en 1965 del trabajo de Zadeh, *Fuzzy Sets*, plantea la necesidad de utilizar herramientas formales para el análisis del lenguaje ordinario, surgiendo la idea de Teoría de Conjuntos Borrosos y la Lógica Borrosa como la ciencia de los principios formales del razonamiento aproximado.

La lógica descriptiva

- ▶ Se basa en notaciones diseñadas para describir definiciones y propiedades de categorías.
- ▶ Han evolucionado a partir de las redes semánticas, para formalizar el significado de una red.
- ▶ Tareas básicas de inferencia:
 - ▶ Subsunción: Comprobar si una categoría es un subconjunto de otra.
 - ▶ Clasificación: Comprobar si un objeto pertenece a una categoría.
 - ▶ Consistencia: Comprobar si el criterio de pertenencia a una categoría puede ser satisfecho lógicamente.
- ▶ Ejemplo de lenguaje de lógica descriptiva: CLASSIC (1989).

La lógica descriptiva

Ejemplos:

- ▶ Los solteros son adultos que no están casados
 - ▶ en Classic: $Soltero = Y(NoCasado, Adulto, Masculino)$
 - ▶ en lógica de primer orden:
$$Soltero(x) \Leftrightarrow NoCasado(x) \wedge Adulto(x) \wedge Masculino(x)$$
- ▶ Conjunto de hombres que por lo menos tenga tres hijos que estén desempleados y cuya esposa es doctora, que además tengan como máximo dos hijas ambas profesores de Física o Matemáticas
 - ▶ $Y(Hombre, AlMenos(3, Hijos), AlMenos(2, Hijas), Todos(Hijos, Y(Desempleado, Casado, Todos(Esposa, Doctor))), Todos(Hijas, Y(Profesor, Satisface(Departamento, Fisica, Matematicas))))$

La lógica descriptiva

- ▶ Razonar significa obtener conclusiones (correctas) a partir de ciertas premisas (que consideras correctas).
- ▶ Si el método que utilizemos nos devuelve siempre conclusiones correctas:
 - ▶ Diremos que el método de deducción es *correcto*.
 - ▶ Si además el método es capaz de devolvernos todas las conclusiones correctas diremos que es además *completo*.
- ▶ Además de corrección y completitud, a los métodos de deducción se les debe considerar:
 - ▶ El poder expresivo del lenguaje que utilizemos.
 - ▶ Las propiedades computacionales del método.
 - ▶ El grado de síntesis de las expresiones.
- ▶ Al conjunto *lenguaje + semántica* que nos sirve para representar el conocimiento relacionado con la capacidad de llevar a cabo ciertos razonamientos lo llamamos **lógica**.

La lógica descriptiva

- ▶ El lenguaje lógico más sencillo es el es el lenguaje de la *Lógica Proposicional* o de *orden 0*.
- ▶ Está basado en un conjunto numerable de *Proposiciones Atómicas* y *Fórmulas bien formadas*:
 - ▶ Aquellas que se pueden obtener a partir de una gramática abstracta lo más simple posible.
- ▶ Una proposición será una expresión en lenguaje natural que sólo puede ser Falsa o Verdadera.
- ▶ Esta lógica recurre a métodos deductivos semánticos para demostrar la validez de una fórmula mediante:
 - ▶ El método del árbol semántico.
 - ▶ La demostración de que para la fórmula negada no hay modelos posibles que la satisfagan.

La lógica descriptiva

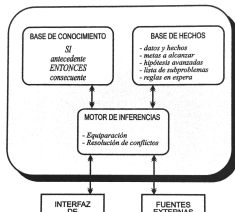
- ▶ Cuando los hechos no pueden ser descritos por esta lógica de orden 0 podemos trabajar con otras de orden superior o alternativas:.
 - ▶ **Lógicas de Primer Orden:** Suponen una extensión de la lógica proposicional en las que se introducen variables para denotar algunos elementos del dominio, cuantificadores y predicados.
 - ▶ **Lógicas No Monótonas:** Aquellas que son capaces, de alguna manera, de volver atrás en sus conclusiones cuando se aporta nueva información.
 - ▶ **Lógicas Modales, etc.**

Sistemas basados en Reglas

- ▶ Permiten capturar la experiencia humana en la resolución de problemas, con el fin de alcanzar decisiones consistentes y repetibles.
- ▶ Son especialmente interesantes en aquellos dominios en los que escasean expertos.
- ▶ Proporcionan un medio eficaz para difundir razonamientos escasos y específicos.
- ▶ En un SBR, las estructuras de representación del conocimiento son declarativas:
 - ▶ Existe una separación explícita entre el conocimiento del dominio y los mecanismos de deducción utilizados.

Sistemas basados en Reglas

- ▶ Los SBR están formados por tres grandes elementos:
 - ▶ *Base de Hechos*: Es la memoria de trabajo en la que se almacenan un conjunto de hechos establecidos que se usan para determinar qué reglas puede aplicar el mecanismo de inferencia.
 - ▶ *Base de Conocimiento*: Definida a partir de reglas con dos partes:
 - ▶ Una izquierda denominada *condición* o *antecedente*.
 - ▶ Una derecha denominada *acción* o *consecuente*.
 - ▶ *Motor de Inferencia*: Constituye la estrategia de control o intérprete de reglas, y es el encargado de examinar la Base de Hechos y decidir qué reglas se deben disparar.



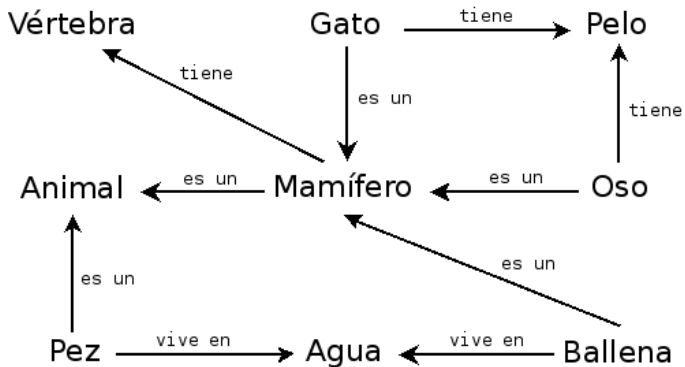
Sistemas basados en Reglas

- ▶ Los SBR actuales usan dos modos de inferencia:
 - ▶ *Encadenamiento hacia adelante*: Comienza con una colección de hechos o afirmaciones de partida y aplica las reglas de la Base de Conocimiento repetidas veces hasta que no se generan nuevos hechos.
 - ▶ *Encadenamiento hacia atrás*: Parte de un conjunto de hipótesis e intenta verificar dichas hipótesis usando datos de la Base de Hechos o datos externos.
- ▶ A veces también es posible encontrar SBR que utilizan un modo de razonamiento mixto.

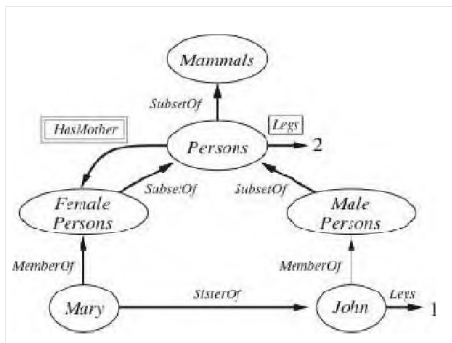
Las redes semánticas y los marcos

- ▶ Constituyen un paradigma de representación del conocimiento basado en relaciones.
- ▶ Centran su atención en las relaciones que aparecen entre los conceptos o entidades de un dominio.
- ▶ Representan objetos, categorías de objetos y relaciones entre objetos.
- ▶ **Herencia**: Los objetos heredan propiedades de las categorías a las que pertenecen. Ej.: Gatos y Osos tienen vértebras.
- ▶ Son apropiadas para representar valores por defecto. Si a un objeto no se le asigna una propiedad, se toma la de la categoría a la que pertenece.
- ▶ Si asignamos a un objeto una propiedad con un valor diferente de la de su clase, esta queda **sobrescrita**.

Ejemplo de red semántica



Ejemplo de red semántica



Ontologías

- ▶ Una ontología es una especificación formal de una conceptualización compartida.
- ▶ Existen diferentes formalismos de representación del conocimiento para formalizar (implementar) ontologías.
- ▶ Cada uno de ellos tiene distintos componentes que pueden ser utilizados en estas tareas de formalización e implementación, si bien dichos formalismos comparten un conjunto mínimo de componentes:
 - ▶ *Clases*: Representan conceptos tomados en su sentido más amplio. Por ejemplo: en el dominio de los viajes, los conceptos que tendríamos serían: lugares, alojamientos y medios de transporte.
 - ▶ *Relaciones*: Representan un tipo de asociación entre los conceptos del dominio y se definen como cualquier subconjunto de un producto de n conjuntos.
 - ▶ *Axiomas*: Sirven para modelizar afirmaciones que son siempre ciertas. En ontologías se utilizan para representar conocimiento que no puede definir formalmente a través de otros componentes.

Sistemas Basados en Modelos Probabilísticos

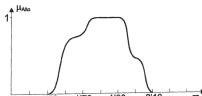
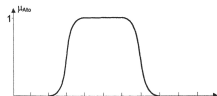
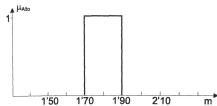
- ▶ El conocimiento humano está formado por afirmaciones y reglas que no siempre son totalmente ciertas.
- ▶ Los sistemas probabilísticos permiten modelar y tratar el conocimiento incierto utilizando probabilidades.
- ▶ La teoría de la probabilidad permite establecer un grado de creencia (entre 0 y 1) sobre cada oración, valor que resume toda la incertidumbre derivada de nuestra ignorancia en el contexto en que ésta se afirma.
 - ▶ Asignar probabilidad 0 a una oración significa que creemos que la oración es falsa.
 - ▶ Asignar una probabilidad 1 significaría que la creemos totalmente cierta.
 - ▶ Lo normal será que a priori se establezcan valores intermedios.

Sistemas Basados en Modelos Probabilísticos

- ▶ Los modelos gráficos son una fusión entre la *teoría de la probabilidad* y la *teoría de grafos*.
- ▶ Proporcionan una herramienta de representación del conocimiento incierto y complejo.
- ▶ De entre todos los modelos existentes, tal vez el más usado sea el de las *Redes Bayesianas*.
 - ▶ Son grafos dirigidos acíclicos que permiten representar de un modo compacto grandes modelos probabilísticos.
- ▶ El teorema más importante de todos los que constituyen la base de los motores de inferencia de los sistemas inteligentes probabilísticos es la *Regla de Bayes*.

Conjuntos Borrosos

- ▶ Tradicionalmente las ciencias formales han restringido el uso del lenguaje natural a predicados *precisos*, quedando excluidos de toda consideración aquellos del tipo: *alto*, *bajo*, *grande*, *pequeño*,..., que son considerados *vagos*.
- ▶ Si bien un predicado preciso tiene asociada una función de pertenencia de tipo $[0, 1]$, un predicado vago tiene asociado una función de pertenencia cuya forma debe representar adecuadamente el significado que proporciona al mismo.



Razonamiento por defecto

- ▶ Cuando razonamos sobre un objeto sobre el que nos falta información, usamos los valores por defecto de su categoría.
- ▶ Puede ocurrir que, al conocer nuevos datos sobre el objeto, los razonamientos anteriores se vuelvan falsos.
- ▶ El proceso de razonamiento se vuelve **no monótono**.
 - ▶ Lógica monótona: Aquella en la que lo que es cierto, se mantiene cierto cuando añadimos nuevo conocimiento.
 - ▶ La Lógica, en general es monótona, pero existen formalismos (lógicas no monótonas) que permiten capturar el comportamiento antes descrito.

Sistemas de mantenimiento de verdad

- ▶ Cuando se incorpora conocimiento nuevo a un agente, debe revisar sus *creencias*, reemplazando los razonamientos por defecto que se hayan visto afectados.
 - ▶ Es una tarea compleja.
 - ▶ A menudo se resuelve anotando una justificación a cada sentencia de la base de conocimiento que haya sido inferida.
 - ▶ Cuando se *retracta* un hecho de la base de conocimiento, se eliminan todas las sentencias inferidas que tuvieran ese hecho en su justificación.
 - ▶ Los **Sistemas de Mantenimiento de Verdad** (SVM) están diseñados para realizar estas operaciones de manera eficiente.

Resumen

- ▶ La representación de conocimiento a gran escala necesita una ontología de propósito general para organizar y unir dominios de conocimiento específicos.
- ▶ Una ontología de propósito general debería abarcar una amplia gama de conocimiento. Debería poder manejar cualquier dominio.
- ▶ Ontologías basadas en categorías y cálculo de eventos.
- ▶ Estructuración de objetos, espacio y tiempo, cambio, procesos, sustancias y creencias.
- ▶ Representación de acciones, eventos y tiempo con cálculo de situaciones y cálculo de eventos.
- ▶ Representación del conocimiento con redes semánticas, lógica descriptiva, información por defecto y sistemas de mantenimiento de verdad.