

Sistemas Multi-Agentes

Organizaciones

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 2024



Dimensiones de los SMA

- ▶ En la Programación Orientada a Sistemas Multi-Agentes [2], la dimensión **organizacional** provee los conceptos y abstracciones necesarios para especificar y gobernar MAS complejos desde una perspectiva **macro**.
- ▶ Esto contrasta con la perspectiva **micro** (basada en individuos) que proveen las dimensiones de **agentes** y **ambiente**.



Grupo

- ▶ Es posible describir las actividades de diversos agentes en un lugar dado, abstrayéndolos como un **grupo**.
- ▶ Las actividades de los agentes se dan en el contexto de un grupo dado, e.g., el personal de una maestría.

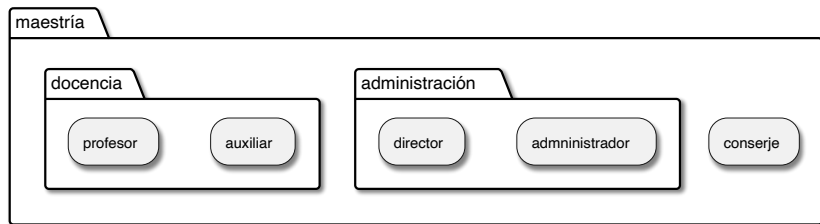


Rol

- ▶ En el contexto de un grupo, los agentes pueden considerar adoptar diversos **roles**, e.g., director, profesor, etc.
- ▶ Los roles que están en interacción constantes pueden integrarse en **sub-grupos**, e.g., director y administrador.
- ▶ En otra parte del espacio de trabajo, es posible organizar **otros sub-grupos**, e.g., docencia.
- ▶ Es posible que un mismo agente adopte **varios roles** a la vez.
- ▶ En cada grupo y de acuerdo a los roles, es de esperar que los agentes se **coordinen** para la ejecución de sus planes predefinidos.



Gráficamente



Pertinencia

- ▶ Las organizaciones modelan fenómenos **supra-individuales** en los SMA [4].
- ▶ Estos modelos especifican **patrones estructurados de cooperación**, más allá de la actividad individual de los agentes operando en el SMA.
- ▶ Los conceptos en esta dimensión, p. ej., grupo, rol, etc., son por tanto **diferentes** a los usados en las dimensiones de agente y ambiente.



Perspectivas

- Administración.** Las organizaciones estructuran y ayudan en la toma de decisiones e interacción de los agentes para que estos lleven a cabo sus tareas y cumplan con sus metas en el ambiente, mientras garantizan coherencia en el estado global del sistema [5].
- Sociología.** Las organizaciones expresan la división de tareas en sub-tareas, la distribución de roles y la asignación de autoridad entre los agentes participantes en la organización. De manera más general, también tienen que ver con la estructuración del conocimiento, cultura, historia y las capacidades que pueden usar y compartir los agentes [1].



Definición I

- ▶ La especificación de una organización es una **descripción declarativa** [6] que responde a la pregunta **¿Qué?** –El comportamiento esperado de los agentes.
- ▶ Sin tener que explicar el **¿Cómo?** –Las acciones necesarias para lograr el resultado esperado.
- ▶ Es un proceso que comprende dos **fases**:

Definición. Llevada a cabo inicialmente por los interesados en el desarrollo del sistema;

Ejecución. En la cual los agentes actúan conforme a las restricciones impuestas por la especificación de la organización.



Definición II

- ▶ Este proceso también puede llevarse a cabo de manera **interactiva** intercalando ambas fases, por los agentes mismos mediante el razonamiento de su comportamiento colectivo.
- ▶ Los **agentes** definen y adaptan su organización mientras actúan, perciben y cooperan en ella.

Descripciones

- ▶ Este proceso produce dos descripciones:
 - ▶ La especificación de una organización y
 - ▶ Una entidad de organización.

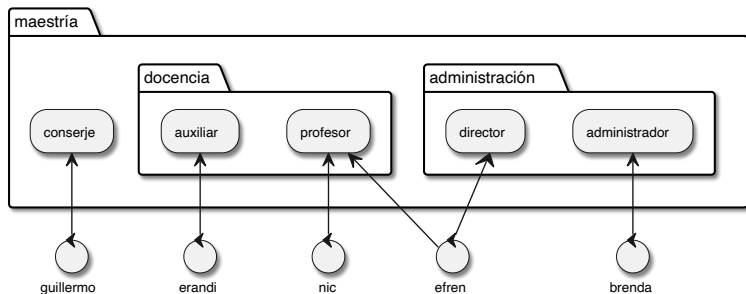


Entidad de una organización

- ▶ Una entidad de organización se corresponde con la **promulgación** de las especificación organizacional por sus agentes miembro.
- ▶ Mientras que ésta última define el comportamiento esperado de los agentes, la entidad organizacional describe la **evolución** del estado de su coordinación y el comportamiento regulado en relación con el **esperado**.
- ▶ Esto incluye los diversos grupos creados y los roles que los agentes han **adoptado** en cada grupo.



Gráficamente



Cambios en las descripciones

- ▶ Los cambios en la **especificación** de una organización son menos frecuentes porque son costosos y tienen consecuencias profundas.
- ▶ El estado de la **entidad** de una organización cambia durante la ejecución del sistema cada vez que los agentes crean o eliminan grupos, adoptan o abandonan roles, etc.



Comportamiento esperado

- ▶ Al observar la ejecución de los agentes en un SMA, es posible observar:
 - ▶ Relaciones y patrones de cooperación que **no están** representados en la entidad de organización. Esto suele indicar que los agentes se deben coordinar sin hacer referencia a la organización.
 - ▶ Patrones de comportamiento en la entidad de organización, que no tienen contra parte en la Especificación de la organización. Esto significa que los agentes no se están comportando como es debido en su organización.
- ▶ Las **violaciones** a las especificaciones de una organización, e.g., realizar una tarea que no corresponde a su rol, etc., debe **castigarse** conforme su gravedad.

Facetas de la descripción organizacional

- ▶ La descripción de una organización cubre diferentes facetas de las actividades colectivas en un SMA [3].
- ▶ Los conceptos en la dimensión organizacional permiten el modelado y la programación de abstracciones:

Estructurales. La estructura de la organización en términos de roles, ligas y grupos.

Funcionales. La coordinación en términos de misiones, planes y metas.

Normativas. La regulación en términos de normas que restringen la autonomía de los agentes con respecto a sus actividades coordinadas y su estructuración.

- ▶ Las abstracciones estructurales y funcionales son **ortogonales**, pero están **ligadas** por la dimensión normativa.

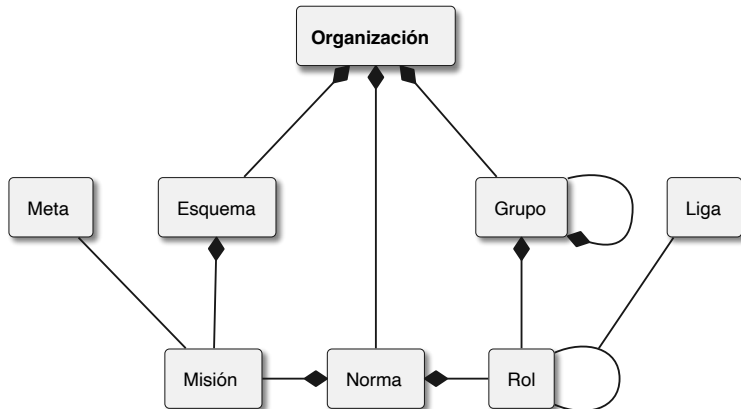


Programando organizaciones

- ▶ Los **conceptos** introducidos en la dimensión organizacional de los SMA son entidades de primera clase, distintos a los introducidos en las otras dimensiones.
- ▶ Son la base de un lenguaje basado en **etiquetas** (XML) para expresar los elementos de la **especificación** de una organización.
- ▶ También son la base de un lenguaje de **primer orden** para representar las entidades organizacionales, y sus restricciones asociadas, como creencias de un agente.



Conceptos en la dimensión organizacional



Abstracciones estructurales

- ▶ Concernientes a la **estructuración** de los agentes en la organización:
 - Rol.** La posición que los agentes individuales ocupan en la estructura de una organización.
 - Liga.** El tipo de interacción que puede tener lugar entre los agentes de un grupo cuando adoptan un rol determinado.
 - Grupo.** Una posible comunidad de agentes que puede existir en la estructura de una organización.

Ejemplo de especificación estructural I

```
1 <structural-specification>
2   <role-definitions>
3     <role id="role0"/>
4     <role id="role1" <extends role="role0"/> </role>
5     <role id="role2" <extends role="role0"/> </role>
6   </role-definitions>
7
8   <group-specification id="group1">
9     <roles>
10      <role id="role1" min="1" max="2"/>
11      <role id="role2" min="1" max="1"/>
12    </roles>
13
14    <links>
15      <link from="role1" to="role2" type="authority"
16        scope="intra-group" bi-dir="false" />
17      <link from="role1" to="role1" type="communication"
18        scope="intra-group" bi-dir="true" />
19    </links>
20
```



Ejemplo de especificación estructural II

```
21     <formation-constraints>
22         <compatibility from="role1" to="role2" bi-dir="true"/>
23     </formation-constraints>
24 </group-specification>
25 </structural-specification>
```



Herencia y ligas

- ▶ Las relaciones de **herencia** (líneas 3 y 4) completan la definición de los roles. Todos los roles heredan del rol **raíz** llamado soc.
- ▶ Las ligas entre los roles que conforman un grupo pueden ser de distintos **tipos**:
 - ▶ Autoridad (*authority*)
 - ▶ Comunicación (*communication*)
 - ▶ Relación (*acquaintance*)

Restricciones

- ▶ Las restricciones de **formación de grupo** incluyen:

Compatibilidad de roles. Indica los roles que un agente puede adoptar una vez que ha adoptado otro rol. Por default, los roles son **mutuamente incompatibles**.

Cardinalidad de un rol. Cuantos agentes, **mínimo** y **máximo**, pueden adoptar un rol.

Cardinalidad de un grupo. Cuantas entidades sub-grupo pueden crearse.

Abstracciones funcionales

- ▶ Concernientes a la **coordinación** de los agentes en una organización.
 - Meta.** Un estado que debe satisfacer más de un agente.
 - Misión.** Un conjunto de metas que deben lograrse bajo la responsabilidad de un agente individual.
 - Plan social.** Una estructura de metas interrelacionadas que deben satisfacer múltiples agentes que se deben coordinar para ello.
 - Esquema social.** Agrupa un plan social con sus metas y las misiones correspondientes.



Ejemplo de especificación funcional

```
1 <functional-specification>
2   <scheme id="scheme1">
3     <goal id="goal1" ds="description of goal1">
4       <plan operator="sequence">
5         <goal id="goal2" ttf="20 minutes" ds="description of goal2"/>
6         <goal id="goal3" ds="description of goal3"/>
7         <goal id="goal4" ds="description of goal4"/>
8       </plan>
9     </goal>
10
11     <mission id="mission1" min="1" max="2">
12       <goal id="goal2" />
13       <goal id="goal4" />
14     </mission>
15     <mission id="mission2" min="1" max="1">
16       <goal id="goal3"/>
17     </mission>
18   </scheme >
19 </functional-specification>
```



Esquemas sociales I

- ▶ La especificación funcional agrupa plantillas de comportamiento coordinado definidas como una lista de **esquemas sociales**. Sus componentes son:
 - ▶ Metas
 - ▶ Misiones
- ▶ Ninguna meta o misión puede definirse **fuera** de un esquema social.

Árbol de metas

- ▶ Las metas incluidas en el **árbol de metas** de un esquema social pueden ser de tres tipos:

Raíz. Denota una **meta global** del sistema.

Hoja. Denota una metas que los agentes pueden **satisfacer**.

Interna. Se descompone en **sub-metas** por medio de un **plan**, usando los **operadores**:

Sequence. Las sub-metas se resuelven secuencialmente.

Choice. Las sub-metas se resuelven si una de ellas es resuelta.

Parallel. Todas las submetas se resuelve en paralelo.

- ▶ La **cardinalidad** de cada meta restringe cuantos agentes pueden hacerse responsables de ella.



Misiones

- ▶ Cada misión **agrupa metas** que pueden ser asignadas a un agente que participa en la organización.
- ▶ Cuando una agente se **compromete** a llevar a cabo una misión, intentará realizar las metas especificada por la misión en cuestión.
- ▶ También tienen **cardinalidad**.



Abstracciones normativas

- ▶ Concernientes a la **regulación** del comportamiento de los agentes en la organización.
- ▶ Una **norma** define las obligaciones y derechos de los agentes, tomando en cuenta su **autonomía** dentro de la organización.
- ▶ Conecta abstracciones estructurales y funcionales con **modalidades deónticas** para expresar lo que es:
 - ▶ Obligatorio (obligation)
 - ▶ Permitido (permission)
- ▶ Opcionalmente incluyen una **condición de activación** que expresa cuando la norma está activa; y/o una **restricción temporal**, i.e., plazos para su cumplimiento.



Ejemplo de especificación normativa

```
1 <normative-specification>
2   <!-- the norms of the application -->
3   <norm id="norm1" type="obligation"
4     role="role1" mission="mission1"/>
5   <norm id="norm2" type="permission"
6     role="role2" mission="mission2"/>
7 </normative-specification>
```



Especificaciones parciales

- ▶ Aunque las especificaciones estructural y funcional no son obligatorias, omitirlas crea una **sobrecarga** de cómputo para los agentes en el sistema.
- ▶ Si la **especificación estructural** se omite, no hay estructura que ayude a los agentes a cooperar.
- ▶ Si la **especificación funcional** se omite, los agentes están obligados a razonar acerca de sus planes colectivos cada vez que quieren actuar juntos.
- ▶ Además, los **planes colectivos** pueden perderse si uno de los participantes abandona la organización.

De la entidad organizacional

1. Creación de la organización con base en una especificación elegida. Se trata de una secuencia de entidades de grupos, esquemas y/o normativas que participan en la organización.
2. Ejecución del ciclo de vida de las entidades creadas, en relación con el ciclo de vida de los agentes y el ambiente.
3. Destrucción de la entidad organizacional en cuanto las entidades que la componen han sido eliminadas.

De una entidad de grupo I

1. Creación del grupo basado en una definición de grupo. El grupo creado se conecta a sus padres de acuerdo a la jerarquía definida en la especificación estructural. La entidad de grupo raíz debe ser la primera en crearse.
2. Adopción de roles por parte de los agentes.
3. Revisión de que la entidad de grupo esté bien formada, *i.e.*, que sus restricciones se satisfagan.
4. Asignación al grupo de la responsabilidad de ejecución de una o varias entidades de esquema social.

De una entidad de grupo II

5. Desconexión de las entidades de esquema social (y las correspondientes entidades normativas) que ya no tienen agentes comprometidos con sus misiones.
6. Borrado de la entidad de grupo cuando ya no tiene sub-grupos conectados a ella; no tiene responsabilidad sobre algún esquema social; y todos sus agentes participantes han abandonado sus roles.

De una entidad de esquema social I

1. Creación de una entidad de esquema social con base en su definición en la especificación funcional.
2. Una vez que la entidad está bajo la responsabilidad de alguna entidad de grupo, los agentes que participan en éste pueden y/o están obligados a comprometerse con las misiones definidas en la especificación normativa.
3. Una vez que la entidad de grupo está bien formada, los agentes pueden llevar a cabo las metas definida por un plan. Estas se distribuyen entre los agentes conforme a las misiones a las que están comprometidos y las normas activas.



De una entidad de esquema social II

4. El esquema social se termina cuando la meta raíz se consigue o se sabe que es imposible de lograr.
5. Cuando ningún agente está comprometido con las misiones del esquema social, la entidad puede desconectarse de sus entidades de grupo correspondientes.
6. Una vez desconectada, la entidad de esquema social puede ser borrada por los agentes

De una meta

- ▶ Durante la ejecución de un esquema social, las metas que aparecen en los planes pueden estar en uno de los siguientes **estados**:

Espera. La meta no puede atenderse porque depende de la satisfacción de otras metas o de la formación correcta de la entidad de esquema social. Las **condiciones** de la meta se deducen del esquema social.

Permitido. La meta puede atenderse y los agentes comprometidos con la misión correspondiente, pueden atenderla.

Satisfecha. Los agentes comprometidos con la meta han logrado satisfacerla.

Imposible. Los agentes comprometidos con la meta concluyen que no podrán satisfacerla.



De una entidad normativa I

1. Creación de la entidad normativa y conexión con su correspondiente entidades de grupo y de esquema social, conforme a la especificación normativa.
2. Una vez que la entidad de esquema social está bajo la responsabilidad de su entidad de grupo, el estado normativo se forma con las normas de la misión.
3. Se verifica que la entidad de esquema social esté bien formada, i.e., que los agentes participantes cumplan con las normas de la misión; y que todas la restricciones del esquema social se satisfacen.

De una entidad normativa II

4. En cuanto el esquema social está bien formado y su meta correspondiente se vuelve activa, la entidad normativa se actualiza con metas norma, conforme al plan de la entidad de esquema social. Se trata de obligaciones que deben satisfacerse dependiendo el estado de la meta.
5. Una vez que todas las normas se satisfacen, las entidades normativas se desconectan de sus entidades de esquema social y grupo. Un agente puede eliminar sus compromisos, solo si sus obligaciones han sido cumplidas.

Estado de las normas

- ▶ Una norma puede estar en uno de los estados siguientes:
 - Activa.** La condición de activación de la norma se satisface.
 - Satisfecha.** El objeto de la modalidad deóntica de la norma ha tenido éxito.
 - Insatisfecha.** El caso contrario al anterior.
 - Inactiva.** La condición de activación ya no se satisface.

De los agentes I

1. Los agentes adoptan roles de los grupos, volviéndose **ejecutantes** del rol adoptado. La adopción está restringida por la cardinalidad del rol y su compatibilidad. El agente debe tener una **estrategia** clara para adoptar roles en una organización.
2. El agente se compromete con las misiones en las entidades de esquema social. Esto está restringido por la especificación normativa y las restricciones en las misiones.
3. El agente se compromete con las metas asociadas a las misiones a las que se ha comprometido, conforme progrese en el esquema de ejecución en el que la meta aparece.

De los agentes II

4. La eliminación de compromisos está restringida al cumplimiento de las obligaciones correspondientes.
5. El agente puede decidir abandonar sus roles si no tiene compromisos pendientes y en ese caso, debería abandonar la entidad de grupo correspondiente.

Una subasta I

- ▶ Vamos a usar la **especificación de una organización** para coordinar a los agentes que interactúan en un ambiente que incluye un **artefacto** de subasta como medio para hacer ofertas en un mercado.
- ▶ La **estrategia de coordinación** se especifica mediante una normativa organizacional para un grupo de agentes identificado como `grupo_subasta`, en el cual hay dos **roles** posibles:
 - ▶ subastador
 - ▶ participante
- ▶ Para este grupo esté **bien formado**, al menos un agente debe adoptar el rol de subastador.



Una subasta II

- ▶ Las **metas** del sistema están especificadas en un esquema social llamado `hacerSubasta`, e incluyen:
 - iniciar**. Iniciar la subasta.
 - ofertar**. Hacer una oferta.
 - decidir**. Identificar al ganador.
- ▶ Las metas se deben satisfacer en el **orden** presentado.
- ▶ La **especificación normativa** nos dice que:
 - ▶ Los subastadores pueden resolver la meta iniciar y decidir.
 - ▶ Los participantes están obligados a ofertar.



Especificación estructural

```
12 <structural-specification>
13 <role-definitions>
14   <role id="subastador" />
15   <role id="participante" />
16 </role-definitions>
17
18 <group-specification id="grupo_subasta">
19   <roles>
20     <role id="auctioneer" min="1" max="1"/>
21     <role id="participant" min="0" max="300"/>
22   </roles>
23 </group-specification>
24 </structural-specification>
```



Especificación funcional

```
26 <functional-specification>
27   <scheme id="subastar">
28     <goal id="subasta">
29       <argument id="Id" />
30       <argument id="Servicio" />
31       <plan operator="sequence">
32         <goal id="iniciar" />
33         <goal id="ofertar" ttf="10 seconds" />
34         <goal id="decidir" ttf="1 hour" />
35       </plan>
36     </goal>
37     <mission id="mSubastador" min="1" max="1">
38       <goal id="iniciar" />
39       <goal id="decidir" />
40     </mission>
41     <mission id="mParticipante" min="1" >
42       <goal id="ofertar" />
43     </mission>
44   </scheme>
45 </functional-specification>
```



Especificación normativa

```
47 <normative-specification>
48   <norm id="n1" type="permission" role="subastador"
    ↪ mission="mSubastador" />
49   <norm id="n2" type="obligation" role="participante"
    ↪ mission="mParticipante" />
50 </normative-specification>
```



Referencias I

- [1] P Berneux. *La sociologie des organisations*. 3ème. Paris, France: Seuil, 1985.
- [2] O Boissier et al. *Multi-Agent Oriented Programming: Programming Multi-Agent Systems using JaCaMo*. Intelligent Robotics and Autonomous Agents. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2020.
- [3] LR Coutinho, JS Sichman y O Boissier. "Modelling dimensions for agent organizations". En: *Handbook of Research on Multi-Agent Systems: Semantics and Dynamics of Organizational Models*. Hershey, PA, USA: IGI Global, 2009, págs. 18-50.
- [4] L Gasser. "Perspectives on Organizations in Multi-agent Systems". En: *Multi-Agent Systems and Applications (ACCAO 2001)*. Vol. 2086. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg, 2001, págs. 1-16. ISBN: 9783540477457. URL: http://dx.doi.org/10.1007/3-540-47745-4_1.
- [5] T Malone et al. "Tools for Inventing Organizations: Toward a Handbook of Organizational Processes". En: *Management Science* 45.3 (1999), págs. 425-443.
- [6] P Van-Roy y S Haridi. *Concepts, techniques, and models of computer programming*. Boston, MA, USA: MIT Press, 2004.

