

Sistemas Multi-Agentes

Subastas y Negociaciones

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



Temas

- ▶ ¿Cómo se alcanza un **acuerdo** en una sociedad de agentes **individualistas**?
- ▶ Negociación + Argumentación = Acuerdos
- ▶ Los **protocolos** [1] definen las reglas del encuentro para todos los participantes en una negociación.
- ▶ Dado un protocolo particular ¿Cómo podemos diseñar una **estrategia** que los agentes puedan usar cuando negocian? ... Maximizar utilidad en la Práctica.



Propiedades de los Protocolos

- ▶ Las convencionales: **Evitar bloqueos.**
- ▶ Las Multi-Agente:
 - ▶ **Garantizar el éxito.** Se logra un acuerdo.
 - ▶ **Maximizar el bienestar social.** Suma de utilidades.
 - ▶ **Eficiencia de Pareto.** Si un agente mejora, otro empeora.
 - ▶ **Racionalidad individual.** No hay de otra.
 - ▶ **Estabilidad.** Todos reciben estímulo (Equilibrio Nash).
 - ▶ **Simplicidad.** Todos entienden.
 - ▶ **Distribución.** Nada es centralizado, comunicación mínima.
- ▶ SMA y Teoría de Juegos [2].



No son tan ajenas

- ▶ **Adjudicación** de bienes.
- ▶ **Ejemplo.** Modigliani 52.8 millones euros.



- ▶ **Ejemplo.** EBAY
(<http://www.ebay.com>)
- ▶ **Propiedades:**
 - ▶ **Simple.**
 - ▶ **Automatización.**
- ▶ **Uso en los SMA:** **Asignación** de recursos escasos y/o tareas.



Estructura

- ▶ Un agente **subastador** que ofrece un bien.
- ▶ Un conjunto de agentes **licitadores** que desean ese bien.
- ▶ El subastador desea **maximizar** el precio del bien (utilidad), vía el **protocolo** adoptado.
- ▶ Los licitadores desean **minimizar** el precio (costo), via la **estrategia**.



Valor de un bien

Público. Si el bien tiene el **mismo valor** para todos los licitadores. P. ej., el precio del kilo watt/hora en España.

Privado. Si el bien tiene **distintos valores** para diferentes licitadores. P. ej., el último dólar que se gastó en Michael Jackson.

Correlacionado. Combinación de las anteriores. P. ej., el valor de las obras de arte depende de factores comunes y privados.



Variaciones en los protocolos

Ganador. Precio primero vs. Precio segundo.

Transparencia. Abiertas vs. Selladas.

Rondas. Una sola vs. Ascendentes/Descendentes.



Subasta inglesa

- ▶ El subastador sugiere un **precio de reserva** para el bien, que puede ser cero.
- ▶ Los demás agentes hacen ofertas, que deben ser **superiores** al precio actual.
- ▶ Si **ningún agente** hace una oferta superior, el bien es adjudicado al subastador por ese precio.
- ▶ Todos los agentes pueden **ver las ofertas** hechas por otros agentes y pueden participar en el proceso, si así lo desean.
- ▶ Cuando ningún agente eleva la oferta, el bien es adjudicado al agente que ha hecho la **oferta más alta**, por el **precio alcanzado**.



Estrategia y Propiedades

- ▶ **Estrategia:** Ofertar sucesivamente **pequeñas cantidades** sobre la oferta actual hasta que la oferta alcance el **valor del bien** y entonces retirarse.
- ▶ ¿Qué sucede cuando el valor del bien subastado no es público?
- ▶ ¿Debería estar contento el ganador por obtener el bien por un precio igual o menor al valor privado?
- ▶ ¿O debería preocuparse de que los demás licitadores decidieron retirarse?
- ▶ Cuando se da el caso de que el ganador sobrevalora el bien, se habla de la **maldición del ganador**.

Subasta holandesa

- ▶ El subastador ofrece un bien a un **precio inicial artificialmente alto**.
- ▶ El subastador entonces **baja continuamente el precio** del bien en una pequeña cantidad, hasta que un licitador hace **una oferta**.
- ▶ El bien se **adjudica** al agente que hizo la oferta, por el **precio alcanzado**.
- ▶ **Estrategia**: No hay estrategia dominante.
- ▶ La maldición del ganador también está presente.

Subasta primer precio, sellada

- ▶ Subasta de **una ronda**, quizá el caso más simple.
- ▶ Los licitadores hacen llegar al subastador sus **ofertas** selladas, i.e., no son públicas.
- ▶ El bien se adjudica al agente que haya hecho la **oferta mayor**.
- ▶ El ganador paga el **precio acordado** en su oferta.
- ▶ **Estrategia**: Ofrecer **menos** que el verdadero valor del bien.
- ▶ ¿Qué tanto menos? Depende de lo que ofrezcan los otros agentes –No hay solución general para este caso.

Subasta de Vickrey

- ▶ Es la menos usada y quizá la menos intuitiva.
- ▶ Solo hay **una ronda** de negociación, en la cual cada licitador propone **una oferta sellada**.
- ▶ El bien se adjudica al agente que hizo la **mayor oferta**, pero paga el precio de la **segunda mejor**.
- ▶ **Estrategia:** ¡Ofertar el verdadero valor del bien!
- ▶ Da lugar a situaciones anti-sociales, p. ej., castigar al ganador.

Análisis de la estrategia

- ▶ Supongamos que ofertamos más que el valor real del bien. En ese caso, el bien nos será adjudicado, pero se corre el riesgo de adquirir el bien a un precio **superior** a su valor real. Si se gana en esas circunstancias, la compra fue una pérdida.
- ▶ Supongamos que ofertamos menos que el valor real del bien. Se **reduce** la posibilidad de ganar el bien. Pero aún ganando en ese caso, haber ofrecido menos **no tiene efecto** pues el precio a pagar es el de la segunda mejor oferta.



Ganancia esperada

- ▶ Cuando el valor del bien es **privado**.
- ▶ Para licitadores **neutrales al riesgo**, la ganancia esperada por el subastador es probablemente **idéntica en los cuatro casos** discutidos.
- ▶ Para licitadores con **aversión al riesgo**, las subastas **holandesa** y de **primer precio, sellada**, llevan a ganancias más altas para el subastador.
- ▶ Para subastadores **con aversión al riesgo**, funcionan mejor las subastas **Vickrey** e **inglesa**.

Mentiras y colusiones

- ▶ **Colusión.** Los licitadores pueden aliarse para obtener un precio bajo del bien. Modificar el protocolo para que los licitadores no se conozcan entre ellos, aunque esto no es posible en subastas abiertas.
- ▶ **Honestidad del subastador.** En las subastas Vickrey, se puede mentir acerca del monto de la segunda mejor oferta, haciendo pagar más de esta forma al ganador. Firmar las ofertas, de forma que el ganador pueda verificar el resultado; o contratar a un tercero, confiable, para procesar las ofertas. En subastas abiertas, no hay forma que el subastador mienta.
- ▶ **Falsos licitadores** en las subastas inglesas.

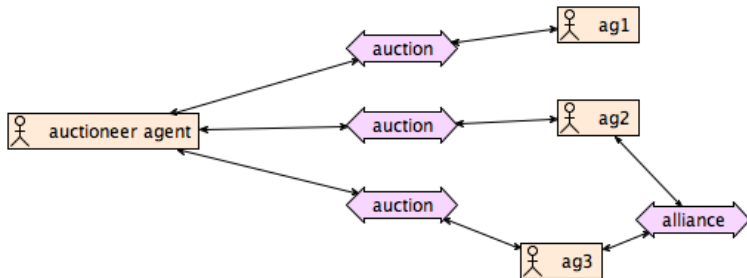


Definición del SMA

```
1 MAS auction {  
2  
3   infrastructure: Centralised  
4  
5   agents:  
6     ag1; ag2; ag3;  
7     auctioneer agentArchClass AuctioneerGUI;  
8 }
```



Diagrama General



Subastador (1)

```
1  /* beliefs and rules */
2  all_bids_received(N) :- .count(place_bid(N,_),3).
3
4  /* plans */
5  +!start_auction(N) : true      // created by the GUI
6      <- -+auction(N);
7          -+winner(N, noone, 0);
8          .broadcast(tell, auction(N)).
9
10 @pb1[atomic]
11 +place_bid(N,V) [source(S)]
12     : auction(N) & winner(N,CurWin,CurVl) & V > CurVl
13     <- -winner(N,CurWin,CurVl);
14     +winner(N,S,V);
15     .print("New winner is ",S, " with value ",V);
16     !check_end(N).
```



Subastador (2)

```
1  @pb2[atomic]
2  +place_bid(N,_) : true
3      <- !check_end(N).
4
5  +!check_end(N)
6      : all_bids_received(N) &
7        winner(N,W,V1)
8      <- .print("Winner is ",W," with ", V1);
9         show_winner(N,W); // show it in the GUI
10         .broadcast(tell, winner(W));
11         .abolish(place_bid(N,_)).
12  +!check_end(_).
```



Licitador 1 (siempre 6)

```
1 // this agent always bids 6
2
3 +auction(N)[source(S)] : true
4   <- .send(S, tell, place_bid(N,6)).
```

Licitador 2 (alianza con 3)

```
1 default_bid_value(4).
2 ally(ag3).
3
4 +auction(N)[source(S)] : not alliance
5     <- ?default_bid_value(B);
6     .send(S, tell, place_bid(N,B)).
7
8 +auction(N)[source(S)] : alliance
9     <- .send(S, tell, place_bid(N,0)).
10
11 +alliance[source(A)]
12     : .my_name(I) & ally(A)
13     <- .print("Alliance proposed by ", A);
14     ?default_bid_value(B);
15     .send(A,tell,bid(I,B));
16     .send(A,tell,alliance(A,I)).
```



Licitador 3 (alianza con 2)

```
1 default_bid_value(3).
2 ally(ag2).
3 threshold(3).
4
5 +auction(N) [source(S)]
6     : (threshold(T) & N < T)
7       |
8       (.my_name(I) & winner(I) & ally(A) & not alliance(I,A))
9     <- !bid_normally(S,N).
10
11 +auction(N) [source(S)]
12     : .my_name(I) & not winner(I) & ally(A) & not alliance(I,A)
13     <- !alliance(A);
14     !bid_normally(S,N).
```



Licitador 3...

```
1  @palliance
2  +auction(N) [source(S)]
3      : alliance(_,A)
4      <- ?default_bid_value(B);
5          ?bid(A,C);
6          .send(S, tell, place_bid(N,B+C)).
7
8  +!bid_normally(S,N) : true
9      <- ?default_bid_value(B);
10         .send(S, tell, place_bid(N,B)).
11
12  @prop_alliance[breakpoint]
13  +!alliance(A) : true
14      <- .send(A,tell,alliance).
```



Propósito

- ▶ Alcanzar **acuerdos**, particularmente en presencia de metas o preferencias en **conflicto**.
- ▶ **Ejemplo**. Regateamos en el mercado por el precio de los productos.
- ▶ **Ejemplo**. Negociamos con nuestros hijos la hora a la que se irán a la cama, el regateamos el número de páginas que leeremos.
- ▶ **Ejemplo**. Los políticos negocian y/o regatean decisiones que nos afectan a todos.

Componentes

Conjunto de negociación. El espacio de posibles **propuestas** que un agente puede hacer.

Protocolo. Las propuestas **legales** que los agentes pueden hacer.

Estrategias. Una por cada agente participante, determinan que propuestas hará cada agente. Suelen ser **privadas**.

Regla de terminación. Determina cuando se ha alcanzado un **acuerdo**.

Modalidad

- Monomodal.** Se negocia **un factor**, p. ej., el **valor** de un bien. La preferencia de los participantes suele ser **simétrica**; y en el análisis es fácil entender el concepto de **concesión**.
- Multimodal.** Se negocian **varios factores**. P. ej., en la compra de un auto: La duración de la garantía, el servicio post-venta, accesorios incluidos, etc. El concepto de concesión es menos claro en esos casos.



Espacio de acuerdos posibles

- ▶ **Exponencial** en el número de variables.
- ▶ En un dominio donde los agentes negocian sobre el valor de n variables **booleanas** v_1, \dots, v_n , evidentemente hay 2^n tratos posibles en ese problema (asignaciones diferentes de falso o verdadero a las variables en cuestión).
- ▶ Si los atributos tienen m **posibles valores**, entonces el espacio de negociación tienen m^n posibles tratos.

¿Cuántos agentes?

- Uno a uno.** Caso especial cuando las preferencias son simétricas con respecto a todos los tratos posibles. P. ej., compra venta.
- Muchos a uno.** Se pueden tratar como iteraciones de negociaciones uno a uno. P. ej., subastas.
- Muchos a muchos.** En el peor de los casos habrá n agentes participando activamente en la negociación, con lo cual tenemos hasta $n(n - 1)/2$ hilos de negociación. P. ej., bolsa de valores.

Tareas

- ▶ Se definen como una tripleta $\langle T, Ag, c \rangle$ [1] donde:
 - ▶ T es el conjunto finito de todas las posibles **tareas**.
 - ▶ $Ag = \{1, \dots, n\}$ es el conjunto finito de los **agentes** que participan en la negociación.
 - ▶ $c : \mathcal{P}(T) \rightarrow \mathbb{R}^+$ es la función que define el **costo** de ejecutar cada subconjunto de tareas en términos de un número real positivo.



Ejemplo

- ▶ Tiene 3 hijos, hay que llevarlos a diferentes escuelas.
- ▶ Su vecino tiene 4 hijos, *idem*.
- ▶ Llevar a un niño puede ser modelado como una tarea **indivisible**.
- ▶ Usted y su vecino pueden discutir la situación y llegar al acuerdo de lo que es mejor para ambos, p. ej., llevar a dos niños que comparten el mismo destino y son de diferente familia, para ahorrar un viaje –Costo.
- ▶ **Acuerdos:** Llevar a los niños en días pares y el vecino en impares; o bien, llevar a 2 niños y que el vecino se encargue de otros 2, etc.



Costo

- ▶ Debe ser **monótono**, i.e., agregar una tarea, nunca decrementa el costo.
- ▶ Si $T_1, T_2 \subseteq T$ son conjuntos de tareas, t.q., $T_1 \subseteq T_2$ entonces el $c(T_1) \leq c(T_2)$.
- ▶ El costo de **no hacer nada** es cero: $c(\emptyset) = 0$.

Encuentro

- ▶ Ocurre cuando a los agentes Ag son **asignados** a las tareas T .
- ▶ Cuando un encuentro ocurre, hay un potencial de que los agentes alcancen un **acuerdo** para volver a **asignar** las tareas entre ellos.
- ▶ Un encuentro es una colección de tareas $\langle t_1, \dots, t_n \rangle$, donde para toda t_i tenemos que $i \in Ag$ y $t \in T$.

Trato

- ▶ Asumamos que los agentes son $\{1, 2\}$, i.e., negociación uno a uno.
- ▶ Dado un encuentro $\langle T_1, T_2 \rangle$, un trato será muy similar a un encuentro: Un **trato puro** es un par $\langle D_1, D_2 \rangle$ donde $D_1 \cup D_2 = T_1 \cup T_2$.
- ▶ Su **semántica** es que el agente 1 está comprometido a llevar a cabo las tareas en D_1 y el agente 2 las tareas en D_2 .



Utilidad y trato conflictivo

- ▶ El **costo** asumido por el agente i en un trato $\delta = \langle D_1, D_2 \rangle$ es $c(D_i)$ y se denota como $costo_i(\delta)$.
- ▶ La **utilidad** del trato δ para un agente i es la diferencia entre el costo de llevar a cabo las tareas tal y como se le asignaron en el encuentro y el de las tareas asignadas en el trato:

$$utilidad_i(\delta) = c(T_i) - costo_i(\delta)$$

- ▶ Si es negativa, significa que le conviene más ejecutar las tareas tal y como le fueron asignadas en el encuentro.
- ▶ Lo mismo ocurre si la negociación falla, por eso $\Theta = \langle T_1, T_2 \rangle$ denota el **trato conflictivo**.



Dominancia y tratos

- Se dice que un trato δ_1 **domina** a uno δ_2 , i.e., $\delta_1 \succ \delta_2$, si y sólo si:
1. El trato δ_1 es al menos **tan bueno como** δ_2 , para todo agente:

$$\forall i \in \{1, 2\}, \text{utilidad}_i(\delta_1) \geq \text{utilidad}_i(\delta_2)$$

2. El trato δ_1 es **mejor que** δ_2 , para algún agente:

$$\exists i \in \{1, 2\}, \text{utilidad}_i(\delta_1) > \text{utilidad}_i(\delta_2)$$

Trato Pareto óptimo

- ▶ Si el trato δ_1 domina a otro trato δ_2 , entonces debería ser claro para todos los participantes que δ_1 es mejor que δ_2 .
- ▶ Se dice que el trato δ_1 **domina débilmente** a δ_2 , i.e., $\delta_1 \succeq \delta_2$, si al menos la primera condición se cumple.
- ▶ Se dice que un trato que no es dominado por ningún otro es **pareto óptimo**, i.e., si no existe un trato δ' t.q. $\delta' \succ \delta$.

Trato individualmente racional

- ▶ Se dice que un trato es **individualmente racional** si domina débilmente al trato conflicto Θ .
- ▶ Si el trato no es individualmente racional, entonces al menos un agente obtiene más utilidad ejecutando las tareas tal y como le fueron asignadas en el encuentro.
- ▶ Un trato δ es racional individualmente si y sólo si $\delta \succeq \Theta$.

Conjunto de Negociación

- ▶ Un conjunto de tratos que son 1) **individualmente racionales** y 2) **pareto óptimos**:
 1. No tiene caso negociar, si se ofrece un trato tal que uno de los agentes prefiera el trato conflictivo;
 2. No tiene sentido ofrecer un trato tal que el otro agente puede obtener más utilidad sin dañarme.

Protocolo de concesión monótona

- ▶ En la primera ronda ambos agentes proponen **simultáneamente** un trato del conjunto de negociación.
- ▶ Un acuerdo se alcanza si los dos agentes proponen tratos δ_1 y δ_2 , t. q. $utilidad_1(\delta_2) \geq utilidad_1(\delta_1)$, ó bien $utilidad_2(\delta_1) \geq utilidad_2(\delta_2)$.
- ▶ Si las ofertas de ambos agentes son **iguales o mejores** que las del encuentro, entonces se elige una al azar. Si no, se elige la mejor.
- ▶ Si no se logra un acuerdo, se propone a una **nueva ronda** $u + 1$. Ningún agente puede hacerle una propuesta al otro agente, que sea menos preferida que la ofertada en la ronda anterior.
- ▶ Si ningún agente hace una concesión la negociación termina y se adopta el **trato conflicto**.



Propiedades

- ▶ Este protocolo es efectivamente **verificable**, i.e., ambas partes pueden ver si sus reglas se están siguiendo.
- ▶ Se garantiza que la negociación **termina**, con o sin acuerdo, en un número **finito** de pasos.
- ▶ No garantiza que se llegue a un acuerdo rápidamente, puesto que el número de ofertas posibles es $O(2^{|T|})$ y por lo tanto es concebible que la negociación continúe por un número de rondas exponencial en el número de tareas a ser asignadas.



Estrategia

- ▶ Hay tres cuestiones a abordar:
 - ▶ ¿Cual debe ser la **primer propuesta** de un agente?
 - ▶ Dada una ronda ¿**Quién** debe conceder?
 - ▶ Si un agente concede ¿**Cuanto** debe conceder?
- ▶ La primer pregunta tiene una respuesta casi directa: la primer propuesta de un agente debe ser su **trato preferido**.

Estrategia de Zeuthen

- ▶ Con respecto a la segunda pregunta, la idea de la estrategia Zeuthen es medir el disposición de los agentes por el **riesgo** a un conflicto.
- ▶ Intuitivamente, un agente estará dispuesto al riesgo de un conflicto si la diferencia en la utilidad de la propuesta actual y el trato conflicto es baja.
- ▶ En cambio, si la diferencia es grande, entonces el agente tiene **más que perder** y tratará de evitar el conflicto.

Riesgo

- ▶ El **riesgo** del agente i en la ronda t se mide como sigue:

$$riesgo_i^t = \frac{\text{utilidad } i \text{ pierde concediendo y aceptando oferta de } j}{\text{utilidad } i \text{ pierde no concediendo y causando conflicto}}$$

- ▶ o su equivalente:

$$riesgo_i^t = \begin{cases} 1 & \text{Si } utilidad_i(\delta_i^t) = 0 \\ \frac{utilidad_i(\delta_i^t) - utilidad_i(\delta_j^t)}{utilidad_i(\delta_i^t)} & \text{En otro caso} \end{cases}$$



¿Cuanto hay que conceder?

- ▶ Justo **lo necesario**.
- ▶ Si concede demasiado poco, en la siguiente ronda el balance de riesgo indicará que aún tiene más que perder en caso de conflicto y tendrá que volver a ceder. Esto es ineficiente.
- ▶ Pero si cede demasiado, estará desperdiciando utilidad. Por lo tanto, debería ceder lo suficiente como para cambiar el balance de riesgo y que en la siguiente ronda el otro agente conceda.

Propiedades

- ▶ No garantiza éxito, pero garantiza **terminación**.
- ▶ No garantiza maximizar el bienestar social, pero garantiza que si un acuerdo es alcanzado, éste es **pareto óptimo**.
- ▶ Es **individualmente racional** y es **descentralizado**.
- ▶ Un punto interesante es que la combinación de protocolo y estrategia está en **equilibrio de Nash**, por tanto la estrategia puede hacerse pública (si un agente la usa, lo mejor para otro agente es adoptarla).
- ▶ Problemas, cualquier problema real, tendrá un espacio de tratos **demasiado grande** como para computarlos.
- ▶ Para $n > 2$ agentes, las extensiones **no son obvias**.

Trampeando

- ▶ **Tareas fantasmas y tramposas.** Ej. En el caso de repartirse a los niños para llevarlos a la escuela, el clásico es –Tengo que ir al entierro de mi abuelita. Otra forma de engaño es inventarse tareas artificiales dependientes de dominio. Este caso es más difícil de detectar que el primero.
- ▶ **Tareas ocultas.** Ej. En el caso de los niños nuevamente, si resulta que dos niños van a escuelas vecinas pero lejanas, un agente puede ocultar que debe ir allí.



Dominios Orientados por Valor

- ▶ Se define como una tupla $\langle E, Ag, J, c \rangle$, donde:
 - ▶ E es el conjunto de posibles **estados** del ambiente.
 - ▶ $Ag = \{1, \dots, n\}$ es el conjunto de posibles **agentes**.
 - ▶ J es el conjunto de posibles **planes conjuntos**.
 - ▶ $c : J \times Ag \rightarrow \mathbb{R}$ es una función de **costo** que asigna a cada plan $j \in J$ y a cada agente $i \in Ag$ un número real que representa el costo $c(j, i)$ para el agente i ejecutando el plan j .

Encuentros

- ▶ Se definen por la tupla $\langle e, W \rangle$ donde:
 - ▶ $e \in E$ es el **estado inicial** del ambiente.
 - ▶ $W : E \times Ag \rightarrow \mathbb{R}$ es una función de valor, que asigna a cada estado del ambiente $e \in E$ y cada agente $i \in Ag$ un número real $W(e, i)$, el **valor** para el agente i de estar en e .

Hacer lo correcto solitos

- ▶ $j : e_1 \rightsquigarrow e_2$ indica que el plan conjunto j nos **lleva** del estado e_1 al estado e_2 del ambiente.
- ▶ Ahora, supongamos que el agente i opera solo en su medio ambiente, que está en el estado inicial e_0 .
- ▶ En este caso, no hay necesidad de negociar, basta con que el agente elija el plan j_{opt}^i y que el plan sea **ejecutable** en e_0 de forma que:

$$j_{opt}^i = \arg \max_{j: e_0 \rightsquigarrow e \in E} W(i, e) - c(j, i)$$

Con la ayuda de tus amigos

- ▶ En el contexto SMA, podría parecer que el agente no puede hacer nada mejor que j_{opt} pero esto no es cierto.
- ▶ Un agente puede **beneficiarse** de la presencia de otros agentes, al ser capaz de ejecutar planes conjuntos y llegar así a estados del ambiente, a los cuales no habría podido llegar solo.
- ▶ Si no hay planes conjuntos que superen a j_{opt}^i , entonces no hay interacción y la negociación no es individualmente racional.
- ▶ Por otra parte, si los planes **interfieren**, no hay más opción que negociar, p. ej., si mi mujer y yo necesitamos el auto mañana y solo tenemos un auto.



Referencias I

- [1] JS Rosenschein y G Zlotkin. *Rules of Encounter: Designing Conventions for Automated Negotiation among Computers*. Cambridge, MA, USA: The MIT Press, 1994.
- [2] Y Shoham y K Leyton-Brown. *Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations*. Cambridge University Press, 2008.