

# Technology Oriented Collaboration Through Multi-Agent Systems in Operation of a Group of Transplantation

John Sprockel, Javier Agreda

**Abstract - The cooperation of a system of human organ transplants is a difficult task that considers clinical, legal, organizational and human aspects inside a complex environment of distributed hospitals and government organizations. Due to the application of a groupware using multi-agent systems becomes a real possibility for process optimization.**

**In this paper we analyze the problems and methodology of a communication system for the network of transplants. Subsequently, we present an application developed on AYLLU, a framework that allows the generation of cooperative services for human interaction, which models the cooperation presented in various stages of organ transplantation.**

**Key Words: Intelligent Systems, Intelligent Agents, Multi-agent Systems, Groupware, Technology Oriented Collaboration, Organ Transplantation.**

## I. MOTIVACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

Durante el año 2013 en Colombia se realizaron 961 trasplantes de órganos, representa una tasa de trasplantes por millón de población de 20.4 [1]. Lo que representa una posición media a nivel mundial y muy bueno para Latinoamérica. La lista de espera para trasplante de órganos es la lista específica de posibles recipientes para cada órgano específico y en Colombia, la edad promedio de los pacientes incluidos en dicha lista es de 29 años, la población joven y productiva del país.

John Sprockel y Javier Agreda son candidatos a la Maestría de Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad Javeriana. Cra. 7 No. 40-62, Bogotá, Colombia. (Tel/Fax: (571) 320 8320 ext. 5275, e-mail: jsprockel@javeriana.edu.co, agredaj@javeriana.edu.co)

John Sprockel hace parte del departamento de Medicina Interna del Hospital San José. Cll. 10 # 18-75, Bogotá, Colombia.

La coordinación de un sistema de trasplante de órganos humanos es una tarea difícil que tiene en cuenta aspectos clínicos, legales, organizacionales y humanos dentro de un ambiente distribuido complejo de hospitales y organizaciones gubernamentales [2]. En Colombia la Red de Donación y Trasplantes de Órganos y Tejidos, fue creada por el Ministerio de la Protección social por medio del Decreto 2493 del 4 de agosto de 2004. La Red es el conjunto de entidades relacionadas con los procesos de donación y trasplante en el país.

En el presente trabajo describimos el uso del marco AYLLU para modelar la cooperación entre los miembros de una red de trasplantes, desde el donante hasta el receptor, considerando el sistema de salud y la coordinación de trasplantes.

En el 2001 se describió una arquitectura de un sistema multi-agente para soportar las principales actividades del proceso del trasplante, para que fuera compatible con la estructura organizativa de España [2]. Luego de esto, un grupo diferente dentro del marco del proyecto CARREL, desde el 2004 ha trabajado de manera consistente en una herramienta basada en sistemas multi-agentes para la coordinación de los trasplantes en España, dentro del que se ha trabajado en un modelo de argumentación [3] [4] [5] [6] [7] [8]. Por otro lado, un grupo de la Universidad de Michigan generó un modelo para la simulación del proceso de donación centrados en trasplante hepático mediante la aplicación de diferentes políticas para la asignación de los órganos [9].

Una de las herramientas de software para lograr el establecimiento de líneas de integración del trabajo de varias personas son las tecnologías orientadas a la colaboración, también llamadas groupware [10]. El proyecto Ayllu-org pretende, por medio del uso de la tecnología groupware y el uso de agentes informáticos en sistemas multi-agentes, mediar la interacción orientada a la cooperación de personas en entornos empresariales. Desarrollar e implementar un modelo para realizar tareas de

groupware en entornos empresariales, usando agentes informáticos racionales, constituye el objetivo general y principal del proyecto [10] [11]. En medicina, se han evaluado varios modelos de colaboración en tiempo real con la intermediación de agentes, unos centrados en la colaboración entre la medicina tradicional y occidental en Corea [12] [13] y otro para dar soporte a la colaboración en otorrinolaringología [14] [15].

## II. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Los Roles que participan son los siguientes:

- a. *Candidato*: Paciente hospitalizado en el área de urgencias o cuidados intensivos con trauma encefálico severo y sospecha de muerte cerebral.
- b. *Donante*: Paciente hospitalizado en el área de urgencias o cuidados intensivos con confirmación de la muerte cerebral que el representante aceptó realizar la donación.
- c. *Médico*: Profesional de la salud encargado de la atención del candidato o donante.
- d. *Neuro-científico*: Médico del área de las neurociencias (neurología o neurocirugía) que se encuentra a cargo del cuidado del candidato o donante. Según la legislación colombiana debe confirmar el diagnóstico de muerte cerebral hecho por otra especialidad médica (por lo general (urgencias o cuidados intensivos).
- e. *Representante*: Familiar o acudiente con la potestad de decidir y autorizar la realización de la donación.
- f. *Coordinador*: Trabajador de la salud (generalmente médico) que se encarga de la búsqueda activa de candidatos, verificar que sea viable, convencer al representante luego de notificársele el deceso, cuidar el cuerpo del donante, realizar pruebas de laboratorio y organizar los grupos para la extracción, transporte y trasplante de los órganos.
- g. *Grupo de Extracción o Rescate*: Grupo quirúrgico (cirujano, anesestesiólogo, instrumentador y enfermero) especializado en la realización del salvamento de los órganos. Está al servicio de la red.
- h. *Grupo de Transporte*: Estructura logística encargada de la movilización de los órganos entre los centros del donante y del receptor en la misma o diferente ciudad.
- i. *Grupo de Trasplante*: Grupo quirúrgico (cirujano, anesestesiólogo, instrumentador y enfermero) especializado en la realización del trasplante del/los órgano (s). Está al

servicio del hospital que se encuentra encargado del cuidado del aspirante.

j. *Laboratorio*: centro encargado de realizar rápidamente las pruebas de compatibilidad y de descarte de procesos infecciosos riesgosos para el receptor.

k. *Aspirante*: Enfermo que requiere de un órgano para recobrar su funcionalidad, ha sido sometido a los estudios de rutina por las diversas especialidades, tiene tipificado su fenotipo de compatibilidad y está ubicado en una lista de espera.

l. *Receptor*: Primero en la lista de espera que ha sido elegido para recibir un órgano tras la aceptación por el representante y el cotejo de las pruebas de compatibilidad.

En la figura 1 se expone el marco general del modelo para la comunicación entre personas mediante la intermediación con agentes.

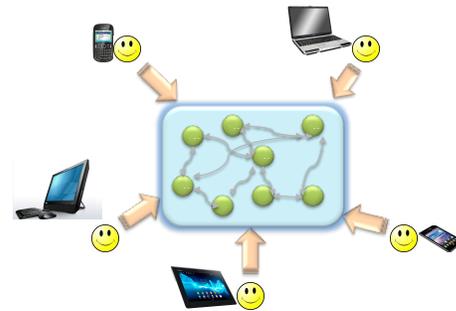
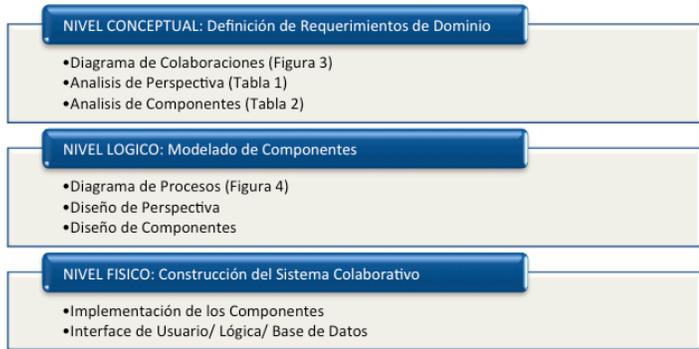


Figura 1. Modelo conceptual de una comunidad de agentes para soportar servicios cooperativos para una comunidad de personas.

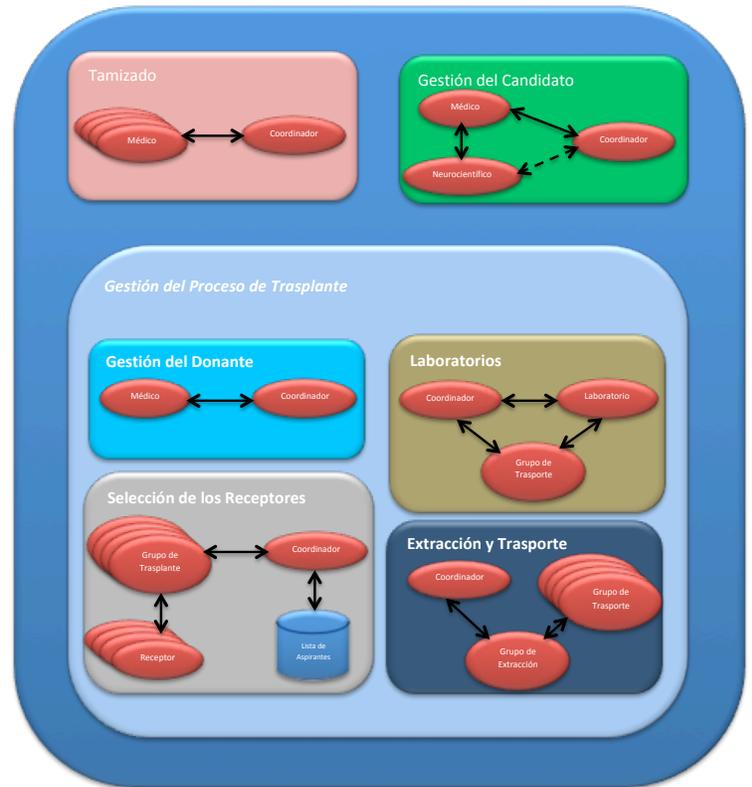
## III. METODOLOGÍA

El modelo que se utilizó para el análisis del problema fue el propuesto por Park, que se trataba de una arquitectura de modelado de un sistema para la mejoría del trabajo colaborativo en medicina aplicado en Corea que considera la interacción entre la medicina oriental y occidental [14] [15], a partir de este trabajo se propone una metodología para el análisis de la interacción de los agentes dividido en tres niveles que seguimos para nuestro caso de estudio que se presenta en la figura 2. En las tablas 1 y 2, así como en la figura 3 y 4 se exponen ejemplos del desarrollo de dicho análisis.



**Figura 2.** Arquitectura en tres niveles (tomado de referencia [14]).

Se utilizó el Framework AYLLU [11] (que se soporta a su vez en BESA [16] y se programa en JAVA) con lo que se generan los agentes de interface, representante y de sesión para cada uno de los miembros del proceso (Figura 5) a los que se accede mediante los grupos volátiles (agentes de comunidad) generados tras la selección de un servicio por el agente fábrica y la intermediación del gestor de comunidad (CMA).



**Figura 3.** Diagrama de colaboración.

**TABLA 1.**  
EJEMPLO DE UN ESCENARIO DE ACCIÓN PARA EL DISEÑO DE LA PERSPECTIVA

Escenario de Acción No.	1	Nombre de la Acción	Tamizado
<b>Individuos Implicados</b>	Coordinador Médico		
<b>Descripción</b>	Se realiza un proceso de búsqueda activa por parte de los coordinadores, de candidatos a trasplante entre los servicios de urgencias y cuidados intensivos de los hospitales asignados a su cuidado, o el médico de dichos hospitales le notifican a través de la red de trasplantes a cerca de casos probables.		

**TABLA 2.**  
EJEMPLO DE UNA TABLA DE COMPONENTES PARA EL DISEÑO DE LA PERSPECTIVA

Nombre del Componente de Perspectiva		Crear la lista de candidatos
Escenario Fuente		Escenario 1
Contenidos de la Perspectiva	Atributos de Datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del centro</li> <li>• Datos del candidato               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identificación</li> <li>▪ Nombre</li> <li>▪ Cama</li> </ul> </li> <li>• Diagnóstico</li> </ul>
	Operación	Comunicación con los centros y localizar los donantes candidatos
Condiciones	Pre-condición	Teléfonos de contacto de urgencias y cuidados intensivos
	Post-condición	Candidato adicionado a la lista

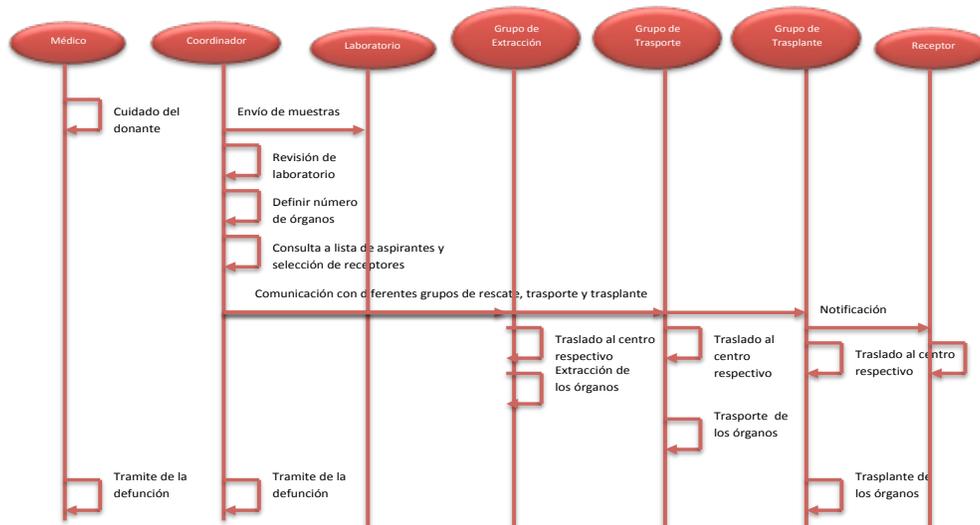


Figura 4. Diagrama del proceso para el modelado de los componentes, ejemplo de gestión del donante.

#### IV. RESULTADOS

El sistema obtenido producto de la investigación realizada es un servicio de chat en el cual cada uno de los responsables del proceso de trasplante se encuentran conectados. Las reglas de los agentes del sistema consisten en dar seguimiento al procedimiento, para esto se fijó un estado general del procedimiento de trasplante, el estado es modificado por comandos textuales específicos que

funcionan en cierto estado y con cierto tipo de agente, el mensaje de confirmación es enviado a otro u otros agentes en específico siguiendo el lineamiento del proceso, también se envían mensajes generales con el fin que cada agente al leerlos pueda estar alerta. Algunos procedimientos se basan en Contract Net Protocol como por ejemplo la solicitud de candidatos a trasplantar. Los estados y comandos son descritos en la tabla 3.

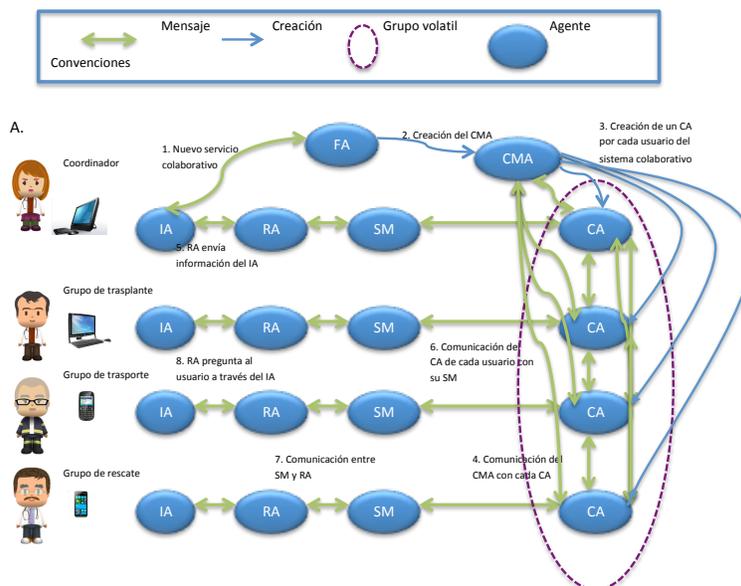


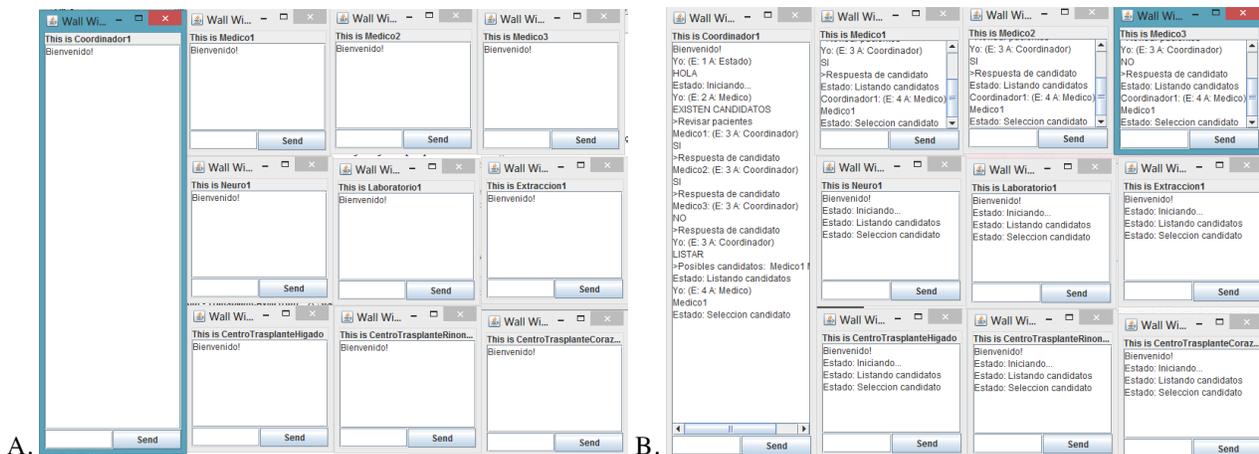
Figura 5. Modelo de colaboración mediado por agentes basado en protocolos de comunicación en AYLLU. Aplicación del servicio gestión del trasplante en el proceso de Activación del rescate - transporte.

**TABLA 3.**  
**DESCRIPCIÓN DE LOS ESTADOS Y COMANDOS USADOS POR EL SISTEMA**

ESTADO	DESCRIPCIÓN
<i>Estado 0</i>	Inicialización del proceso
<i>Estado 1</i>	Tras el comando EXISTEN CANDIDATOS se modifica el estado a 2 y se envía un mensaje a los médicos, con esto se inicia una Contract Net en la cual se espera la respuesta de los médicos.
<i>Estado 2</i>	Los médicos pueden responder a la solicitud de candidatos del coordinador con SI o NO, tras lo cual se pasa a un estado 3.
<i>Estado 3</i>	El coordinador usa el comando LISTAR para obtener los médicos que dieron la respuesta afirmativa, selecciona el médico uno y pasa a un estado 4 y envía un mensaje a los médicos mostrándoles la selección y finalizando la Contract Net de selección del candidato.
<i>Estado 4</i>	Se envía una solicitud al neurólogo para realizar la confirmación del caso con el comando CONFIRMACION NEURO, pasando al estado 5 y el neuro recibe un mensaje con el candidato seleccionado.
<i>Estado 5</i>	El neurólogo responde al coordinador con un CONFIRMADO dando continuidad al proceso en estado 6, o RECHAZADO volviendo al estado 3 respectivamente.
<i>Estado 6</i>	El coordinador debe dar paso al laboratorio para realizar los exámenes para determinar que órganos son trasplantables, esto se hace mediante el comando EXAMINAR CANDIDATO que envía el mensaje al laboratorio y modifica el estado a 7.
<i>Estado 7</i>	el laboratorio deberá determinar que órganos son aceptables para trasplante y cuales no mediante los comandos: RINONES SI, RINONES NO, HIGADO SI, HIGADO NO, CORAZON SI y CORAZON NO, solo se tomaron en cuenta estos tres órganos para este desarrollo en específico, para terminar el laboratorio deberá enviar el comando FINALIZAR EXAMENES que modificara el estado a 8 y enviara un mensaje al coordinador para que gestione los trasplantes.
<i>Estado 8</i>	el coordinador usa el comando LISTAR para obtener todos los órganos que dieron resultado afirmativo, luego envía el comando EXTRAER para enviarle un mensaje al equipo de extracción y seguir con el estado en 9.
<i>Estado 9</i>	en este estado los agentes de Extracción deben enviar el comando EXTRACCION REALIZADA como confirmación de la extracción de los órganos y pasan a estado 10.
<i>Estado 10</i>	una vez extraídos los órganos se deben realizar los trasplantes los cuales decidirá realizar el coordinador mediante los comandos: ENVIAR TRASPLANTE RINONES, ENVIAR TRASPLANTE HIGADO y ENVIAR TRASPLANTE CORAZON con esto se enviarán mensajes a cada centro de trasplante en específico.
<i>Estado 11</i>	cada centro de trasplante puede enviar el comando TRANSPLANTE REALIZADO notificando el éxito en la operación.

Existen comandos que funcionan en cualquier momento del proceso, por ejemplo está el comando DETENER del coordinador que devuelve el proceso al estado 0, comandos de comunicación: al iniciar un mensaje con “P.” se envía el mensaje a todos los agentes, y si se quiere enviar un mensaje

privado se puede realizar mediante cualquiera de estas letras “M:” para todos los médicos “M1:” para el medico 1 igual que M2 y M3, “C:” coordinador, “N:” neuro, “L:” laboratorio, “E:” extracción, “CT:” centros de trasplante, “CTC:” de corazón, “CTH:” de hígado, “CTR:” de riñones.



**Figura 6.** Vistas de la aplicación en funcionamiento. A. estado inicial aplicación. B. tras varios pasos en estado 3.

En la figura 6 se presenta el aplicativo en funcionamiento, cada panel corresponde a la interface como sería vista por cada uno de los usuarios. El estado es común a todos, y los

mensajes se envían a los directamente implicados en cada una de las fases del proceso.

## V. DISCUSIÓN

El framework AYLLU permite la generación de servicios colaborativos para la interacción entre personas [10] [11], funciona generando un grupo volátil de agentes de comunidad tras la selección de un servicio (ya establecido de antemano) en el que se establece la comunicación con un conjunto específico de roles (con un orden que puede estar fijado). Se aprovecha la capacidad de los sistemas multi-agentes de trabajar de manera autónoma y distribuida.

En el campo de la medicina se está comenzando a sacar provecho de este tipo de sistemas y la coordinación del proceso de la donación y trasplante de órganos, representa un área crítica donde se puede sacar provecho de este tipo de elementos de comunicación [2-8].

El aplicativo propuesto, se soporta en un sistema de chat diseñado en el framework AYLLU, que lleva una secuencia de estados a los que se accede de manera centralizada por un coordinador mediante una serie de comandos muy fáciles de utilizar. Brinda la posibilidad de distintos niveles de comunicación (individual, general o por roles) y puede gestionar de manera efectiva el proceso de trasplante de órganos. Puede servir, en un futuro, de base para la generación de un sistema argumentativo para la elección de los receptores mediante el dialogo de los diversos grupos de trasplante.

## VI. CONCLUSIONES

El proceso del trasplante de órganos implica la interacción estrecha entre varios grupos de personas en varios pasos que requieren una coordinación estricta. Este proceso puede ser llevado a cabo a través de un aplicativo que mediante la intermediación de un sistema multi-agentes gestiona un groupware sobre el Framework AYLLU.

## REFERENCIAS

[1] Instituto Nacional de Salud and MinSalud, "Informe anual red de donación y trasplantes 2013 - Instituto Nacional de Salud dirección redes en salud pública subdirección red nacional de trasplantes y bancos de sangre coordinación nacional red donación y trasplantes." Mar-2014.

[2] A. Aldea, B. López, A. Moreno, D. Riaño, and A. Valls, "A Multi-Agent System for Organ Transplant Co-ordination," in *Artificial Intelligence in Medicine*, S. Quaglini, P. Barahona, and S. Andreassen, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2001, pp. 413–416.

[3] U. Cortés, J. Vázquez-Salceda, A. López-Navidad, and F. Caballero, "UCTx: A multi-agent system to assist a transplant coordination unit," *Applied Intelligence*, vol. 20, no. 1, pp. 59–70, 2004.

[4] S. Modgil, P. Tolchinsky, and U. Cortés, "Towards Formalising Agent Argumentation over the Viability of Human Organs for Transplantation," in *MICAI 2005: Advances in Artificial Intelligence*, A. Gelbukh, Á. de Albornoz, and H. Terashima-Marín, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 928–938.

[5] P. Tolchinsky, U. Cortés, S. Modgil, F. Caballero, and A. López-Navidad, "Increasing human-organ transplant availability: Argumentation-based agent deliberation," *IEEE Intelligent Systems*, vol. 21, no. 6, pp. 30–37, 2006.

[6] P. Tolchinsky, U. Cortés, S. Modgil, F. Caballero, and A. López-Navidad, "Using CARREL+ to increase availability of human organs for transplantation," *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 4507 LNCS, pp. 1082–1089, 2007.

[7] P. Tolchinsky, S. Modgil, K. Atkinson, P. McBurney, and U. Cortés, "Deliberation dialogues for reasoning about safety critical actions," *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, vol. 25, no. 2, pp. 209–259, 2012.

[8] J. Vázquez-Salceda, J. A. Padget, U. Cortés, A. López-Navidad, and F. Caballero, "Formalizing an electronic institution for the distribution of human tissues," *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 27, no. 3, pp. 233–258, 2003.

[9] D. Thompson, L. Waisanen, R. Wolfe, R. M. Merion, K. McCullough, and A. Rodgers, "Simulating the allocation of organs for transplantation," *Health Care Management Science*, vol. 7, no. 4, pp. 331–338, 2004.

[10] E. Gonzalez, G. Acosta, and L. Uribe, "Aylly-org: groupware mediado por agentes informáticos racionales para entornos empresariales." 30-May-2006.

[11] O. J. Cantor, L. E. Mancilla, and E. González, "Ayllu: A cooperative approach to groupware development," in *IEEE International Conference on Communications*, 2006, vol. 1, pp. 447–452.

[12] M. Y. Sung, M. S. Kim, E. J. Kim, J. H. Yoo, and M.-W. Sung, "CoMed: A real-time collaborative medicine system," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 57, no. 2–3, pp. 117–126, 2000.

[13] M. Y. Sung, M. S. Kim, M.-W. Sung, E. J. Kim, and J. H. Yoo, "CoMed: a real-time collaborative medicine system," in *Proceedings of the IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems*, 2000, pp. 215–220.

[14] H. G. Park, "Collaborative Medicine Systems – Modeling Concept and Architecture," in *Computer Supported Cooperative Work in Design IV*, W. Shen, J. Yong, Y. Yang, J.-P. A. Barthès, and J. Luo, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 575–583.

[15] H. G. Park, "A Modeling Architecture for Collaborative Medicine Systems," in *11th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, 2007. CSCWD 2007*, 2007, pp. 1059–1062.

[16] E. González, J. Avila, and C. Bustacara, "BESA: Behavior-oriented, event-driven and social-based agent framework," in *Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications*, 2003, vol. 3, pp. 1033–1039.