

# Introducción a los Agentes y Sistemas Multiagente

**César Llamas Bello**  
**Departamento de Informática**  
**Universidad de Valladolid**  
`cllamas@infor.uva.es`  
**24 de julio de 2000**



**Agentes y ...**

**Sistemas  
Multiagente**

# Contenidos

1. Introducción a los agentes.
  - (a) Arquitecturas de agentes.
  - (b) Arquitecturas de sistemas de agentes.
  - (c) Agentes en Ingeniería del Software
  - (d) Agentes software
2. Sistemas Multiagente.
  - (a) Características de la agencia.
  - (b) Knowledge Sharing Effort
3. Conclusión.

# Agente

*Agente*: proceso computacional (a) autónomo, (b) con iniciativa y capacidad de explorar y modificar su entorno y (c) posibilidad de comunicarse con otros agentes.

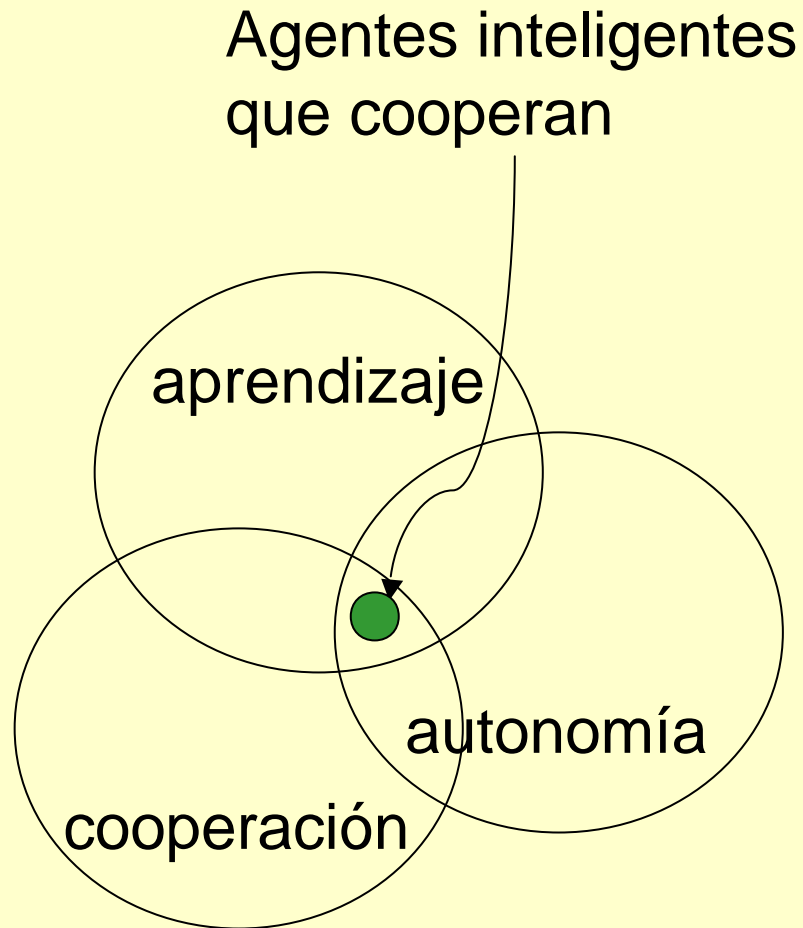
Capacidades deseables:

- cooperación,
- aprendizaje,
- racionalidad,
- benevolencia ...

# Antecedentes de los sistemas basados en agentes

- Filosofía
- Sociología
- Economía
- Informática
  - Inteligencia artificial
  - Computación orientada al objeto
  - Sistemas distribuidos

# Capacidades en los agentes

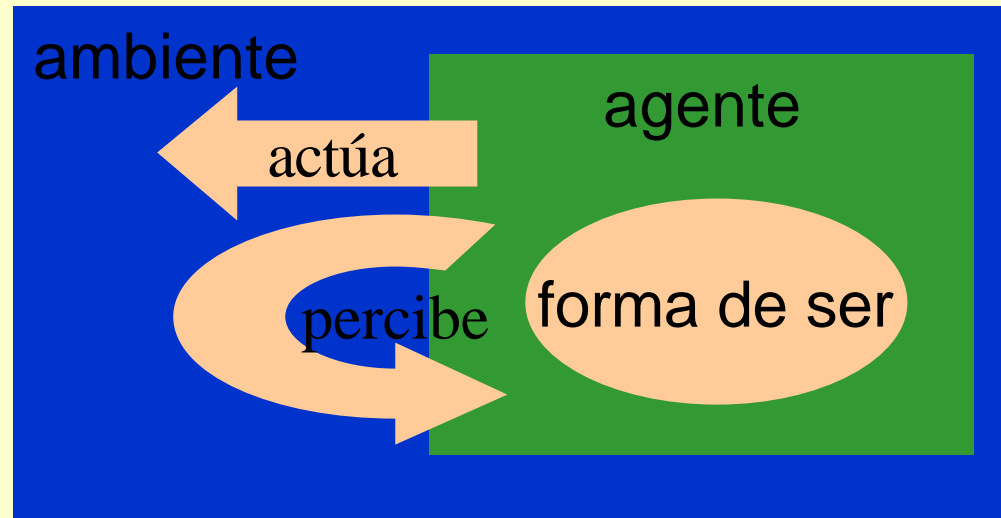


- Ejemplos de agentes muy dispares:
  - sensor de temperatura.
  - planificador de la trayectoria de un vehículo.

# Para qué sirven los agentes

- Análisis de sistemas reales complejos
  - en Sociología, el comportamiento de una sociedad, ...
  - en Economía, los sistemas de negociación, ...
- Modelado
  - en IA, resolución de problemas complejos por cooperación, ...
  - en SD, la construcción de aplicaciones distribuidas, ...
  - en IS, la construcción de aplicaciones complejas, ...
  - en Prog. Conc., la construcción de aplicaciones concurrentes, ...
- En sí mismos son interesantes.

# Aspecto de los agentes



En función de la naturaleza del agente éste interactúa mediante:

- sensores y actuadores físicos,
- canales de entrada salida, operaciones de lectura y escritura, ...

# Agentes inteligentes

- Autonomía, movilidad, iniciativa, adaptabilidad ¿ $\Rightarrow$ ? inteligencia.
- En IA se persigue estudiar y obtener agentes que exhiban características de la inteligencia humana (McCarthy, Shoham).
- Construimos agentes inteligentes cuando (Russell):
  - describimos su comportamiento y el ambiente mediante “conocimiento”.
  - dispone de iniciativa de explorar el ambiente.
  - incrementa su conocimiento basándose en la experiencia.
  - evalúa la consecución de las metas que se le planteen.

# Agente Racional

La *racionalidad* le permite al agente hacer en cada momento “lo correcto”.

- Lo correcto son las acciones que conducen al mejor desempeño de su misión, descrita en términos de:
  - meta.
  - utilidad.
- para ser racional necesita ser capaz de
  - medir el desempeño de su misión.
  - tener algún criterio de medida.
  - incorporar los resultados como conocimiento nuevo.
- racionalidad  $\neq$  omnisciencia

# Ejemplos de agentes

<i>Agente</i>	<i>Percepciones</i>	<i>Acciones</i>	<i>Metas</i>	<i>Ambiente</i>
Diagnosticador médico	Síntomas, evidencias, respuestas	Preguntas, análisis, tratamientos	Salud, mínima intrusión	Paciente, hospital
Robot clasificador de piezas	Mapas de pixels	Recoger piezas y clasificarlas en cajas	Poner pieza en la caja correcta	Banda transportadora con piezas y cajas
Asistente de correo electrónico	Encabezados y textos de mensajes	Clasificar, borrar, responder correo	Reproducir el comportamiento del usuario	Clientes y servidores de correo, usuario

# Arquitecturas de agentes

Con respecto a la forma de abordar la construcción del agente, puede ser:

- arquitectura reactiva
  - agentes reactivos
  - agente con representación del mundo
- arquitectura deliberativa
  - agentes basados en metas
  - agentes basados en la utilidad

# Arquitectura deliberativa

- Expresa el comportamiento y el ambiente en términos de conocimiento representado simbólicamente.
  - Las decisiones se toman empleando mecanismos deductivos.
    - pattern matching
    - diversas lógicas.
- En estos términos, las componentes del agente se deben representar en términos lógicos.

Un ejemplo exitoso: BDI (Belief, Desire, Intention) (Rao, Georgeff)

- Creencias: modelo del mundo y del resto de agentes.
- Deseos: metas.
- Intenciones: plan de acción.

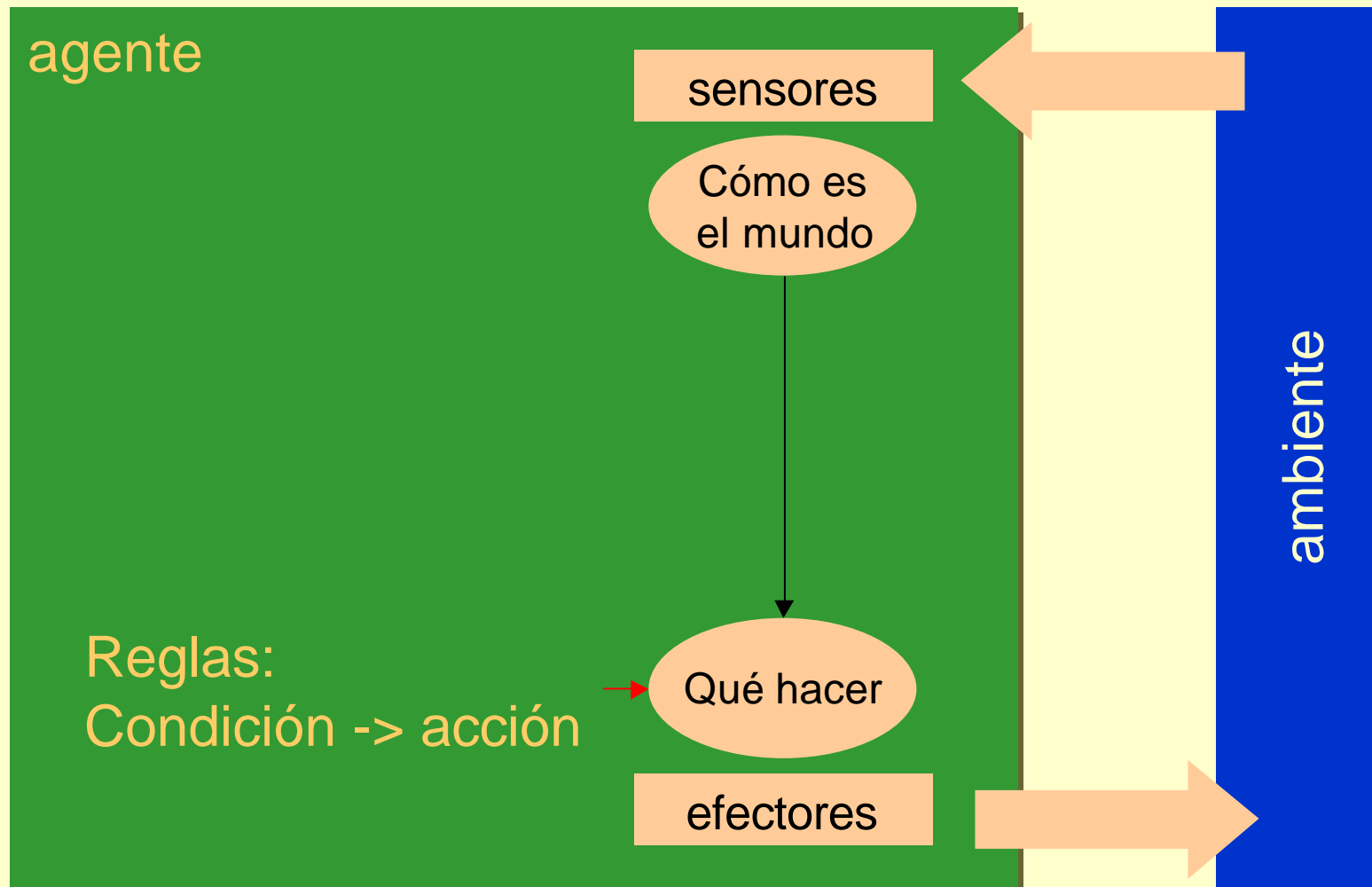
## Arquitectura reactiva

- Un razonamiento explícito sobre los efectos producidos por acciones de bajo nivel es demasiado costoso para producir una conducta en tiempo real. (Suchmann, Rosenschein, Kaebling -1990: autómatas situados)
- El comportamiento inteligente se generará sin tener que usar modelos simbólicos, y emergerá en ciertos sistemas complejos. (Brooks - 1991: arquitectura de subsunción)
  - Estas arquitecturas manejan jerarquías de tareas en función de niveles de abstracción.

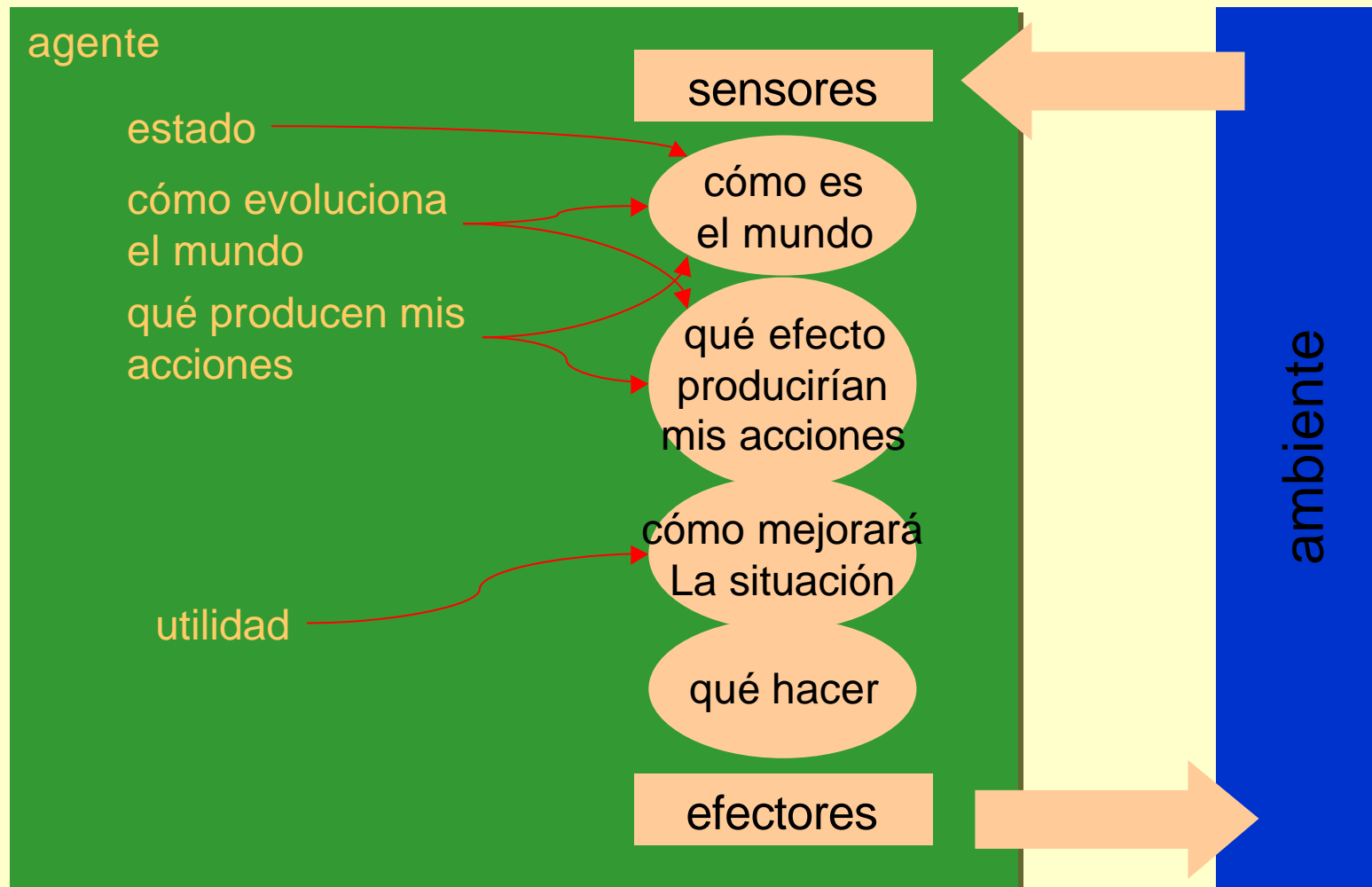
# Arquitecturas híbridas

- Combinan agentes de tipo reactivo y deliberativo.
  - reactivo: reacciona a los eventos del entorno sin invertir razonamiento.
  - deliberativo: planifica (distribuye las metas más simples) y realiza tareas de nivel de abstracción superior.
  - Este tipo de tareas se agrupan típicamente en dos niveles:
    - de manipulación de la información a nivel abstracto. contiene una representación simbólica del ambiente.
    - de comportamiento social y planificación de alto nivel.
- Se organizan:
  - horizontalmente: las capas tienen acceso a sensores y actuadores.
  - verticalmente: una capa actúa de interfaz con sensores y actuadores.

# Agente reactivo sin estado



# Agente dirigido por metas explícitas



- Accesible / inaccesible:
  - ¿Es posible explorar toda la información necesaria?
- Determinista / no determinista:
  - ¿La evolución del entorno se sigue de un cómputo o hay actores que responden de forma no previsible?
- Episódico / no episódico:
  - ¿La acción del agente se produce bajo demanda o el agente ha de ser pro-activo ?
- Estático / dinámico:
  - ¿Cambia el entorno aunque no entre en acción el agente?
- Discreto / continuo:
  - ¿El modelo del ambiente es continuo o discreto (simbólico)?

# Arquitecturas de sistemas de agentes (Ferber)

<i>tipo</i>	<i>aproximación</i>	<i>tipo componente</i>	<i>estructura de subordinación</i>	<i>estructura de Acoplamiento</i>	<i>constitución</i>
<i>Modular horizontal</i>	Funcional horizontal	módulo	Jerárquica	Fija (progresiva)	predefinida
<i>Pizarra</i>	funcional	tarea	jerárquica(meta)		variable predefinida
<i>Subsunción</i>	Funcional vertical	tarea primitiva	jerárquica	fija	predefinida
<i>Tareas competitivas</i>	Funcional vertical	tarea + acciones primitivas	jerárquica (competitiva)	variable	predefinida
<i>Reglas producción</i>	funcional	Regla	jerárquica	evolutiva	predefinida
<i>Conexionista</i>	Funcional vertical	neurona formal	igualitaria	fija (por peso)	predefinida
<i>Sistema dinámico</i>	Funcional vertical	Estímulo/respuesta	igualitaria	fija (progresiva)	emergente
<i>Multiagente</i>	objeto / funcional	Agente	igualitaria	variable	emergente

La tecnología basada en agentes se puede emplear en situaciones donde se observe

- modularidad,
- descentralización,
- mutabilidad,
- dificultades de estructura,
- complejidad,

## Descentralización de los agentes

- Un agente puede ser un ente pro-activo: con iniciativa propia.
  - monitoriza el ambiente
  - ejerce cambios en el ambiente y se comunica con otros agentes.
- Es útil en sistemas donde aparecen procesos autónomos.
- Los sistemas descentralizados permiten mayores tasas de fiabilidad y robustez que los sistemas centralizados

- Los sistemas basados en agentes animan a la reutilización:
  - es posible modificar sistemas basados en agentes sobre la marcha pieza a pieza.
  - ciertos tipos de descentralización desacoplan las dependencias de los agentes.

## Empleo de agentes en sistemas difícilmente estructurables

- En los sistemas donde las relaciones entre los componentes se deciden sobre la marcha.
- Se diseñan agentes, cuyo diálogo se establece a posteriori en función del empleo que se dé.
- Ejemplo: “Electronic Data Interchange” (EDI).
  - un contratante puede actuar como cliente y proveedor en relaciones que pueden involucrar varias partes.
  - el agente es siempre el mismo, cambia el entorno de ejecución.
- El diseño del agente se *puede* hacer pensando en la interacción con el entorno, más que en la interacción con agentes concretos.

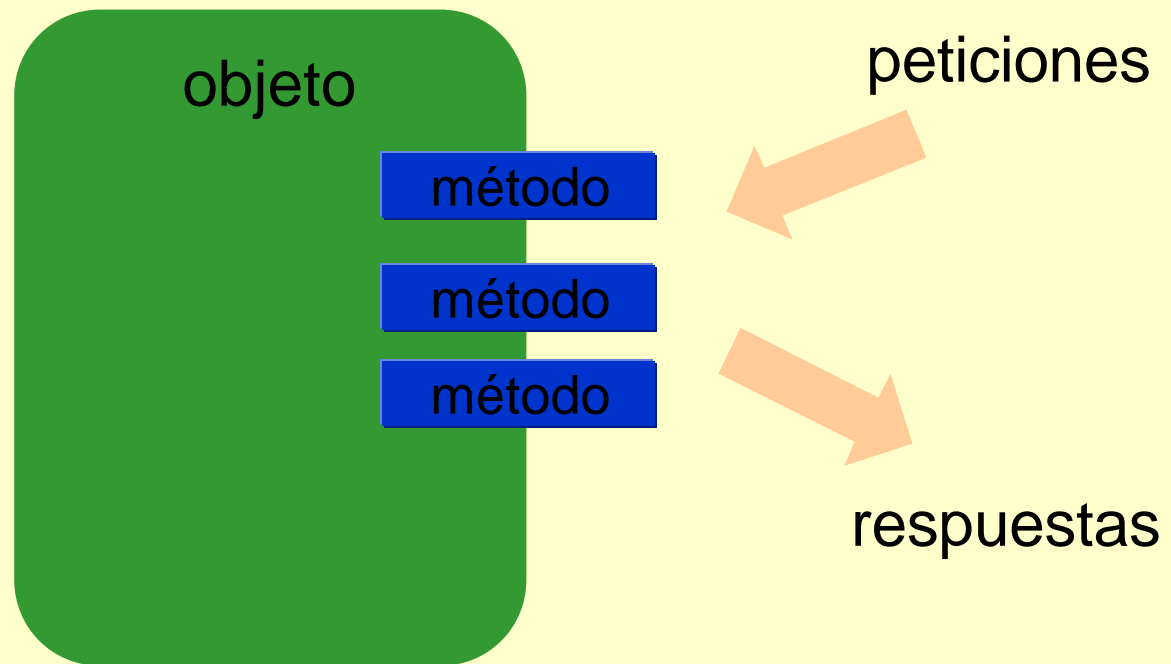
## Agentes para entornos complejos

- Un sistema software que opere en un entorno complejo debe realizar muchas y variadas tareas.
- Ejemplo: “célula de fabricación flexible”
  - existen diversas máquinas cada una de las cuales ofrece varias posibilidades.
  - la fabricación de una pieza involucra varias máquinas en diferentes estados.
  - El número de comportamientos diferentes crece exponencialmente con el número de máquinas disponibles.
- el comportamiento de cada elemento del sistema se puede remplazar por un agente, del que puede haber varios ejemplares.

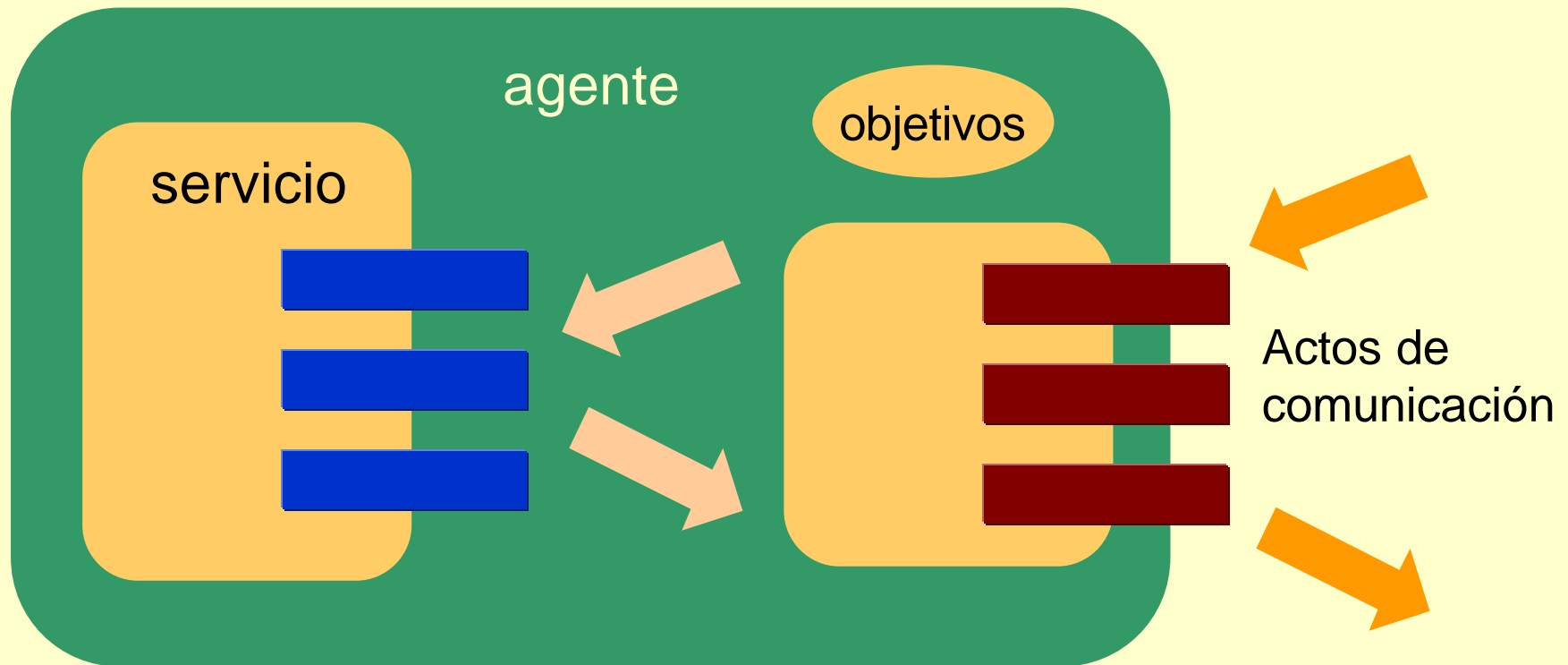
## Agentes y objetos

- Principales conceptos que definen la orientación a objetos:
  - relación clase /instancia;
  - herencia;
  - mecanismo de mensajes → polimorfismo.
- Principales conceptos que definen a un agente
  - autonomía (procesos ejecutándose en paralelo),
  - iniciativa (que utilizan en perseguir metas),
  - mecanismo de comunicación de alto nivel.
- La POA puede considerarse una especialización del paradigma de la POO (Shoham, 1993).
- Un objeto puede considerarse cierto tipo de agente simplificado.

# Agentes y objetos



## Agentes y objetos (ii)



## Modelado orientado a agentes

- Los mecanismos de abstracción del modelado conceptual usual en POO se aplican en POA:
  - clasificación / instanciación,
  - agregación / descomposición,
  - generalización / especialización,
  - agrupación / individualización.
- La POO incorpora su acervo a las futuras metodologías de desarrollo de agentes.

## Agentes software

- En la práctica es posible encontrar, entre otros,
  - Agentes móviles.
  - Agentes de Internet.
  - Agentes de interfaz y asistentes personales.

# Agentes móviles

- Los agentes móviles son agentes con capacidad de migración.
- El agente se sitúa donde radican los datos con el fin de
  - evitar sobrecarga de comunicación,
  - ejecutarse en el contexto apropiado,
  - obtener recursos de los que no se dispone.
- problemas importantes
  - seguridad: ¿hacen lo que dicen que hacen?
  - confidencialidad, autenticación,
  - estandarización:
    - MASIF: Mobile Agent System Interoperability Facility (OMG)
    - FIPA ACL.
  - Plataforma “Grasshopper” (Höft, Magedanz, Quantz)

## Agentes de Internet y mediación

- Especializados en la búsqueda de información en internet.
- Navegan por la red buscando y organizando información (robots de búsqueda).
- También se subscriben en estos términos los agentes de mediación (middleware), que cumplen misiones de facilitación
  - rutadores,
  - tablonés de anuncios,
  - Brokers
- y también, de mediación para proporcionar acceso uniforme a recursos diversos.
- Un uso posible es proporcionar acceso uniforme a bases de datos variadas.

## Agentes de interfaz y asistentes personales

- Son agentes flexibles que exhiben capacidades de adaptación al medio.
  - liberan al usuario de tareas repetitivas habituales.
  - se basan en la idea de delegación.
- Pueden actuar por iniciativa propia en lugar del usuario.
- Se aplican con éxito en
  - despacho de correo electrónico
  - interfaces con gran cantidad de información: bolsa, salas de control, salas de emergencia
  - asistentes de planificación de agendas, agendas compartidas, etc.

# Sistema Multiagente

- *Sistema Multiagente (MAS)*: conjunto de agentes autónomos, generalmente heterogéneos y potencialmente independientes, que *trabajan en común resolviendo un problema*.
- Características de estos agentes, vinculado con la noción de agente inteligente
  - capaz de tomar la iniciativa,
  - capaz de compartir conocimiento,
  - capaz de cooperar y negociar,
  - capaz de comprometerse con metas comunes.
- El estudio de MAS se encuadra dentro de la Inteligencia Artificial Distribuida (DAI).

Rama de la IA que estudia la solución de problemas mediante procesamiento descentralizado.

- Resolución distribuida de problemas (DPS):  
Se descompone el problema en procesos cooperantes que comparte conocimiento, para un problema concreto.
- MAS
- Inteligencia Artificial Paralela (PAI):  
Desarrollo de algoritmos y aplicaciones paralelas, con énfasis en prestaciones.

# Agentes Inteligentes vs. Agentes no Inteligentes

- Agentes no inteligentes:
  - Ausencia de estructura social entre agentes: interacción predefinida.
  - Universo estable, predecible y observable.
  - Consecuencia: sistemas poco flexibles frente a entornos cambiantes.
- Agentes inteligentes:
  - Actúan en entornos cambiantes, inciertos e impredecibles.
  - Actúan con conocimiento incompleto.
  - Pueden cooperar para resolver problemas más complejos.

## Sociedad humana: modelo de agencia

- La sociedad humana es un modelo útil para obtener MAS.
  - La mayoría de las actividades humanas relacionadas con el comportamiento inteligente son de carácter social, al menos en origen.
    - El ser humano necesita la sociedad para vivir mejor,
    - está en continua interacción con el resto.
    - La mayor parte del conocimiento es colectivo.
- Los modelos teórico/prácticos de MAS permiten estudiar fenómenos sociales reales.

## Características de la agencia

- En los MAS aparecen conceptos de gran interes
  - actividades conjuntas y cooperación;
  - conflictos, cómo se resuelven;
  - negociación;
  - compromisos y planificación de actividades;
  - modelo del conocimiento, y su comunicación.

*Cooperación*: es el proceso por el que ciertos agentes participantes generan deberes mutuamente dependientes en actividades conjuntas (planes).

1. Se recibe un problema en cierto nivel de abstracción.
2. El agente resuelve localmente aquello que es posible.
3. Recurre a otros agentes del mismo nivel para el resto de las tareas.
4. Recurre a otros niveles de abstracción para el resto de las tareas.

# Conflictos

- Los conflictos surgen cuando al resolver un problema hay una o varias de las siguientes circunstancias
  - el conocimiento local es incorrecto o incompleto,
  - coexisten metas diferentes y divergen en algún momento,
  - hay diferentes criterios de evaluación de soluciones,
  - los recursos están limitados.
- Aspecto positivo
  - se intercambia información → mejora la robustez e integración
  - se llega a soluciones globalmente óptimas.
- Los conflictos se resuelven o evitan mediante mecanismos de
  - prevención y evitación,
  - sistemas de pizarra,
  - negociación.

# Negociación

- La negociación se resuelve en un *plan común*; que es *óptimo* cuando se da una situación de paridad conjunta.
- Negociación estricta:
  - negociación de un plan común;
  - ejecución estricta del plan.
- Negociación generalizada:
  - entrelazamiento de negociación y ejecución.
- Existen esquemas conocidos de negociación y relajación de metas (Zlotkin y Rosenschein, 1990).
- Existen mecanismos de arbitraje bien conocidos (Lesser -1988, Durfee, Sycara -1989).

## Proceso de negociación

- El proceso de negociación es *iterativo*
  - los agentes afectados ofrecen propuestas o posturas
  - ninguna de estas propuestas es más exigente que la anterior
- La negociación finaliza cuando
  - hay acuerdo: se crea un plan conjunto.
  - hay interbloqueo: no hay acuerdo y se requiere otro procedimiento de solución o negociación.
  - se produce una apelación: un agente coordinador puede modificar metas o relajar las restricciones.

## Compromisos

- Los compromisos forman un conjunto de restricciones sobre las acciones y creencias de cada agente.
- Se representan mediante conocimiento compartido y local de cada agente con respecto al resto.
  - Dan forma a la noción de agencia:
    - son el fundamento de la cooperación, negociación, y planes y metas conjuntas;
    - cohesionan la agencia.
  - Alternativas:
    - Compromiso como elección individual, temporal y local.
    - Compromiso como noción distribuida o social.

## Interacciones entre agentes

- Las interacciones en sistemas MAS obedecen a la coexistencia de planes elaborados, preferentemente, de forma distribuida.
  - Generación de operaciones candidatas,
  - selección,
  - relevancia en la obtención del resultado,
  - ejecución.
- Categorías de planificación:
  - Planificación clásica,
  - planificación reactiva,
  - sistemas combinados,
  - planificación distribuida.
- El modelo PGP (Partial Global Planning) aborda el problema de la planificación distribuida (Lesser, Durfee).

## Compartición de conocimiento

Requisitos para lograr la compartición y comunicación de conocimiento:

- Modelo de representación del conocimiento común.
  - incluye lenguaje de representación de conocimiento común (→ lenguaje de representación de conocimiento)
- Representación de conocimiento común (→ ontologías)
- Lenguaje de comunicación común (→ lenguaje de comunicación entre agentes)
- Un esfuerzo en este sentido es el de FIPA (Foundation for Intelligent Physical Abstracts -CE), así como KSE (Knowledge Sharing Effort -ARPA), entre otros.

## Knowledge Sharing Effort

- Interlingua: Lenguaje común para expresar el contenido de una base de conocimiento KIF (Knowledge Ingerchange Formalism).
- KRSS (Knowledge Representation System Specification): Definición de estructuras comunes en las familias de lenguajes de representación
- SRKB (Shared, Reusable Knowledge Bases): Facilita el consenso sobre contenidos de bases de conocimiento compartibles (metodologías y herramientas).
- External Interfaces: Interacciones entre sistemas basados en conocimiento KQML (Knowledge Query and Manipulation Language).
- <http://www.cs.umbc.edu/kse>

## Formalismo de representación de conocimiento – KIF

KIF facilita un *iterlingua* entre bases de conocimiento.

- Es una versión prefija del cálculo de predicados de primer orden, con extensiones de soporte para definiciones y razonamiento no monotónico.

- Alternativa a lenguajes especializados: STEP, SQL, OQL, SGML, MSEC.

- existen traductores desde/hacia KIF y los anteriores.

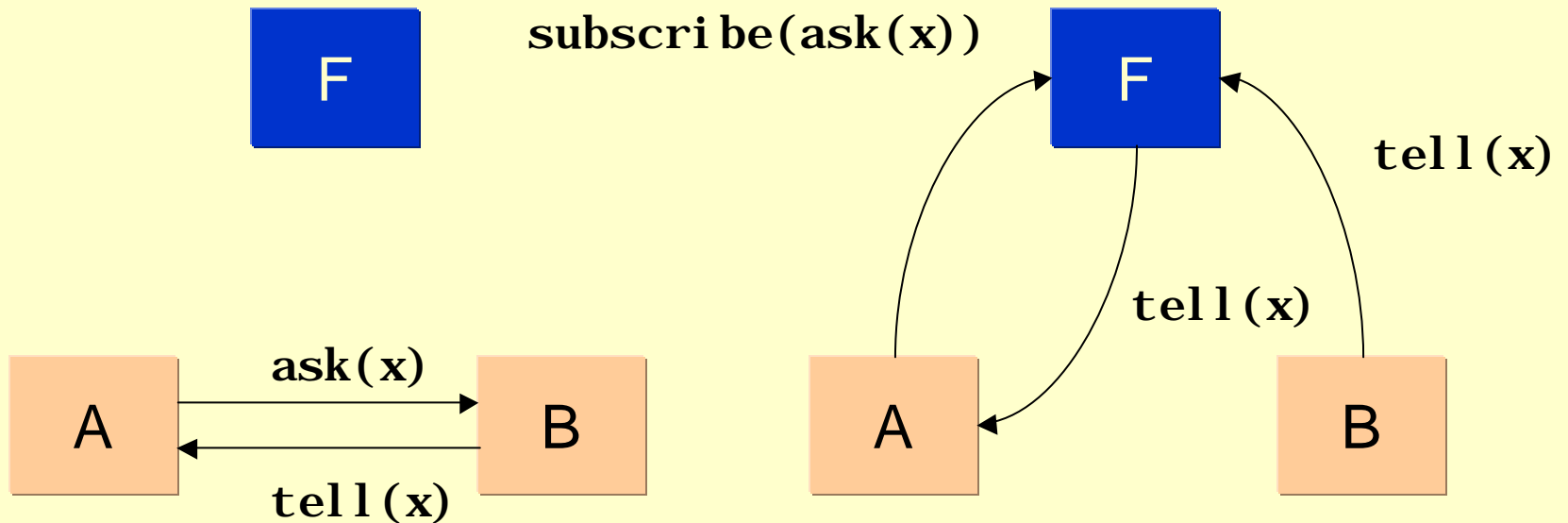
- Semántica con modelo teórico para definir y caracterizar axiomáticamente un vocabulario (objetos, relaciones, funciones).

- Permite expresar conocimiento sobre funciones y relaciones y sobre conocimiento.

- Ejemplo:

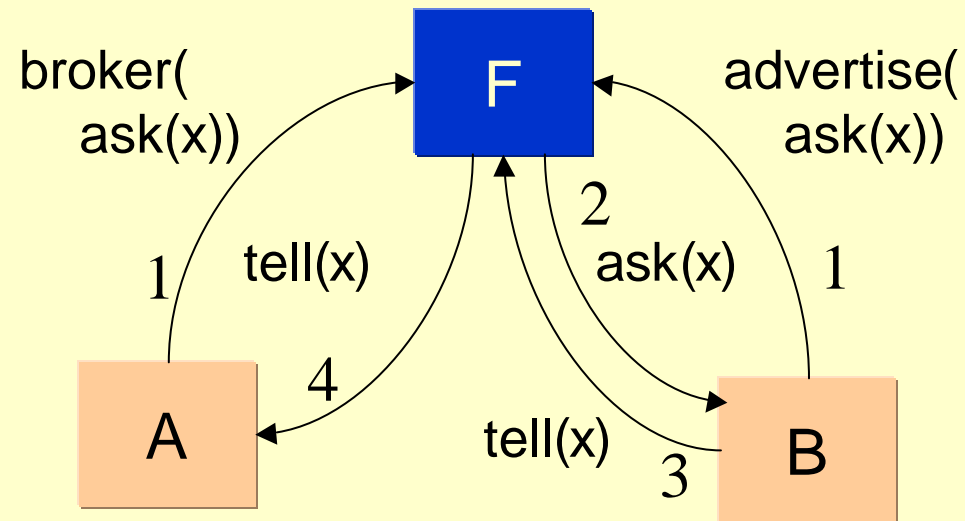
```
(=<=> (transitiva ?r)
      (=> (holds ?r ?x ?y) (holds ?r ?y ?z) (holds ?r ?x ?z)))
```

- KQML es un lenguaje de comunicación entre procesos con construcciones de alto nivel.
- Las primitivas son actos de comunicación con contenido semántico.
    - básicas: **evaluate**, **ask-if**, **ask-one**,...
    - de información general: **tell**, **achieve**, **cancel**, ...
    - de definición de capacidades: **advertise**, **subscribe**, **monitor**, **import**, ...
    - de red: **register**, **forward**, **broadcast**, ...
    - ...
  - KQML no define el formato de la información que se envía.



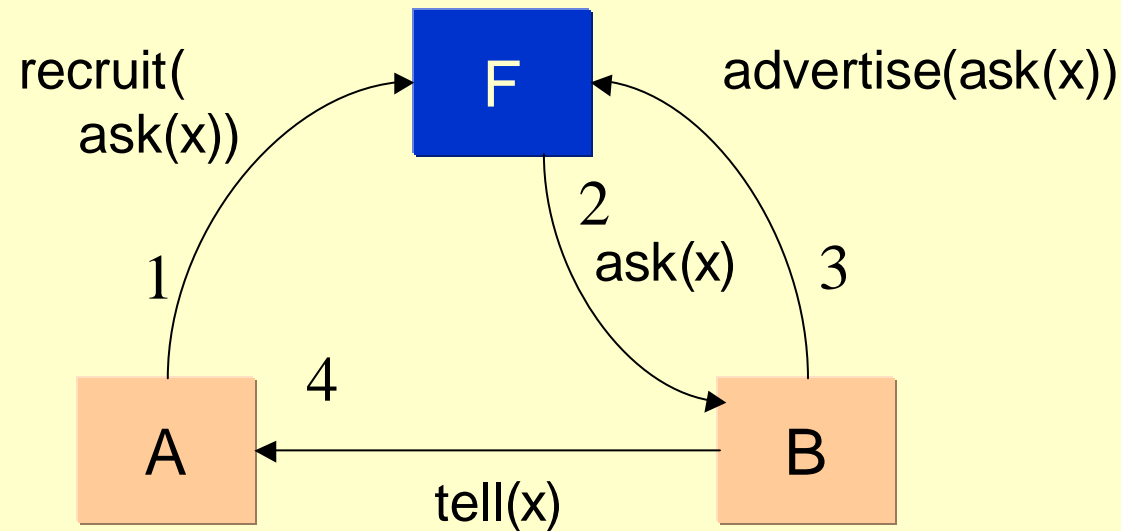
Ejemplo de agente facilitador (F) actuando como monitor de una base de conocimiento.

## KQML (ii)



- Ejemplo de agente facilitador (F) actuando como broker (rutando la información)

## KQML (iii)



- Ejemplo de agente facilitador (F) actuando como reclutador (poniendo en contacto)

# KQML (iv)

(subscribe :content (stream-all: content (PRECIO IBM ?precio)))

- pide se tenga al día de los futuros cambios a la consulta

(monitor :content (PRECIO IBM ?precio))

- es una abreviatura de lo anterior

(advertise :ontology NYSE-TICS  
:language LPROLOG  
:content (monitor  
:content (PRECIO ?x ?y)))

- mensaje concerniente a aspectos pragmáticos del protocolo del mensaje anterior.