

GSIROBOCUP: UN ENTORNO LÚDICO DE APRENDIZAJE DE SISTEMAS INTELIGENTES BASADO EN EL FÚTBOL

Carlos A. Iglesias, Mercedes Garijo y Francisco Santiago

Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos

E.T.S.I. Telecomunicación

Universidad Politécnica de Madrid

Ciudad Universitaria s/n 28040 Madrid

e-mail: {cif,mga,fsantiago}@gsi.dit.upm.es web: <http://www.gsi.dit.upm.es>

Resumen. Este trabajo presenta un entorno lúdico para la enseñanza de sistemas inteligentes en carreras de ingeniería, basado en la programación de equipos de fútbol de la competición Robocup. El entorno desarrollado por el grupo docente sigue las reglas de la liga RoboCup, incorporando facilidades para que los alumnos puedan programar agentes inteligentes con reglas diferentes formas de juego para cada jugador según su rol, estrategia, estado del partido, etc. Este artículo describe el entorno y la experiencia docente desde 2001 en la E.T.S. Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid en la asignatura de quinto curso "Laboratorio de Sistemas Inteligentes". Como conclusión, el enfoque lúdico ha fomentado el interés y participación de los alumnos, que deben plantearse resolución práctica de temas complejos tales como gestión de la percepción, coordinación, entorno con ruido, conducta proactiva y reactiva.

1. Introducción

El cambio de los planes de estudio para el Espacio Europeo de Educación Superior supone un reto en la forma de afrontar cómo nos planteamos el proceso de aprendizaje de los alumnos.

En este artículo presentamos nuestra experiencia con un enfoque lúdico conforme a la competición Robocup, y una biblioteca que hemos desarrollado para realizar prácticas docentes.

La competición RoboCup [1] es un proyecto internacional para promover la inteligencia artificial, la robótica y campos relacionados que se celebra desde 1997 y en la que pueden participar, en diversas categorías, equipos formados por programas y máquinas (robots) inteligentes que jueguen al fútbol.

La competición RoboCup ofrece un entorno de experimentación muy interesante, con un simulador muy complejo, capaz de percibir y actuar en tiempo real, con una toma de decisiones distribuida y con facilidades para la coordinación de los jugadores en un entorno competitivo.

En el artículo se desarrolla cómo la estrategia lúdica, como efecto incentivador y dinamizador de la enseñanza, puede facilitar la comprensión de conceptos complejos,

gracias a la combinación de la experimentación y del trabajo en equipo, en un dominio complejo.

El entorno de enseñanza GSI-Robocup [2] viene siendo usado en la E.T.S.I. de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid desde 2001 en la asignatura Laboratorio de Sistemas Inteligentes. En concreto, se emplea en la última práctica, que es la más extensa y en la cual los alumnos deben desarrollar un sistema en equipo, pudiendo escoger entre varias alternativas de desarrollo de un sistema multiagente. La práctica basada en la biblioteca GSI-Robocup ha sido seleccionada todos los años por al menos un tercio de los grupos, a pesar de ser una práctica que requiere gran dedicación.

El resto del artículo se estructura como sigue. La sección 2. realiza una introducción de la competición Robocup. A continuación, la sección 3. presenta la estrategia docente seguida y las competencias que pretendemos que los alumnos adquieran con nuestra plataforma. La sección 4. presenta las funcionalidades ofrecidas por la biblioteca GSI-Robocup. En la sección 5. presentamos las lecciones aprendidas basadas en nuestra experiencia docente. Por último, la sección 6. presenta las conclusiones generales del artículo y nuestras líneas actuales de trabajo.

2. La competición Robocup

La competición Robocup [1] es un proyecto internacional para promover la inteligencia artificial, la robótica y campos relacionados. La competición se celebra desde 1997 en diversas categorías, donde el objetivo es programar programas y máquinas inteligentes que jueguen al fútbol.

Una de las categorías de la Robocup es la liga de simulación, que tiene ligas de simulación en dos y tres dimensiones.

Este artículo se centra en la liga de simulación en dos dimensiones. El simulador de la Robocup es un sistema distribuido cuya arquitectura se muestra en la Figura 1. El elemento central es el simulador(*robocup soccer server*) [5], actúa como servidor, y realiza la simulación del juego. Junto con el servidor, se distribuye un programa que visualiza el juego en dos dimensiones (*robocup soccer monitor*), y existen desarrollos disponibles de otros monitores en tres dimensiones.

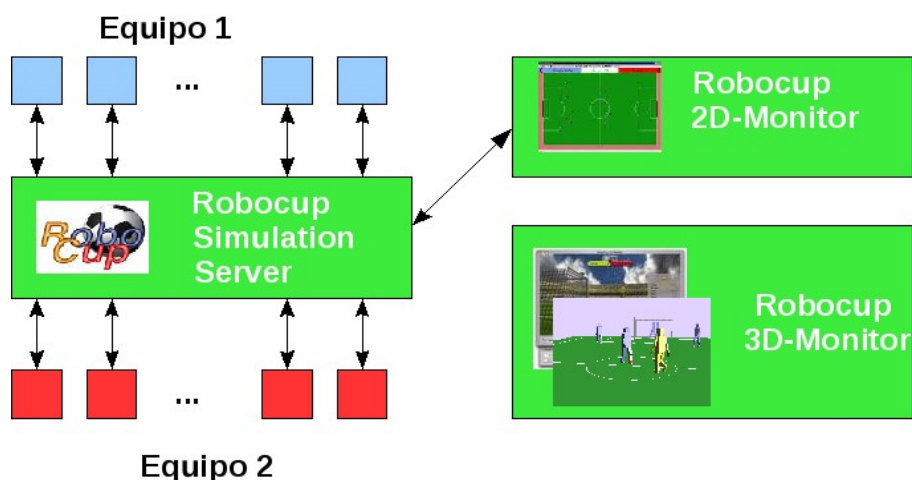


Figura 1: Arquitectura del Simulador Robocup

La comunicación entre el simulador y los clientes se realiza mediante sockets UDP/IP, lo que facilita que los jugadores puedan ser programados en cualquier lenguaje. Los jugadores de los equipos actúan como clientes, que una vez conectados al servidor reciben información sensorial y mandan órdenes para controlar a cada futbolista (avanzar una distancia en una dirección, chutar con una determinada fuerza, etc.).

El simulador permite emplear un árbitro automático o manual, y define reglas sobre la duración del partido, fuera de juego, o número de partes y duración de cada una. Además, se definen normas de conducta, que impiden el envío masivo de órdenes al servidor

Los agentes disponen de tres tipos de sensores: auditivo, visual y corporal. El *sensor auditivo* permite escuchar los mensajes del entrenador, del árbitro y de los otros jugadores de su mismo equipo. El simulador limita la capacidad auditiva de los jugadores para evitar un uso excesivo de este mecanismo, y los mensajes sólo se reciben si ambos están a una distancia menor de un umbral. El *sensor visual* informa periódicamente sobre los objetos que ve el jugador y su posición respecto del jugador.

Los objetos pueden ser la portería, las líneas, otros jugadores y el balón. El jugador también cuenta con un área de visión que depende de su posición en el campo y la posición de su cabeza. Con el fin de introducir ruido, se introduce imprecisión sobre la posición de los objetos lejanos. El *sensor corporal* proporciona información sobre el estado físico del jugador, que incluye la calidad y anchura de visión, la velocidad y la dirección actual, la dirección de la cabeza respecto del cuerpo y la potencia del jugador. El simulador decremente esta potencia a medida que el jugador hace ejercicio físico, lo que limita su velocidad. Con el fin de incluir el movimiento inesperado de objetos como sucede en el mundo real, se introduce ruido en el modelo de movimiento de los objetos. Los jugadores pueden acelerar hacia una posición, chutar, girar el cuerpo o la cabeza o mandar mensajes. El portero es un jugador especial que puede *coger* la pelota, y dispone de parámetros de simulación específicos.

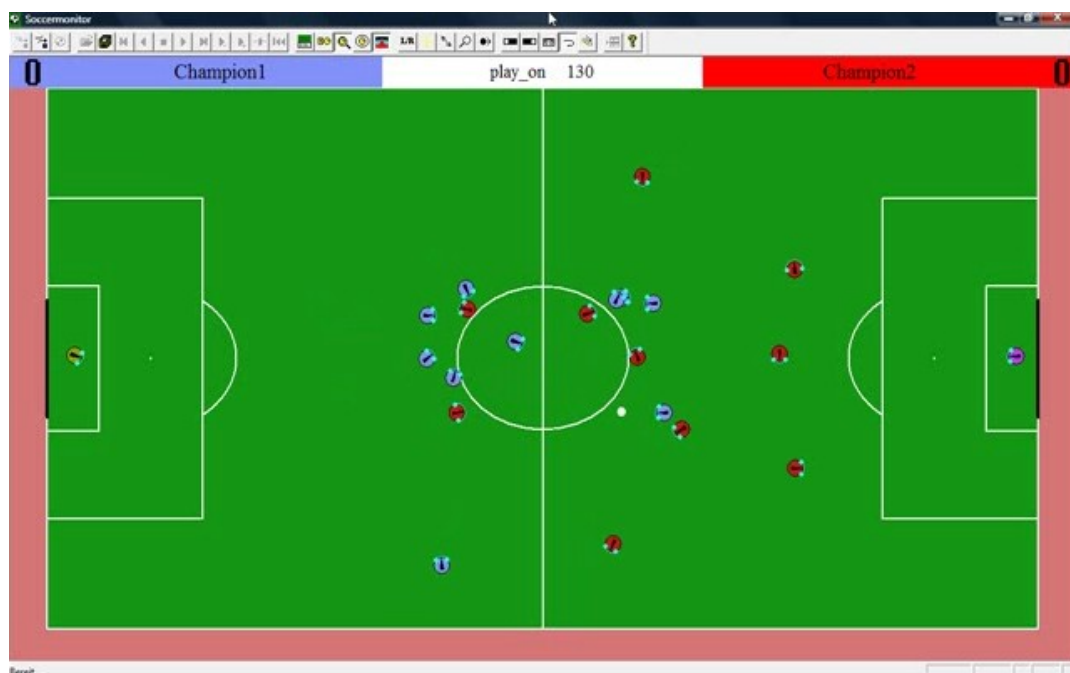


Figura 2: Ejemplo de una simulación de juego

3. La estrategia lúdica para facilitar la adquisición de competencias

En la universidad nos encontramos en una fase de cambio [3,4,5] con la adaptación del sistema universitario español al Espacio Europeo de Educación Superior. Uno de los cambios más relevantes es el cambio del enfoque en la orientación de la educación hacia un modelo más centrado en el aprendizaje del alumno y en la adquisición de competencias.

El hecho de abordar un dominio tan popular y atractivo como el fútbol, ha facilitado que la Robocup se aplique a la docencia de sistemas inteligentes y robótica [7,8]. Dependiendo de las competencias que se deseen adquirir, su utilización como herramienta docente es diferente, obviamente, pudiendo incidir en elementos de robótica con elementos físicos, de programación en lenguajes como C o Java, o, como es nuestro caso, de programación declarativa basada en reglas.

La Robocup nos ofrece un entorno de experimentación que favorece la adquisición de competencias básicas cognitivas. El problema planteado requiere enfrentarse con la complejidad de recibir y actuar en *tiempo real* y, además, la *toma de decisiones* es *distribuida*, y nos ofrece facilidades para la *coordinación* en un entorno competitivo. Las destrezas o habilidades para poder razonar en este entorno requieren la aplicación de contenidos de sistemas multiagente y, en nuestro caso, de programación declarativa basada en reglas.

En nuestro caso, nos planteamos que la Robocup permita adquirir competencias específicas de la titulación, así como competencias transversales. Las *competencias específicas* que nos planteamos son:

- Capacidad de análisis y síntesis de sistemas y servicios distribuidos en tiempo real.
- Habilidad para ejecutar, depurar y programar un servicio distribuido.
- Habilidad para construir sistemas distribuidos robustos con capacidad de reorganización ante fallos.
- Capacidad de razonamiento con programación declarativa basada en reglas.
- Habilidad para definir mecanismos de coordinación entre sistemas telemáticos

Desde el punto de vista de las *competencias transversales*, dado que se imparte en un curso alto de la carrera, la práctica pretende que se adquieran las siguientes competencias:

- Competencias instrumentales
 - Capacidad de análisis y síntesis. El sistema es complejo, y el alumno sólo conoce el razonamiento de su propio equipo. Además, es complejo determinar la conducta global del equipo partiendo de las decisiones individuales de los jugadores.
 - Capacidad de organización y planificación. En la práctica se plantea el problema (ganar a otro equipo) pero debe ser los alumnos, trabajando en

equipo, los que determinen qué estrategia siguen y cómo se organizan para conseguirla.

- Comunicación oral y escrita. La práctica se evalúa con una memoria escrita de la misma y una presentación pública de los resultados, con el fin de que todos los alumnos aprendan del trabajo de los otros.
- Conocimiento de lengua extranjera (inglés). Los manuales originales están en inglés.
- Resolución de problemas. En el transcurso de la práctica, dado que es un entorno que simula la realidad, e introduce ruido en las comunicaciones, y además, se pueden perder mensajes, los alumnos deben abordar estos problemas y definir estrategias para resolverlos.
- Competencias personales
 - Trabajo en equipo. La práctica se realiza en equipo, que se beneficia del reparto del esfuerzo y de la creatividad de sus miembros.
- Competencias sistémicas
 - Aprendizaje autónomo. Si bien se han desarrollado guías para facilitar el aprendizaje, los alumnos deben aprender por sí mismos apoyados en estas guías.
 - Creatividad. En nuestra opinión, el aprendizaje lúdico refuerza y permite la adquisición de esta competencia especialmente. No hay un entrenador de fútbol a gusto de todos, y las estrategias para hacer un equipo vencedor son numerosas (delimitación por zonas, jugador 'chupón', coordinación por mensajes, etc.).

La realización de la práctica se estructura en equipos de alumnos, que deben realizar conjuntamente un equipo, y pueden competir con equipos de años anteriores o entre sí mismos. El hecho de que el dominio sea conocido, y haya un gran número de aficionados al fútbol, favorece el aspecto lúdico del aprendizaje, que actúa como un elemento altamente motivador de los alumnos. Este aspecto motivador favorece la creatividad de los alumnos como el trabajo en equipo. Además, para la resolución del problema, que es complejo, es necesario no sólo conocer la teoría (saber) sino ponerla en práctica (saber hacer), así como consultar la bibliografía accesible en Internet.

4. La biblioteca GSI-Robocup

La biblioteca GSI-Robocup nace para ofrecer un entorno que simplifique la programación de agentes inteligentes para la robocup, ofreciendo un entorno de programación que les permita abstraerse de problemáticas que han visto en asignaturas anteriores, tales como:

- Programación de la conexión con el servidor, y gestión de sockets UDP.
- Programación de un analizador complejo de los mensajes que envía el servidor a los jugadores.

- Programación y modelado de los objetos del campo.
- Programación de un modelo de posiciones relativas de la Robocup, que requiere realizar un procesamiento geométrico de la información recibida.

En nuestro caso, además, queríamos que este dominio nos sirviera para reforzar la programación declarativa basada en reglas, ya que habitualmente es una de las mayores dificultades encontradas por los alumnos, que están habituados a la programación imperativa.

Si bien el entorno permite que no sea necesario programar estas funcionalidades, al igual que sucede en los entornos reales, los alumnos pueden tener que inspeccionar estas funcionalidades cuando el sistema no responde a sus expectativas, para lo que integra un sistema de logs.

La biblioteca GSI-Robocup [2,9,10,11] permite la programación de jugadores con el lenguaje de reglas Jess [12]. y presenta una arquitectura como se muestra en la Figura 3

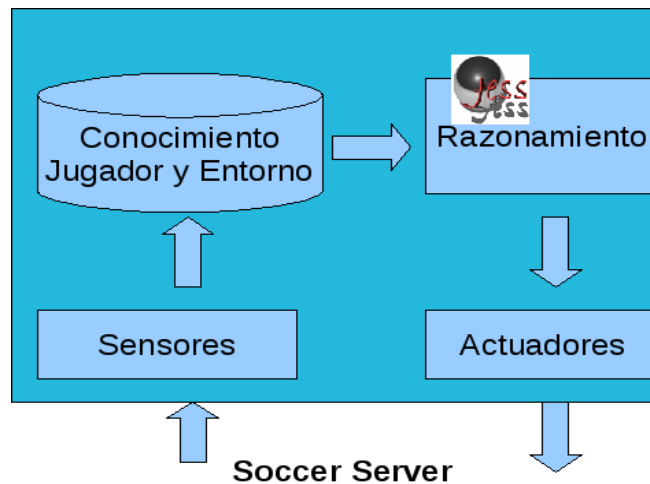


Figura 3: Arquitectura de los agentes GSI-Robocup

Las principales funciones ofrecidas por la biblioteca son:

- Gestión de comunicaciones UDP con el Servidor Soccer Server, gestionando el establecimiento de conexión, así como la recepción y envío de mensajes.
- Análisis de mensajes recibidos del servidor, actualización del conocimiento del Jugador y el Entorno, y obtención de posiciones absolutas de los objetos mediante cálculos geométricos.
- Integración del módulo de razonamiento basado en el lenguaje declarativo de reglas Jess, que permite razonar sobre los objetos Java del entorno.
- Gestión de hebras para recibir y procesar mensajes, de forma que no se pierdan mensajes.

- Gestión de hebras para ejecutar los jugadores. Aunque los agentes pueden lanzarse como procesos independientes, se lanzan en hebras con el fin de que supongan una menor carga.

La biblioteca GSI-Robocup permite que los alumnos se centren en programar los planificadores en Jess, y se liberan de la problemática de conexión con el servidor. Esta capa actualiza la memoria de trabajo con la información recibida.

A efecto ilustrativo, en la Tabla 1 se muestra un ejemplo de regla **turnToMate** para girar hacia un compañero, en que se indica queremos que se re-evalúe periódicamente (*reactivation*), y que si el juego está en activo (en modo "*play_on*"), y el jugador tiene el balón cerca y al compañero lejos, giremos nuestro cuerpo hacia él. En la Tabla 2 se muestra la segunda regla, **passBall**, se activa si estamos en juego activo (modo "*play_on*"), y estamos cerca del balón y frente a otro compañero, se lo pasamos.

```
(defrule turnToMate1
  (reactivation)
  ;si el modo de juego es play_on
  (playMode (realPlayMode "play_on"))
  (ball (distance ?ballDistance) (direction ?ballDirection))
  (position (id "p teamMate 1") (distance ?mate1Distance)
    (direction ?mate1Direction))
    ; si tengo el balón cerca y al compañero lejos
  (test (and (<= ?ballDistance 1) (> ?mate1Distance 1)
    ;y nuestro cuerpo no apunta hacia él
    (>= (call Math abs ?mate1Direction) 5)
  )
  )
=>
  ;nos giramos
  (turn ?mate1Direction)
)
```

Tabla 1: Ejemplo de regla *turnToMate* de un planificador

```
(defrule passBall
  ;si estamos en play_on
  (playMode (realPlayMode "play_on"))
  (ball (distance ?ballDistance) (direction ?ballDirection))
  (position (id "p teamMate 1") (distance ?mate1Distance) (direction ?mate1Direction))
  ;y además cerca del balón y encarados a nuestro compañero
  (test (and (<= ?ballDistance 1) (< (call Math abs ?mate1Direction) 5) ))
=>
  ;le pasamos el balón
  (kick 50.0 (angleToTurn ?*teamMate1Position*))
  (printout t "Le paso el balón a mi compañero" crlf)
)
```

Tabla 2: Ejemplo de regla *passBall* de un planificador

5. Experiencia docente

La biblioteca GSI-Robocup viene siendo usada en la E.T.S.I de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid desde 2001 en la asignatura *Laboratorio de Sistemas Inteligentes*. En concreto, se emplea en la última práctica, que es la más extensa. En esta práctica los alumnos deben desarrollar un sistema en equipo, y pueden escoger entre varias alternativas de desarrollo de un sistema multiagente. La GSI-Robocup ha sido seleccionada todos los años por al menos un tercio de los grupos, a pesar de ser una práctica que requiere gran dedicación.

Cada año, encontramos equipos que superan nuestras expectativas. Los alumnos son capaces de desarrollar equipos en los que hay agentes con diferentes conductas (delantero, defensa, portero, ...) y también desarrollan estrategias de equipo (más agresivo si estoy perdiendo, dar pases entre compañeros, ...). Además, aunque ya han desarrollado previamente otra práctica de programación de un sistema experto con Jess, en esta práctica se nota una mejora notable en el estilo de programación, dado que las reglas deben procesar los eventos del servidor, y no es posible 'cablear' el control de la aplicación.

Las principales dificultades encontradas por los alumnos han sido:

- Dificultades en la depuración. Para muchos alumnos, este proyecto es su primer contacto con la programación de sistemas distribuidos, sin un log centralizado. Si bien la Robocup ofrece un componente `{em logPlayer}` que permite la reproducción de jugadas grabadas, es necesario observar por qué se activan o no las reglas. A esta dificultad, sumamos el hecho del ruido introducido por el simulador.
- Dificultades con el procesamiento de los mensajes. El análisis de los mensajes del servidor es complejo y consumía mucho tiempo, lo que hacía que se perdieran mensajes.
- Elevada carga de los agentes.

Para superar estos problemas, se ha rediseñado la plataforma, optimizando el procesamiento de los mensajes, e implementando que los agentes se gestionen como hebras. Se han realizado pruebas extensivas con JUnit y fuerte carga con el fin de reducir la memoria y capacidad de procesamiento requerido. Además, con el fin de acelerar el aprendizaje, se han elaborado tutoriales en la herramienta de e-learning Moodle (Figura 4), y se les proporcionan a los alumnos equipos anteriores, para que puedan evolucionar soluciones anteriores.

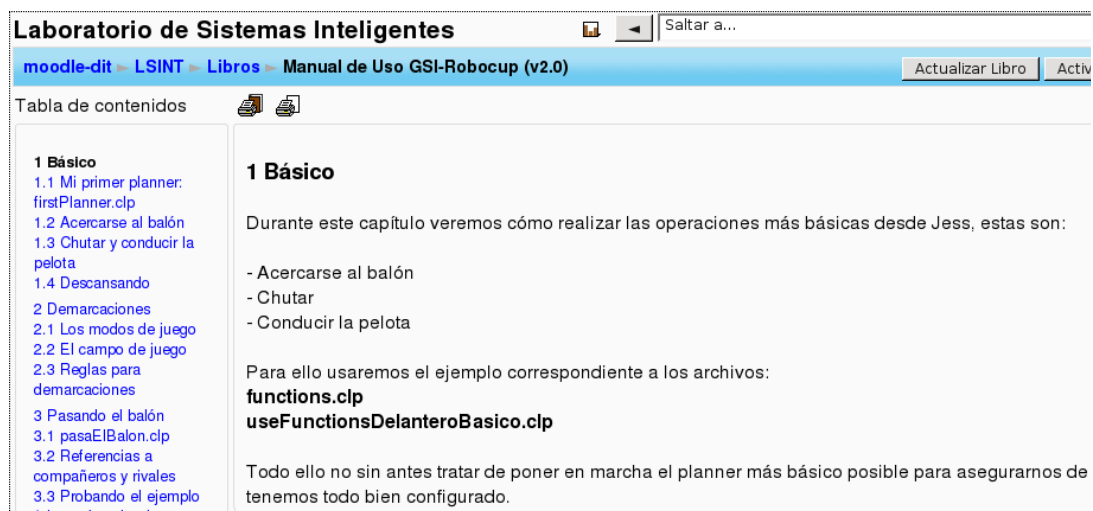


Figura 4: Guías de aprendizaje en la plataforma Moodle

6. Conclusiones y trabajos futuros

Nuestras experiencias con la biblioteca GSI-Robocup han sido satisfactorias, y han mostrado que el dominio motiva enormemente a los alumnos, especialmente a los aficionados al fútbol, que son una amplia mayoría.

Desde el punto de vista pedagógico, el dominio de la Robocup permite enseñar las principales bases de los agentes inteligentes, como son las capacidades de percepción y actuación con el entorno, la comunicación con otros agentes, y la planificación personal de las acciones. En cuanto a la coordinación entre agentes, es habitual que se pretenda hacer una coordinación explícita basada en comunicación directa pero, gracias a que esta opción está penalizada por el simulador, se tiende a una coordinación basada en roles (el esquema de juego).

Este año se ha trabajado sobre todo en mejorar la documentación y crear ejemplos y tutoriales para acelerar el aprendizaje de la plataforma, y en optimizarla. Entre los trabajos futuros, se está trabajando en la creación de una biblioteca que permita almacenar las conductas creadas por los alumnos cada año. Así mismo, se ha desarrollado un sistema de liguillas que permita hacer competiciones en línea y favorezca una “sana competitividad” entre los alumnos (Figura 5).

Este es el resultado de la liga.							
Posición	Equipo	Puntuación	Victorias	Empates	Derrotas	Goles a favor	Goles en contra
1	SoccerUnlimited	11	2	5	0	2	0
2	Champion	10	2	4	0	2	1
3	Rangers	10	2	4	0	2	2
4	Energizers	10	2	4	0	3	1
5	Athletics	8	1	5	0	1	1
6	EastSoccerClub	7	1	4	2	1	2
7	Guacharos	6	0	6	0	0	1
8	MegaTeam	4	0	4	3	0	3

Figura 5: Liguilla entre equipos de alumnos

7. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a todos los alumnos que han colaborado en el desarrollo de la plataforma, Álvaro Martínez [9], Roberto Somolinos [10], Luis Manuel Cruza [11], Víctor Sánchez y Pablo Muñoz, así como a los alumnos de *Laboratorio de Sistemas Inteligentes* por sus sugerencias durante estos años.

REFERENCIAS

- [1] The Robocup Federation, “Web oficial de la competición Robocup.” Disponible en <http://www.robocup.org>.
- [2] GSI-Robocup, Grupo de Sistemas Inteligentes, Universidad Politécnica de Madrid,. Web del proyecto GSIRobocup. Disponible en <http://www.gsi.dit.upm.es/~robocup>
- [3] Mario de Miguel Díaz, *Adaptación de los Planes de Estudio al Proceso de Convergencia Europea*, Programa de Estudios y Análisis destinado a la mejora de la calidad de la Enseñanza y de la actividad del Profesorado Universitario (Octubre, 2004).
- [4] *Real Decreto 1393/2007*, del 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, BOE 260 de 30/10/2007. (Octubre, 2007)
- [5] *Nuevas Titulaciones de Grado y Máster aprobadas, y su adscripción a los Centros de la Universidad, al amparo del RD 1393/2007 de ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales y Requisitos y Recomendaciones para la implantación de Planes de Estudio en la Universidad Politécnica de Madrid*. Texto Refundido de los acuerdos del Consejo de Gobierno (Reuniones de 26 de junio, y 10 y 24 de julio de 2008), (Julio, 2008).

- [6] M. Chen, E. Foroughi, F. Heintz, Z. Huang, K. K. Spiros Kapetanakis, J. Kummeneje, I. Noda, O. Obst, P. Riley, T. Steffens, Y. Wang y X. Yin, "*Users manual. robocup soccer server for soccer server version 7.07 and later*," The Robocup Federation, Tech. Rep. Disponible en <http://sserver.sourceforge.net/docs/manual.pdf> (Agosto, 2002).
- [7] J. Vidal and P. Buhler, "*Teaching multiagent systems using RoboCup and biter*", Interactive Multimedia Electronic Journal of Computer-Enhanced Learning, vol. 4, no. 2, (2002).
- [8] E. Sklar, S. Parsons, and P. Stone, "*Robocup in higher education: A preliminary report*." in RoboCup, ser. Lecture Notes in Computer Science, D. Polani, B. Browning, A. Bonarini, and K. Yoshida, Eds., vol. 3020. Springer, 2003, pp. 296–307, (2003).
- [9] Alvaro Martínez Reol, "*Desarrollo de un sistema multiagente integrando jess y java para la robocup*" Proyecto Fin de Carrera, E.T.S.I. Telecomunicación, Univ. de Valladolid, (2000).
- [10] R. Somolinos, "*Desarrollo de un entorno Java-Jess de composición de habilidades de agentes inteligentes para la competición robocup*" Proyecto Fin de Carrera, E.T.S.I. Telecomunicación, Univ. Politécnica de Madrid, (2003).
- [11] L. M. Cruza, "*Aplicación web de composición de agentes inteligentes para la competición robocup*" Proyecto Fin de Carrera, E.T.S.I. Telecomunicación, Univ. Politécnica de Madrid, (2006).
- [12] Sandia National Laboratories, "*Web de Jess. The Rule Engine for the Java Platform*". Disponible en <http://www.jessrules.com/jess/index.shtml>