

6 COMUNICACIONES

El soporte para las interacciones que se producen entre los agentes es la comunicación. La importancia de los aspectos comunicativos de los sistemas multiagente ha llevado a que esta sea una de las líneas, dentro de este ámbito de investigación, con mayor número de aportaciones. En el presente capítulo se realiza una revisión de este aspecto pasando desde las formas de comunicación indirectas, por los lenguajes de comunicación de agentes hasta los protocolos de conversación.

6.1 Comunicación: definición y elementos

La comunicación en los sistemas multiagente constituye la base para la interacción y la organización social. Gracias a la comunicación, los agentes pueden cooperar, coordinarse y llevar a cabo tareas conjuntas, posibilita también el aprendizaje de soluciones de tareas menores. Es pues, por medio de la comunicación, como los agentes se vuelven entidades sociales (Ferber, 1999).

Un agente con capacidad para comunicarse puede definirse como un objeto activo que percibe, razona y actúa en el entorno en que se encuentra. Para ello, el agente dispone de una representación explícita del conocimiento y de mecanismos para derivar inferencias u operar.

La comunicación permite a los agentes coordinar acciones y comportamientos para dar lugar a sistemas coherentes, conseguir las metas propias de los agentes o las metas globales del sistema. De forma genérica, la comunicación puede definirse como el intercambio de mensajes, el envío y recepción de los mismos (Huhns y Stephens, 1999).

6.1.1 Distintos aspectos y funciones de la comunicación

Desde el punto de vista de las ciencias cognitivas, la comunicación se efectúa mediante el intercambio de señales. La comunicación es más que un intercambio verbal, constituye un proceso social que integra distintos comportamientos (imitación, gesticulación, etc.). De este modo, los mensajes intercambiados ya no tienen un significado intrínseco, sino que necesitan del contexto para saber el significado de los modos de interacción.

Así pues, un modelo de comunicación inicial contempla la estructura que da soporte a la comunicación, los estados mentales de los interlocutores y el contenido del mensaje (Figura 1).

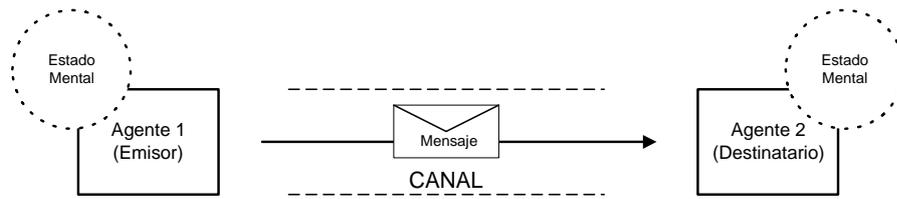


Figura 1: Esquema básico de comunicación (Fuente: elaboración propia).

Según el rol que juegue un agente en la comunicación, este puede ser activo, pasivo o mantener una relación de igualdad con el agente con el que se comunique.

Se presentan a continuación algunos de los aspectos que pueden analizarse en el fenómeno de la comunicación.

- Enlace emisor-destinatario.

Entre las distintas variantes existentes, los enlaces punto a punto son los más empleados por los agentes cognitivos. Destaca también la comunicación por difusión, muy adecuada para sistemas dinámicos de población variable y en protocolos de distribución de tareas.

- Naturaleza del medio.

Atendiendo a la naturaleza del medio, los mensajes pueden enviarse por rutado directo, por propagación de señales (opción típica de los agentes reactivos) o bien mediante anuncios públicos.

- Intención de comunicación.

Las comunicaciones entre agentes pueden llevarse a cabo de manera intencionada (cuando el remitente tiene voluntad de comunicarse) o bien, como un efecto secundario en el que el emisor no participa de forma activa.

La Tabla 1 resume los principales modos de comunicación en sistemas multiagente desde el punto de vista de las ciencias cognitivas.

Tabla 1: Modos de comunicación entre agentes (Fuente: Ferber, 1999).

Tipos de mensaje	Modos de comunicación	Rutado	Intencionalidad
Mensajes simbólico p2p	Punto a punto (p2p)	Directo	Generalmente intencional
Mensajes simbólico difusión	Difusión general	Directo	Generalmente intencional
Anuncio	p2p/Difusión general	Tabla de noticias	Generalmente intencional
Señal	Difusión	Propagación	Secundaria

Los modos de comunicación pueden dividirse según exista o no un método de comunicación externa por el que los agentes puedan compartir la información (Panait y Luke, 2005):

- Técnicas de comunicación directas, en las que existe un método de comunicación externo.
- Técnicas de comunicación indirectas, en las que la comunicación conlleva la transferencia implícita de información mediante la modificación del entorno.

Muchas de las técnicas de comunicación indirectas se han inspirado en el uso social de feromonas que realizan las comunidades de insectos. Por ejemplo, las técnicas de computación evolutiva (*Evolutionary Computation*, EC) han sido usadas para adecuar la política de aplicación de múltiples feromonas en problemas de exploración.

Hasta ahora se ha hablado de los elementos que constituyen la comunicación, pero no de su esencia, sus funciones. Entre ellas se pueden citar:

- Función expresiva: caracteriza la actitud del remitente.
- Función conativa: relativa a órdenes y peticiones.
- Función referencial: centrada en el contexto.
- Función de reconocimiento del canal: establece, verifica e interrumpe el canal de comunicación.
- Función estética: relacionada con el mensaje en sí mismo.
- Función metalingüística: relativa a los mensajes, lenguajes y situaciones de comunicación.

6.1.2 Dimensiones de significado

Los protocolos de comunicación se especifican a varios niveles correspondientes con el método de interconexión entre los agentes, el formato o sintaxis de la información a transmitir y el significado de la misma (Huhns y Stephens, 1999).

Según estos mismos autores, tres son los aspectos que deben tenerse en cuenta para el estudio formal de la comunicación:

- Sintaxis, se encarga del estudio de la estructuración de los símbolos de comunicación.
- Semántica, determina qué denotan los símbolos empleados.
- Pragmática, hace referencia a cómo se interpretan los símbolos.

La semántica está muy relacionada con la ontología, que es la que se encarga de definir los conceptos, los atributos y las relaciones que se establecen entre ellos.

La necesidad del estudio y la confluencia de estas tres disciplinas se aprecia en las dimensiones del significado. La comprensión de las distintas dimensiones del significado es muy importante ya que los agentes se comunican para entenderse.

Según los autores, se consideran un número y unas dimensiones de significado u otras, Singh (2003) identifica las siguientes:

- Dimensión descriptiva frente a prescriptiva: hace referencia a mensajes que describen fenómenos (descriptivos) o bien, tratan sobre comportamientos o situaciones.
- Semántica frente a la pragmática. El significado de un enunciado no sólo depende de lo que se exprese, sino de cómo los comunicadores usen la comunicación.
- Significado personal frente al convencional. Esta dimensión refleja la posibilidad de que un mensaje tenga un significado distinto para un agente concreto que para el resto de la sociedad de agentes. Para que un agente sea entendido debe primar el significado convencional frente al personal.
- Significado subjetivo frente al objetivo: pone de manifiesto la diferencia de entendimiento de un mensaje cuando el efecto de este es externo y puede percibirse objetivamente en el entorno frente a mensajes cuyo efecto es interno.
- Perspectiva (desde el punto de vista del emisor, receptor o la sociedad). Los mensajes se pueden expresar según la perspectiva del emisor, del receptor o de un observador cualquiera. Las dos primeras perspectivas son privadas frente a la última, que es de carácter público.
- Contexto. Esta dimensión de significado hace referencia a que los mensajes no pueden entenderse de forma aislada, sino que deben interpretarse teniendo en cuenta los estados mentales de los agentes que se están comunicando, el estado del entorno, el momento de la historia en que se encuentran, etc.
- Cobertura: hace referencia a la capacidad de expresión posible según los mensajes disponibles.
- Identidad. Esta dimensión contempla la influencia del receptor/emisor concretos de un mensaje y las circunstancias de estos para determinar el significado de dicho mensaje.
- Cardinalidad. Según esta dimensión, el significado de un mensaje cambia dependiendo de si este es recibido por un único individuo o por el contrario se recibe por difusión.

6.2 Teoría de los actos de habla

La comunicación hablada de los seres humanos se toma como modelo para la comunicación entre agentes computacionales. Una teoría habitual para el análisis de las comunicaciones humanas es la teoría de los actos de habla (*Speech acts*).

Esta teoría ve al lenguaje natural humano como acciones. Es decir, los enunciados se consideran acciones, pues cambian el estado del mundo. Por ejemplo, cuando un jurado declara a un acusado inocente, no sólo está aportando o dando esa información, sino que está cambiando la condición o estado social del individuo.

Se denomina acto de habla a las acciones intencionadas llevadas a cabo durante un proceso de comunicación. Los actos de habla tienen tres componentes o aspectos básicos (Searle y Vanderveken, 1985):

- El componente *locutory*, relativo a la enunciación física.
- El componente *illocutory*, que hace referencia al significado pretendido por el hablante (qué se hace al decir algo).
- El componente *perlocutory*, relativo a los efectos que los actos *illocutory* tienen sobre los estados del destinatario, es decir, los resultados de la acción (qué se hace por decir algo).

El componente *illocutory* evita la posibilidad de duda sobre la intencionalidad de los agentes, lo que facilita el diseño de los mismos. Según esta fuerza *illocutionary*, los actos de habla se clasifican en:

- Actos afirmativos: dan información del mundo.
- Actos directivos: dan directivas al destinatario.
- Actos de compromiso: comprometen al emisor a la realización de ciertas tareas.
- Actos expresivos: indican al destinatario estados mentales del emisor.
- Actos declarativos: realizan una acción en el mismo hecho de producirse.

Comunicarse es expresar una cierta aptitud. El tipo de acto de habla que se realiza se corresponde con esa aptitud. En los primeros estudios del lenguaje, se hacía gran hincapié en la verdad o falsedad de los enunciados. Posteriormente, y ante la existencia de enunciados no necesariamente falsos ni verdaderos, se inició un estudio sobre el éxito o fracaso de los actos de habla.

Desde el punto de vista del acto comunicativo, un acto de habla tiene éxito si los destinatarios identifican, según la intención del hablante, la aptitud expresada.

Un acto de habla puede fallar por numerosas razones:

- Falla el acto de enunciación.
- Falla la interpretación del acto por parte del destinatario.
- No se completa la acción en su totalidad, por ejemplo, por falta de medios en el destinatario.

Para una mejor comprensión de los actos *illocutory*, Vanderveken (1990) describe los actos de habla mediante las condiciones necesarias y suficientes para llevarlos a cabo:

- Condiciones de salida y llegada, relativas al canal de comunicación.
- Contenido de las proposiciones. Esta condición hace referencia a las restricciones gramaticales y conceptuales del contenido de la proposición.
- Condiciones preparatorias. Son condiciones necesarias en el mundo para que pueda tener lugar el acto de habla.
- Condiciones de sinceridad. Siempre cumplida en sistemas multiagente artificiales.
- Condición esencial. Hace referencia a qué es lo que el remitente quiere llevar a cabo cuando realiza un acto de habla. Según Vanderveken, existen cinco posibles objetivos que coinciden con los cinco tipos de actos de habla.
- Grado de poder de Vanderveken, relativo a la intensidad del acto de habla llevado a cabo.

Debe señalarse que la teoría de los actos de habla sólo tiene en cuenta estos actos de forma aislada, olvidando las conversaciones de las que estos forman parte. Realmente, los hablantes realizan sus actos *illocutionary* en el marco de conversaciones con el fin de conseguir objetivos comunes, coordinar acciones o negociar.

6.3 Los lenguajes de comunicación de agentes (ACL)

Como ya se ha dicho los agentes deben ser capaces de hablar entre ellos para decidir qué acción realizar y cómo coordinarla con las acciones de los otros. Un lenguaje de comunicación de agentes (*Agent Communication Language*, ACL) es una colección de tipos de mensajes como los actos de comunicación, con semánticas acordadas y que facilitan el intercambio de conocimiento e información entre agentes software. Los ACL nacen de esta necesidad de compartir información y conocimiento entre los agentes distribuidos en entornos de computación, y también, para solicitar la realización de tareas (Chaib-Draa y Dignum, 2002).

El principal objetivo de un ACL es establecer un marco adecuado que permita a agentes heterogéneos interactuar, comunicarse mediante afirmaciones con significado que contienen información sobre el entorno o el propio conocimiento (Kone, 2000).

Debido a la naturaleza autónoma de los agentes, la colaboración requiere de un sistema de comunicación sofisticado.

6.3.1 Componentes básicos

Los ACL son lenguajes de alto nivel cuyas primitivas y estructuras han sido expresamente adaptadas para soportar los distintos procesos de colaboración, negociación y transferencia de información requeridos en la interacción de los agentes.

Los ACL se ubican en un nivel lógico por encima de los protocolos de transporte como tcp/ip o http. Y se encargan de la comunicación en un nivel intencional y social.

Los ACL son en sí mismos estructuras complejas compuestas de distintos sublenguajes que especifican el contenido del mensaje, los parámetros de interpretación y la ontología, así como la aptitud proposicional bajo la cual el receptor debe interpretar el contenido del mensaje.

Los ACL típicos también tienen una semántica mentalística característica. Así pues, el diseño de un ACL es un equilibrio delicado entre las necesidades comunicativas del agente y la habilidad de los receptores para computar (en un tiempo aceptable) el significado pretendido del mensaje. Además, es importante que la sintaxis, semántica y pragmática de los distintos componentes del ACL sean tan explícitos como sea posible, para que el MAS pueda ser abierto y accesible a desarrolladores externos.

Históricamente se han desarrollado muchos ACL propietarios que asumían premisas en cuanto a ontología común o significados no estándar para algunos mensajes. Todo esto impedía la generalización y extensión de la interacción de estos sistemas en otros mayores.

Las últimas tendencias pretenden crear ACL de principios genéricos y explícitos aplicables a gran variedad de interacciones. La combinación de explicitud más generalidad da lugar a lenguajes fuertemente expresivos con semánticas bien definidas basadas en potentes lógicas.

6.3.2 KQML y FIPA ACL

En la última década, dos ACL principales fueron propuestos: KQML (*Knowledge query and manipulation language*) y FIPA ACL (*Foundations of Intelligent Physical Agents Agent Communication Language*).

KQML es el resultado de un proyecto estadounidense cuyo objetivo era el desarrollo de un estándar de comunicación, basado en actos de habla, que permitiera la cooperación de agentes cognitivos.

FIPA ACL es un lenguaje de comunicación de agentes que está basado a su vez en el lenguaje de comunicación de ARTEMIS (*Advanced Research and TEchniques for Multidimensional Imaaging Systems*) denominado ARCOL (*ARTEMIS Communication Language*).

Las especificaciones formales y la semántica de estos lenguajes se basan en los fundamentos filosóficos proporcionados por la teoría de los actos de habla. Ambos proyectos se basan en especificaciones en términos de estados mentales. Si bien, es preferible que las comunicaciones se especifiquen en términos de protocolos, pues de este modo se consigue independencia con respecto a la naturaleza de los agentes y se facilita la comunicación entre agentes heterogéneos.

Los siguientes apartados describen los formalismos presentados de forma más detallada.

6.4 KQML (Knowledge Query and Manipulation Language)

A través de los siguientes apartados se describen las características más destacables de KQML.

6.4.1 Orígenes

En sus orígenes, KQML no guardaba relación con la tecnología de agentes. Este surgió como parte del resultado de un esfuerzo mayor, desarrollado por el consorcio KSE (*Knowledge Sharing Effort*), que pretendía desarrollar una metodología para distribuir información entre distintos sistemas.

El proyecto acometido por KSE fue financiado fundamentalmente por DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*). El objetivo era desarrollar técnicas, metodologías y herramientas software para la compartición y reutilización del conocimiento entre sistemas software basados en conocimiento. Básicamente, se pretendía establecer las bases para la interoperabilidad e interacción entre sistemas software.

En este contexto inicial, KQML podía verse como un conjunto de tipos de mensajes similares a los actos de habla, expresados mediante cadenas ASCII y con una sintaxis tipo LISP. Estos mensajes eran transportados sobre conexiones TCP/IP con el objetivo de intercambiar información y conocimiento entre sistemas considerados como bases de conocimiento virtuales. Así pues, para el modelo de KSE, los agentes eran equivalentes a bases de conocimiento que intercambiaban proposiciones usando un lenguaje que expresaba varias aptitudes proposicionales.

6.4.2 Características básicas

KQML es un lenguaje de comunicación de alto nivel orientado a mensaje y un protocolo para intercambio de información independiente de la sintaxis del contexto y la ontología aplicada (Labrou, 2001). La decisión de separar la semántica del protocolo de comunicación (independiente del dominio) de la semántica del mensaje embebido (dependiente del dominio) fue de gran importancia para la definición de la interacción de los agentes (Huhns y Stephens, 1999). Como consecuencia, KQML es independiente el mecanismo de transporte que se emplee, el lenguaje en que se exprese el contenido del mensaje y la ontología asumida para el contenido.

En KQML toda la información para la comprensión del contenido del mensaje está incluida en la comunicación en sí. Básicamente, puede decirse que KQML toma un mensaje y lo envuelve en una estructura que sea entendible por otros agentes.

La sintaxis de los mensajes KQML es muy similar a la de LISP. Su estructura puede verse en la Figura 2:

```
(ask one
:sender X
:receiver Y
:content (contenido del mensaje)
:ontology vocabulario
:language kif)
```

Figura 2: Estructura de un mensaje KQML (Fuente: elaboración propia).

El lenguaje KQML dispone de un conjunto de primitivas de comunicación para dar soporte a la interacción entre los agentes. Estas primitivas del lenguaje se denominan *performatives* y definen las acciones (operaciones) que pueden acometer los agentes cuando se comunican entre sí.

Aunque KQML tiene un conjunto predefinido de *performatives* reservadas, este conjunto no es ni mínimo ni cerrado, sino que es extensible. Una comunidad de agentes puede decidir usar *performatives* adicionales si todos sus miembros se ponen de acuerdo en su interpretación.

KQML incluye numerosas *performatives* propias de los actos de habla, si bien todas se engloban dentro de dos tipos, afirmativas y directivas.

Conceptualmente, pueden identificarse tres niveles en los mensajes KQML: nivel de contenido, nivel de comunicación y nivel de mensaje (Labrou, 2001)

- Nivel de contenido. Esta capa lleva el contenido del mensaje actual en el lenguaje propio de representación del programa. KQML puede llevar cualquier tipo de lenguaje de representación, cadenas ASCII, notación binaria, etc.
- Nivel de comunicación. Esta capa codifica los parámetros de bajo nivel de la comunicación, tales como el emisor, receptor o identificador de la comunicación.
- Nivel de mensaje. Este nivel constituye el núcleo de KQML. Se encarga de identificar el acto comunicativo o la *performative* que el emisor adjunta al contenido. Además, como el contenido del mensaje es opaco a KQML, también se incluye aquí el lenguaje empleado para el contenido, la ontología asumida y alguna descripción adicional, como el tema dentro de la ontología.

La gran ventaja de KQML es su capacidad para soportar un elevado número de arquitecturas de agentes gracias a su conjunto extensible de *performatives* (Chaib-Draa y Dignum, 2002).

6.4.3 KIF (Knowledge Interchange Format)

Como ya se ha comentado en el punto anterior, KQML surgió como parte de una solución mayor desarrollada por KSE. Otro elemento constituyente de esta misma solución fue el lenguaje KIF, que es un lenguaje común para describir o representar el contenido del mensaje.

El lenguaje KIF establece una sintaxis formal para la representación del conocimiento basada en el cálculo de predicados de primer orden. La lógica simbólica empleada constituye una herramienta sencilla y eficiente. Incluye un conjunto de operadores lógicos tales como negación, disjunción, reglas o fórmulas cuantificadas.

KIF fue propuesto como un estándar para describir cosas en sistemas expertos, bases de datos o agentes inteligentes. Permite también la codificación de conocimiento sobre el propio conocimiento, pudiendo escribirse programas o scripts.

Hay que señalar que KQML también puede usar otros lenguajes, como Prolog, LISP, etc., no existe obligación de emplear KIF con KQML.

6.4.4 Semántica

Inicialmente, KQML se propuso sin ningún tipo de semántica asociada. A consecuencia, las primeras versiones presentaron algunas confusiones y ambigüedades en el uso de las *performatives*. Posteriormente, sus autores acometieron la definición de una semántica apoyándose en la teoría de Searle y Vanderveken.

La semántica definida para KQML se basa en precondiciones, poscondiciones y condiciones de completación para cada *performative*.

Estas condiciones describen estados de los agentes en un lenguaje de aptitudes mentales (creencias, conocimiento, deseos e intenciones) y descriptores de acción para envío y procesado de un mensaje. No se proporcionan modelos semánticos para las aptitudes mentales, pero el lenguaje usado describe los estados de los agentes, restringiendo severamente los modos en que estas aptitudes se combinan para componer los estados de los agentes.

6.4.5 Otras características

Uno de los criterios de diseño de KQML fue producir un lenguaje que soportara una gran variedad de arquitecturas de agentes (Labrou, 2001).

Para ello, KQML proporciona un conjunto pequeño de *performatives* que los agentes usan para describir capacidades y que puede ampliarse en caso de que sea necesario.

Existen también una serie de agentes denominados “facilitadores” o routers. Estos agentes (KQML parlantes) son capaces de procesar el conjunto de *performatives* previamente nombrado. El facilitador realiza tareas necesarias para el servicio de comunicación, tales como mantenimiento de un registro de nombres, reenvío de mensajes de servicio, rutado de mensajes, emparejamiento de proveedores de información y clientes, etc.

Hay que señalar que los agentes hablantes de KQML establecen una relación del tipo cliente-servidor. La comunicación establecida puede ser síncrona o asíncrona y es posible anidar mensajes (Huhns y Stephens, 1999).

6.4.6 Aspectos no considerados en KQML

En cuanto a las deficiencias iniciales de KQML, no debe olvidarse que la semántica no formaba parte de la especificación original del mismo.

En cuanto al conjunto inicial de *performatives* del que disponía, este fue criticado por la ambigüedad de algunas de sus funciones, incoherencia de estas o ausencia de funciones de compromiso (Ferber, 1999).

Tampoco se ofrecía mucho en cuanto a secuencias de mensajes válidas durante la interacción de los agentes.

La descripción del lenguaje realizada hasta ahora permite el intercambio de mensajes individuales, pero no hace ninguna referencia a la posibilidad de establecer diálogos u otro tipo de intercambio de mensajes estructurado. (Labrou, 1994) fue uno de los primeros intentos para dar respuesta al segundo de los problemas o limitaciones señalados, apareciendo entonces las denominadas políticas de conversación (*Conversation Policies*, CP), o protocolos de conversación. Actualmente, esta línea constituye un hilo de investigación aparte.

La especificación KQML también asumía la existencia de un espacio de nombres, gracias al cual, los agentes podían referenciarse entre sí por nombres simbólicos. No se especificaban detalles sobre el espacio de nombres o la asociación entre los nombres simbólicos y las direcciones de red. Además, simplemente conocer la dirección de un agente no es suficiente para iniciar la interacción KQML, sino que también se necesita conocer el protocolo de red que el agente receptor procesa.

Así pues, la especificación de KQML sólo describía el concepto y el marco, pero no suponía un prototipo de trabajo ni una implementación (Labrou, 2001).

6.5 FIPA ACL

Otra iniciativa para obtener un ACL estándar surgió más recientemente en el seno de FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*).

6.5.1 Conceptos básicos

FIPA ACL, como KQML, se basa en la teoría de los actos de habla. Los mensajes son considerados acciones o actos comunicativos cuyo objetivo es realizar una acción por medio del envío de mensajes. La especificación de FIPA ACL consiste en un conjunto de tipos de mensajes y la descripción de su pragmática, es decir, su efecto sobre los estados o aptitudes mentales.

FIPA ACL tiene un conjunto de primitivas menor que KQML, pero permite definir nuevos actos comunicativos a partir de las primitivas existentes, también afirmativas y directivas como KQML (Chaib-Draa y Dignum, 2002).

La especificación describe todo acto comunicativo en forma narrativa y con una semántica formal basada en una lógica modal. También proporciona una descripción normativa de un conjunto de protocolos de comunicación de más alto nivel.

KQML y FIPA ACL son similares. La sintaxis de FIPA ACL es equivalente a la de KQML salvo por el nombre de algunas de sus primitivas. Las primitivas de FIPA ACL (llamadas *performatives* en KQML), se denominan, en este caso, actos comunicativos.

Esta nueva especificación sigue distinguiendo dos niveles en los mensajes, uno dedicado al lenguaje externo (tipo de mensaje) y otro para el lenguaje interno (contenido del mensaje). Como antes, no existe ningún tipo de compromiso con un lenguaje de contenido particular. Sin embargo, para procesar o entender las primitivas de FIPA ACL, los agentes receptores deben tener un cierto entendimiento de las reglas semánticas que se emplean.

6.5.2 ARCOL

FIPA propuso un estándar para ACL basado en el lenguaje ARCOL, creyendo que la semántica formal de este último ofrecería la base rigurosa necesaria para la interoperabilidad entre los agentes y que evitaría la aparición de dialectos como ocurría con KQML.

El esfuerzo de FIPA condujo a establecer una estrecha relación entre ARCOL y el ACL definido. ARCOL posee una semántica formal que se apoya en la suposición de que los agentes tienen creencias, intenciones y que pueden representar incertidumbre sobre distintos hechos. ARCOL indica también condiciones de funcionamiento que definen cuándo un agente puede realizar una comunicación específica (Singh, 2003).

6.5.3 Semántica

Semantic Language, SL, es el lenguaje formal empleado para definir la semántica de FIPA ACL. SL es una lógica multimodal cuantificada con operadores modales para creencias, deseos, creencias inciertas e intenciones o metas persistentes. Este lenguaje semántico permite la representación de proposiciones, objetos y acciones.

En FIPA ACL, la semántica de cada acto comunicativo se especifica como un conjunto de fórmulas expresadas en SL. Estas fórmulas recogen las denominadas condiciones de admisibilidad y los efectos racionales (Labrou, 2001).

Las condiciones de admisibilidad reflejan las condiciones que han de cumplirse para que un agente pueda llevar a cabo un acto comunicativo. Por su parte, los efectos racionales identifican los efectos que un agente espera que ocurran como resultado de la realización de la acción. Generalmente, también incluyen condiciones específicas que deben cumplirse para el receptor.

Así pues, un agente puede utilizar su conocimiento del efecto racional para planear qué acto comunicativo realizar, pero no puede asumir que el efecto racional se produzca necesariamente.

La semántica formal de FIPA ACL soporta la interoperabilidad. La principal limitación de este lenguaje se debe a que su mínima semántica se apoya en los estados de creencias de los agentes comunicantes. Se considera además la existencia de un contexto fijo, lo que puede dificultar la heterogeneidad.

6.5.4 Otros aspectos

FIPA ACL sienta las bases de los componentes prácticos de la comunicación entre agentes y la cooperación, así como una semántica bien definida.

Algunas aplicaciones prácticas han mostrado debilidades del estándar FIPA ACL. Por ejemplo, este no soporta funcionalidad de tiempo real y funciones para aplicaciones de telecomunicaciones. Además, la semántica de FIPA ACL se apoya en los estados mentales de los agentes y no se proporcionan mecanismos para inferir el estado mental final del receptor.

Aunque los protocolos de FIPA son interesantes y pueden aplicarse exitosamente en aplicaciones sencillas, no son lo suficientemente flexibles para ser usados por agentes autónomos y heterogéneos en conversaciones flexibles y complejas como las de persuasión, negociación argumentada, deliberación, etc. (Bentahar, 2005).

6.6 Comparación de KQML y FIPA ACL

Ambos lenguajes, KQML y FIPA ACL, son prácticamente idénticos en cuanto a sus principios y conceptos básicos. Se distinguen fundamentalmente en ciertos aspectos del marco semántico que cada uno de ellos define. Estas pequeñas diferencias son las que impiden un mapeado o transformación directa entre las *performatives* KQML y los actos comunicativos de FIPA ACL. Aunque, por otro lado, estas diferencias no tienen excesiva importancia cuando los agentes con los que se trata no son puramente BDI (Labrou, 2001).

Se presenta a continuación una valoración de las semejanzas y diferencias de ambos lenguajes en función de distintas características de los mismos (Tabla 2).

- Primitivas de comunicación.

La modalidad y definición de primitivas (*performatives* en KQML y actos comunicativos en FIPA ACL) que emplean cada uno de los lenguajes impide la equivalencia total.

Una muestra de esto lo constituyen el tratamiento de aspectos de registro y facilitación. KQML dispone de primitivas para estas tareas y las considera como objetos de primer orden, mientras que FIPA ACL no las considera primitivas en sí mismas. La causa de esta diferencia se encuentra en los distintos orígenes de cada uno de los lenguajes. KQML nació de un proyecto para el intercambio de información entre distintas bases de conocimiento, mientras que FIPA ACL pretendía ser un lenguaje más puro.

- Relación con el lenguaje de contenido.

Ninguno de los dos lenguajes está obligado a usar un lenguaje de contenido específico.

- Sintaxis.

Sintácticamente, los dos lenguajes son equivalentes. Esto facilita el desarrollo de la infraestructura de tratamiento de mensajes (descomposición de mensajes entrantes, composición de mensajes para transporte, introducción en el canal) mediante protocolos de menor nivel independientes del ACL elegido.

- Semántica.

Semánticamente, la descripción del acto comunicativo es diferente en ambos lenguajes. Mientras que KQML se apoya en precondiciones, poscondiciones y condiciones de compleción, FIPA ACL sólo emplea condiciones de admisibilidad y efectos racionales. El lenguaje que emplean para describir el estado de los agentes también es distinto. Sin embargo, ambos lenguajes emplean una semántica basada en nociones mentalistas (creencias, deseos, etc.)

La similitud de las asunciones básicas y la sintaxis de ambos lenguajes hacen que sólo el código de las primitivas específicas de comunicación tenga que cambiar según el ACL elegido. Así, salvo que un agente implemente modalidades que sigan una teoría de agentes particular (tipo BDI o similar) y que requieran de una cierta semántica, la decisión de qué lenguaje elegir debe basarse en conceptos relativos a la pragmática (Labrou, 2001).

Tabla 2: Resumen comparativo KQML-FIPA ACL (Fuente: elaboración propia).

	KQML	FIPA ACL
Primitiva de comunicación	<i>Performative</i>	Acto comunicativo
Lenguaje de contenido	Elección libre	Elección libre
Sintaxis	Tipo LISP	Tipo LISP
Semántica	Precondiciones, poscondiciones, cond. compleción	Condiciones admisibilidad, Efectos racionales

6.7 Aspectos destacables y cuestiones relativas a los ACL

Tras la presentación de los lenguajes de agentes de mayor importancia en los últimos años, se destacan a continuación algunos aspectos de los mismos especialmente problemáticos, desatendidos o de carácter especial.

6.7.1 Relación entre la semántica y la teoría de agentes

La teoría de agentes es un modelo formal general que especifica qué acciones puede o debe realizar un agente en distintas situaciones. Estas se suelen basar en un conjunto pequeño de primitivas derivadas de las aptitudes proposicionales filosóficas (creencias, deseos, intenciones) y en un conjunto de axiomas que definen las relaciones entre estas. Para completar la teoría de agentes, esta consta también de una estrategia de razonamiento general y un modelo deductivo.

El comportamiento comunicativo de un agente se encuentra entre los comportamientos regulados por la teoría de agentes. Por esto, las teorías semánticas que definen el significado de los mensajes ACL deben, en última instancia, estar ligadas con la teoría de agentes básica.

Tanto para KQML como para FIPA ACL, esta relación se basa en considerar la comunicación como un tipo de acto que afecta al mundo, tal y como lo hacen los actos físicos. Precisamente, los tipos de mensajes ACL se consideran actos de habla y se describen en términos de creencias, deseos e intenciones.

- Semántica de FIPA ACL y teoría de agentes.

La semántica actual de FIPA ACL depende de la teoría de agentes que proporciona un conjunto de primitivas del estilo BDI. Esta semántica se basa en nociones mentalistas (creencias, deseos) y trata el envío de mensajes por parte de los agentes como acciones. Formalmente, la teoría semántica de FIPA ACL se expresa en una lógica multimodal que envuelve creencias e intenciones como operadores primitivos, así como una teoría de acción simple. Así, para que los agentes que usan FIPA ACL lo hagan de forma coherente, necesitan adherirse a los principios BDI. También deben actuar como si implementaran un motor de razonamiento para tener en cuenta la semántica.

- Semántica de KQML y teoría de agentes.

La semántica de KQML se definió de forma bien distinta, sin asumir originalmente una arquitectura BDI completa para los agentes. Era bastante más sencilla, trataba el borrado o adición de afirmaciones a la base de conocimiento virtual. Esto dio lugar a una semántica muy permisiva que favoreció la aparición de numerosos dialectos, hasta que posteriormente se estableció una semántica formal de complejidad semejante a la de FIPA ACL.

En cualquier caso, existen situaciones en las que se producen malentendidos entre la semántica y la teoría de agentes, y en las que ambos conceptos no se pueden encajar. Estas situaciones se producen cuando la teoría de agentes permite acciones comunicativas que no son expresables mediante la semántica del ACL. Un ejemplo de esto es la aptitud de sinceridad por parte de un agente al emitir un enunciado. Asumirla supone simplificar el problema de la comunicación entre agentes, de igual modo que se asume que el mensaje no será contaminado en su camino o que llegarán en orden al destinatario. Según el contexto en el que se desarrolle el MAS, estas asunciones pueden ser más o menos apropiadas.

Con el objetivo de que la semántica se ajuste a numerosas situaciones, se intenta minimizar las pre/poscondiciones y se intenta que tengan un carácter general. Sin embargo, esto mismo impide que sean completamente adecuadas a todo tipo de situaciones.

6.7.2 Aspectos de verificación

La verificación de la semántica de un ACL con respecto a la especificación del mismo es un asunto generalmente subestimado.

6.7.2.1 Verificación de la semántica para un agente

Los actos comunicativos en ACL están concebidos para operar a un nivel de abstracción superior al de las variables y valores sobre los que versan. En consecuencia, y como ya se ha indicado en otros puntos, las precondiciones, poscondiciones y condiciones de compleción (para el caso de KQML) y las condiciones de admisibilidad y efectos (para el caso de FIPA ACL) se expresan, típicamente, en términos de aptitudes mentales de los agentes

involucrados. Esto hace realmente complejo comprobar la verificación de las condiciones por parte de los agentes.

Si la semántica de un ACL viene dada como algún tipo de lógica, la verificación del uso de este ACL por parte de los agentes implica comprobar las semánticas de los programas correspondientes a los agentes. Aunque cualquier programa puede describirse mediante semánticas formales, generalmente esto se hace en términos de una lógica temporal, por lo que no se incluyen conceptos como creencias o intención. Si la implementación del agente se hiciera estrictamente en términos de la teoría BDI, podría existir una interpretación en estos términos, aunque en ese caso tampoco sería única y sería ambigua (Chaib-Draa y Dignum, 2002).

Tres son las posibles soluciones a este primer problema:

- Verificar el ACL únicamente cuando se cumplan formal y estrictamente los conceptos mentales de la semántica de la teoría de agentes.
- Emplear una lógica más simple que la lógica multimodal comúnmente usada en KQML y FIPA ACL (Wooldridge, 2000).
- Aplicar una perspectiva combinada del estado mental del agente, su aptitud pública y el módulo de argumentación. Estas consideraciones permiten explicar las razones tras la realización de un acto comunicativo y cómo un agente puede decidir el próximo acto a llevar a cabo (Bentahar, 2005).

6.7.3 Ontología

Muy relacionado con la semántica del ACL se encuentra el tema de las ontologías. Tanto FIPA ACL como KQML incluyen un elemento para identificar la fuente de vocabulario empleada en el contenido del mensaje. No obstante, proporcionar unas etiquetas de ontología no resuelve el problema de adquisición y uso de una base de conocimientos ontológicos común, requisito básico y necesario para una comunicación exitosa.

Este problema es especialmente agudo en sistemas abiertos que incluyen a agentes provenientes de diversas organizaciones. Los problemas asociados con el aprendizaje de significado y el razonamiento con una nueva terminología son muy similares a los del área de integración de bases de datos y sistemas de información cooperativos. La integración ontológica no requiere la unificación de las estructuras, sino la existencia de un mínimo número de reglas de traducción que permitan pasar términos importantes de una ontología a otra.

En consecuencia, los agentes sólo pueden comunicarse completamente si comparten una ontología común o se les proporciona una serie de reglas de traducción.

En general, características deseables para una ontología son (Chaib-Draa y Dignum, 2002):

- Amplio espectro de cobertura que permita a los agentes compartir conocimiento en muy diversos contextos.

-
- Relevancia con el dominio. La ontología debe depender del dominio y su taxonomía y sus relaciones deben mostrar claramente su relevancia en este.
 - Extensibilidad para permitir la adición de nuevos elementos.

6.7.4 Cobertura de los mensajes ACL

Cuando agentes heterogéneos interactúan mediante un ACL, el significado de tales intercambios se caracteriza mediante actos comunicativos. Según la filosofía del lenguaje, todos estos actos se encuentran en una de las siguientes categorías:

- Representativos o afirmativos.
- Directivos.
- De compromiso.
- Expresivos.
- Declarativos.
- Permisivos.
- Prohibitivos.

FIPA ACL y KQML no recogen todos estos tipos de mensajes. Así pues, estos ACL son incapaces de expresar todas las intenciones de los agentes de acuerdo a las potentes teorías de agentes, ya que varias clases de primitivas se encuentran ausentes. El efecto de esta ausencia es limitado, pues ambos lenguajes son extensibles (Singh, 2003).

6.8 Hacia la estandarización y la perspectiva social de la comunicación

Tanto la semántica de KQML como la de FIPA ACL se basan en una perspectiva mental de los agentes, como puede verse del hecho de que los actos comunicativos se describan en términos de creencias, deseos, intenciones y similares. En cualquier caso, los agentes no se diseñan usando directamente esos estados mentales, por lo que es prácticamente imposible comprobar si los mensajes son usados correctamente o no.

Una alternativa a este punto de vista mental es el punto de vista social, que considera los actos comunicativos como parte de la interacción social que esté teniendo lugar. Así, aunque no seamos capaces de determinar si los agentes tienen un estado mental determinado, podemos ver si la comunicación sigue ciertas normas sociales.

Así pues, con el objetivo de estandarizar los ACL y conseguir que sea posible la comunicación entre agentes heterogéneos, debe construirse un ACL normativo, al que los agentes puedan acceder desde distintos entornos y según el cual sean capaces de comprenderse. Este ACL debe apoyarse en distintos estándares. La semántica debe tratarse desde un punto de vista público. El diseñador puede usar una perspectiva privada, pero sólo

para fijar las creencias e intenciones, de modo que el comportamiento público acceda o cumpla con el estándar.

6.8.1 Los agentes y los principios sociales

Según Singh (2003), el ACL ideal tendría una perspectiva pública, enfatizaría el significado convencional, evitaría el pragmatismo, tendría en cuenta el contexto e incluiría la mayoría de los actos comunicativos.

Desde esta perspectiva, los agentes asumen distintos roles en la sociedad de la que forman parte, comprometiéndose y comunicándose de forma acorde a estos roles. Esto supone restricciones en la forma en que los agentes desarrollan su papel, no obstante, estos pueden manipular sus compromisos e incluso cancelarlos. Se permite así un comportamiento flexible que, realmente está limitado por “metacompromisos” a un nivel superior, lo que evita la aparición de comportamientos arbitrarios.

En consecuencia, lo que se especifican realmente son protocolos en forma de un conjunto de compromisos. Se permite a los agentes actuar como les plazca, siempre y cuando obedezcan las restricciones de las sociedades a las que pertenecen y los protocolos que siguen.

El desafío es conseguir un enfoque normativo a nivel de sociedad y que preserve alguna de las intuiciones detrás de este nivel de abstracción, tal y como son creencias e intenciones.

Tres son las posibles soluciones para conseguir esto:

- Enfoque basado puramente en el comportamiento: limita la habilidad de describir estados complejos de los agentes.
- Enfoque puramente mentalista: reduce la autonomía de diseño.
- Combinación de los compromisos sociales con la perspectiva pública de los estados mentales. Este enfoque define cuándo un acto comunicativo queda completamente satisfecho. Se trata de una aproximación híbrida de las dos anteriores.

6.9 Otros aspectos de comunicación: una visión más amplia

Ya se ha comentado anteriormente la necesidad de una infraestructura que de soporte a la comunicación y un conjunto de protocolos para el tratamiento de los numerosos fenómenos que se producen en el proceso.

La Figura 3 recoge la situación del ACL con respecto al resto de infraestructura necesaria para que tenga lugar la comunicación entre agentes.

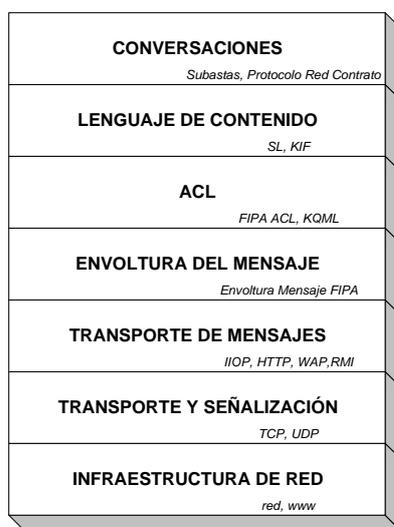


Figura 3: Modelo de capas de la comunicación (Fuente: Laamen, 2006).

Esta infraestructura hace referencia a protocolos y servicios de ordenación de mensajes, reparto de los mismos, formato y direccionamiento, directorio de servicios y otros aspectos de comunicaciones y gestión de redes.

En general, existe poca estandarización en esta área y resulta complicado diseñar una infraestructura de comunicación general para agentes que sea eficiente y fiable para distintas topologías de comunicación y sistemas de redes. Los distintos desarrolladores suelen adoptar sus propias convenciones para tratar estos aspectos, lo que causa problemas de compatibilidad a menudo.

A grandes rasgos, cualquier sistema que vaya a usar KQML o FIPA ACL debe proporcionar:

- Un juego de APIs (*application programming interface*) que faciliten la composición, el envío y recepción de mensajes ACL.
- Una infraestructura de servicios que asista a los agentes para el nombramiento, registro y servicios de facilidades básicas (por ejemplo: encontrar a otros agentes que puedan hacer lo que se necesita de ellos).
- Código para cada tipo de mensaje reservado que realice la acción prescrita por las semánticas de la aplicación particular. Este código depende del lenguaje de aplicación, el dominio y los detalles del sistema de agentes que use el ACL.

Hay que señalar que sólo el último punto depende del programador, los otros deben ser componentes reutilizables.

En esta situación, definir un ACL útil y práctico, requiere ir más allá de la semántica y la sintaxis típicamente estudiadas. Para conseguirlo, los puntos o temas que se abordan son:

- Sintaxis y codificación.

Es necesaria una sintaxis más abstracta para los ACL. Los mensajes deben permitir múltiples codificaciones (como objetos Java, ASCII tipo LISP, etc.). XML es considerado como una buena alternativa, pues proporciona una codificación más interoperativa y flexible que las tradicionalmente usadas.

- Conversaciones.

Las conversaciones suponen un cambio del enfoque aplicado a la comunicación. Con ellas se pasa de centrar la atención en los mensajes individuales a tomar como elemento de estudio principal el intercambio de secuencias de mensajes entre los agentes. Se deja entonces de enfatizar la dimensión interna de los agentes para fijar la atención en los patrones de comportamientos.

- ACL y www.

ACL y www se desarrollaron inicialmente de modo independiente. Unos pocos pasos iniciales dados para la integración de ACL y www incluyen la definición de una sintaxis abstracta para los mensajes ACL, lenguajes de contenido específicos del dominio y codificación XML para los mensajes y el contenido.

XML es un lenguaje para creación de lenguajes de marcado que describen datos. La codificación XML permite un desarrollo más fácil de descomponedores/analizadores que la codificación tipo LISP. También favorece la especificación de la ontología para el intercambio de mensajes. El desarrollo de la herramienta KSACI es una prueba de los avances en esta línea (Albuquerque et al., 2002). También en esta misma dirección y con una inspiración similar, (Huget, 2003) propone enfocar la capacidad de interacción de los agentes como un servicio ofrecido a estos y apoyado en un módulo de interacción.

- Servicios e infraestructura.

Todo MAS que use un ACL debe tener una implementación básica de APIs. Existen numerosos APIs escritos en Java. Los APIs proporcionan el medio para componer mensajes ACL bien definidos, descomponerlos adecuadamente, enviar y recibirlos sobre la red y tener un esquema de nombramiento, etc.

Se aboga por el esquema de nombramiento tipo www y codificación XML, que ayuda con la composición/descomposición de mensajes, pues tiene herramientas de procesado para ello. Desde el punto de vista de los facilitadores, la situación continúa siendo fluida y, en cualquier caso, es incluso más sencillo desarrollar estos servicios.

6.10 ACL y conversaciones

Un ACL proporciona a los agentes un medio para intercambiar información y conocimiento. ACLs como KQML o FIPA ACL son lenguajes de aptitudes proposicionales. Se supone que estos lenguajes están por encima de la capa de mecanismos tales como RPC (*Remote Procedure Call*) o RMI (*Remote Method Invocation*), ya que manejan proposiciones, reglas y acciones, en lugar de simples objetos.

Los mensajes ACL describen un estado deseado en un lenguaje declarativo, frente a procedimientos o métodos. No obstante, los ACL no cubren todo el espectro de lo que los agentes pueden querer intercambiar. Objetos más complejos pueden y deben intercambiarse, tales como planes parciales u objetivos, o incluso, experiencias compartidas o estrategias a largo plazo.

El propio ACL define los tipos de mensaje que los agentes pueden intercambiar. Sin embargo, los agentes no se involucran en un simple intercambio de mensajes, sino que mantienen conversaciones. Es decir, tareas orientadas, secuencias compartidas de mensajes para la consecución de una tarea específica, tal como la negociación o subasta. Al mismo tiempo, un nivel superior dedicado a las estrategias de los agentes guía el comportamiento comunicativo de estos.

Cuando un agente envía un mensaje espera una cierta respuesta del receptor. Este tipo de expectativas no se codifican en el propio mensaje, sino en una estructura de nivel superior.

Cada agente debe implementar procedimientos para la toma de decisiones que le permitan seleccionar y producir un mensaje acorde con sus intenciones. Tener en cuenta el contexto del mensaje anterior facilita la tarea al reducir el espacio de soluciones, puesto que referencian una serie de patrones de conversaciones. Así, se reconoce la interdependencia que existe entre los mensajes intercambiados, y se abandona la idea de intercambio de mensajes individuales y aislados a favor de los protocolos de conversación.

La idea de un protocolo es la de facilitar la tarea de computar las posibles respuestas a un determinado mensaje. Ej: *Request interaction protocol*, *Contract Net interaction protocol*, etc. No obstante, no debe olvidarse también la dificultad que implica el comprobar a qué patrón de conversación se ajusta un cierto intercambio de mensajes.

KQML y FIPA ACL reconocen la necesidad de conversaciones, donde una conversación no es más que un patrón para el intercambio de mensajes entre dos o más agentes que acuerdan comunicarse entre sí (Labrou, 2001).

Entre las ventajas ofrecidas por este enfoque pueden citarse:

- La conversación proporciona un contexto al intercambio de mensajes, facilitando la interpretación y entendimiento de estos.
- Las conversaciones posibilitan un mejor ajuste con los modelos intuitivos de interacción de agentes que la comunicación basada en mensajes.
- Aproxima la comunicación entre agentes a los estudios y enfoques propios de los protocolos de red.
- La estructura conversacional puede separarse de las acciones a llevar a cabo por un agente, facilitando de este modo la reutilización de la misma.

Aunque las conversaciones se han convertido en parte de muchas infraestructuras de agentes ACL hablantes, no se ha realizado demasiado trabajo para la especificación e implementación de las conversaciones.

Para distintos autores, entre ellos (Greaves et al. 2000), los protocolos de conversación deben buscar dos características fundamentales:

- **Flexibilidad.** El objetivo de los protocolos de conversación es restringir el comportamiento de los participantes en una conversación al mismo tiempo que se tiene en cuenta el carácter autónomo de los agentes. Estos protocolos deben encontrar un equilibrio entre los aspectos normativos asegurados por las restricciones y la flexibilidad esperada de las comunicaciones en MAS.
- **Especificación.** Los protocolos deben ser específicos y tener en cuenta la complejidad computacional del razonamiento que implican. Debe evitarse la explosión del espacio de soluciones respuesta a un mensaje y debe permitirse la verificación de ciertas propiedades como por ejemplo, condiciones de terminación de la conversación.

6.10.1 Modelado de una conversación

Estos protocolos se especifican como estructuras estáticas que definen de forma determinista el orden en el que los actos comunicativos están conectados. Al igual que los protocolos usados en sistemas distribuidos, estas estructuras son modeladas mediante máquinas de estado finito, redes de Petri, diversos tipos de especificaciones basadas en la lógica o diagramas de secuencia UML (Ferber, 1999).

Dos de los formalismos más populares son los autómatas de estado finito y las redes de Petri. Los distintos formalismos varían en el grado de rigidez que imprimen a las conversaciones, los modelos de concurrencia que soportan, la complejidad computacional de su ejecución y la disponibilidad de herramientas y técnicas existentes.

6.10.1.1 Autómata de estado finito

Una conversación puede describirse mediante una serie de estados unidos por transiciones (comunicaciones entre los agentes) y modelarse como un autómata de estado finito. Es una estructura sencilla que muestra el flujo de acción (comunicación) de forma intuitiva y resulta válida para la mayoría de las interacciones secuenciales.

Las principales propiedades de esta estructura comunicativa son:

- Las conversaciones empiezan con un acto de habla principal.
- Para cada estado de la conversación, existe un número reducido de acciones posibles.
- Existen estados terminales que se corresponden con el fin de la conversación.
- Los actos de habla modifican los estados de la conversación y de los agentes involucrados en la misma.

6.10.1.2 Redes de Petri

Los autómatas de estado finito son de gran utilidad cuando las conversaciones se dan de forma aislada, es decir, cuando un agente sólo está involucrado en una única conversación en

un momento dado. Sin embargo, realmente, un agente mantiene varias conversaciones de forma paralela, por lo que resulta adecuado describir estas interacciones mediante redes de Petri.

Cada agente se describe con una subred de Petri y los mensajes que se intercambian entre ellos se ven como localizaciones suplementarias. De esta forma, el conjunto final se ve como una única red.

Lo más interesante de este enfoque es que, además de representar los intercambios entre los agentes, permite especificar cuáles son sus estados internos y describir qué está ocurriendo durante la conversación.

El empleo de redes de Petri coloreadas permite aún mayor expresividad tal y como muestran los trabajos de (Cost et al. 2000).

6.10.2 Políticas de conversación y semántica

Debido a su aspecto ventajoso, virtualmente, todos los MAS emplean algún tipo de nivel o capa conversacional explícito o implícito. No existe aún una teoría formalmente establecida para el estudio de los protocolos de conversación. Se intenta encontrar una aproximación intermedia entre los protocolos completamente fijos (propios de sistemas distribuidos) y los basados en reglas genéricas, que requieren de un importante esfuerzo computacional para adaptarse a distintas situaciones.

Un aspecto muy importante a tener en cuenta es la unión entre las teorías semánticas y las de las políticas de conversación. Por un lado, parece obvio que las propiedades a gran escala de las conversaciones de los agentes manan de los significados individuales de los mensajes que componen las conversaciones. En este caso, la semántica del ACL es básica y toda propiedad de la conversación se deriva lógicamente de la composición de algunas propiedades semánticas de los mensajes individuales y su secuencia.

Por otro lado, existe un hilo de investigación significativo que toma a las conversaciones como primitivas semánticas, y el significado preciso de los mensajes individuales se deriva de su papel en la conversación global. En este caso, la semántica conversacional es básica y debido a la dependencia de la semántica de ACL con el contexto, el mismo mensaje puede tener significados ligeramente diferentes. De este modo, un ACL no se ve como un conjunto de actos de habla, sino como un conjunto de conversaciones ordenadas (Chaib-Draa y Dignum, 2002).

6.10.3 Conversaciones y coordinación

Para que las conversaciones sean usadas para la coordinación de agentes, debe prestarse atención a los siguientes aspectos:

- Especificación de la conversación: modo de descripción adecuado para que sean accesibles tanto a máquinas como a personas.

-
- **Compartición de la conversación:** cómo emplear un estándar de conversaciones para que un agente describa en qué conversaciones quiere involucrarse, así como identificar las conversaciones que otros agentes pueden mantener.
 - **Agregación de conversaciones:** cómo pueden usarse conjuntos de conversaciones como APIs de un agente para describir las clases de capacidades que definen un servicio particular.

Típicamente, un protocolo de conversación se asocia a una tarea específica, como registro o algún tipo de negociación concreto. La especificación de una conversación puede y debe contener información sobre la propia conversación y sobre los agentes que la desarrollan.

Además de la especificación de la secuencia de mensajes intercambiables, el conjunto de roles, restricciones y dependencias entre los mensajes individuales debe capturarse. Pueden darse diálogos o conversaciones con más de dos participantes, incluso con un número de participantes dinámico durante el transcurso de la conversación.

Para desarrollar sistemas de conversaciones, los desarrolladores deben tener la habilidad de extender las conversaciones existentes mediante especialización y composición. El desarrollo de estas dos capacidades conlleva la creación de una sintaxis para expresar una nueva conversación en términos de las conversaciones existentes, y para la unión de las piezas apropiadas de los componentes de las conversaciones.

Desde el punto de vista de los agentes, estos deben poder leer una cierta descripción de las conversaciones para decidir si les conviene unirse a estas. Para ello se necesita una ontología básica sobre los objetivos y las acciones comunes, además de una forma de relacionar esta ontología con los roles, estados y transiciones de la conversación.

El conjunto de conversaciones en las que un agente participa define una interfaz para el agente. Así, el conjunto de conversaciones estandarizadas puede servir como una interfaz abstracta de agentes (*Abstract Agent Interface, AAI*), en la mayoría de los casos este conjunto de llamadas a funciones e invocaciones a métodos estandarizados sirven como APIs en los enfoques tradicionales de construcción de sistemas (Cost et al. 2000).