

# Subastas y Sistemas Multiagente

Pablo Noriega\* y Carles Sierra  
IIIA-CSIC  
Campus U.A.B.–Bellaterra  
Barcelona  
{pablo,sierra}@iia.csic.es

## Resumen

En una casa de subastas, compradores y vendedores se coordinan para intercambiar bienes siguiendo un procedimiento sumamente estructurado y aparentemente sencillo. Esas convenciones de coordinación han evolucionado a lo largo de siglos y actualmente se utilizan dentro de instituciones comerciales para intercambiar bienes y servicios de una gran diversidad. En este trabajo tomamos una casa de subastas tradicional, la *Llotja* (o Lonja) de Blanes, y discutimos cómo a partir de ella se puede definir una lonja virtual que sea adaptable al entorno del comercio electrónico. En esta institución virtual las funciones de intermediación son realizadas por agentes autónomos y tanto vendedores como compradores pueden ser personas o agentes de software. También mostramos cómo las nociones subyacentes son aplicables para definir otras instituciones en las que algunos de los participantes pueden ser agentes de software.

## 1 Introducción

Según algunos economistas (por ejemplo, Casady [2] o Wolfstetter [44]), las subastas son un mecanismo para la fijación de precios en el que la negociación se ciñe a un proceso sumamente simple de coordinación. En éste suelen intervenir compradores y vendedores, pero el intercambio mismo se suele realizar gracias a un intermediario —el subastador— que presenta los bienes a intercambiar y va presentando (o recibiendo) ofertas por dichos bienes siguiendo alguna *convención de puja* preestablecida que determina tanto la secuencia de ofertas, como la manera como se designa al ganador y el mon-

to al que se adjudica el bien. Por ejemplo, en las lonjas de pescado se suele seguir lo que se denomina una convención “a la baja”. En ella, típicamente el subastador señala una caja de pescado, enuncia un precio inicial y de forma sumamente rápida canta una letanía de precios cada vez menores hasta que un comprador grita “yo”, indicando así su aceptación de la oferta al último precio cantado.

Otros economistas (como Smith [36] o McAfee y McMillan [14]) sin embargo, suelen ser cuidadosos en señalar que además de las convenciones de puja propiamente, en una casa de subastas existen otras convenciones y otros elementos igualmente relevantes para lograr esa coordinación entre compradores y vendedores —convenciones para el registro de participantes

---

\*En licencia del Laboratorio Nacional de Informática Avanzada, (LANIA), Xalapa, Ver. México

y bienes, convenciones sobre garantías y pagos, comisiones, precios de salida, etc.— y suelen referirse a las “casas de subastas” como *instituciones* (Cf. D. North,[20]).

Nosotros asumiremos esa segunda posición en este trabajo, aunque le imprimiremos un fuerte sesgo de Inteligencia Artificial. Concebimos una casa de subastas (que puede ser tradicional o “en línea” o *virtual*) como una “institución” en la que se estipulan y se hacen cumplir *convenciones explícitas* de tres tipos:

1. **Convenciones Ontológicas y de Comunicación** en las que se esclarecen tanto los elementos que conlleva una subasta, como el significado de las ilocuciones que se intercambian dentro de una casa de subastas.
2. **Convenciones Sociales** que reglamentan las interacciones de los participantes en una subasta mientras intervienen en ella.
3. **Reglas de conducta individual** a las que están sujetos los participantes de una subasta y que establecen los compromisos, obligaciones y derechos que les atañen.

Por medio de esas convenciones, la casa de subastas impone condiciones objetivas en lo que atañe a:

- La disponibilidad, presentación y entrega de bienes,
- los requisitos de admisión para compradores y vendedores,
- las normas de comportamiento de los participantes durante una subasta, y
- el cumplimiento de los compromisos públicos que los participantes adquieran durante una subasta.

Al imponer esas convenciones, la institución articula las interacciones de los compradores y de los vendedores y establece y garantiza que las negociaciones y las transacciones se lleven a cabo de manera transparente y equitativa.

Una casa de subastas tradicional, y la correspondiente institución virtual son en esencia iguales, salvo por dos diferencias clave. Por

una parte, el lugar en donde se realizan las subastas en una institución tradicional es un sitio físico, mientras que en una institución virtual, la subasta se desarrolla en línea en un lugar *virtual*. Por otra parte, quienes cumplen y quienes hacen cumplir las convenciones de una institución tradicional suelen denominarse *agentes*, pero a diferencia de las instituciones tradicionales, nosotros consentiremos que los agentes que intervengan en una institución virtual puedan ser tanto personas como agentes de software<sup>1</sup>. Por tanto, esa institución virtual podrá entenderse —en abstracto— como *un modelo de un sistema multiagente*, o —en concreto— como su *realización computacional en Internet*.

El considerar la realización computacional de una institución en la que participan agentes permite focalizar la atención en un aspecto obvio, mas no por ello trivial, de esta realización: *los agentes interactúan mediante el intercambio de mensajes*. Estos mensajes se pueden hacer corresponder con ilocuciones en un lenguaje formal y puede entonces convenirse en que toda interacción entre agentes en una institución virtual sea un intercambio de ilocuciones. A esta observación la denominamos la *posición dialógica fuerte* y equivale a suponer que el sistema multiagente que modela a la institución es un *sistema dialógico* (en el sentido de, por ejemplo, Hamblin [8]<sup>2</sup>). En la práctica, esto equivale a decir que todo compromiso que se pudiera admitir como un *compromiso válido* en una casa de subastas virtual, deberá corresponder con un mensaje que, de acuerdo a las normas establecidas por la institución, fue emitido por un participante y recibido por otro participante (o conjunto de participantes) en el transcurso de una subasta. O dicho más formalmente, para nuestros efectos, un

<sup>1</sup>Nótese que distinguimos entre *casa de subastas* (una institución que realiza subastas, y *subasta* (el *proceso* de intercambio de bienes sujeto a las convenciones de una casa de subastas o una *instancia* de ese proceso). También distinguimos entre *convenciones de puja* (que regulan solamente las *rondas* de negociación de una subasta) y las convenciones de *subasta* (que además de las rondas, regulan otras fases o escenas de las subastas). En este artículo nos referiremos sólo a subastas de *venta* (o “remates”), pero todo lo dicho es aplicable a subastas de *compra* (o “licitaciones”).

<sup>2</sup>Véase Noriega [18, Cap. 4] para una discusión detallada de este punto y las referencias correspondientes..

“agente” será pues una “entidad capaz de establecer compromisos” y todo compromiso que se pueda adoptar en una institución virtual corresponderá a una pre-condición o una post-condición de una ilocución intercambiada entre agentes conforme a las reglas de interacción de la institución.

En este trabajo veremos cómo es posible pasar de una casa de subastas tradicional a una institución virtual que adapte sus convenciones tradicionales de coordinación a las condiciones actuales del comercio electrónico. Nos concentraremos primeramente (Sección 2) en las convenciones sociales de la institución virtual y luego en las convenciones individuales a las que están sujetos los participantes. Examinaremos la escena principal de la subasta —las rondas de subasta propiamente— las ilocuciones que los agentes participantes pueden intercambiar en esa escena y el protocolo al que ese intercambio está sujeto; veremos los compromisos que conllevan esos intercambios dialógicos e inclusive discutiremos algunas variantes clásicas de ese protocolo. Después, Secc. 3, indicaremos cómo es posible formalizar esas ideas en una *institución virtual* y mencionaremos la realización computacional de Fishmarket. Finalmente, S.S. 4 y 5, mencionaremos cómo estos ejemplos específicos pueden generalizarse para construir otras instituciones virtuales en las que las funciones de intermediación sean realizadas por agentes y en las que los demás participantes pueden ser personas o agentes de software indistintamente.

Resulta pertinente señalar que nuestro enfoque es preponderantemente descriptivo y no haremos, aquí, mención alguna de los aspectos predictivos. Estos aspectos predictivos, sin embargo, son frecuentes en la literatura sobre subastas, tanto en la que los economistas denominan *Mechanism Design*, como en la literatura de subastas que la comunidad de I.A. suele incluir dentro de *Market-based Programming*. En Mechanism Design, el objetivo, en esencia, consiste en identificar aquellas convenciones de coordinación (subastas ciertamente, pero también subastas dobles, bolsas y, en general, negociación estructurada de diversos tipos) que garanticen ciertas condiciones de optimalidad o

“equilibrios”; o explorar, las consecuencias — en esos equilibrios— de adoptar tales o cuales convenciones bajo ciertos supuestos sobre la racionalidad de los participantes, la oferta de los bienes o las expectativas de los participantes (Cf. Mas-Colell *et al.* [13] o Varian [40], para enfoques teóricos; Paarsch [9] para los experimentales). En Market-based Programming, por el contrario, se utilizan técnicas y resultados de la Teoría Económica, para resolver problemas de programación en los que la metáfora de un mercado resulta felizmente evocativa (Cf. Wellman [43] y Clearwater [4]); por ejemplo, en la asignación (por subasta) de tareas entre los procesadores de una red (Smith y Davis [35], Mullen y Wellman [16]) o del almacenamiento de una base de datos particionable (Schwartz y Kraus [30]); o la identificación de los problemas en los que un cierto tipo de subasta no es aplicable (Sandholm [28]) y en particular, algunos que atañen directamente la coordinación entre agentes de software (e.g. Sandholm y Lesser [29]).

Aunque dentro del proyecto Fishmarket tiene cabida el modelaje analítico ([27]) nuestro enfoque es más afín a propuestas como *Magnet* [37], *Kasbah* [3] y *Bazaar* [7]. En estas propuestas se examina la creación de mercados virtuales en los que los participantes puedan delegar en agentes de software algunos de los aspectos de una compraventa. Nuestro enfoque es también afín a las propuestas recientes del proyecto *AuctionBot* (<<http://auction.eecs.umich.edu>>) en las que se apunta la posibilidad de activar subastas en línea cuyas convenciones pueden especificarse con gran flexibilidad y en las que, inclusive, es posible participar por medio de agentes de software de fabricación independiente. El contenido de este artículo reformula trabajos previos de nuestro grupo de investigación, en particular [18] y resulta una adecuada introducción para trabajos más recientes como [27].

## 2 Fishmarket

Tomemos una subasta tradicional, la subasta del pescado en una lonja, y construyamos la institución virtual correspondiente: Fishmarket.

## 2.1 Escenas y Estructura Performativa

La Lonja del Pescado, tal y como existe actualmente en Blanes (Girona), puede entenderse como una institución en la que se *representan* (“*escenifican*”) una serie de escenas que involucran agentes (actores) con roles o repertorios de conducta claramente definidos. En Blanes hay cinco escenas básicas, cada una de las cuales tiene lugar en un *espacio* característico y está coordinada por un empleado de la lonja. El admisor (**sa**) se encarga de la recepción de bienes en la zona correspondiente (**RR**), mientras que el administrador de créditos de los compradores y de la entrega de bienes en zona de entrega (**DR**), etc. (Cf. Figura 1).

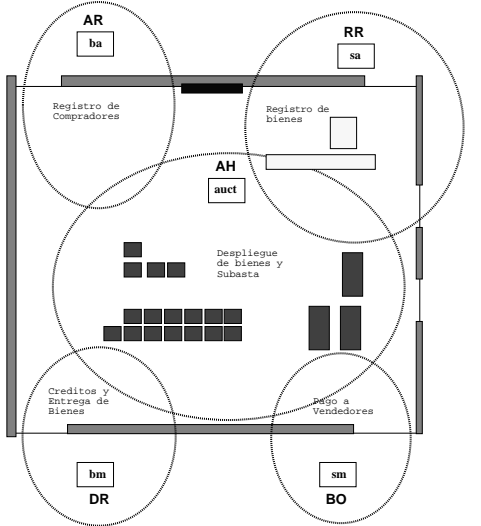


Figura 1: Escenas en la Llotja de Blanes

Cada escena (en la Lonja) se ciñe a un *protocolo* estricto que el encargado debe cumplir y hacer cumplir a todo vendedor o a todo comprador de manera uniforme y equitativa.

Por ejemplo, la escena central de una subasta, la de las rondas de subasta propiamente, se realiza en la “sala de subastas”, es controlada por el subastador y, en el caso del Fishmarket, sigue el protocolo que aparece en la Figura 2<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Los círculos representan los estados (de los compromisos) de los participantes, los cuadrados representan

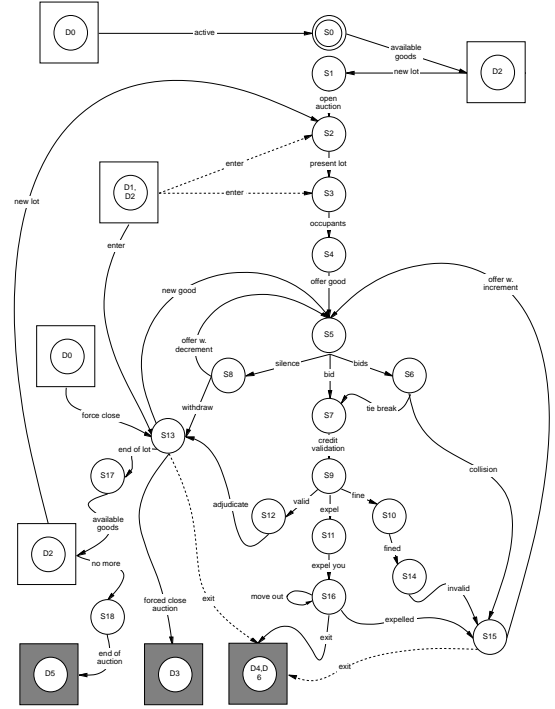


Figura 2: Rondas de Subasta de Fishmarket

```

offer(auct, all : tosell(g, p))
assert(b, auct : bid)
request(auct, bm : creditstatus(b, pt)
assert(bm, auct : valid(b))
assert(bm, auct : fined(b, fine))
request(bm, auct : expel(b))
declare(auct, all ∪ {bm} : sold(g, b, p, tω)
declare(auct, {b, bm, ba} : expelled(b))
command(auct, b, outto(DR))
declare(auct, all : expelled(b))
declare(auct, b : fined(b, κ))
declare(auct, all : invalidbid)
declare(auct, all : collision(g, b̄, p))
declare(auct, all : tiebreak(b̄, b))
declare(auct, all : endoflot)
request(b, auct : exitto(DR))
request(s, auct : exitto(BO))

```

Tabla 1: Illocuciones utilizadas en una ronda de puja de Fishmarket.

Este protocolo procura recoger las peculiaridades del que se sigue en Blanes actualmente, pero también se ha tenido que adaptar al hecho que en Fishmarket los participantes pueden ser programas de cómputo que se ejecutan en una localidad remota. Así, por ejemplo, se recoge la convención básica de la Lonja en la que la primera oferta *válida* es la que gana la ronda, para lo cual los compradores deberán contar con suficiente crédito<sup>4</sup>. También, por ejemplo, se admite que los compradores y los vendedores presencien la subasta y que puedan entrar y salir del mercado a su arbitrio, pero mientras que en Blanes el tráfico de compradores y vendedores es constante y libre, en Fishmarket, la sala (virtual) de subastas se “cierra” mientras una ronda está en curso (para garantizar equidad). Otra diferencia sutil e ilustrativa puede apreciarse en la forma como se define en Fishmarket el manejo de colisiones. Como en Blanes, se prevee la posibilidad que dos o más compradores coincidan en una puja —y entonces se declara un empate y se vuelve a subastar el bien con un incremento del precio al momento del empate— pero en Fishmarket es necesario llevar la cuenta de cuántos empates sucesivos se han dado entre dos o más compradores pues no es imposible que dos agentes de software utilicen idénticas heurísticas (y puedan entonces producir una secuencia infinita de colisiones). En una lonja real, los participantes rara vez empatan más de una vez, y el subastador actúa discrecionalmente para romper todo empate anómalo.

Las distintas escenas tienden a repetirse una y otra vez para cada vendedor y comprador, para cada caja que se subasta y subasta tras subasta. Pero estas escenas se *articulan* de forma

escenas. Los arcos están etiquetados por ilocuciones (que por razones de espacio se presentan abreviadas en el diagrama, pero completas en la Tabla 1) y las flechas indican precedencia. Nótese que toda ilocución tiene la estructura  $\iota(\alpha, \Gamma : \varphi; \tau)$  donde  $\iota$  es una partícula ilocutoria,  $\alpha$  es el agente que emite la ilocución;  $\Gamma$  el conjunto de oyentes;  $\varphi$  el contenido proposicional de la ilocución (el mensaje) y  $\tau$  el momento en que se produce la ilocución (que por conveniencia omitiremos casi siempre en este artículo).

<sup>4</sup>Y si no, se multa o expulsa a los infractores y se vuelve a subastar el bien con un precio de salida que es un tanto por ciento mayor que el de la oferta que resultó inválida.

sistemática, en el sentido de que existen relaciones temporales y causales entre las escenas que deben preservarse para que la subasta pueda llevarse a cabo y sea *legítima*.

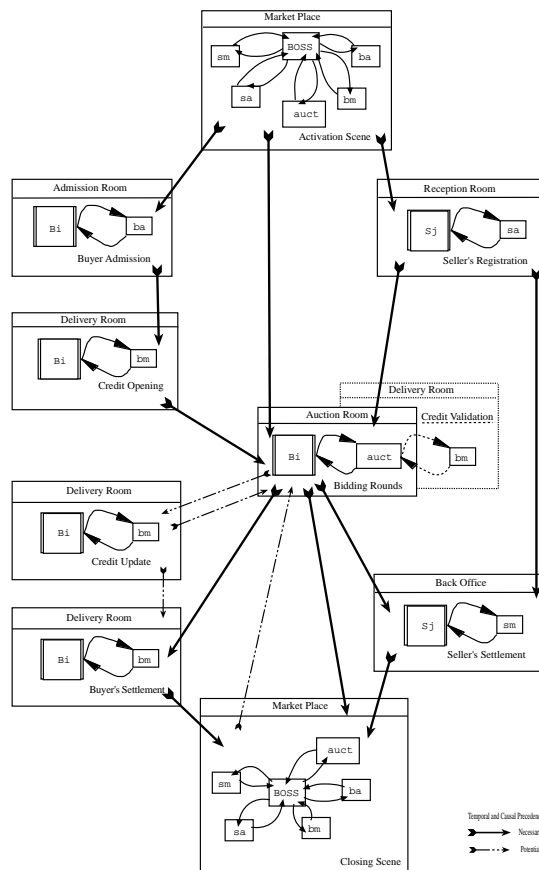


Figura 3: Estructura Performativa Superficial de Fishmarket.

Los *compradores*, por una parte, pujan por el pescado que quieren comprar, pero antes han de registrarse como compradores y establecer una línea de crédito adecuada, que cuando se agota (o está a punto de agotarse) debería ser renovada, y una vez que compran una caja de pescado, deben recogerla, pagarla y llevársela. Los *vendedores* por su parte inscriben sus productos en la subasta y recogen sus beneficios una vez que éstos se venden.

A esa articulación entre escenas la llamaremos la “estructura performativa” de la subasta. En su versión más esquemática y superficial puede expresarse para Fishmarket como

aparece en la Figura 3, donde cada recuadro corresponde a una escena cuyo diagrama será semejante al que vimos para las Rondas de Subasta.

Si, como sugerimos en la introducción, en una institución toda interacción está ligada a una ilocución, estos diagramas permiten describir, de manera sencilla, todas las interacciones admisibles en la casa de subastas. Es claro que estos esquemas indican la secuencia de ilocuciones que se intercambian los agentes que participan en cada escena, pero no bastan para determinar lo que realmente sucede cuando se realiza una ilocución, o las condiciones que deben prevalecer en el mercado para que una determinada ilocución pueda ser expresada por un agente. Para ello se requieren dos elementos más: los *compromisos* del mercado y las *reglas de comportamiento individual*<sup>5</sup>.

## 2.2 Compromisos

En la terminología de la pragmática clásica (e.g. Austin [1] o Searle [31]) las ilocuciones “cambian el mundo” o “denotan cambios en el mundo” al establecer o modificar los *compromisos* u *obligaciones* que se comparten entre los participantes.

El “mundo” para una casa de subastas es todo aquello que atañe a las subastas que se realicen dentro de ella<sup>6</sup>.

Así pues, los compromisos que se establecen en una casa de subastas tienen que ver con el intercambio de los bienes que se subastan, sus características y las condiciones del intercambio (es decir, que un bien esté inscrito en la subasta, quién es su dueño actual, si tiene o tuvo un precio de reserva o no, de cuánto crédito dispone un cierto comprador, si se le ha de multar o no, etc.). Estos compromisos, cuyo cumplimiento la institución se encarga de garantizar, se establecen y se modifican única y exclusivamente por medio de ilocuciones que la *institución reconoczca como admisibles* (porque se ciñen a las

<sup>5</sup>Hay otras notaciones para expresar el contenido de esos diagramas: redes de Petri coloreadas, lenguajes de script,  $\pi$ -cálculo, etc. Algunas de ellas pueden denotar, en un mismo formalismo, el protocolo y algunos de los compromisos del mercado y las convenciones que afectan a los individuos.

<sup>6</sup>Es el “Marco Dialógico” (Cf. Secc. 3.1).

convenciones de la institución) y por ello los denominaremos “compromisos del mercado”.

En Fishmarket, como en la mayoría de las casas de subastas, los compromisos del mercado se representan como *términos* de un lenguaje formal —que se pueden interpretar como una base de datos (distribuida y con vistas distintas para cada participante)— y se pueden especificar en torno a tres estructuras de información principales<sup>7</sup>: El *catálogo* de la subasta (que almacena dinámicamente la información asociada con los bienes que se subastan), la *cuenta de cada vendedor* (que registra los aspectos relevantes de ese vendedor, como su identificación, los ingresos y comisiones que se le aplican) y la *cuenta de cada comprador* (que incluye los datos referentes a su crédito y las compras que realice).

El catálogo, por ejemplo, puede definirse como sigue:

### Definición 1 (Catálogo de la subasta)

Sea  $G = \{g_m\}_{m \in M}$  un conjunto de identificadores de bienes,  $T$  un modelo del tiempo, y sean  $B$  y  $S$ , respectivamente, los compradores y los vendedores de una subasta. Entonces,  $CAT$ , el **catálogo de la subasta** es la función:  $CAT : (G \times T) \rightarrow G \times \widehat{G} \times S \times (B \cup \{\perp, \pm\}) \times \mathbb{R}^4 \times T^2 \times 2^{T \times INCI}$ , definida en la Tabla 2.

Donde:

- $\widehat{G} = \{\hat{g}_k\}_{k \in K}$  es un conjunto de tipos de bien
- $\perp, \pm$  denotan que el bien no se vendió o fue retirado.
- $INCI$  una lista de incidentes (colisiones, desempates, multas, expulsiones).

Los compromisos que se refieren al catálogo se establecen, modifican y publican conforme lo indica la Tabla 3, y de manera análoga se podrían describir las correspondientes a otros compromisos del mercado.

<sup>7</sup>Hay otras estructuras complementarias de carácter más bien operativo o implementacional (cuenta de colisiones, ocupantes de cada espacio virtual, etc.).

$CAT_t(g)_1 =$	$g \in G$	(el <i>número de catálogo</i> de g)
$CAT_t(g)_3 =$	$seller(g) \in S$	(el <i>vendedor</i> de g)
$CAT_t(g)_4 =$	$buyer(g) \in B \cup \{\perp, \pm\}$	(el <i>comprador</i> de g, si existe)
$CAT_t(g)_5 =$	$p_{rsv}(g) \in \mathbb{R}$	( <i>precio de reserva</i> de g)
$CAT_t(g)_6 =$	$p_0(g) \in \mathbb{R}$	( <i>precio inicial</i> para g)
$CAT_t(g)_7 =$	$p_t(g) \in \mathbb{R}$	( <i>precio al momento t</i> )
$CAT_t(g)_8 =$	$p_\omega(g) \in \mathbb{R}$	( <i>precio final</i> )
$CAT_t(g)_9 =$	$t_0(g) \in T$	( <i>momento de registro</i> )
$CAT_t(g)_{10} =$	$t_\omega(g) \in T$	( <i>momento de venta/remoción</i> )
$CAT_t(g)_{11} =$	$incdt_t(g) = \{(t;i): t \in T \wedge i \in INCI\}$	( <i>incidentes con g</i> )

Tabla 2: Catálogo de Fishmarket

$CAT_t(g)_i$	Contenido	Definido por	Cuando	Conocido por	Cuando	Conocido por todos
$CAT_1$	$g$ (id)	<b>sa</b>	newlot	All	present(lot)	-
$CAT_2$	$\hat{g}$ (tipo de bien)	<b>s,sa</b>	register	<b>auct</b>	newlot	present(lot)
$CAT_3$	$seller(g)$	<b>s,sa</b>	register	<b>auct</b>	newlot	present(lot)
$CAT_4$	$buyer(g)$	<b>auct</b>	cr-val/ re-dec.	<b>bm</b>	credit-val.	adj./w.
$CAT_5$	$p_{rsv}(g)$	<b>s,sa</b>	register	<b>auct</b>	newlot	withdrawn
$CAT_6$	$p_0(g)$	<b>s,sa</b>	register	<b>auct</b>	newlot	new-good
$CAT_7$	$p_t(g)$	<b>auct</b>	newgood/rebid	All	offer	-
$CAT_8$	$p_\omega(g)$	<b>auct</b>	cr-val/ re-dec.	<b>bm</b>	credit-val.	adj./w.
$CAT_9$	$t_0(g)$	<b>sa</b>	register	<b>auct</b>	newlot	present(lot)
$CAT_{10}$	$t_\omega(g)$	<b>auct</b>	cr-val/ re-dec.	<b>bm</b>	credit-val.	adj./w.
$CAT_{11}$	$incdt(g)$	<b>auct</b>	coll/cr.val	All	tie/rebid	-

Tabla 3: Información del Mercado acerca de los Bienes en Fishmarket

### 2.3 Reglas de Comportamiento Individual

Pero esa descripción es poco explícita. Si se desea cotejar que los agentes que participan en una subasta se ciñan a las “reglas del juego”, sería conveniente enunciar esas reglas de manera que fuesen fáciles de adoptar por los agentes externos, y que su observancia fuese fácil de comprobar (por los agentes internos, o por otros agentes externos). Sería conveniente definir de manera precisa y para cada ilocución sus condiciones de *generación* y las de *interpretación*. Es decir, cuáles son las *condiciones que deben prevalecer* en los compromisos de mercado del participante que la enuncie, por una parte, y, por otra, cuáles son los *efectos* que esa ilocución debiera tener en los compromisos del mercado para aquellos participantes que la escuchen.

Por ejemplo, para que el subastador (**auct**) pueda ofertar un bien, ese bien deberá ser el primero del catálogo que esté sin vender. Y si un vendedor dice que acepta una oferta, el administrador (**bm**) tiene la *obligación* de afec-

tar la cuenta de ese comprador y multarlo si es insolvente o expulsarlo— y si el bien se llega a adjudicar, la institución dejará de tener en depósito ese bien y estará *obligada* a entregárselo al comprador además de que el estatus del bien, su precio final y su comprador se reflejen en el catálogo.

Veamos, por ejemplo, cuatro reglas (Tabla 4) que especifican la conducta que se presupone del subastador y el administrador de créditos en la adjudicación de un bien y la elección del siguiente del catálogo (es decir, a partir del estado S12 y hasta los estados S17 y S5 en la Figura 2).

El proceso es el siguiente: una vez que el administrador de compradores (**bm**) ha declarado válido el crédito del comprador **b** (i.e. que el comprador potencial es solvente), el subastador (**auct**) actualizará tanto la información correspondiente al bien en cuestión en el catálogo, como la lista de los bienes sin vender y sus propias tareas pendientes antes de declarar el bien adjudicado. Esto se puede representar en la Regla 1.

Una vez que el bien se adjudica, el subastador intentará subastar otro bien. Si aún tiene bienes sin vender escogerá el primero de la lista, pero antes de ofertarlo (con los valores iniciales apropiados) deberá actualizar sus compromisos, tal como se indica en la Regla 2.

Pero si el subastador no tiene más bienes por vender, deberá solicitar del admisor de vendedores (**sa**) un nuevo lote a subastar (Regla 3)<sup>8</sup>.

Mientras tanto (Regla 4), el administrador de crédito (**bm**), al momento en que es informado de que un bien ha sido adjudicado, procede a actualizar los ingresos del mercado (*ahincome*) y la cuenta del comprador correspondiente ( $BA(b)$ )<sup>9, 10</sup>.

En general, las reglas se enuncian para cada tipo de participante, en cada escena y para cada ilocución que ese tipo de participante pueda enunciar o recibir; y como se vio en el caso anterior, puede haber más de una regla por ilocución. Esto se hace así por dos razones metodológicas: La primera, que ya habíamos apuntado, es para hacer más inteligibles esas convenciones para usuarios u observadores externos. La segunda es para facilitar la expresión y depuración de las convenciones de la institución. Sobre esta segunda razón metodológica haremos ahora una digresión.

## 2.4 Depuración de convenciones y variantes

Las reglas de conducta individual y los protocolos de las escenas deben guardar una cierta correspondencia. El arte está en la elección y

<sup>8</sup>Estas reglas de Fishmarket utilizan términos como: *SG* y *UG* (las listas de bienes vendidos y sin vender, resp.), *Pend<sub>auct</sub>* (las tareas pendientes del subastador), *bundle(b)* (la “cesta de compras” de *b*),  $\Delta_{rounds}$  (el lapso de espera entre rondas), etc. También pueden incluir instrucciones como *WAIT* and *REST* que se refieren a la realización computacional de los compromisos correspondientes.

<sup>9</sup>Cuyo crédito (*credit(b)*) ya en este momento refleja el costo de la compra, pues el propio administrador lo debió afectar antes de declarar válida la puja.

<sup>10</sup>El cajero (**sm**) reacciona análogamente imputando la cuenta del vendedor y cobrando la comisión correspondiente.

análisis de las ilocuciones mismas y su interrelación con los diagramas.

Para ilustrar este proceso veamos una variante muy importante de Fishmarket: las pujas *a sobre cerrado*. En esta convención existe una sola ronda de puja, los postores someten sus ofertas sin que sean conocidas por los demás postores (de ahí la denominación) y gana el mejor postor. La Figura 4 representa, en la parte superior, el protocolo descrito, pero al que se le añaden los arcos de validación de ofertas y de retirada del bien en caso de que no haya oferta válida (que no se mencionaban en la descripción informal<sup>11</sup>). Las ilocuciones de este diagrama deben ser casi idénticas a las que aparecen en la Tabla 1, con la salvedad que en Fishmarket el comprador sólo *acepta* las ofertas del subastador que incluyen un precio, mientras que aquí es el postor quien en su puja propone el precio que está dispuesto a pagar<sup>12</sup>. También es ligeramente más compleja la petición de validación de crédito, pues el subastador le comunica al administrador de crédito una lista (ordenada) de las pujas que satisfacen los requerimientos de la casa de subastas, para que le devuelva la más alta que sea válida, o la noticia de que no hay ninguna. Estas consideraciones nos producen las siguientes ilocuciones:

```
offer(auct, all : tosell(g))
assert(b, auct : bid(b, p))
declare(auct, bm : selected({bid(bi, pi)})
request(auct, bm : creditstatus({bid(bi, j)})
assert(bm, auct : valid(b, p))
declare(auct, all ∪ {bm} : sold(g, b, p, tω)
assert(bm, auct : invalid)
declare(auct, all ∪ {sm} : withdrawn(g, tω)
declare(auct, all : endflot)
```

A partir de estas ilocuciones habría que enunciar las reglas individuales para todos los participantes. Esta tarea es trivial pues se pueden utilizar las mismas estructuras de información de los compromisos de Fishmarket, aunque habría que añadir un nuevo operador *selected* y extender *creditstatus* para poder lidiar con los

<sup>11</sup>Una corrección sugerida por simple comparación con el protocolo de puja de Fishmarket.

<sup>12</sup>Adicionalmente, aquí no consideramos las expulsiones y multas.



**Regla 1 (adjudicate<sub>auct</sub>)**

*IF*     *assert*(*bm*, *auct* : *valid*(*b*), *t*)  
*THEN*   *credit*<sub>*t<sub>now</sub>*</sub>(*b*) := *credit*<sub>*t*</sub>(*b*) − *p<sub>t</sub>*(*g*)  
*AND*    *buyer*(*g*) := *b*  
*AND*    *bundle*(*b*) := *bundle*(*b*) ∪ {*g*}  
*AND*    *t<sub>ω</sub>*(*g*) := *t*  
*AND*    *SG* := *APPEND*(*SG*; *g*)  
*AND*    *UG* := *REST*(*UG*)  
*AND*    *Pend*<sub>*auct*</sub> := *UG*  
*AND*    *declare*(*auct*, *all* :  
          *sold*(*g*, *buyer*(*g*), *p<sub>ω</sub>*(*g*), *t<sub>ω</sub>*(*g*)); *t<sub>now</sub>*)

**Regla 2 (newgood<sub>auct</sub>)**

*IF*     *declare*(*auct*, *all* :  
          *sold*(*g*, *buyer*(*g*), *p<sub>ω</sub>*(*g*), *t<sub>ω</sub>*(*g*)); *t*)  
*AND*    *UG* ≠ ∅  
*THEN*   *g* := *FIRST*(*UG*)  
*AND*    *p*(*g*) := *p<sub>0</sub>*(*g*)  
*AND*    *WAIT*(*t<sub>now</sub>* ≥ *t* + Δ<sub>*rounds*</sub>)  
*AND*    *offer*(*auct*, *all* : *tosell*(*g*, *p*(*g*)); *t<sub>now</sub>*)

**Regla 3 (adjudicate<sub>bm</sub>)**

*IF*     *declare*(*auct*, *all* :  
          *sold*(*g*, *buyer*(*g*), *p<sub>ω</sub>*(*g*), *t<sub>ω</sub>*(*g*)); *t*)  
*AND*    *UG* = ∅  
*THEN*   *request*(*auct*, *sa* : *moregoods*; *t<sub>now</sub>*)

**Regla 4 (newgood'<sub>auct</sub>)**

*IF*     *declare*(*auct*, *all* :  
          *sold*(*g*, *buyer*(*g*), *p<sub>ω</sub>*(*g*)); *t*)  
*THEN*   *ahincome* := *ahincome* +  
          (Π<sub>*premium*</sub> × *p<sub>ω</sub>*(*g*))  
*AND*    *BA*(*b*) := *APPEND*(*BA*(*b*);  
          <*t*; *purchase* : *b*, *g*, *p<sub>ω</sub>*(*g*); *credit*(*b*))

Tabla 4: Reglas de Adjudicación Fishmarket

nuevos procesos de selección de ofertas (en Fishmarket se tomaba la única oferta recibida o se desempataba eligiendo una oferta al azar).

Supongamos que ya hemos terminado ese tedioso proceso y que contamos con el nuevo protocolo de puja y sus reglas correspondientes, convenientemente depurados y correctamente descritos. Entonces, podemos generar de forma *inmediata* una nueva variante de Fishmarket, la puja de *Vickrey* ([41]). Esta es una puja a sobre cerrado también, en la que el ganador es también el mejor postor, pero éste paga sólomente el monto de la segunda puja más alta. Para lograrlo se requiere tan solo modificar el operador *selected* (y la regla correspondiente del subastador); todo lo demás queda igual<sup>13</sup>. El operador *selected* es la clave de esta flexibilidad. De hecho, la mayoría de las convenciones de puja en las *licitaciones públicas* son alguna

<sup>13</sup>En la definición de *selected* se debe resolver el caso especial de la recepción de una única oferta, mientras que el caso de la recepción de cero ofertas se debió haber ya resuelto en la definición de *creditstatus* —desde que se introdujo para la convención *a sobre cerrado*.

variante de las pujas *a sobre cerrado* y se pueden representar mediante sencillas modificaciones del operador de selección, que se puede definir en general como una función que asocia a cada postor el monto que debería pagar si se le adjudicase el bien. Por ello, pudiera convenir *parametrizarlo*, de forma que el mismo protocolo, las mismas ilocuciones, las mismas reglas individuales y los mismos operadores, pudieran usarse para cualquiera de las variantes, y sólo fuese necesario hacer explícitos los parámetros de este operador que se utilizaran en una determinada convención de licitación.

Ahora, sin entrar en los detalles, compárese el diagrama de puja de Fishmarket con el de puja *a la alza* (o “*inglesa*”, en la parte inferior de la Figura 4). Se notará que aquí las similitudes son menos evidentes en el centro de los diagramas, aunque alguna existe en la periferia. Pero si tomásemos la estructura performativa completa de Fishmarket y substituyésemos, en la escena de rondas, el protocolo actual de puja por el de puja *a la alza* obtendríamos de forma casi inmediata una casa de subastas muy

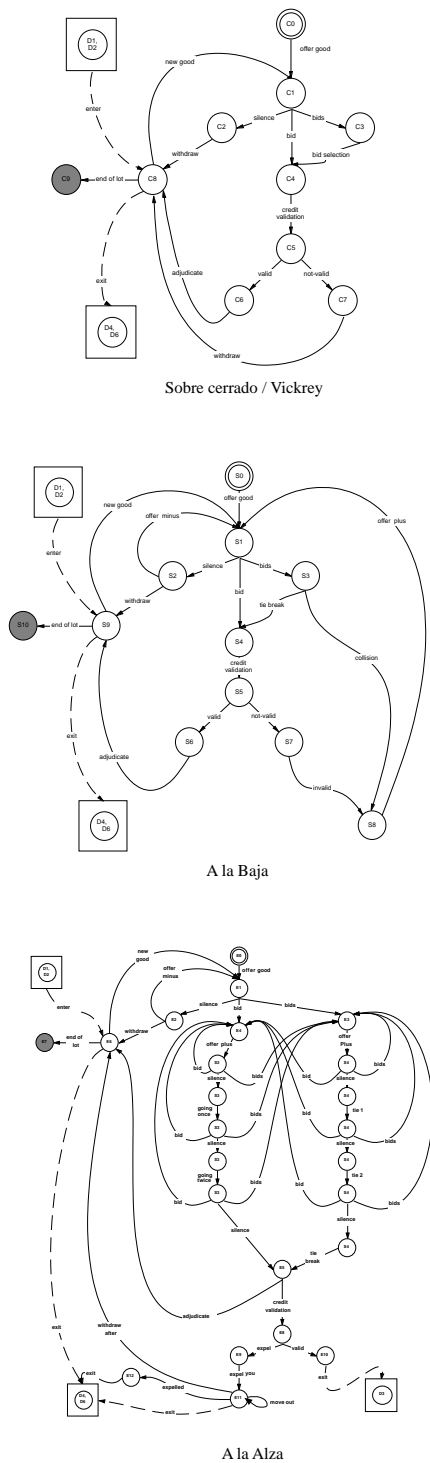


Figura 4: Diagramas de Tres Protocolos de Pujas Clásicos

semejante a Sothebys.

El paso de la puja a *sobre cerrado* a *Vickrey* y a las convenciones genéricas de *licitación pública* resultó trivial, y de hecho, el paso de la puja de Fishmarket a la de sobre cerrado fue sencilla en tanto que nos concretamos a variar sólo el protocolo de puja y dos operadores. La transformación de Fishmarket a la puja *a la alza* no es tan sencilla, pero es claro que su descripción y depuración seguiría procesos muy semejantes a los de las transformaciones primeras, gracias a que se pueden hacer explícitos de manera directa los elementos a modificar. Valdría la pena tener una manera de caracterizar aquellos elementos de una *convención de subasta* que pueden **variarse sistemáticamente** y producir convenciones alternativas —que sean de interés— sin por ello requerir modificaciones substanciales ni en los operadores, ni en las reglas, ni en los protocolos.

El tener tanto diagramas sencillos para representar las interacciones, como los conjuntos de reglas correspondientes en una notación relativamente simple, permite describir estas variantes potenciales de manera razonablemente sencilla. Son los compromisos, y la manera como se interpreten los operadores que los manipulan, donde están las dificultades prácticas. Estas se pueden circumvenir en gran medida si se adoptan operadores suficientemente generales (que al parametrizar sirvan igualmente para las distintas variantes) y estructuras de información que sean apropiadas para esas variaciones pre-visibility de los operadores.

El problema difícil es que reglas y protocolos deben poder ser *ejecutables*. Es decir, si una casa de subastas las adoptase, y acudiesen compradores y vendedores a intercambiar un conjunto de bienes, les debería ser posible intercambiarlos siguiendo esas convenciones (si hubiesen recursos e interés). Para ello es necesario demostrar que una descripción basada en diagramas, estructuras de información y reglas, dada, es correcta. Es decir, coherente en el manejo de los compromisos y *realizable en términos pragmáticos*. Para abordar este espinoso asunto haremos un primer intento de formalizar algunos aspectos de Fishmarket.

### 3 Hacia un Modelo Formal

Al inicio de este artículo afirmamos que para caracterizar una institución virtual eran necesarias tres tipos de convenciones: ontológicas, sociales y de comportamiento individual. Han sido las dos últimas a las que les hemos dedicado la mayor parte del artículo, concentrémonos ahora en las convenciones ontológicas para aproximar enseguida algunos elementos formales de las otras.

#### 3.1 Marco Dialógico

Bienes, participantes, roles y lugares; instantes e intervalos de tiempo; incidentes, acciones, precios y otros muchos elementos figuran en las ilocuciones, reglas y compromisos a los que nos hemos referido en los ejemplos previos. Para establecer —operativa o formalmente— las convenciones sociales e individuales que constituyen la *deontología* de Fishmarket (o de una subasta) es preciso postular una rica *ontología* y contar con los lenguajes de comunicación y de especificación de esas normas que sean apropiados. Se requiere contar con un marco de referencia común a todos los participantes de una subasta que les permitirá comunicarse (y entenderse) dentro de la casa de subasta. Puesto que hemos decidido concebir a las instituciones virtuales como sistemas multiagente en los que los participantes interactúan *dialogando* —mediante el intercambio de ilocuciones— a ese marco de referencia común a todos los participantes le denominaremos el *Marco Dialógico*.

Los componentes de ese *Marco Dialógico* de Fishmarket,  $\mathcal{DF}_{FM}$ , son los siguientes:

1.  $\mathbf{Agents}_{FM}$  un conjunto de identificadores (que se usarían para denotar agentes específicos),
2.  $\mathbf{Rol}_{FM} = \{\mathbf{boss}, \mathbf{auct}, \mathbf{sa}, \mathbf{sm}, \mathbf{ba}, \mathbf{bm}\} \cup \{\mathbf{s}, \mathbf{b}\}$  (Los tipos de agente que intervienen en una subasta de Fishmarket)
3.  $\mathcal{SR}_{FM} = \{(\mathbf{boss}, x) : x \in \mathbf{Rol}_{FM} \setminus \mathbf{boss}\}$  (Las relaciones de autoridad en Fishmarket: el *secretario de la cofradía* tiene autoridad sobre todos los participantes en una subasta)

4.  $\mathbf{Loc}_{FM} = \{AH, RR, AR, DR, BO, M\}$  (los lugares virtuales)
5.  $\mathcal{L}_{FM}$  el “lenguaje objeto” que se utiliza para denotar el contenido proposicional de las ilocuciones y las reglas de Fishmarket, cuya signatura incluye  $\{\Delta_{bid}, \Pi_{premium}, \dots, CAT, \dots, bid, tosell, endoflot, credit, ahincome, \dots\}$
6.  $\mathcal{CL}_{FM}$  (un lenguaje de comunicación, de fórmulas del tipo  $\iota(\alpha, \Gamma : \varphi; \tau)$ , con  $\alpha \in \mathbf{Rol}_{FM}$ ,  $\Gamma \subseteq \mathbf{Rol}_{FM}$ ,  $\varphi \in \mathcal{L}_{FM}$  e  $\iota \in \mathcal{I}_{FM} = \{assert, request, deny, accept, declare, command\}$ ),
7.  $\mathcal{ML}_{FM}$  el metalenguaje correspondiente para definir las reglas de comportamiento (y que incluye los otros lenguajes).
8.  $T$  un modelo del tiempo (e.g. discreto, acíclico y arborescente hacia el futuro).

Adoptando una actitud nominalista, decimos que el mundo de Fishmarket está formado por todas las *cosas* a las que tenemos que referirnos para establecer “las reglas del juego” de esa casa de subastas. Esas reglas del juego, recordemos, quedaban descritas por la “Estructura Performativa” —formada por escenas y sus protocolos y compromisos— y las reglas de “conducta individual” a las que cada participante se encuentra sujeto al momento de participar en una escena. Ahora introduciremos algunos elementos más para referirnos a ellas con mayor propiedad.

#### 3.2 Deontología de Fishmarket

Hemos visto antes que en Fishmarket hay seis lugares virtuales ( $\mathbf{AH}, \mathbf{RR}, \mathbf{AR}, \mathbf{DR}, \mathbf{BO}, \mathbf{M}$ ) y en esos sitios o lugares hay siempre un intermediario de la lonja que se encarga de supervisar las escenas que tienen lugar ahí ( $\mathbf{auct}, \mathbf{sa}, \mathbf{ba}, \mathbf{bm}, \mathbf{sm}$  y  $\mathbf{boss}$ , respectivamente). En algún lugar virtual puede escenificarse más de una escena (por ejemplo, en  $\mathbf{DR}$  se abren, actualizan y cierran créditos y en  $\mathbf{M}$  se activa el mercado y se cierra).

Hemos visto también que en cada escena hay un protocolo en el que se indican todas las ilocuciones permisibles de los participantes de esas

escenas, de acuerdo a los roles que escenifican esos participantes. Y también mencionamos que las escenas guardan cierta estructura de precedencia (temporal y causal) entre sí. Pues bien, con estos elementos definimos la “Estructura Performativa” ( $\mathcal{PS}_{FM}$ ) de Fishmarket como:

- El conjunto de escenas:  $\Sigma_{FM} = \delta_0, \dots, \delta_8$  cuya interdependencia está dada en la Figura 3, y en la que a cada recuadro corresponde un diagrama de interacción con sus correspondientes ilocuciones (como el de la Figura 2 —con la Tabla 1— corresponde a la escena  $D_4$  de Rondas de Subasta).

Y para cada participante, y cada escena, asociamos a cada ilocución de la escena las reglas de comportamiento individual que pueden afectar a ese participante en esa escena (ya sea porque ese participante pueda enunciar esa ilocución, o porque la pueda escuchar).

Es decir, si  $\rho$  es un rol en  $\mathbf{Rol}_{FM}$  y  $\delta$  una escena en  $\Sigma_{FM}$ , entonces  $BR(\rho, \delta)$  serán las reglas de comportamiento individual a las que está sujeto todo participante que asuma ese rol  $\rho$  en esa escena  $\delta$  y .

$BR(\rho, \delta)$  se forma de la siguiente manera:

- Para toda ilocución  $\iota(\alpha, \Gamma : \varphi; \tau)$  de la escena  $\delta$  tal que  $\rho \in \{\alpha\} \cup \Gamma$ , existe al menos una regla  $R$  tal que:
  - Si  $\rho = \alpha$ , entonces  $\iota(\alpha, \Gamma : \varphi; \tau)$  está en el antecedente de  $R$ , y
  - Si  $\rho \in \Gamma$ , entonces  $\iota(\alpha, \Gamma : \varphi; \tau)$  está en el consecuente de  $R$

A partir de estas reglas por rol y escena, podemos definir las reglas de comportamiento individual de Fishmarket como  $\mathcal{BR}_{FM} = \{BR(\rho, \delta) : \rho \in \mathbf{Rol}_{FM}, \delta \in \Sigma_{FM}\}$ .

Con el *Marco Dialógico*, la *Estructura Performativa* y las *Reglas de Comportamiento Individual* definimos una *Institución*. De hecho, hemos “formalizado” ya una *casa de subastas*  $\mathcal{FM}$  que corresponde a Fishmarket:

$$\mathcal{FM} = \langle D\mathcal{F}_{FM}, \mathcal{PS}_{FM}, \mathcal{BR}_{FM} \rangle$$

### 3.3 Modelos e Implementación

Para formalizar ese marco dialógico, e interpretar tanto la estructura performativa de Fishmarket como sus reglas de comportamiento, hace falta contar con una semántica y una pragmática.

La semántica puede ser relativamente estándar (aprovechando las intuiciones obvias sobre los significados de los elementos del marco dialógico y traduciéndolas a una estructura formal que las interprete en términos de los compromisos del mercado y permita su uso). La pragmática tiene que explicar cómo una institución permite la realización de una subasta que se ciñe a sus convenciones.

Digamos que  $A$  es una subasta, caracterizada por los bienes que se subastan  $\mathcal{G}$ , los agentes participantes  $\mathcal{A}$  y por la situación del mercado a lo largo del tiempo (es decir, una secuencia finita de estados que indican cómo evoluciona la posesión de los bienes, los recursos, los incidentes, desde la situación que exista al principio de la subasta,  $\mathcal{E}_0$ , hasta que la subasta termine  $\mathcal{E}_\omega$ . Y sea  $\mathcal{FM}$  una casa de subastas.

Queremos construir una *institución*  $\mathcal{FM}$  que permita la *realización* de la subasta  $A$ , de forma que se pueda pasar de  $\mathcal{E}_0$  a  $\mathcal{E}_\omega$  mediante un proceso dialógico en el que participan los agentes  $\mathcal{A}$  cumpliendo en todo momento las convenciones de  $\mathcal{FM}$

**Noción 1** Una subasta  $A = \langle \mathcal{A}, \mathcal{G}, \langle \mathcal{E}_0 \dots \mathcal{E}_\omega \rangle \rangle$  se *realiza* en una casa de subastas  $\mathcal{FM}$ ,

$$\mathcal{FM} \models A,$$

si  $\mathcal{E}_0$  se transforma en  $\mathcal{E}_\omega$  por medio de un proceso dialógico en el que intervienen  $\mathcal{A}$  y  $\mathcal{G}$  y que satisface las convenciones de subasta de la institución  $\mathcal{FM}$ .

Para formalizar  $\mathcal{FM}$  hay varias opciones. Una consiste en adoptar una convención semejante a la de Teoría de Modelos (e.g VanLinder y Dignum [6] o extensiones dialógicas a las propuestas de Singh [34] o Vandervecken [32]). Otra más es intentar una especificación formal; por ejemplo, una basada en Lógica Dinámica (como la propuesta en nuestros artículos [19] y

[18, Cap. 10]) o , más cercana a la implementación, una basada en  $\pi$ -cálculo (como la propuesta por Padget en [22]). Pero también es posible servirse, directamente, de una *realización computacional como un sistema multiagente*, como nuestra lonja virtual FM96.5 ([26]).

Mientras que las primeras opciones tienen un interés analítico y formal (que, entre otras cosas, pueden proveer de resultados formales predictivos), la última tiene ventajas normativas y, evidentemente, prácticas.

El espacio no nos permite entrar en detalles, pero debemos mencionar que en FM96.5, la versión abstracta de Fishmarket que aquí hemos discutido se reproduce con notable fidelidad y se logran condiciones de equidad, vivacidad y confiabilidad más que razonables para la realización de subastas en línea via una red “confiable”<sup>14</sup>.

El interés de este desarrollo radica no sólo en su carácter de institución virtual. Desde el punto de vista metodológico también aporta algunas lecciones. Las más obvias son la ventaja de describir dialógicamente la casa de subastas (con la consiguiente economía en la definición de los agentes, sus interacciones y su comportamiento ostensible), la antropomorfización de los agentes intermediarios (y por ello la facilidad para producir variantes y adaptaciones a partir del modelo original) y el haber logrado que, desde el punto de vista de desempeño (y no sólo formal), agentes de software externos y personas sean *indistinguibles*<sup>15</sup>. De hecho, FM96.5 ahora cuenta con una capa adicional de desarrollos computacionales que la convierten en una casa de subastas auditable y también para contar con un banco de pruebas sumamente flexible y robusto de variantes de Fishmarket (FM97.6) (ver [27]).

<sup>14</sup>Es decir, una red (como el Internet) en la que se garantiza que los mensajes no se pierden y que su secuencia de emisión se preserva (aunque no se garanticen ni tiempos de respuesta homogéneos ni sincronización).

<sup>15</sup>Lo que se logra gracias a un cuidadoso análisis de los aspectos implementacionales de los protocolos de las escenas y la invención de dispositivos *institutores* que confinan la conducta de los agentes externos a las convenciones de la institución de forma estricta.

## 4 Instituciones

La noción de institución virtual que hemos presentado aquí para describir y formalizar Fishmarket es bastante general. De manera semejante a la utilizada para el caso de Fishmarket es posible describir las escenas y reglas de comportamiento de otros sistemas multiagente en los que las interacciones deban ceñirse a un protocolo más o menos preciso; y a partir de ello construir su versión computacional.

Por ejemplo, para representar una casa de subastas como Sotheby’s en la que las diferencias fundamentales radican en las convenciones de puja, basta intercambiar los diagramas de puja a la alza y puja a la baja de la Figura 4 en la parte correspondiente de la Figura 2 (y alterar las reglas individuales correspondientes), pero se conservarían intactas la estructura performativa superficial y todas las escenas restantes. De manera análoga, el generalizar  $\mathcal{FM} = \langle \mathcal{DF}_{FM}, \mathcal{PS}_{FM}, \mathcal{BR}_{FM} \rangle$  a una casa de subastas en general supone precisar solamente qué fragmentos de cada uno de esos tres componentes se preservan y hacer explícitos los cambios en diagramas y reglas.

Pero además de subastas, también es posible definir en términos bastante semejantes otros tipos de convenciones de interacción menos estructurados. Por ejemplo, la negociación abierta que se describe en nuestro otro artículo de este número (y en [33]) puede reflejarse en un marco dialógico más sencillo que el de Fishmarket (pues incluye una sola escena y no incluye agentes intermediarios) pero en el que los lenguajes son bastante más elaborados (en  $L$  se habla de los contratos (*Deals*), en  $CL$  de peticiones, ofertas, amenazas y otros argumentos, y  $ML$  incluye elementos como el que denota las preferencias de cada agente, las funciones de reificación, etc). En ese mismo caso de la negociación argumentativa, la estructura performativa incluye una sola escena cuyo diagrama recoge el protocolo de negociación abierta y las reglas individuales corresponden a las reglas que aclaran esa secuencia de interacción y los componentes mínimos comunes para la generación e interpretación de ilocuciones.

En todos estos casos, se logra definir una *institución intermediada por agentes* en los que

los componentes teóricos se especifican en torno a las tres estructuras mencionadas: marco dialógico, estructura performativa y reglas individuales de comportamiento, en la que los participantes son agentes, que en principio pueden ser agentes de software. La implementación de un sistema multiagente que corresponda a estas instituciones se puede hacer de forma análoga a FM96.5 y FM97.6, y de hecho los desarrollos actuales permiten ya implementar las variantes simples de Fishmarket (como las subastas de Vickrey y las licitaciones públicas).

Siguiendo los mismos criterios metodológicos que se utilizaron para el desarrollo de FM96.5 es posible construir sistemas multiagentes robustos, flexibles y cotejables, como FM97.6.

Con semejante enfoque, más recientemente hemos abordado la formalización de los “Espacios de Información Cohabitados de Realidad Mixta” (COMRIS <<http://www.arti.vub.ac.be/comris>>), espacios virtuales-reales en los que agentes humanos utilizan asistentes personales automáticos para realizar algunas acciones conjuntas, como concertar citas durante una feria [23]. En ese proyecto utilizamos la noción de *institución intermediada por agentes* para representar no ya una casa de subastas o un mercado, sino el espacio de una feria o un congreso y caracterizamos escenas típicas de estos eventos en las que una persona puede beneficiarse del auxilio de un asistente personal informatizado que explore ese espacio, identifique oportunidades interesantes de acción y que inclusive coordine algunas de ellas. Nuevamente, el enfoque dialógico facilita la identificación y la caracterización de los protocolos de interacción y el marco formal que arriba describimos facilita el diseño y la implementación del *entorno institucional* del sistema multiagente y de los agentes concretos, que permiten realizar la institución virtual.

También, dentro del proyecto SMASH (<<http://www.iiia.csic.es/Projects/smash>>) hemos comenzado a utilizar la idea de *instituciones basadas en agentes* para representar los “protocolos médicos” de cuidado y atención de pacientes. La finalidad de ese ejercicio es dotar a los distintos participantes de un hospital (pacientes, médicos, enfermeras, administrado-

res) de asistentes artificiales que les permitan seguir los pasos de un “protocolo médico” e identificar cuándo algo no sucede de acuerdo a lo previsto y ya sea tomar nota del cambio, dar aviso al responsable, ajustar el protocolo o tomar acciones correctivas. Para ello, las intuiciones sobre roles, escenas, protocolo y reglas mencionadas en torno a Fishmarket se vuelven a utilizar.

## 5 Comentarios Finales

Este ejercicio de investigación y desarrollo puede justificarse desde por lo menos tres perspectivas: desde el punto de vista de la investigación en Inteligencia Artificial en general, desde la más específica de los sistemas multiagentes y desde la óptica aplicada del comercio electrónico.

1. **Para la Inteligencia Artificial**, pueden apuntarse al menos dos consideraciones atinentes. Por una parte, el análisis y modelaje de una casa de subastas en particular, y el de instituciones basadas en agentes en general, es un problema interdisciplinario. En él convergen problemas de computación distribuida, pragmática lingüística, economía matemática, negociación, metafísica, por citar algunos en los que la Inteligencia Artificial tiene oportunidad de aportar propuestas relevantes tanto metodológicas como técnicas (cf. e.g., [12, 31, 34, 10, 5]).

Por otra parte, alrededor del modelaje de las subastas se pueden identificar tres líneas de investigación que son fundamentales para ese modelaje, y pueden resultar de interés en otros dominios de la I.A.: el *razonamiento situado* propio de los Sistemas Dialógicos ([25, 8, 42, 17]) o de la Dialéctica Computacional ([39, 24, 11]); el *diseño de instituciones basadas en agentes*; y la noción de *confiabilidad*, a la que deben estar sujetas las interacciones en una institución virtual.

2. **Como Sistemas Multiagente**, las subastas intermediadas por agentes o en las que pueden intervenir agentes de software como compradores o vendedores tienen especial atractivo por al menos las siguientes razones:

a). Constituyen un *problema no trivial*. El desafío radica en que la información presente

en una subasta es no sólo abundante y conlleva gran incertidumbre, sino que además es constantemente cambiante y en las subastas típicas (como las de Fishmarket) cambia a gran velocidad. Por ello el desarrollo de agentes que puedan desempeñarse con aptitud en ese medio, conlleva múltiples dificultades, y requiere y puede aprovechar una gran cantidad de propuestas y desarrollos sobre razonamiento automático.

b). Son, por otra parte, un dominio que permite una *evaluación competitiva*: objetiva y directa del desempeño de los participantes (y de las propias instituciones) por el propio carácter competitivo de una subasta. Elemento que se aprovecha para construir bancos de pruebas como FM97.6, que son aplicables a la evaluación de subastas y de una gama muy amplia de instituciones basadas en agentes.

c). La razón más significativa, sin embargo, es que las subastas son un problema *convenientemente escalable* dentro de un programa general de investigación en sistemas multiagentes. Dicha escalabilidad es factible gracias a que las características *sociales* que están presentes en esta forma de coordinación son sumamente simples y ajenas a los factores *individuales* implícitos en los procesos decisionales. Por ello es posible separar cómodamente ambos factores, y utilizar las subastas como un banco de pruebas para desarrollar o experimentar con arquitecturas, heurísticas y estrategias que aplicándose a los agentes que intervienen en una subasta, pueden ser también relevantes para otras formas de coordinación (como el cruce de posturas en una bolsa, la negociación abierta y el regateo).

3. Por último, desde la perspectiva del **Comercio Electrónico**, cabe señalar tres aspectos más.

a). Constatar el considerable potencial de las transacciones electrónicas vía Internet, (cf.[38, 15, 21]) y en particular el súbito éxito de las subastas en línea. Hechos que indican la conveniencia de atender las oportunidades científico-tecnológicas del desarrollo de instituciones comerciales para la negociación automática o intermediada por agentes de software.

b). Complementariamente, la oportunidad de desarrollar agentes que intervengan en di-

chas instituciones. Y atender las dificultades —ergonómicas, reglamentarias, operativas y de pericia— que su uso más generalizado en transacciones comerciales hará patente.

c). Por último, el interés derivado de la aparición (y el diseño) de *nuevas prácticas comerciales* como resultado de los desarrollos citados. Pero además, la necesidad de instituir *otras prácticas* —y los consiguientes instrumentos tecnológicos— confiables, cotejables y posiblemente sujetas a alguna forma de certificación y auditoría independientes. Prácticas y tecnologías que deberán facilitar un comercio electrónico *confiable, seguro y provechoso*.

## Reconocimientos

Este trabajo fue posible gracias a diversos apoyos económicos. Los principales son: Proyecto SMASH, (CICYT TIC96-1038-C04001); Project COMRIS (ESPRIT LTR 25500-COMRIS); Project VIM (Proyecto Europeo, TMR PL93-0186 VIM); CONACYT (México) (Beca Ref.69068-7245). También queremos agradecer las atenciones que los miembros de la Cofradía de pescadores de Blanes nos han dado, en especial a Xavier Márquez y a Josep Llauradó.

## Referencias

- [1] AUSTIN, J. *How to do things with words*. Oxford University Press, 1962.
- [2] CASSADY JR., R. *Auctions and Auctioneering*. U. of California Press, 1967.
- [3] CHAVEZ, A., AND MAES, P. Kasbah: An agent marketplace for buying and selling goods. In *Proc. of PAAM-96* (1996), pp. 75–90.
- [4] CLEARWATER. Market-based control: A paradigm for distributed resource allocation. *World Scientific* (1995).
- [5] DENNET, D. *The Intentional Stance*. The MIT press, 1987.

- [6] DIGNUM, F., AND VAN LINDER, B. Modeling social agents: Communication as action. In *Intelligent Agents III (LNAI Volume 1193)*, J. Mueller, M. Wooldridge, and N. R. Jennings, Eds., LNCS. Springer Verlag, 1996, pp. 205–218.
- [7] GUTTMAN, R. H., MAES, P., CHAVEZ, A., AND DREILINGER, D. Results from a multi-agent electronic marketplace experiment. In *MAAMAW'97* (1997).
- [8] HAMBLIN, C. L. *Fallacies*. Methuen, 1970.
- [9] HENDRICKS, K., AND PAARSCH, H. J. A survey of recent empirical auctions. *Canadian Journal of Economics XXIII, No.2* (1995), 403–420.
- [10] KRAUS, S. Negotiation and cooperation in multi-agents environments. *Artificial Intelligence 94* (1997), 79–97.
- [11] LOUI, R., AND NORMAN, J. Rationales and argument moves. *Artificial Intelligence and Law Journal 3*, 3 (1995), 159–189.
- [12] LYNCH, N. *Distributed Algorithms*. Morgan Kaufmann, 1996.
- [13] MAS-COLELL, A., WHINSTON, M. D., AND GREEN, J. R. *Microeconomic Theory*. Oxford University Press, 1995. Specially Chp. 23. Incentives and Mechanism Design.
- [14] MCAFEE, R. P., AND MCMILLAN, J. Auctions and bidding. *Journal of Economic Literature XXV* (1987), 699–738.
- [15] MEEKER, M., AND PEARSON, S. The internet retailing report. Tech. rep., Morgan Stanley, 1997. <http://www.ms.com>.
- [16] MULLEN, T., AND WELLMAN, M. P. A simple computational market for network information systems. In *ICMAS-95* (1995).
- [17] NORIEGA, P. Elementos para una caracterización formal de los diálogos: Aspectos estructurales. Tech. Rep. 95-N1, LANIA, Xalapa, MX, 1995.
- [18] NORIEGA, P. *Agent-Mediated Auctions: The Fishmarket Metaphor*. PhD thesis, Universitat Autònoma de Barcelona, 1997.
- [19] NORIEGA, P., AND SIERRA, C. Towards layered dialogical agents. In *Intelligent Agents III (LNAI Volume 1193)*, J. Müller, M. Wooldridge, and N. R. Jennings, Eds., LNCS. Springer Verlag, 1996, pp. 157–171.
- [20] NORTH, D. C. *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K., 1990.
- [21] OCDE. Measuring electronic commerce. Tech. rep., OCDE Committee for Information, Computer and Communication Policy, Paris, 1997. OCDE/GD(97)185.
- [22] PADGET, J., AND BRADFORD, R. A  $\pi$ -calculus model of the Spanish fish market. Tech. rep., School of Mathematical Sciences. University of Bath, 1997.
- [23] PLAZA, E., NORIEGA, P., AND SIERRA, C. Competing agents in agent-mediated institutions. *International Journal of Human Computer Interactions (submitted)* (1998).
- [24] PRAAKEN, H. *Logical Tools for Modelling Legal Argument*. PhD thesis, Free University of Amsterdam, 1993.
- [25] RESCHER, N. *Dialectics: A controversy-oriented approach to the theory of knowledge*. SUNY, 1977.
- [26] RODRÍGUEZ, J. A., NORIEGA, P., SIERRA, C., AND PADGET, J. A Java-based electronic auction house. In *Second International Conference on The Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology: PAAM'97* (London, UK, 1997), pp. 207–224.
- [27] RODRÍGUEZ-AGUILAR, J. A., MARTÍN, F., GARCIA, P., NORIEGA, P., AND SIERRA, C. Competitive scenarios for heterogeneous trading agents. In *Proceedings AA98* (1998).



- [28] SANDHOLM, T. Limitations of the Vickrey Auction in computational multiagent systems. In *Proceedings of ICMAS-96* (1996), pp. 299–306.
- [29] SANDHOLM, T., AND LESSER, V. R. Coalitions among computationally bounded agents. *Artificial Intelligence 94* (1997), 99–137.
- [30] SCHWARTZ, R., AND KRAUS, S. Bidding mechanisms for data allocation in multi-agent environments. In *ATAL97* (1997).
- [31] SEARLE, J. R. A taxonomy of illocutionary acts. *Language, Mind and Knowledge. Minnesota Studies in the Phil of Science 11* (1975).
- [32] SEARLE, J. R., AND VANDERVEKEN, D. *Foundations of illocutionary logic*. Cambridge University Press, 1985.
- [33] SIERRA, C., JENNINGS, N. R., NORIEGA, P., AND PARSONS, S. A framework for argumentation-based negotiation. In *Intelligent Agents IV (LNAI Volume 1365)*, A. R. M. P. Singh and M. J. Wooldridge, Eds., LNCS. Springer Verlag, 1997, pp. 177–192.
- [34] SINGH, M. P. A semantics for speech acts. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence 8* (1993), 47–71.
- [35] SMITH, R. G., AND DAVIS, R. Frameworks for cooperation in distributed problem solving. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics 11*, 1 (1981), 61–70.
- [36] SMITH, V. L. *Auctions*. The new Palgrave: a dictionary of Economics. John Eatwell, Murray Milgate and Peter Newman (eds). McMillan, London, 1987, pp. 39–53.
- [37] TSVETOVATYY, M., AND GINI, M. Towards a virtual marketplace: Architecture and strategies. In *Proceedings of PAAM96* (1996).
- [38] US Framework for Global Electronic Commerce. [http://www.iitf.nist.gov/electronic\\_commerce](http://www.iitf.nist.gov/electronic_commerce).
- [39] VAN EEMEREN, H., GROOTENDORST, R., AND HENKEMANS, F. *Fundamentals of Argumentation Theory, A Handbook of Historical Backgrounds and Contemporary Developments*. Lawrence Erlbaum Associates, 1996.
- [40] VARIAN, H. R. Economic mechanism design for computerized agents. Tech. rep., School of Information Management and Systems. University of California. Berkeley, 1995.
- [41] VICKREY, W. Counterspeculation, auctions and competitive sealed tenders. *Journal of Finance 16* (1961), 8–37.
- [42] WALTON, D.Ñ. *Informal Logic*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1989.
- [43] WELLMAN, M. P. A market-oriented programming environment and its application to distributed multicommodity flow problems. *Journal of Artificial Intelligence Research 1* (1993), 1–22.
- [44] WOLFSTETTER, E. Auctions: an introduction. *Journal of Economic Surveys 10*, 4 (1996), 367–420.