

# Técnicas Avanzadas de Inteligencia Artificial

Curso 2016-2017

German Rigau y Maite Urretavizcaya  
{german.rigau, maite.urretavizcaya}@ehu.eus

Grado en Ingeniería en Informática

## Temario

1. Agentes Inteligentes
2. Sistemas Multiagentes
3. Planificación

## 2 Sistemas Multiagentes

1. Introducción
2. Comunicación entre agentes
3. Plataformas: FIPA
4. Aplicaciones
5. JADE

## Introducción

- Muchos problemas son esencialmente distribuidos
- El conocimiento necesario para resolver un problema puede estar distribuido
- Un agente individual podría resolver el problema pero: concentramos toda la responsabilidad en ese agente ...
- Resolución Distribuida de Problemas (?)
- Los sistemas multiagente (MAS) son Sistemas Basados en Agentes y orientados a la resolución distribuida de problemas

## Introducción

- MAS: Sistema formado por un conjunto de componentes (semi) autónomos que poseen las siguientes características:
  - Individualmente, no tiene información completa ni capacidad para resolver el problema. Tiene un punto de vista limitado.
  - No hay un sistema de control global.
  - Los datos están descentralizados.
  - Computación asíncrona.

## Introducción

- Resolución distribuida de problemas
  - División del problema en subproblemas
    - Asignación de subproblemas a agentes específicos
  - Resolución de subproblemas
    - Los agentes pueden funcionar independientemente o bien compartir tareas o resultados
- Combinación de sub-soluciones
  - Establecimiento de la responsabilidad en esta fase => necesidad de agente de coordinación

## Introducción

- La resolución distribuida de problemas en sistemas multiagente sólo es apropiada cuando los agentes tienen capacidades de comunicación sobre las que pueden establecerse estrategias de cooperación y negociación.

## Introducción

- ¿Cómo formular, describir, descomponer problemas y sintetizar resultados entre un grupo de agentes inteligentes?
- ¿Cómo permitir a los agentes comunicarse e interactuar?
- ¿Qué lenguajes de comunicación y protocolos se pueden usar?
- ¿Qué arquitectura es la mas adecuada para construir Sistemas multi-agente prácticos?
- ¿Qué lenguajes y herramientas de desarrollo se pueden utilizar?
- ¿Cómo construir herramientas para soportar las metodologías de desarrollo?, etc.

## Introducción

- Problemática:
  - Descomposición del problema
  - Comunicación entre agentes
  - Coherencia en las actuaciones
  - Representación del conocimiento de otros agentes
  - Coordinación de acciones
  - Gestionar el uso de recursos
  - Evitar comportamientos globales no deseados
  - Diseño de MAS: metodología y desarrollo

# 1 Sistemas Multiagentes

1. Introducción
2. Comunicación entre agentes
3. Plataformas: FIPA
4. Aplicaciones
5. JADE

## Comunicación entre agentes

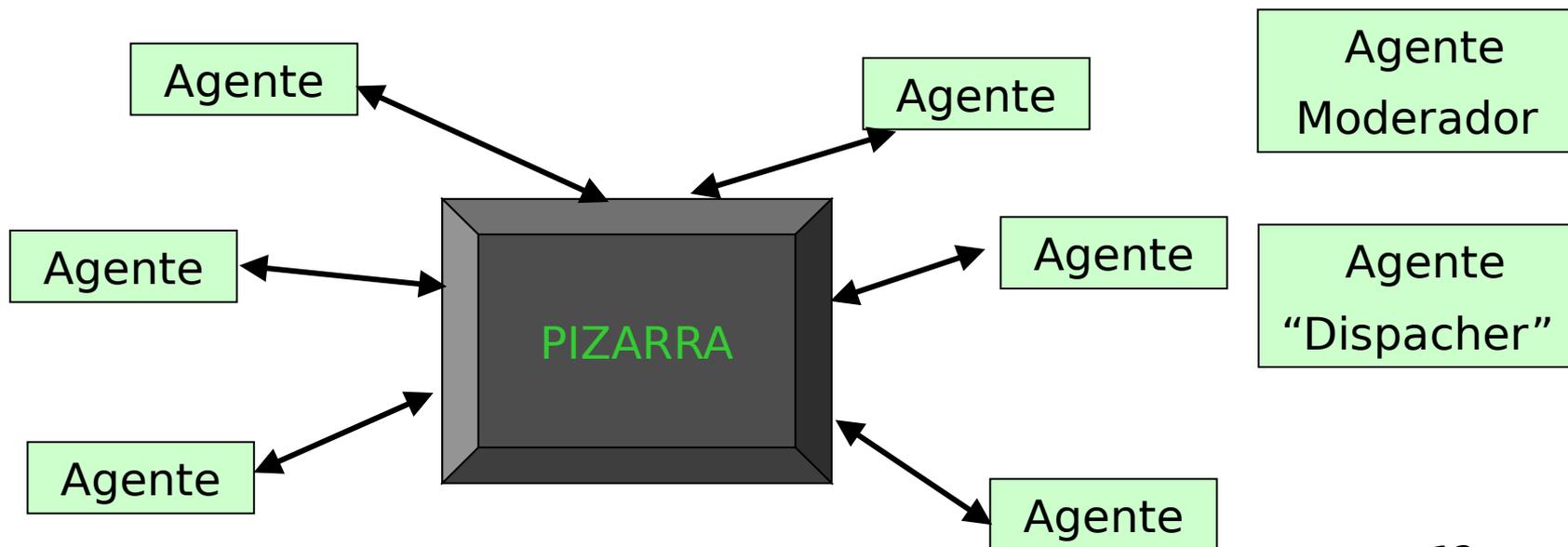
Las capacidades de comunicación son los instrumentos básicos con los que construir mecanismos de cooperación y negociación entre agentes.

- Métodos
  - Sistemas de pizarra
  - Paso de mensajes
- Lenguajes
  - KQML, Knowledge Query and Manipulation Language
  - FIPA ACL:
    - Foundation for Intelligent Physical Agents
    - Agent Communication Language

## Comunicación entre agentes

### Método: Sistemas de Pizarra

- Zona de trabajo común que permite a los agentes compartir todo tipo de información.
- Un SMA puede tener varias pizarras con distintos agentes registrados en cada una.
- No hay comunicación directa entre agentes



## Comunicación entre agentes

### Método: Paso de Mensajes

- Protocolos de comunicación:
  - Lenguaje de comunicación, basado en la Teoría de los Actos del Habla (*Speech Acts*):
    - semántica común y conocida.
  - Proceso de comunicación
  - Formato de los mensajes

## Comunicación entre agentes

### Método: Paso de Mensajes: Actos del habla

- Objetivo de la lingüística tradicional es entender el significado de las frases:
  - combinación de palabras con significado
- Un acto del habla designa las acciones intencionales en el curso de una conversación
  - Función denotativa del lenguaje determinar la verdad o falsedad de una frase
  - Función conativa es la utilizada para modificar el entorno o transmitir órdenes

## Comunicación entre agentes

Método: Paso de Mensajes: Actos del habla

- Quien habla no sólo declara sentencia ciertas o falsas
- Quien habla realiza actos de habla:
  - peticiones, sugerencias, promesas, amenazas, etc.
- Cada declaración es un acto de habla

## Comunicación entre agentes

### Método: Paso de Mensajes: Actos del habla

- Locución: producción de frases utilizando una gramática y un léxico
- Ilocución: acto realizado por el locutor para el destinatario mediante la declaración (utterance)
  - Fuerza ilocutoria (F):
    - afirmación, pregunta, petición, promesa, orden
  - Contenido proposicional (P):
    - objeto de la fuerza ilocutoria  $\sim F(P)$
- Perlocución: efectos que pueden tener los actos ilocutorios en el estado del destinatario y en sus acciones, creencias y juicios
  - convencer, inspirar, persuadir, atemorizar

## Comunicación entre agentes

Método: Paso de Mensajes: Actos del habla

- Clasificación de las ilocuciones
  - Asertivas (informar)
  - Directivas (pedir y preguntar)
  - Comisivas (prometer)
  - Permisivas, prohibitivas y declarativas (causan eventos)
  - Expresivas (emociones y evaluaciones)

## Comunicación entre agentes

### Método: Paso de Mensajes: Niveles de Comunicación

- Inferior: método de interconexión
  - Comunicación física y de protocolos básicos (p.ej. TCP/IP)
- Medio: formato de la información
  - Sintaxis: Estándar KQML, FIPA ACL
    - Actos de habla (tell, ask, deny, perform, ...)
    - Implementaciones (JAT, LALO, ...)
- Superior: significado de la información
  - Semántica: KIF, Ontologías
    - Clases estándares, reutilización
    - Ontolingua

## Comunicación entre agentes

### Método: Paso de Mensajes: Niveles de Comunicación

- Nivel Inferior: mecanismo de transporte
  - Los mensajes deben poder ser:
    - Planificables o servidos por eventos
    - Síncronos o asíncronos
    - Direcciones físicas o por rol
    - Unicast / multicast / broadcast
  - Implementaciones
    - CORBA, Common Object Request Broker Architecture
    - RMI, Remote Method Invocation
    - DCOM, Distributed Component Object Model

## Comunicación entre agentes

Método: Paso de Mensajes: Niveles de Comunicación

- Nivel Medio: Lenguaje de Comunicación
  - Debe tener sintaxis bien definida
  - Semántica formal
  - Implementaciones
    - KQML
    - FIPA ACL
    - Basada en XML

## Comunicación entre agentes

### Método: Paso de Mensajes: Niveles de Comunicación

- Nivel Superior: Ontologías
  - Problemática
    - Diferentes términos para un mismo concepto
    - El mismo término para diferentes conceptos
    - Diferentes sistemas de clases
  - Ontología común para representar el conocimiento de distintos universos de discurso
  - Implementaciones
    - OIL
    - Ontolingua
    - KIF, Knowledge Interchange Format
    - RDF / Esquemas XML / DTD

# 1 Sistemas Multiagentes

1. Introducción
2. Comunicación entre agentes
3. Plataformas: FIPA
4. Aplicaciones
5. JADE

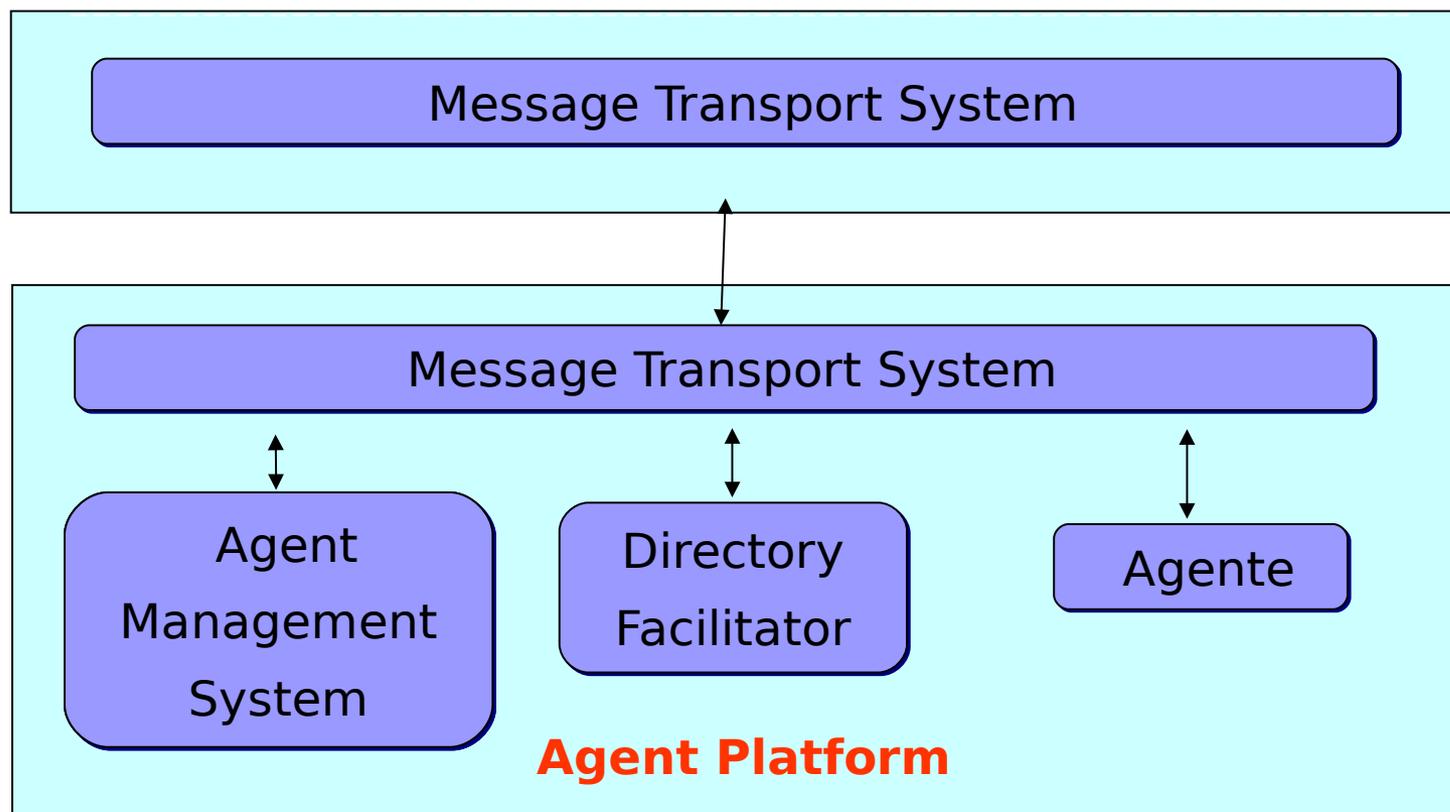


## Plataforma FIPA

- Foundation for Intelligent Physical Agents
- Consorcio industrial fundado en 1996
- <http://www.fipa.org>
- Objetivos
  - Acelerar el desarrollo de tecnologías de agentes inteligentes mediante la producción de especificaciones acordadas internacionalmente
    - Especificación del comportamiento y capacidades externas de subsistemas genéricos: recursos de agentes (para migración, ejecución, etc.), interacción y cognitivos
    - Agentes, multi-agentes, y sociedades de agentes
    - Selección y adaptación de tecnologías existentes

## Plataforma FIPA

- Agent platform: Determina las bases de la infraestructura en la cual se pueden desarrollar y utilizar agentes. Hw y Sw.





## Plataforma FIPA: AMS

- Agent Management System
- Elemento de gestión principal
  - Estado de la plataforma
  - Estado de los ags. de la plataforma
- Servicios que ofrece
  - Creación, destrucción y control del cambio de estado de los agentes.
  - Supervisar los permisos para que nuevos agentes se registren (AID válidos).
  - Control de la movilidad de los agentes.
  - Gestión de los recursos compartidos.
  - Gestión del canal de comunicación.
  - Servicio de Nombres (ANS) o Páginas Blancas (Nombre - Dirección)



## Plataforma FIPA: DF

- Directory Facilitator
- Servicio de Páginas Amarillas
- Servicios que ofrece
  - Los agentes se registran indicando los servicios que ofrecen
  - Agente pregunta por un servicio
    - Resultado: agentes que lo ofrecen



## Plataforma FIPA: MTS

- Message Transport System
- Infraestructura de comunicaciones que permite que dos agentes se comuniquen
- Servicios que ofrece
  - Envío de mensajes entre agentes de la misma o distinta plataforma.



## Plataforma FIPA

- Modelo de Comunicaciones
- Las especificaciones FIPA de comunicación entre agentes tratan con:
  - Mensajes ACL (Agent Communication Language)
  - Protocolos de intercambio de mensajes (actos comunicativos basados en los actos del habla)
  - Representaciones de Lenguajes de contenidos



## Plataforma FIPA

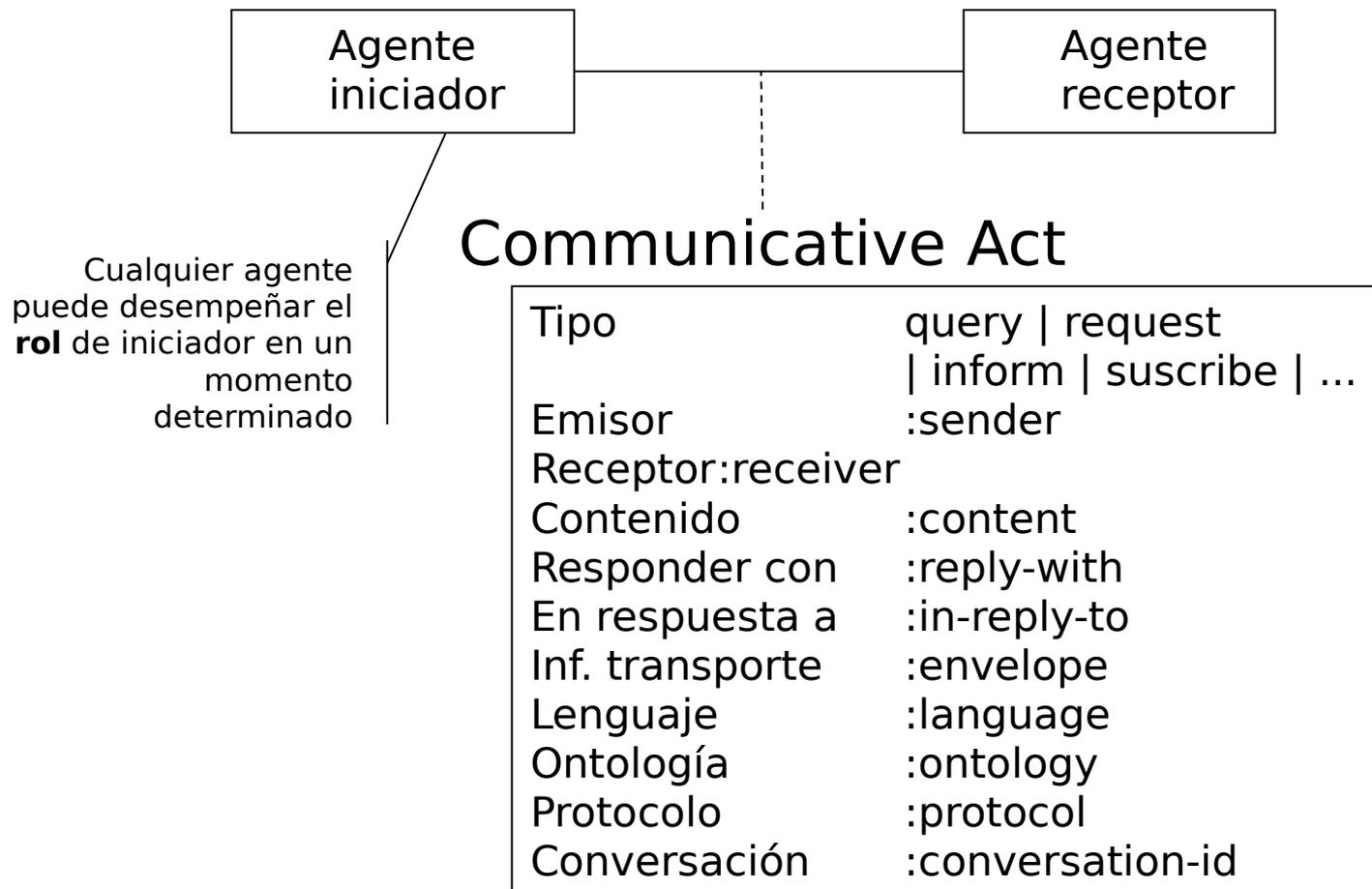
- Modelo de Comunicaciones: Ejemplo de mensaje

```
(request
  :sender an-agent
  :receiver df-agent
  :content
    (action an-agent
      (search
        (:df-agent-description
          (:services
            (:service-type email))))))
  :language SLO
  :ontology fipa-agent-management
  :protocol FIPA-request
)
```



## Plataforma FIPA

- Modelo de Comunicaciones





## Plataforma FIPA

- Actos Comunicativos
- *FIPA Communicative Act Library Specification*
- <http://www.fipa.org/specs/fipa00037/SC00037J.pdf>
- La interoperabilidad se consigue mediante un lenguaje de comunicación de agentes
  - bien definido
  - sin ambigüedades
  - con un aparato formal sólido
- La base de un ACL está compuesta por los actos comunicativos



## Plataforma FIPA: Actos Comunicativos (AC)

- Cada uno de las directivas FIPA está definida mediante:
  - el resumen en donde se explica resumido el significado del mensaje
  - el contenido del mensaje en donde se detalla qué tipo de contenido debe llevar
  - la descripción que es una explicación detallada del acto comunicativo
  - el modelo formal que es una descripción en SL (Semantic Language) que define estados *mentales*
  - un ejemplo de mensaje con el acto comunicativo



## Plataforma FIPA: Actos comunicativos (AC)

- Notación para la definición de un AC
- Un modelo de acto comunicativo (AC) se representará como sigue:
  - $\langle i, \text{act}(j, C) \rangle,$
  - FP :  $\varphi_1$
  - RE :  $\varphi_2$
- donde  $i$  es el agente que ejecuta el AC,  $j$  es el receptor,  $\text{act}$  es el nombre de la performativa,  $C$  se refiere al contenido del mensaje y  $\varphi_1$  y  $\varphi_2$  son proposiciones lógicas.
- FP (Feasibility Preconditions): Precondiciones
- RE (Rational Effect): Efecto Racional
- El mensaje será:
  - (act
  - :sender  $i$
  - :receiver  $j$
  - :content  $C$ )



## Plataforma FIPA

- Tipos de Actos Comunicativos
  - Información
  - Realización
  - Negociación
  - Intermediación



## Plataforma FIPA: Actos comunicativos (AC)

- Tipos de Actos Comunicativos: Información
- Emisor: SOLICITA información
  - query-if:
    - Pide a otro agente si una proposición dada es verdadera.
  - query-ref:
    - Pide a otro agente por el objeto referido por una expresión referencial.
  - subscribe:
    - Pide ser notificado por el remitente por valor de una referencia, y ser notificado de nuevo cada vez que el objeto identificado por referencia cambia.



## Plataforma FIPA: Actos comunicativos (AC)

- Tipos de Actos Comunicativos: Información
- Emisor: OFRECE información (1)
  - inform
    - El emisor informa al receptor de que una proposición dada es verdadera.
  - confirm
    - El remitente informa al receptor de que una proposición dada es verdadera, cuando es conocido que el receptor no está seguro acerca de la proposición.
  - disconfirm
    - El emisor informa al receptor que una proposición dada es falsa, cuando es conocido que el receptor cree, o cree que es probable que la proposición sea verdadera.
  - not-understood



## Plataforma FIPA: Actos comunicativos (AC)

- Tipos de Actos Comunicativos: Información
- Emisor: OFRECE información (2)
  - not-understood
    - El agente i informa al receptor j que se ha dado cuenta de que j ha realizado alguna acción, pero que i no entiende lo que acaba de hacer j. Por ejemplo, cuando i no entiende el mensaje que acaba de enviarle j.
  - inform-if (macro)
  - inform-ref (macro)



## Plataforma FIPA: Actos comunicativos (AC)

- Tipos de Actos Comunicativos: Información
- Ejemplo:
  - El agente i pregunta al agente j si j se ha registrado en servidor de dominio d1.  
(query-if  
  :sender (agent-identifier :name i)  
  :receiver (set (agent-identifier :name j))  
  :content "((registered (server d1) (agent j)))"  
  :reply-with r09  
  ...)
  - El agente j responde que no.  
(inform  
  :sender (agent-identifier :name j)  
  :receiver (set (agent-identifier :name i))  
  :content "((not (registered (server d1) (agent j))))"  
  :in-reply-to r09)



## Plataforma FIPA: Actos comunicativos (AC)

- Tipos de Actos Comunicativos: Realización
- Emisor: Solicita la realización de una acción
  - request
    - El remitente solicita al receptor a realizar alguna acción. Por ejemplo realizar otro acto comunicativo.
  - cancel
    - Un agente informa a otro de que ya no tiene la intención de que realice una determinada acción.
  - request-when
    - El remitente solicita al receptor que realice una acción cuando una proposición sea cierta.
  - request-whenever
    - El remitente solicita al receptor que realice una acción siempre que una proposición sea verdadera.



## Plataforma FIPA: Actos comunicativos (AC)

- Tipos de Actos Comunicativos: Realización
- Emisor: Realiza la acción
  - agree
    - La acción de ponerse de acuerdo para llevar a cabo algún tipo de acción, tal vez en el futuro.
  - refuse
    - La acción de negarse a realizar una acción determinada, y explicar el motivo de la denegación.
  - failure
    - La acción de decirle a otro agente que una acción se intentó, pero el intento fracasó.



## Plataforma FIPA: Actos comunicativos (AC)

- Tipos de Actos Comunicativos: Negociación
- Emisor: Negociar la realización de una acción
  - cfp (call for proposals)
    - La acción de solicitar propuestas para llevar a cabo una acción determinada.
  - accept-proposal
    - Aceptar una propuesta presentada previamente para realizar una acción.
  - reject-proposal
    - La acción de rechazar una propuesta para llevar a cabo algún tipo de acción durante una negociación.
  - propose
    - Presentar una propuesta para llevar a cabo una determinada acción, dadas ciertas condiciones previas.



## Plataforma FIPA: Actos comunicativos (AC)

- Tipos de Actos Comunicativos: Intermediación
- Emisor: Intermedia la realización de una acción
  - propagate / proxy
    - El remitente tiene la intención de que el receptor propague el mensaje incrustado a otros agentes indicados por una descripción dada.



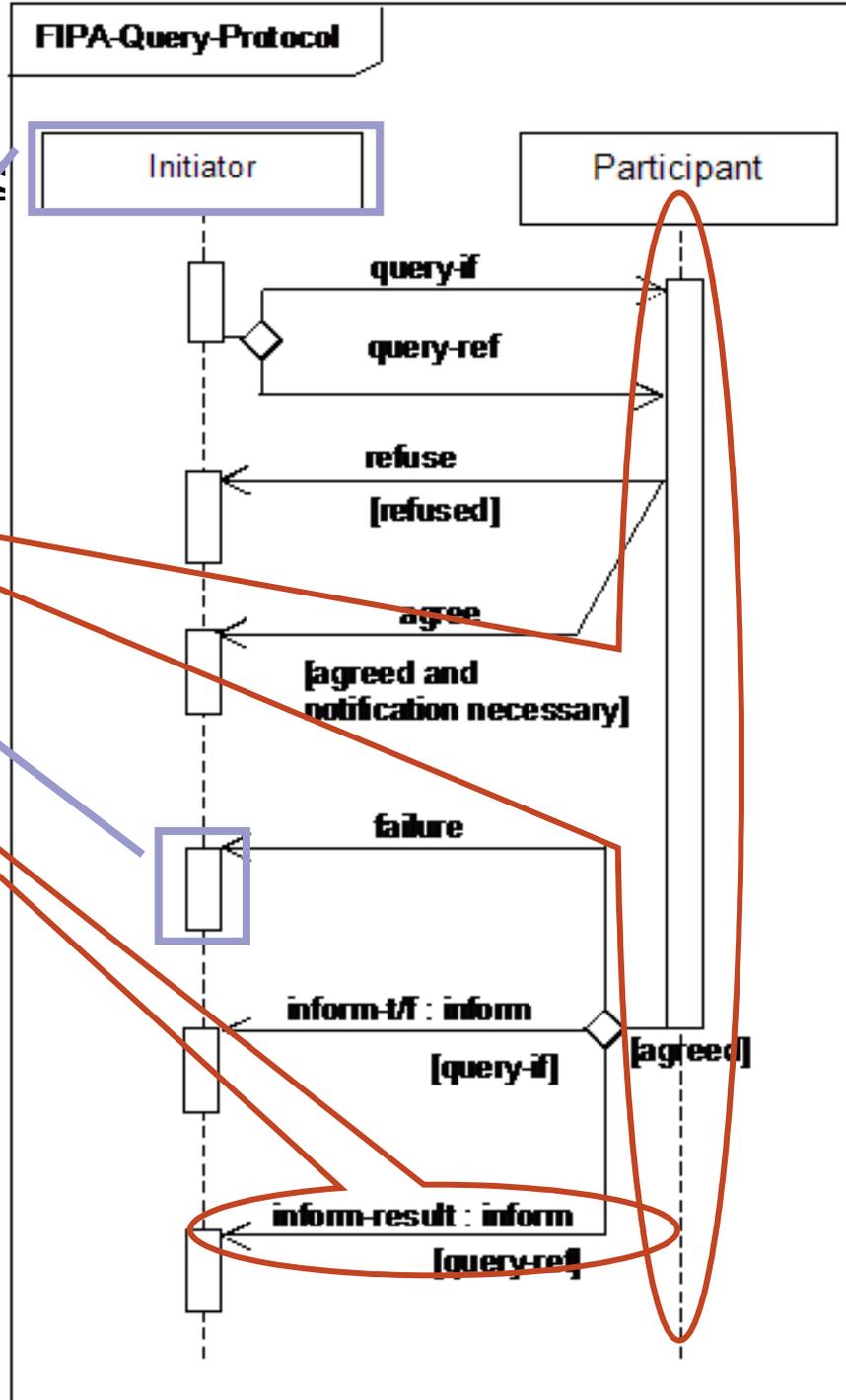
## Plataforma FIPA: Protocolos de Interacción

<b>PROTOCOLO</b>	<b>Descripción</b>
<b>Request</b>	A un agente se le pide que realice cierta acción
<b>Request when</b>	A un agente se le pide que realice cierta acción siempre que se cumpla la precondición
<b>Query</b>	A un agente se le pide que informe sobre algo
<b>Contract net</b>	Un agente pide la realización de cierta tarea a un conjunto de agentes. Estos dan su propuesta basada en unos costes y el iniciador elige quien la realiza finalmente.
<b>Brokering</b>	Un agente (broker) ofrece las funcionalidades de otros agentes o reenvía las peticiones al agente apropiado
<b>English auction</b>	Varios agentes participan en una subasta que se inicia con el precio más bajo y progresivamente se va subiendo
<b>Dutch auction</b>	Varios agentes participan en una subasta que se inicia con el precio más alto y progresivamente se va bajando
<b>Recruiting</b>	Similar a Brokering pero las respuestas sobre el servicio van directamente al agente que lo necesita (no pasan a través del broker)
<b>Propose</b>	El iniciador propone a una serie de agentes la realización de una tarea y estos aceptan o no.
<b>Subscribe</b>	el agente iniciador pide ser notificado cuando cierta condición sea verdadera

# Plataforma FIPA: Protocolo:

Lenguaje AUML:

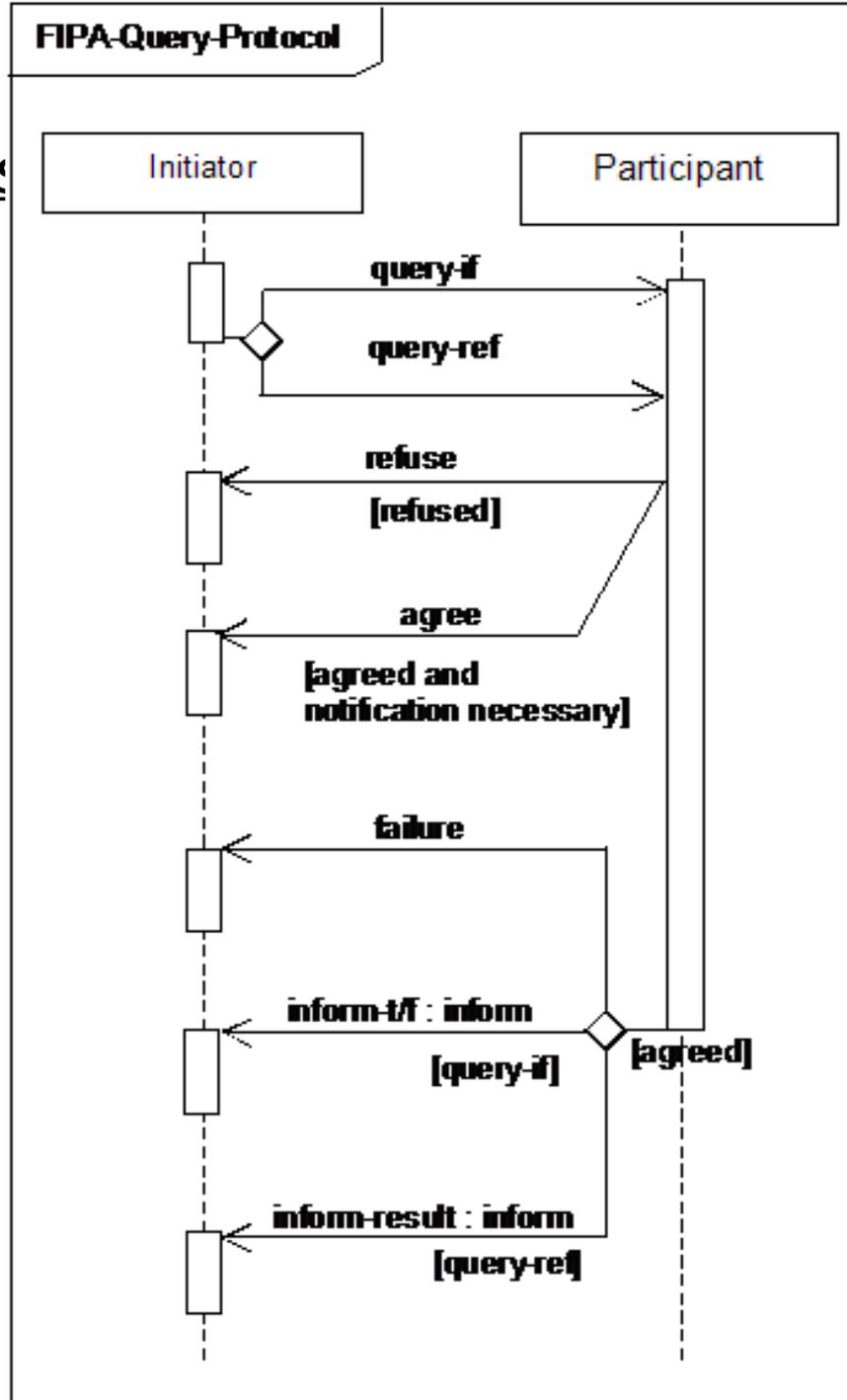
- roles de los agentes
- línea de vida
- hilos de interacción
- mensajes



## Plataforma FIPA: Protocolos

FIPA query:

- Un agente pide información
- Dos tipos:
  - query-if: valor de verdad de una proposición
  - query-ref: valor de algún objeto identificado





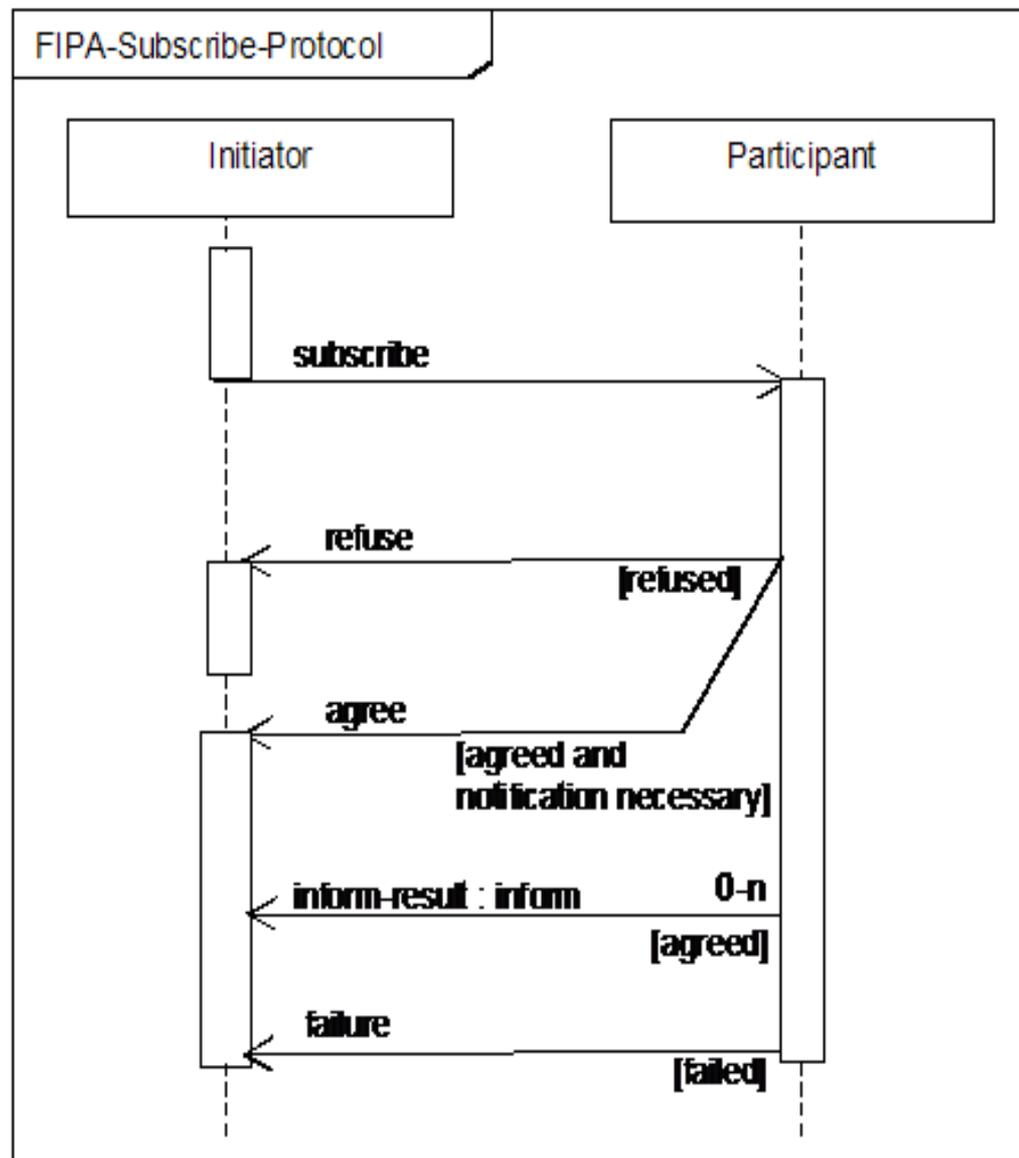
## Plataforma FIPA: PI FIPA-query

- Ejemplo:
  - El agente i pregunta al agente j si j se ha registrado en servidor de dominio d1.  
(query-if  
  :sender (agent-identifier :name i)  
  :receiver (set (agent-identitfier :name j))  
  :content "((registered (server d1) (agent j)))"  
  :reply-with r09  
  ...)
  - El agente j responde que no.  
(inform  
  :sender (agent-identifier :name j)  
  :receiver (set (agent-identifier :name i))  
  :content "((not (registered (server d1) (agent j))))"  
  :in-reply-to r09)

## Plataforma FIPA: Protocolos de Interacción

FIPA subscribe:

- el iniciador solicita ser avisado cada vez que se cumpla la condición indicada en el mensaje





## Plataforma FIPA: PI FIPA-subscribe

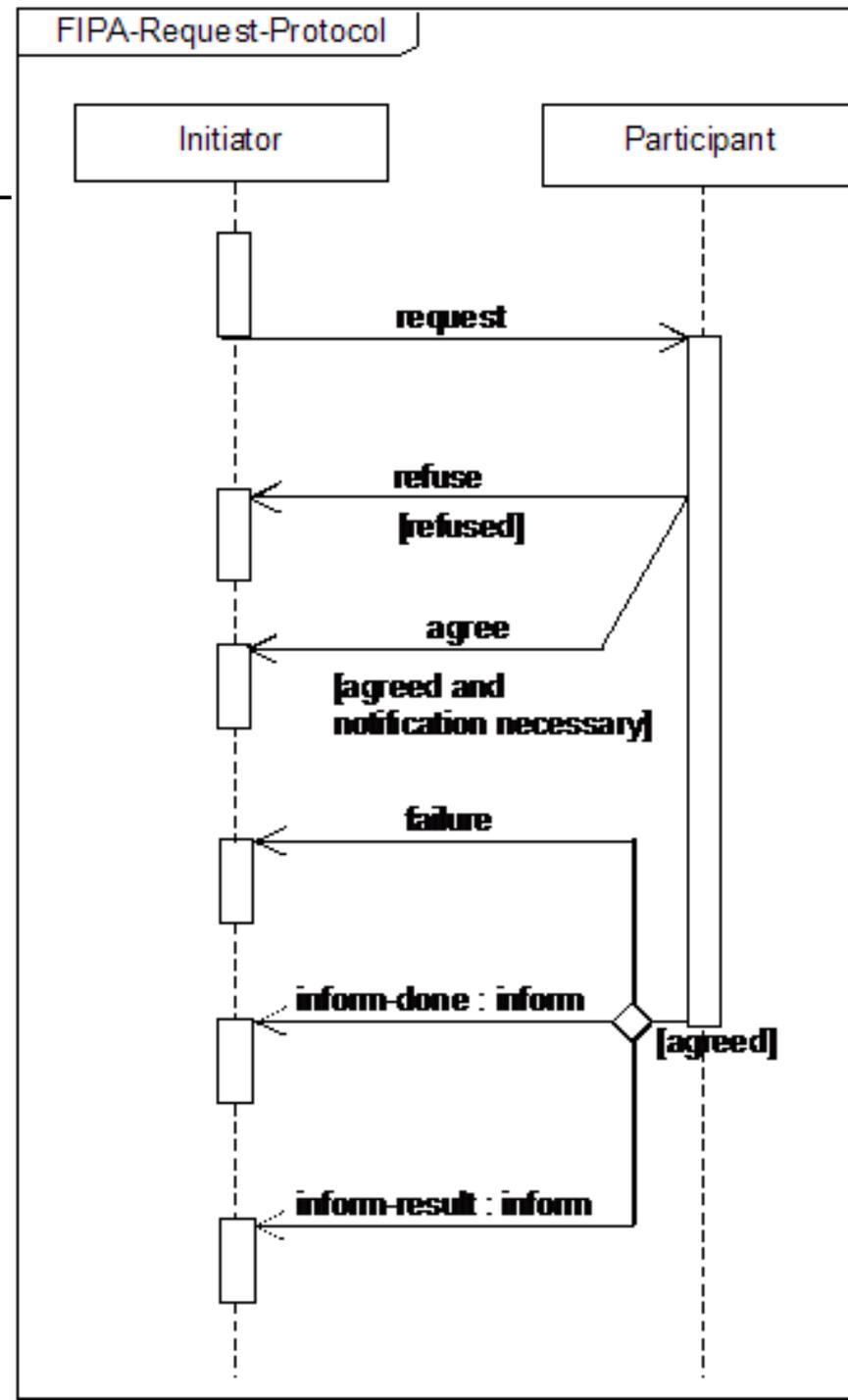
- Ejemplo:
  - El agente i desea que le informen de los cambios de cotización entre Francos y Dólares, y hace una suscripción con j.

```
(subscribe
 :sender (agent-identifier :name i)
 :receiver
   (set (agent-identifier :name j))
 :content
   "((iota ?x (= ?x (xch-rate FFR USD))))")
...)
```

## Plataforma FIPA: Protocolos

FIPA request:

- Un agente solicita a otro agente que realice una acción.
- El receptor debe indicar su acuerdo y realizarla o responder que rehúsa hacerla.





## Plataforma FIPA: PI FIPA-request

- Ejemplo:
  - El agente i pide a j que abra un fichero

(request

:sender (agent-identifier :name i)

:receiver (set (agent-identifier :name j))

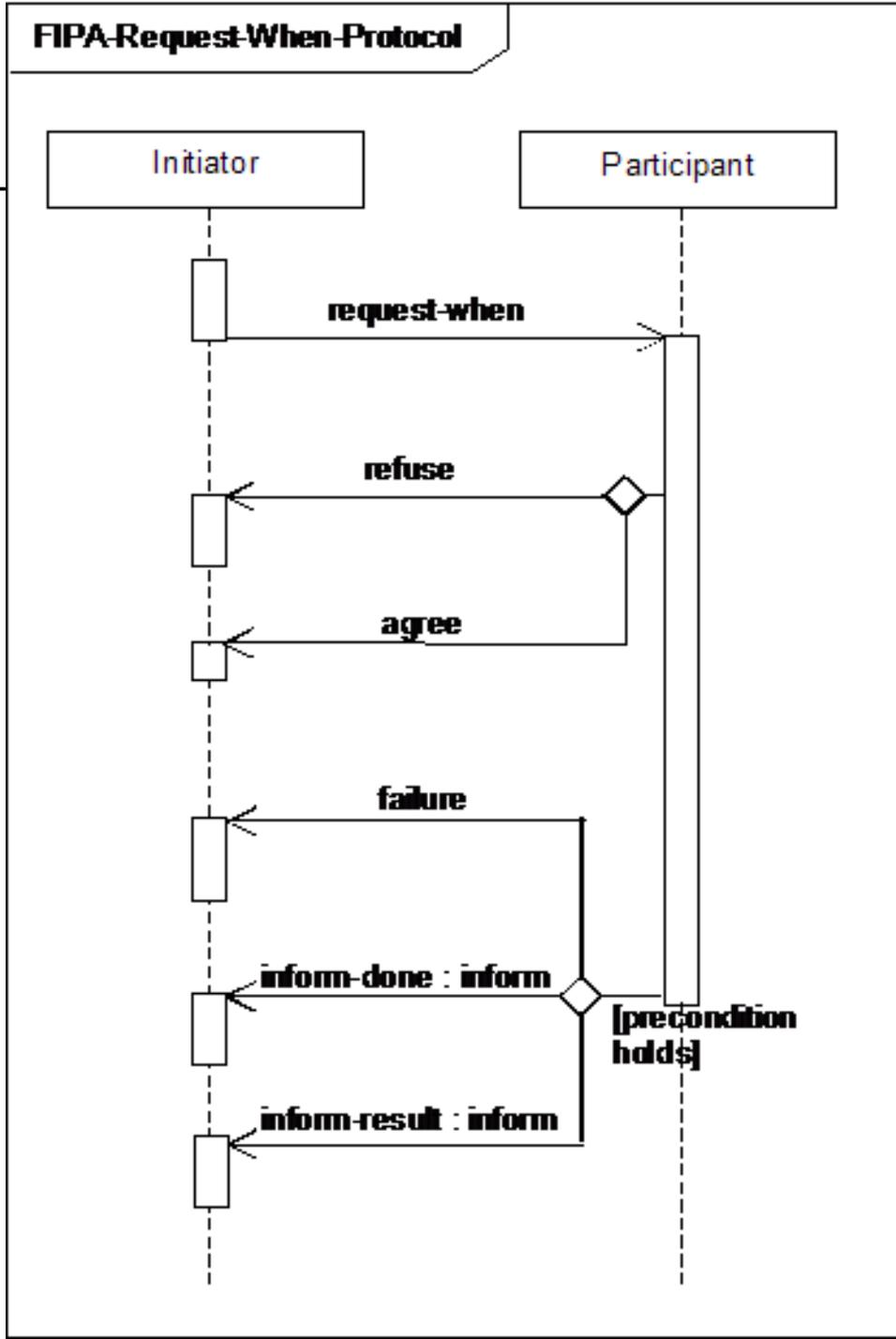
:content "open \"db.txt\" for input"

:language vb)

# Plataforma FIPA: Protocol

FIPA request-when:

- análogo a FIPA-request.  
El emisor quiere que el receptor realice alguna acción en cuanto se cumpla alguna precondición
- el receptor debe esperar a que se cumpla la precondición para responder





## Plataforma FIPA: PI FIPA-request-when

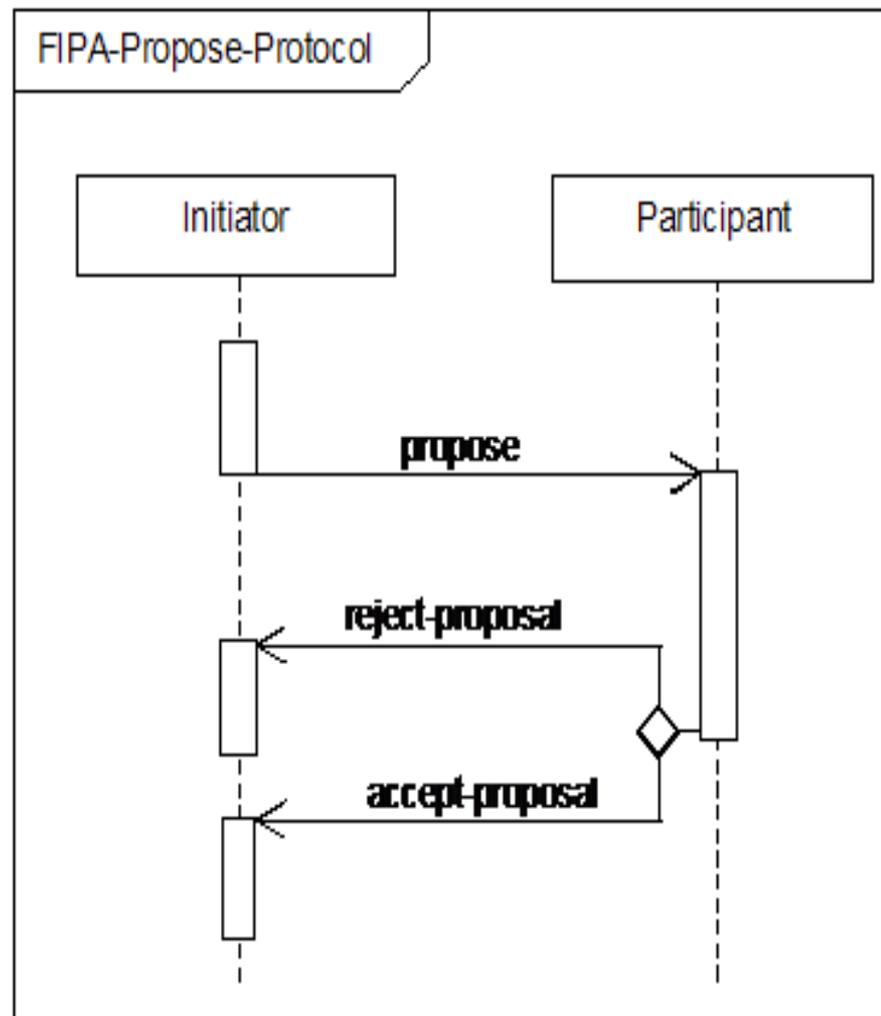
- Ejemplo:
  - El agente i pide al agente j que le notifique el salto de una alarma en cuanto ocurra.

```
(request-when
  :sender (agent-identifier :name i)
  :receiver (set (agent-identifier :name j))
  :content
    ((action (agent-identifier :name j)
      (inform
        :sender (agent-identifier :name j)
        :receiver (set (agent-identifier :name i))
        :content \"((alarm \"something alarming!\")\"))
        (Done ( alarm )))
    ...)
```

## Plataforma FIPA: Protocolos de Interacción

FIPA propose:

- el emisor envía un mensaje al participante indicando que él realizará alguna acción si el participante está de acuerdo
- habitualmente, sigue la realización de la acción y la notificación del estado





## Plataforma FIPA: PI FIPA-propose

- Ejemplo:
  - El agente j propone al agente i vender 50 cajas de ciruelas por 5€

(propose

:sender (agent-identifier :name j)

:receiver (set (agent-identifier :name i))

:content

"((action j (sell plums 50))

(= (any ?x (and (= (price plum) ?x) (< ?x 10))))

5)"

:ontology fruit-market

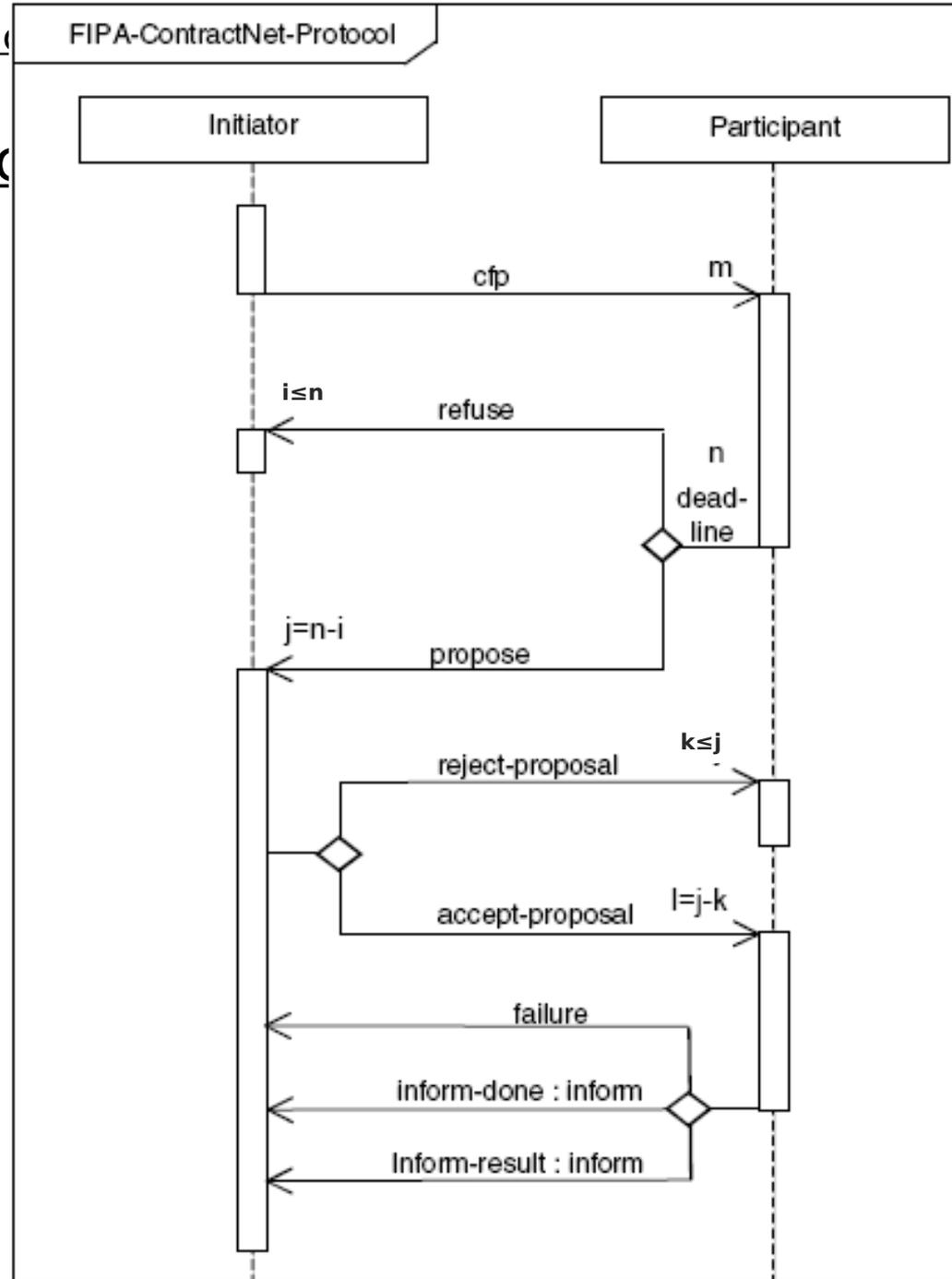
:in-reply-to proposal2

:language fipa-sl)

# Plataforma FIPA: Protocolo

FIPA contract-net:

- un agente desea que se realice una acción
- hay varios candidatos
- se desea minimizar una función que caracteriza la tarea (precio)





## Plataforma FIPA: Protocolos de Interacción

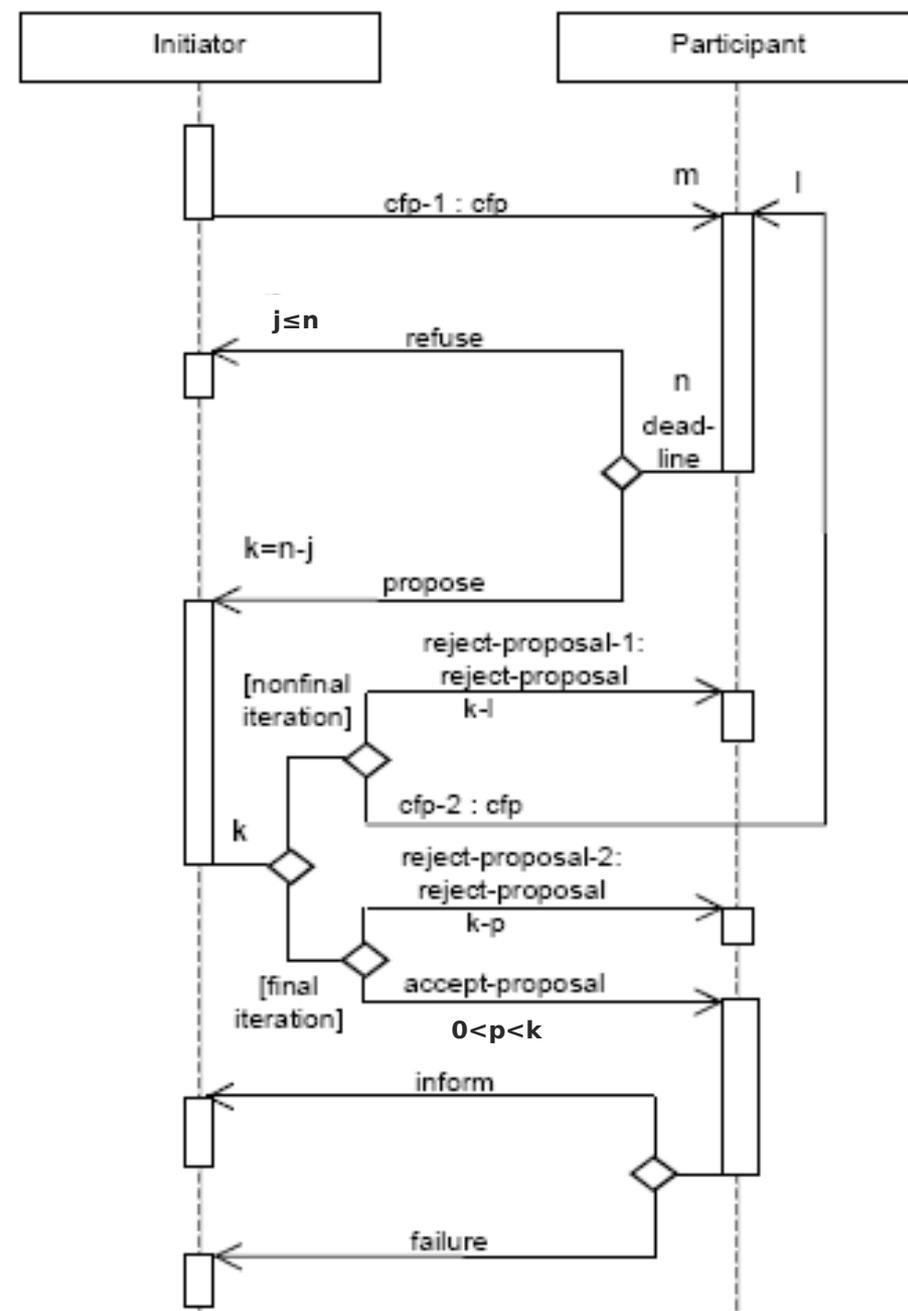
### FIPA contract-net:

- Inicialmente, el manager, con el rol FIPA de iniciador, genera  $m$  mensajes del tipo cfp (*call for proposal*) y queda a la espera durante un determinado tiempo, después del cual no recibirá más mensajes (un total de  $n$  recibidos)
- Sea  $i$  el número de mensajes de tipo refuse, Tendremos entonces  $j = n - i$  mensajes del tipo propose
- Para cada uno de los  $j$  mensajes, enviar posteriormente bien un accept-proposal o un reject-proposal
- Se informa del resultado con un failure, con un inform sin resultado o con el mismo acompañado del resultado.

## Plataforma FIPA: Protocolo

FIPA iterated-contract-net:

- contract-net con varias rondas
- se inicia con una cfp
- cada participante emite su oferta
- el iniciador puede aceptar una, rechazarlas todas, emitir una cfp revisada





## Plataforma FIPA: Protocolos de Interacción

### FIPA iterated-contract-net:

- Inicialmente, el agente con el rol de iniciador de la conversación genera  $m$  mensajes cfp
- Después de un deadline de espera, el iniciador recoge digamos  $n$  ofertas
- sean un total de  $j$  las que rechazan realizar la tarea mediante refuse
- Tenemos entonces  $k = n - j$  ofertas de agentes que están dispuestos a realizar la tarea con propose
- Si la iteración no es la ultima, de entre el total de  $k$  ofertas recibidas, se rechazarán algunas directamente,  $k - l$ , y se aceptarán otras tantas  $l$ .
- De entre las aceptadas, se elabora una contraoferta para cada agente y se envuelve en un nuevo cfp



## Plataforma FIPA: Protocolos de Interacción

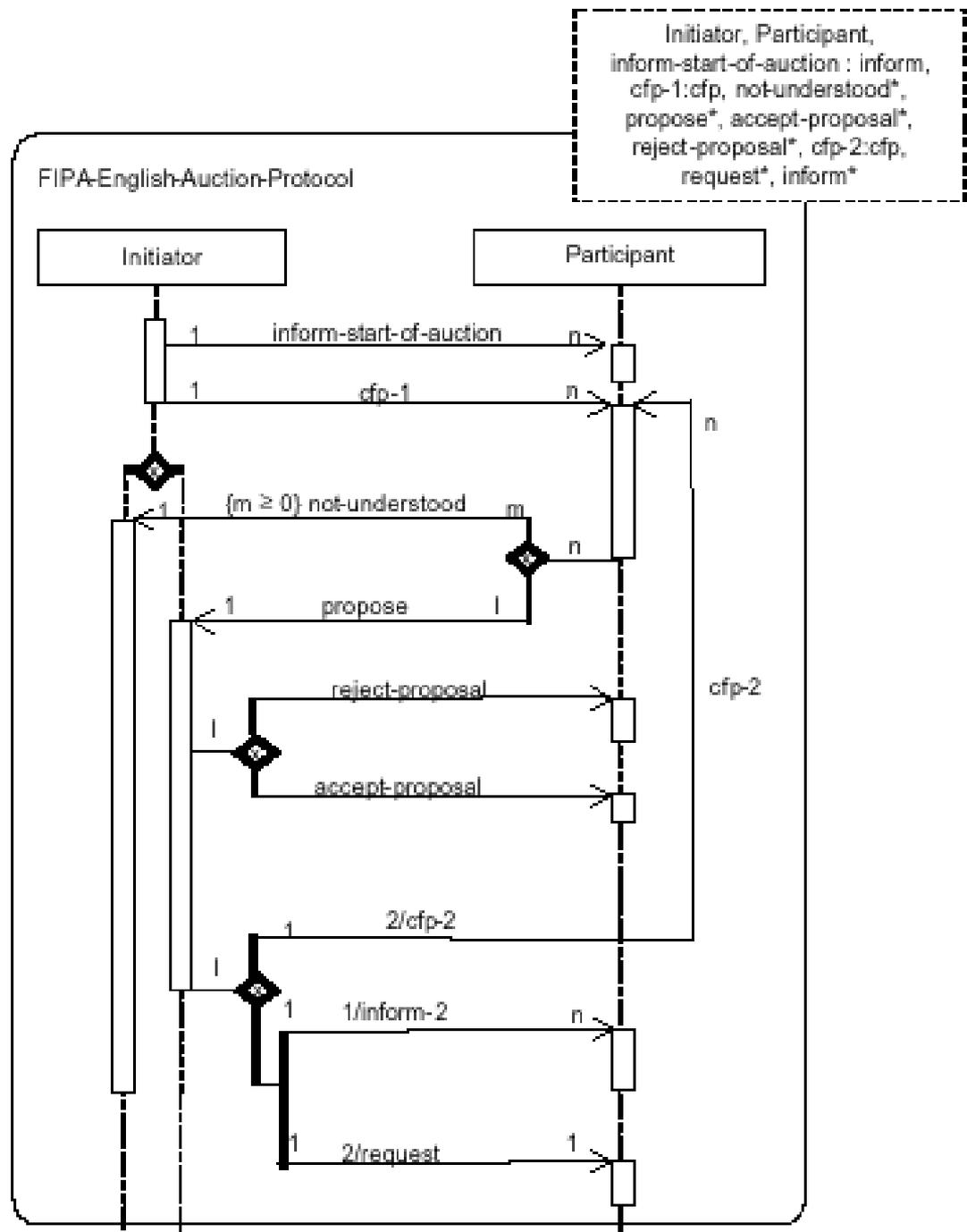
### FIPA English auction:

- método de subasta al alza
- cuando se emite una oferta, el iniciador genera un cfp con el nuevo precio
- El subastador busca encontrar el precio de mercado de una mercancía proponiendo un precio inicial inferior al supuesto valor de mercado de manera que el precio se vaya elevando gradualmente.

# Plataforma FIPA: Pro

FIPA English auction:

- 





## Plataforma FIPA: Protocolos de Interacción

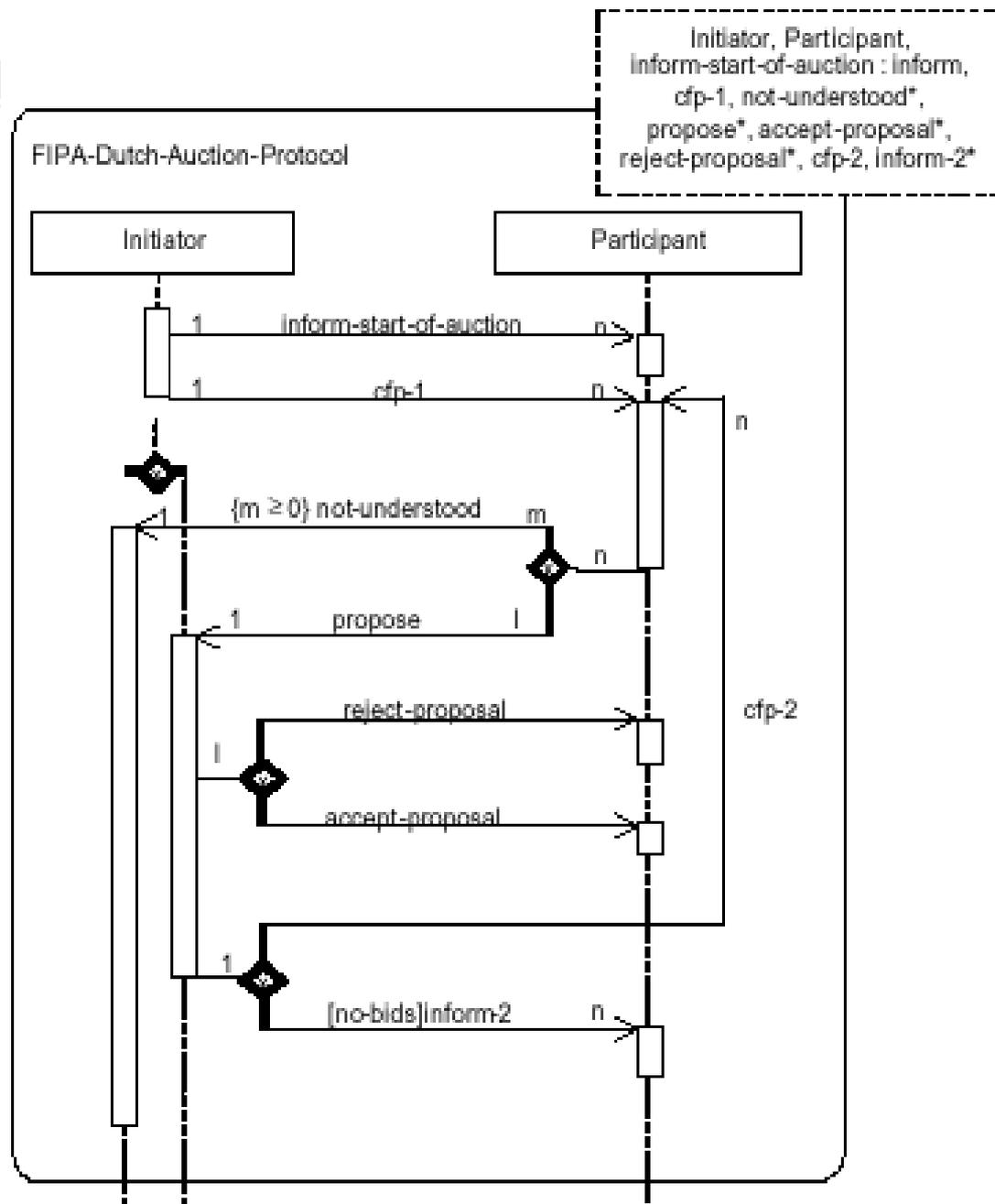
FIPA Dutch auction:

- método de subasta a la baja
- suele haber un precio mínimo por debajo del cual no se realiza la venta



# Plataforma FIPA: Protocol

FIPA Dutch auction:





## Plataforma FIPA: Protocolos de Interacción

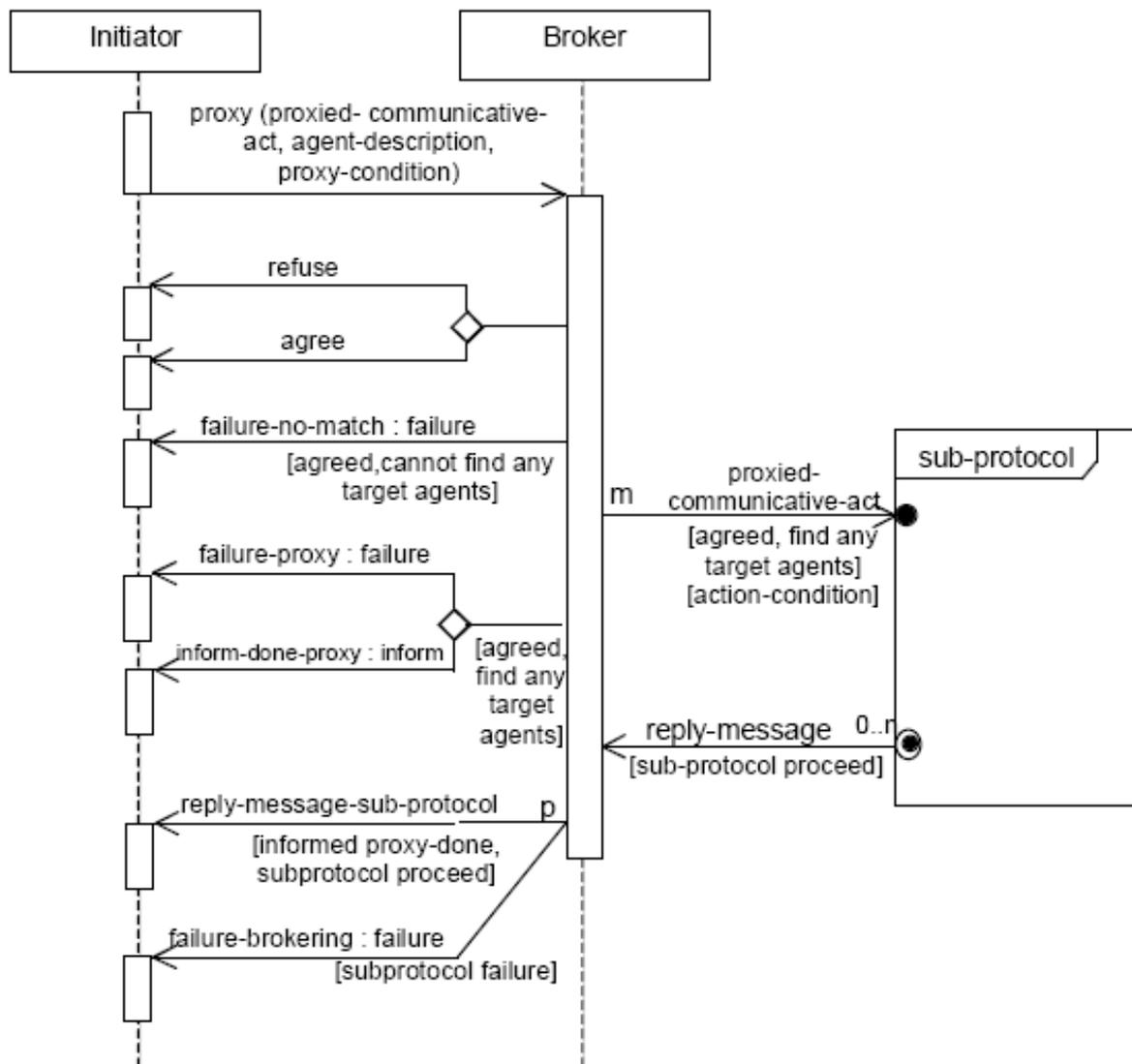
FIPA brokering:

- Diseñado para soportar la intermediación entre agentes
- el broker envía la petición a un conjunto de agentes
- el broker proporciona las respuestas

# Plataforma FIPA: Protocolos de Interacción

FIPA-Brokering-Protocol

FIPA brokering:





## Plataforma FIPA: Protocolos de Interacción

### FIPA brokering:

- Tiene como propósito permitir interaccionar con otros agentes a través de un mediador (el broker)
- proxy es una macro (incluye otro acto comunicativo que el broker debe hacer llegar al seleccionado o seleccionados)
- El broker devuelve los resultados mediante reply-message-sub-protocol (i.e. un reply con la respuesta en el cuerpo del mensaje)



## Plataforma FIPA: Protocolos de Interacción

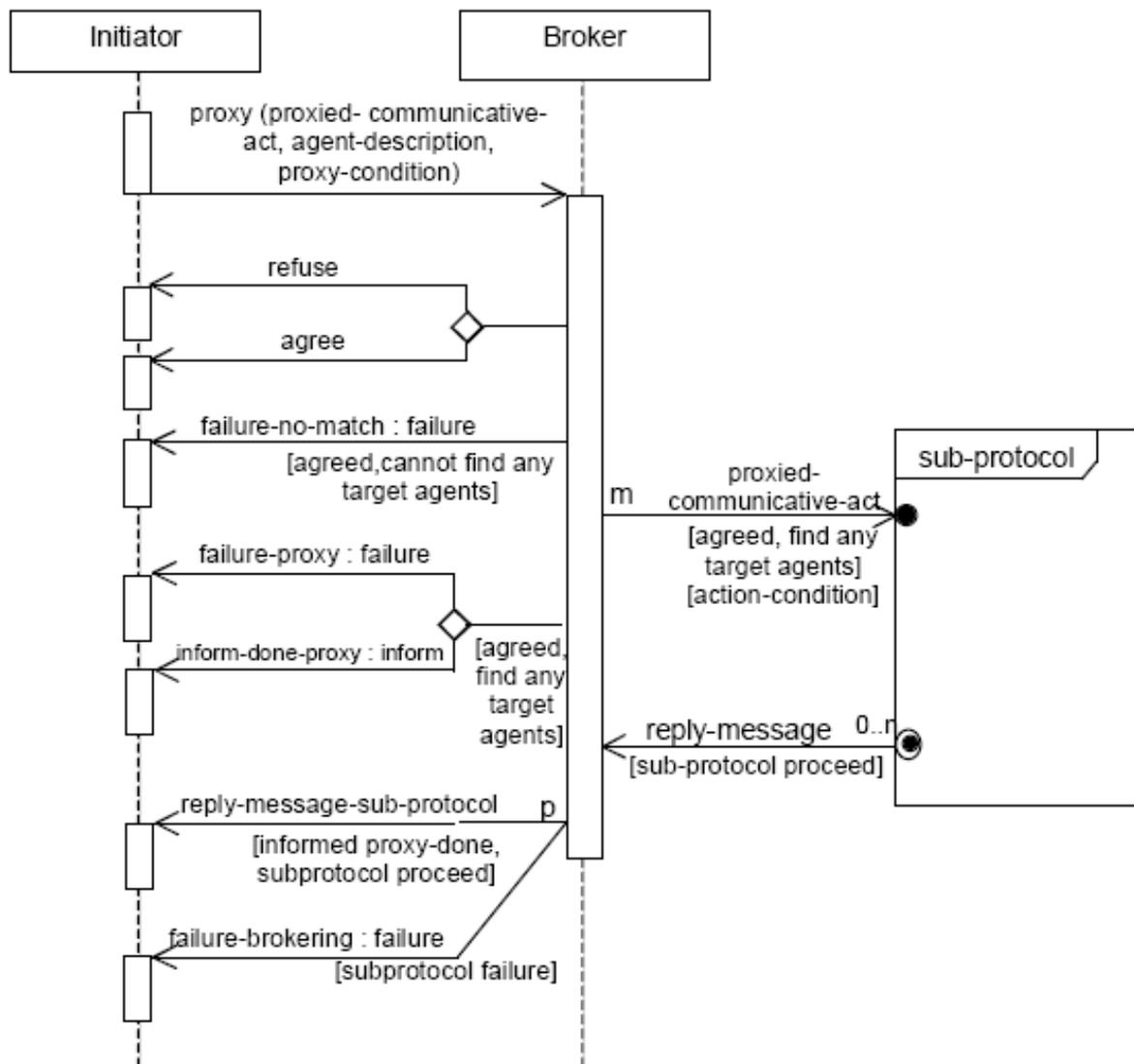
FIPA recruiting:

- análogo a FIPA-brokering
- el broker envía la petición a un conjunto de agentes
- los agentes son quienes envían la respuesta al iniciador

# Plataforma FIPA: Protocolos de Interacción

## FIPA-Brokering-Protocol

FIPA recruiting:



# 1 Sistemas Multiagentes

1. Introducción
2. Comunicación entre agentes
3. Plataformas: FIPA
4. Aplicaciones
5. JADE

# Técnicas Avanzadas de Inteligencia Artificial

Curso 2016-2017

German Rigau y Maite Urretavizcaya  
{german.rigau, maite.urretavizcaya}@ehu.eus

Grado en Ingeniería en Informática