

# Sistemas Multi-Agente

## Agencia

Dr. Alejandro Guerra-Hernández

**Instituto de Investigaciones en Inteligencia Artificial**  
Universidad Veracruzana

*Campus Sur, Calle Paseo Lote II, Sección Segunda No 112,  
Nuevo Xalapa, Xalapa, Ver., México 91097*

<mailto:aguerra@uv.mx>  
<https://www.uv.mx/personal/aguerra/sma>

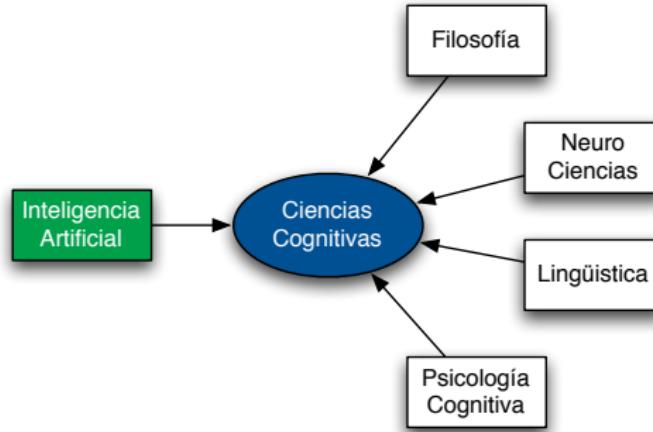
Maestría en Inteligencia Artificial 2025



Universidad Veracruzana

# La IA como una Ciencia Cognitiva

- ▶ La Inteligencia Artificial (IA) tiene como objetivo el estudio de las **entidades inteligentes**.



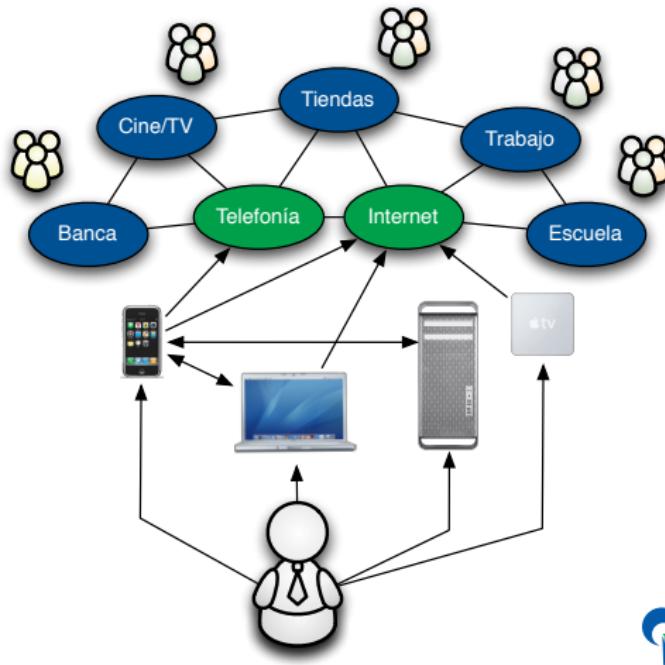
- ▶ *Modus operandi:* La construcción de **agentes racionales** [11].



Universidad Veracruzana

# La IA como Ingeniería

- ▶ Ubicuidad
- ▶ Interconexión
- ▶ Inteligencia
- ▶ Delegación
- ▶ Homocentrismo



Universidad Veracruzana

# Agencia y Filosofía

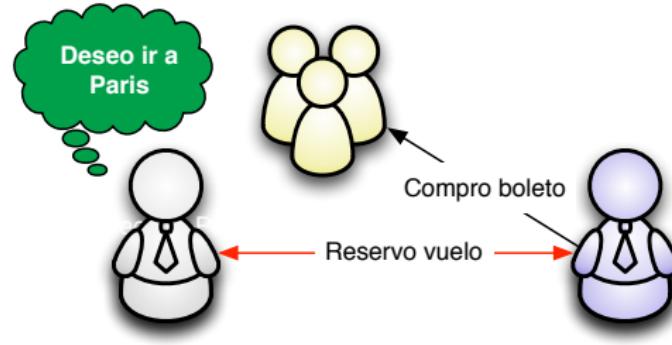
- ▶ Desde Aristóteles [2], los filósofos usan el término **agente** para referirse a una entidad que **actúa** con un **propósito** dentro de un **contexto social**.



Universidad Veracruzana

# Agencia, Derecho y Economía

- ▶ Desde el derecho romano, un **agente** es la persona que actúa en beneficio de otra con un propósito específico, bajo **delegación** limitada de autoridad y responsabilidad.
- ▶ Esta noción se usa ampliamente en economía [9].



Universidad Veracruzana

# Agencia e Inteligencia Artificial

## ► Definición consensual de agente:

« Un agente es un **sistema computacional** capaz de **actuar** de manera **autónoma** para satisfacer sus **objetivos y metas**, mientras se encuentra situado persistentemente en su **medio ambiente**. »

Wooldridge y Jennings [14], Russell y Norvig [11]



Universidad Veracruzana

# Ventajas de esta definición

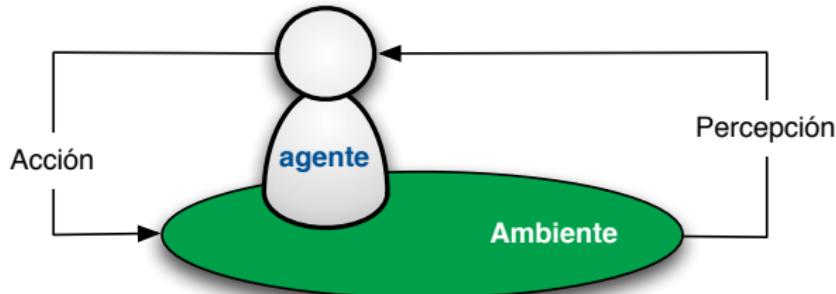
- ▶ Considera las facultades cognitivas de los agentes al servicio de encontrar **cómo hacer lo correcto**.
- ▶ Considera **diferentes tipos de agente**.
- ▶ Considera **diferentes especificaciones sobre los sub-sistemas** que componen los agentes.



Universidad Veracruzana

# Abstracción de un agente

- ▶ Se centra en la **interacción** entre el agente y su ambiente.



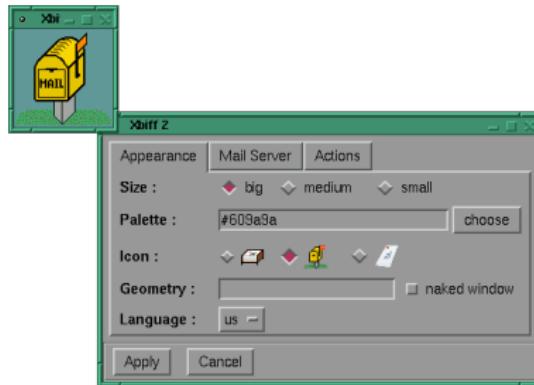
- ▶ La **decisión** del agente dependerá de su **conocimiento** y la **secuencia de percepciones** recibida al momento de tomar la decisión.
- ▶ Una **función agente** mapea secuencias de percepciones a acciones.
- ▶ Su implementación es lo que llamamos **programa agente**.



Universidad Veracruzana

# Ejemplo de agente: xbiiff

- ▶ Tiene el **propósito** de avisarme si tengo correo nuevo, sube o baja la bandera del buzón.



- ▶ Satisface cabalmente la abstracción presentada, pero...
- ▶ Todo artefacto resultado de una **ingeniería** lo hace. Otro ejemplo raro: el apagador de luz.



Universidad Veracruzana

# Racionalidad: Do the right thing

- ▶ Un **agente racional** es aquel que **hace lo correcto**.
- ▶ Una primera aproximación: Una acción correcta causa que el agente tenga un mayor **éxito**.
- ▶ En filosofía moral es lo que llamamos **consecuencialismo** [1].
- ▶ Esto reduce el problema de la racionalidad a definir **cómo** se debe evaluar el éxito del agente.
- ▶ Con una **medida de desempeño**.
- ▶ Ventajas: No hay que definir inteligencia.



Universidad Veracruzana

# Medida de desempeño

- ▶ Una medida de desempeño es una función que mapea secuencias de estados del ambiente a un valor numérico.
- ▶ El valor refleja el criterio usado para determinar el éxito de un agente.
- ▶ Debe reflejar qué queremos que el agente logre en el ambiente; y no cómo queremos que se haga.
- ▶ En el caso de los agentes artificiales, tal preferencia es definida por el diseñador o el usuario del agente. Por lo tanto:
  - ▶ Puede verse como impuesta por una forma de autoridad.
  - ▶ Es preferible que sea objetiva.
  - ▶ Bajo ninguna circunstancia, el agente puede manipular tal criterio.
- ▶ Problema: Rey Midas.



# Ejemplo de medida de desempeño

- ▶ La medida de desempeño para xbiff podría ser:

$$md(R) = \frac{notificaciones(R)}{mensajesRecibidos(R)} \quad (1)$$



Universidad Veracruzana

# Exito esperado

- ▶ La racionalidad de un agente se define, en términos más precisos, en relación con el **éxito esperado** dado lo que el agente ha **percibido**.
- ▶ No podemos exigir a un agente que tome en cuenta lo que no ha percibido, o haga lo que sus efectores no pueden hacer.



Universidad Veracruzana

# Factores de racionalidad

- ▶ Lo que es racional en un momento dado depende de:
  - ▶ La medida de desempeño que define el criterio de éxito o fracaso.
  - ▶ El conocimiento previo que el agente tiene de su ambiente.
  - ▶ Las acciones que el agente puede llevar a cabo.
  - ▶ La secuencia de percepciones del agente ha recibido hasta ese momento.



Universidad Veracruzana

# Agente racional

- ▶ Para cada posible secuencia de percepciones, un **agente racional** debe seleccionar una acción que se espera **maximice la medida de desempeño**, dada la evidencia provista por la secuencia de percepciones recibida por el agente y el conocimiento que pueda tener sobre su ambiente [11].



Universidad Veracruzana

# Agente ideal

- ▶ Es aquel que para toda secuencia de percepciones posible, selecciona y ejecuta una acción que se espera **maximice** la medida de desempeño, con base en la información que proveen su percepción y conocimiento sobre el ambiente.
- ▶ Es posible describir un agente por medio de un **mapeo** percepción-acción.
- ▶ Un **mapeo ideal** describe un agente ideal.



## Ejemplo: mapeo ideal para xbiff

- En el caso de xbiff la función ideal es muy sencilla. Si biff avisa que llegó un mensaje nuevo, desplegar el ícono de mensaje nuevo; en cualquier otro caso, desplegar el ícono de mensajes leídos:

$$selAcc(Per \leftarrow check()) = \begin{cases} set() & \text{Si Per} = \text{true} \\ unset() & \text{En cualquier otro caso} \end{cases}$$

donde: *check()* es una acción de xbiff que regresa *true* si hay un mensaje nuevo en el buzón; *set()* es la acción que sube la bandera en la interfaz; y *unset()* la baja.



Universidad Veracruzana

# No todo el que actua es inteligente

- ▶ Independientemente de la implementación usada para construir a xbiff, **no resulta natural** identificar a los daemons de UNIX como agentes; y menos aún como agentes inteligentes.
- ▶ Otro infame ejemplo: el apagador de luz.



Universidad Veracruzana

# Comportamiento autónomo y flexible

- ▶ **Reactividad.** Capacidad de percibir el medio ambiente y responder a tiempo a los cambios en él, a través de acciones.
- ▶ **Iniciativa.** Capacidad de exhibir un comportamiento orientado por sus metas, tomando la iniciativa para satisfacer sus objetivos de diseño (*pro-activeness*).
- ▶ **Sociabilidad.** Capacidad de interaccionar con otros agentes, posiblemente tan complejos como los seres humanos, con miras a la satisfacción de sus objetivos.



Universidad Veracruzana

# Autonomía en detalle I

- ▶ Según Covrigaru y Lindsay [5], un agente es percibido como autónomo en la medida que:
  - ▶ Comportamiento **orientado por sus metas** y capacidad de **seleccionar** que meta va a procesar a cada instante.
  - ▶ Activo en un **período** relativamente mayor al necesario para satisfacer sus metas.
  - ▶ Es lo suficientemente **robusto** como para seguir siendo viable a pesar de los cambios en el ambiente.
  - ▶ Interacción con su ambiente en la modalidad de **procesamiento de información**.
  - ▶ **Variedad de respuestas**, incluyendo movimientos de adaptación fluidos; y su atención a los estímulos es **selectiva**.



# Autonomía en detalle II

- ▶ Ninguna de sus funciones, acciones o decisiones, está totalmente **gobernada** por un agente externo.
- ▶ No necesita ser programado nuevamente por un **agente externo**.



Universidad Veracruzana

# Autonomía y sociedad

- ▶ En economía política se conocen como **bienes primarios**, a aquellos que son medios necesarios para que el agente tenga mayor éxito para satisfacer sus “intenciones” y avanzar en su plan de vida a largo término.
- ▶ Es necesaria una pluralidad de tales bienes para configurar lo que él llama **contexto de elección**. Esta pluralidad es posible únicamente si el agente tiene una relación cercana con su ambiente **social y cultural**.
- ▶ En el contexto de Inteligencia Artificial, Newell [10] no ofrece argumentos similares.



Universidad Veracruzana

# Metas y autonomía

- ▶ Ser autónomo, depende no sólo de la habilidad para seleccionar metas u objetivos de entre un conjunto de ellos, ni de la habilidad de formularse nuevas metas, sino de tener el **tipo adecuado** de metas.
- ▶ Los agentes artificiales son usualmente diseñados para llevar a cabo tareas por nosotros, de forma que debemos **comunicarles** que es lo que esperamos que hagan.
- ▶ Las **metas** y las **funciones de utilidad** son dos maneras de indicarle a un agente lo que hacer, sin decirle cómo hacerlo.



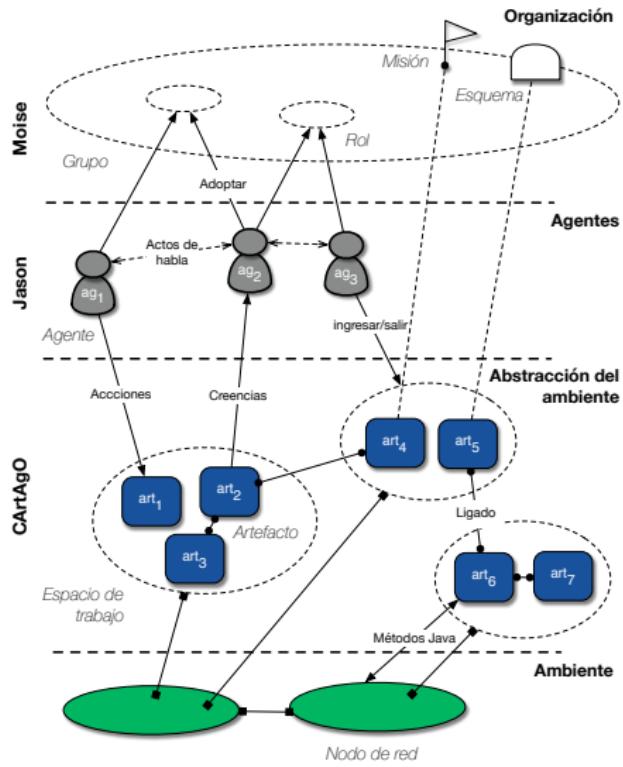
Universidad Veracruzana

# ¿Real o virtual?

- ▶ Por **ambiente**, entendemos el espacio donde un agente, o un grupo de ellos, se encuentra situado.
- ▶ Brooks [3] argumenta que el medio ambiente por excelencia es el **mundo real**, y en su propuesta todo agente toma una forma **robótica**.
- ▶ Etzioni [6] considera que no es necesario que los agentes tengan implementaciones robóticas, e.g., **softbots**, porque los ambientes **virtuales**, como los sistemas operativos y el web, son igualmente válidos que el mundo real.



# Tercer vía: Agentes, Artefactos y Organizaciones



# Propiedades de los Artefactos

- ▶ Constituyen **herramientas** que los agentes pueden usar para percibir y actuar en su medio ambiente.
- ▶ Se implementan como **objetos reactivos**, más no autónomos, ni pro-activos.
- ▶ Encapsulan los **sensores** y **actuadores** a disposición de los agentes.
- ▶ Se pueden **conectar** unos con otros para obtener funcionalidades más complejas.
- ▶ Se organizan en **espacios de trabajo** que proveen una noción de sitio o localidad.
- ▶ Como **meta-modelo** pueden aproximar tanto ambientes reales, como virtuales.



# Descripción PEAS

- ▶ Russell y Norvig [11] proponen una especificación de **ambientes de tareas**, conocida como **PEAS** por sus siglas en inglés (*Performance, Environment, Actuators, Sensors*).
- ▶ Ejemplo:

| Agente | Desempeño   | Ambiente                               | Actuadores  | Sensores  |
|--------|---|--|---|---|
| taxi   | seguridad, velocidad<br>legal, comodidad<br>ganancias | caminos, tráfico<br>peatones, clientes | volante, acelerador<br>freno, direccional<br>claxon, pantalla | cámaras, sonar<br>velocímetro, GPS<br>acelerómetro, teclado |
|        |   |  |   |   |

- ▶ Un ambiente de tareas puede ser visto como el **problema** para el que un agente es la **solución**.



# Percepción

**Observable.** Los sensores pueden percibir el estado **completo** del ambiente. **Ej.** Los juegos formales: ajedrez, damas, backgammon, etc.

**Eficazmente observable.** Los aspectos **relevantes** del ambiente pueden ser percibidos. La relevancia depende de la función de desempeño.

**Parcialmente observable.** Lo anterior no es posible. **Ej.** Algunos juegos de cartas como el poker, la calle donde manejamos.

**Inobservable.** No hay sensores para contender con su entorno de trabajo.



# Número de Agentes e interacciones

**Monoagente.** Un agente resuelve la tarea en el entorno de trabajo, o lo hacen varios sin interactuar.

**Multiagente.** El caso contrario al anterior.

**Competitivo.** Un SMA con interacciones negativas. Ej. Los juegos con contrincante, el estacionamiento.

**Colaborativos.** Un SMA con interacciones positivas. Ej. El aprendizaje social.



# Actuación

**Determinista.** El próximo estado depende exclusivamente del **estado actual** y de la **acción** que se ejecute. **Ej.** Los juegos formales.

**Estocástico.** Otros factores influyen en el próximo estado del ambiente. **Ej.** Los entornos parcialmente observables parecen estocásticos.

**Incierto.** Se dice de los ambientes estocásticos o parcialmente observables.

**No determinista.** Los actuadores se caracterizan en términos de sus **posibles resultados**, pero ninguna probabilidad es asociada a ellos.

**Estratégico.** El entorno solo depende de lo que haga el **contrincante**.



# Desempeño

**Episódico.** El desempeño del agente y/o sus acciones, se evalúan en rondas. La calidad de una acción en una ronda, no depende de las rondas previas.

**Secuencial.** El caso contrario.



Universidad Veracruzana

# Cambio

Dinámico. El ambiente puede **cambiar mientras** el agente se encuentra deliberando.

Estático. El caso contrario.

Semi-dinámico. El ambiente no cambia, pero las acciones tienen **peor desempeño** conforme pasa el tiempo. Ej. Perforación petrolera.



# Discretización

- ▶ Estas propiedades aplican a los **estados** de un ambiente, a la forma en que se registra el **tiempo**, y a las percepciones y acciones en general:

**Discreto.** Se considera un **número limitado de posibles estados**, distintos y claramente definidos.

**Continuo.** El caso contrario.



Universidad Veracruzana

# Conocimiento

- ▶ Se refiere más a si el agente (o su diseñador) conoce el ambiente y su dinámica:

**Conocido.** Las salidas de todas las acciones (o sus probabilidades) están definidas.

**Desconocido.** El caso contrario. El agente tiene que descubrir la dinámica del ambiente.



Universidad Veracruzana

# Representación

- Atómica.** Cada estado del ambiente es **indivisible** –No tiene estructura interna. Ej. Búsquedas, Modelos de Markov, Aprendizaje por refuerzo.
- Factorizada.** Los estados se definen en términos de un conjunto de **variables** o **atributos**, cada uno de los cuales toma un **valor**. Ej. Satisfacción de restricciones, lógica proposicional, planeación, redes bayesianas, aprendizaje supervisado.
- Estructurada.** El ambiente se concibe como compuesto por **objetos** que están **relacionados** entre ellos. Ej. Bases de datos relacionales, lógica de primer orden, modelos probabilistas de primer orden, aprendizaje basado en conocimiento y comprensión del lenguaje natural.



# Diferentes ambientes

| Ambiente          | Observ.  | Determ.     | Episódico | Estático | Discreto | SMA   |
|-------------------|----------|-------------|-----------|----------|----------|-------|
| Crucigrama        | si       | si          | no        | si       | si       | mono  |
| Ajedrez con reloj | si       | estratégico | no        | semi     | si       | multi |
| Backgammon        | si       | estocástico | no        | si       | si       | multi |
| Poker             | parcial  | estocástico | no        | si       | si       | multi |
| Tutor inglés      | parcial  | estocástico | no        | no       | si       | multi |
| Brazo robótico    | efectivo | estocástico | si        | no       | no       | mono  |
| Control refinería | parcial  | estocástico | no        | no       | no       | mono  |
| Robot navegador   | parcial  | estocástico | no        | no       | no       | mono  |
| Análisis imágenes | si       | si          | si        | semi     | no       | mono  |
| Manejo de autos   | parcial  | estocástico | no        | no       | no       | multi |
| Diagnóstico       | parcial  | estocástico | no        | no       | no       | mono  |



# Arquitectura abstracta de Wooldridge [13]

- ▶ El **ambiente** puede caracterizarse por medio de un conjunto finito de estados discretos posibles, definido como:

$$E = \{e_0, e_1, \dots\}$$

- ▶ La **competencia** de un agente, se define como el conjunto finito de acciones que éste puede ejecutar:

$$Ac = \{\alpha_0, \alpha_1, \dots\}$$

- ▶ Una **corrida** de un agente en un ambiente se define como una secuencia finita de estados y acciones intercalados:

$$r = e_0 \xrightarrow{\alpha_0} e_1 \xrightarrow{\alpha_1} e_2 \xrightarrow{\alpha_2} e_3 \xrightarrow{\alpha_3} \dots \xrightarrow{\alpha_{u-1}} e_u$$



Universidad Veracruzana

# Corridas

- ▶ Sea  $R$  el conjunto de todas las **posibles** secuencias finitas sobre  $E$  y  $Ac$ .
- ▶  $R^{Ac}$  denota el subconjunto de las corridas que terminan en una **acción**.
- ▶  $R^E$  denota el subconjunto de las corridas que terminan en un **estado**.
- ▶ Para modelar el efecto de una acción en el ambiente, usamos una **función de transición** (ver Fagin et al. [7]):

$$\tau : R^{Ac} \rightarrow \wp(E)$$

- ▶ Si  $\tau(r) = \emptyset$  para todo  $r \in R^{Ac}$ , se dice que el sistema ha **terminado** su corrida.



# Ambiente y Agentes

- ▶ Un **ambiente** se define como una tripleta  $Env = \langle E, e_0, \tau \rangle$  donde  $E$  es el conjunto de los posibles estados del ambiente,  $e_0 \in E$  es un estado inicial y  $\tau$  es la función de transición de estados.
- ▶ Los **agentes** se modelan como funciones que mapean corridas que terminan en un estado del ambiente, a acciones:

$$Ag : R^E \rightarrow Ac$$



Universidad Veracruzana

# Sistema Agente

- ▶ Un **sistema agente** es una tupla conformada por un agente y un ambiente.
- ▶ El conjunto de **posibles corridas** del agente  $Ag$  en el ambiente  $Env$  se denota como  $R(Ag, Env)$ .
- ▶ Una secuencia de  $(e_0, \alpha_0, e_1, \alpha_1, e_2, \dots)$  es una **corrida del agente**  $Ag$  en el ambiente  $Env$ , si y sólo si (ssi)  $Env = \langle E, e_0, \tau \rangle$ ;  $\alpha_0 = Ag(e_0)$ ; y para  $i > 0$ :

$$e_i \in \tau((e_0, \alpha_0, \dots, \alpha_{i-1}))$$

y

$$\alpha_i = Ag((e_0, \alpha_0, \dots, e_i))$$



Universidad Veracruzana

# Programa de agente

```

1: function AGENTE(Per)
2:    $R^E \leftarrow push(Per, R^{Ac})$ 
3:   acción  $\leftarrow Ag(R^E)$ 
4:    $R^{Ac} \leftarrow push(acción, R^E)$ 
5:   return  $R^{Ac}$ 
6: end function

```

- ▷  $Per \in E$  es una percepción.
- ▷  $R^E, R^{Ac} = \emptyset$  inicialmente.
- ▷  $Ag : R^E \rightarrow Ac$  es la función agente.



Universidad Veracruzana

# Programa de ambiente

```

1: procedure AMBIENTE( $e, \tau, Ags, fin$ )            $\triangleright e \in E$  estado inicial.
2:   repeat
3:     for all  $Ag \in Ags$  do
4:        $acción[Ag] \leftarrow Agente(e)$ 
5:     end for
6:      $e \leftarrow \tau(\bigcup_{Ag \in Ags} acción(Ag))$   $\triangleright \tau$  función de transición del ambiente.
7:   until  $fin(e)$                                  $\triangleright fin$  es un predicado de fin de corrida.
8: end procedure

```



# Percepción y acción

- ▶ Sea  $Per$  un conjunto no vacío de percepciones, la función **percibir/2** se define como:

$$\text{percibir} : E \rightarrow Per$$

- ▶ La función **actuar/2** se define entonces como:

$$\text{actuar} : Per \rightarrow Ac$$

- ▶ Un **agente** puede definirse ahora como la tupla:

$$Ag = \langle \text{percibir}, \text{actuar} \rangle$$



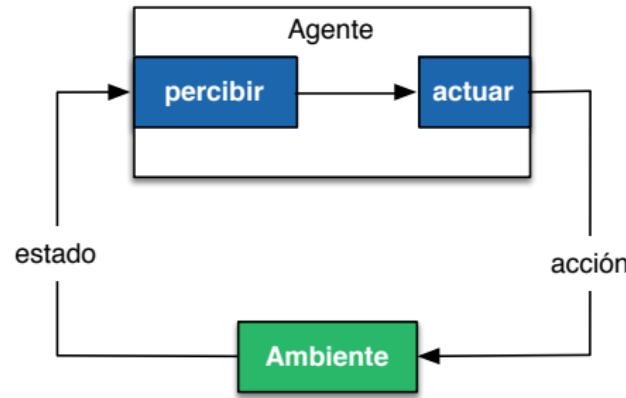
# Propiedades de la percepción

- ▶ Sean  $e \in E$  y  $e' \in E$ , tal que  $e \neq e'$  pero  $\text{percibir}(e) = \text{percibir}(e')$ . Desde el punto de vista del agente,  $e$  y  $e'$  son **indistinguibles**.
- ▶ Dados dos estados del ambiente  $e, e' \in E$ ,  $\text{percibir}(e) = \text{percibir}(e')$  será denotado como  $e \sim e'$ .
- ▶ El ambiente es accesible para el agente, si y sólo si  $|E| = |\sim|$  y entonces se dice que el agente es **omnisciente**.
- ▶ Si  $|\sim| = 1$  entonces se dice que el agente no tiene capacidad de percepción, es decir, el ambiente es percibido por el agente como si tuviera un **estado único**.



# Agentes reactivos

- ▶ Los **agentes reactivos**, o reflex, seleccionan sus acciones basados en su percepción actual del ambiente, ignorando el resto de su historia perceptual.



# Ejemplo: Xbiff

- ▶ Los estados posibles del ambiente, las acciones y la función de selección de acción para xbiff:

$$\text{percibir} \leftarrow \text{check}() \in \{\text{true}, \text{false}\}$$

$$\text{actuar} = \begin{cases} \text{set}() & \text{Si } \text{percibir} = \text{true} \\ \text{unset} & \text{En cualquier otro caso} \end{cases}$$



# Reglas para Xbiff

1. If *percibir* = *true* then *set()*
2. If *true* then *unset()*.



Universidad Veracruzana

# Programa de agente reactivo

```
1: function AGENTE-REACTIVO(e)
2:   estado  $\leftarrow$  percibir(e)
3:   regla  $\leftarrow$  selecciónAcción(estado, reglas)            $\triangleright$  reglas condición-acción.
4:   acción  $\leftarrow$  cons(regla)                          $\triangleright$  cons, el consecuente de la regla.
5:   return acción
6: end function
```



# Limitaciones de los agentes reactivos

- ▶ Existen otras maneras de implementar agentes reactivos. Ej. La arquitectura subsumida de Brooks [4] o las redes de comportamiento de Maes [8].
- ▶ Todas comparten una **limitación formal**: Producen un comportamiento racional, sólo si la decisión correcta puede obtenerse a partir de la **percepción actual** del agente.
- ▶ Esto es, su comportamiento es correcto si, y sólo si, el ambiente es **observable** o **efectivamente observable**.



# Estado interno

- ▶ La forma más natural de enfrentar un ambiente inaccesible es llevando un **registro** de lo percibido, de forma que el agente tenga acceso a lo que en cierto momento ya no puede percibir.
- ▶ Sea  $I$  el conjunto de estados internos posibles de un agente.  
Redefinimos la función **actuar** para mapear estados internos a acciones posibles:

$$\text{actuar} : I \rightarrow Ac$$

- ▶ Una nueva función **siguiente/2**, mapea estados internos y percepciones a estados internos. Se usa para actualizar el estado interno del agente:

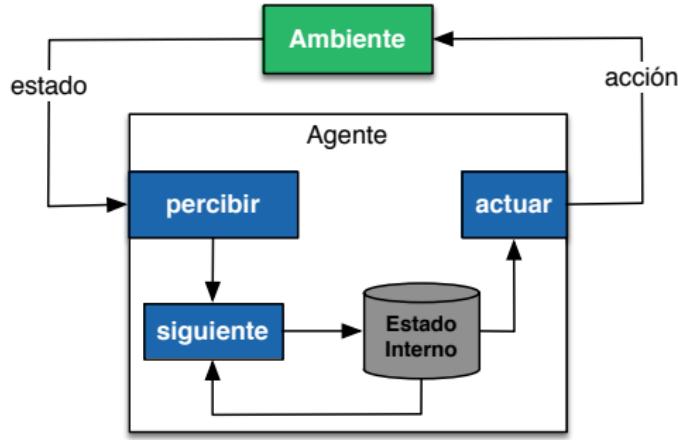
$$\text{siguiente} : I \times Per \rightarrow I$$



Universidad Veracruzana

# Agentes con estado interno

- ▶ Un agente con **estado interno** interactua con su ambiente como se muestra.



# Programa de agente con estado

```
1: function AGENTE-CON-ESTADO(e)
2:   p  $\leftarrow$  percibir(e)
3:   estado  $\leftarrow$  siguiente(estado, p)
4:   regla  $\leftarrow$  selecciónAcción(estado, reglas)
5:   acción  $\leftarrow$  cons(regla)     $\triangleright$  cons/1 computa la consecuencia de una regla.
6:   return acción
7: end function
```



# Enfoque IA tradicional

- ▶ El comportamiento racional puede obtenerse a partir de una **representación simbólica** del ambiente y el comportamiento deseado.
- ▶ El agente manipulará **sintácticamente** esta representación para actuar.
- ▶ Llevada al extremo, esta aproximación nos lleva a formular el estado de un agente como un conjunto **fórmulas lógicas** y la selección de acción como **demostración de teoremas** o **deducción lógica**.



# Agentes e inferencia

- ▶ Sea  $L$  el conjunto de fórmulas bien formadas en la lógica de primer orden clásica.
- ▶ El conjunto de bases de conocimiento en  $L$  se define como  $D = \wp(L)$ , es decir, el conjunto de conjuntos de fbf en  $L$ . Los elementos de  $D$  se denotan  $\Delta, \Delta_1, \dots$
- ▶ El estado interno del agente es siempre un miembro de  $D$ . El proceso de decisión del agente especifica mediante un conjunto de reglas de inferencia  $\rho$ .
- ▶ Escribimos  $\Delta \vdash_{\rho} \psi$  si la fbf  $\psi$  puede ser validada en  $\Delta$ .
- ▶ Definimos la función siguiente/2 del agente como:

$$\text{siguiente} : D \times \text{Per} \rightarrow D$$



# Programa de agente lógico (inferencia)

```

1: function SELECCIÓN-ACCIÓN( $\Delta : D, Ac$ )           ▷  $\Delta$  base de conocimiento.
2:   for all  $a \in Ac$  do                         ▷  $Ac$  acciones.
3:     if  $\Delta \vdash_{\rho} actuar(a)$  then          ▷  $\rho$  reglas de inferencia.
4:       return  $a$ 
5:     end if
6:   end for
7:   for all  $a \in Ac$  do
8:     if  $\Delta \not\vdash_{\rho} \neg actuar(a)$  then
9:       return  $a$ 
10:    end if
11:   end for
12:   return null
13: end function

```



# Metas

- ▶ Las **metas** describen situaciones deseables para un agente, y se definen como cuerpos de conocimiento.
- ▶ Relacionadas con el concepto de **espacio de estados de un problema** compuesto por un estado inicial del ambiente,  $e_0 \in E$ ; por un conjunto de operadores o acciones que el agente puede ejecutar para cambiar de estado; y un espacio de estados deseables.
- ▶ Implícita en la arquitectura del agente, está su **intención** de ejecutar las acciones que el **cree** le garantizan satisfacer cualquiera de sus metas.
- ▶ Esto se conoce en filosofía como **silogismo práctico**.



# Las metas de un agente

- ▶ Especificación basada en **predicados**:

$$\Psi : R \rightarrow \{0, 1\}$$

- ▶ Una corrida  $r \in R$  satisface la especificación ssi  $\Psi(r) = 1$ .
- ▶ Un **ambiente de tareas** se define entonces como el par  $\langle Env, \Psi \rangle$ .
- ▶ Dado un ambiente de tareas, la siguiente expresión:

$$R_\Psi(Ag, Env) = \{r | r \in R(Ag, Env) \wedge \Psi(r)\}$$

denota el conjunto de todas las corridas del agente  $Ag$  en el ambiente  $Env$  que satisfacen la tarea especificada por  $\Psi$ .



# Metas y éxito

- ▶ Podemos expresar que un agente  $Ag$  tiene éxito en el ambiente de tareas  $\langle Env, \Psi \rangle$  de dos maneras diferentes:
  - ▶  $\forall r \in R(Ag, Env)$  tenemos que  $\Psi(r)$ , lo que puede verse como una especificación pesimista de éxito, puesto que el agente tiene éxito únicamente si todas sus corridas satisfacen  $\Psi$ ;
  - ▶  $\exists r \in R(Ag, Env)$  tal que  $\Psi(r)$ , lo cual es una versión optimista de la definición de éxito, puesto que especifica que el agente tiene éxito si al menos una de sus corridas satisface  $\Psi$ .



# Utilidad

- ▶ Una **utilidad** es un valor numérico que denota la bondad de un estado del ambiente.
- ▶ Implícitamente, un agente tiene la “intención” de alcanzar aquellos estados que **maximizan** su utilidad a largo término.
- ▶ La especificación de una tarea en este enfoque corresponde simplemente a una **función utilidad**  $u : E \rightarrow \mathbb{R}$  la cual asocia valores reales a cada estado del ambiente.
- ▶ Por ejemplo, la utilidad para una corrida  $r$  de un **agente filtro de spam**, puede definirse como:

$$u(r) = \frac{\text{SpamFiltrado}(r)}{\text{SpamRecibido}(r)}$$



# Agentes óptimos

- ▶ Si la función de utilidad  $u$  tiene algún **límite superior**, por ej.,  $\exists k \in \mathbb{R}$  tal que  $\forall r \in R. u(r) \leq k$ , entonces es posible hablar de agentes que **maximizan** la utilidad esperada.
- ▶ Definamos  $P(r|Ag, Env)$ , es evidente que:

$$\sum_{r \in R(Ag, Env)} P(r|Ag, Env) = 1$$

- ▶ Entonces el **agente óptimo**  $Ag_{opt}$  entre el conjunto de agentes posibles  $AG$  en el ambiente  $Env$  está definido como:

$$Ag_{opt} = \arg \max_{Ag \in AG} \sum_{r \in R(Ag, Env)} u(r)P(r|Ag, Env)$$



# Racionalidad acotada

- ▶ Los agentes enfrentan limitaciones temporales y tienen capacidades limitadas de deliberación, lo que sugiere una **racionalidad acotada**.
- ▶ Russell y Wefald [12] introducen el concepto de **agente óptimo acotado**, donde  $AG_m$  representa el conjunto de agentes que pueden ser implementados en una máquina  $m$ .



# Ejercicios sugeridos

- ▶ Piense un poco en su tema de tesis y describa un agente y su medio ambiente en ese contexto. Base su descripción en el esquema PEAS.
- ▶ ¿Existe una medida de desempeño para su agente? ¿Puede formularla?
- ▶ ¿Es posible agrupar las percepciones y acciones de su agente en artefactos? Describa un ejemplo.
- ▶ ¿Qué arquitectura elegiría para su agente? Justifique la respuesta.



Universidad Veracruzana

# Referencias I

- [1] GEM Anscombe. "Modern Moral Philosophy". En: *Philosophy* 33.124 (ene. de 1958), págs. 1-19. ISSN: 1469-817X. URL: <http://dx.doi.org/10.1017/S0031819100037943>.
- [2] Aristóteles. "Prior Analytics No 391". En: *Loeb Classical Library*. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press, 1960.
- [3] RA Brooks. *Cambrian Intelligence: the Early History of the New AI*. Cambridge, MA, USA: The MIT Press, 1999.
- [4] R Brooks. "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot". En: *IEEE Journal of Robotics and Automation* 2.1 (1986), págs. 14-23.
- [5] AA Covrigaru y RK Lindsay. "Deterministic Autonomous Systems". En: *AI Magazine* 12.3 (1991), págs. 110-117.
- [6] O Etzioni. "Intelligence without Robots". En: *AI Magazine* 14.4 (1993).
- [7] R Fagin et al. *Reasoning about Knowledge*. Cambridge, MA, USA: The MIT Press, 1995.
- [8] P Maes. "A Spreading Activation Network for Action Selection". En: *Intelligent Autonomous Systems 2*. Amsterdam, the Netherlands: IOS Press, 1989, págs. 875-885.
- [9] W Muller-Freienfels. "Agency". En: *Encyclopedia Britannica*. Internet version. Encyclopedia Britannica, Inc., 1999.



## Referencias II

- [10] A Newell. *Unified Theories of Cognition*. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press, 1990.
- [11] S Russell y P Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Fourth, global. New York, NY, USA: Pearson, 2022.
- [12] SJ Russell y E Wefald. *Do the Right Thing: Studies in Limited Rationality*. Cambridge, MA, USA: The MIT Press, 1991.
- [13] M Wooldridge. *An Introduction to MultiAgent Systems*. 2nd. West Sussex, England: John Wiley & Sons, LTD, 2009.
- [14] M Wooldridge y N Jennings. "Intelligent Agents: Theory and practice". En: *The Knowledge Engineering Review* 10.2 (1995), págs. 115-152.

