



Universidad Politécnica de Cartagena

**DESARROLLO AUTOMATIZADO DE SISTEMAS
TELEO-REACTIVOS A PARTIR DE OBJETIVOS:
UN ENFOQUE BASADO EN COMPONENTES
Y DIRIGIDO POR MODELOS**

José Miguel Morales Illán

2016



Universidad Politécnica de Cartagena

**DESARROLLO AUTOMATIZADO DE SISTEMAS
TELEO-REACTIVOS A PARTIR DE OBJETIVOS:
UN ENFOQUE BASADO EN COMPONENTES
Y DIRIGIDO POR MODELOS**

José Miguel Morales Illán

Directores:

Dr. Pedro Sánchez Palma

Dr. Diego Alonso Cáceres

2016

Queda autorizada la reproducción integral de esta tesis
a efectos de investigación, mediante declaración escrita
del interesado.



**CONFORMIDAD DE SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE DEPÓSITO DE
TESIS DOCTORAL POR EL/LA DIRECTOR/A DE LA TESIS**

D. Pedro Sánchez Palma y D. Diego Alonso Cáceres Directores de la Tesis doctoral -
Desarrollo automatizado de sistemas Telemáticos a partir de objetivos: un enfoque
orientado a componentes y dirigido por modelos-

INFORMAN:

Que la referida Tesis Doctoral, ha sido realizada por D. José Miguel Morales Illán, dentro
del programa de doctorado Tecnologías de la Información y Comunicaciones, dando
nuestra conformidad para que sea presentada ante la Comisión de Doctorado para ser
autorizado su depósito.

La rama de conocimiento en la que esta tesis ha sido desarrollada es:

- Ciencias
- Ciencias Sociales y Jurídicas
- Ingeniería y Arquitectura

En Cartagena, a 9 de febrero de 2016

S DIRECTORES DE LA TESIS

Fdo.: _____

Pedro Sánchez Palma

Fdo.: _____

Diego Alonso Cáceres

COMISIÓN DE DOCTORADO



**CONFORMIDAD DE DEPÓSITO DE TESIS DOCTORAL
POR LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA**

D. Fernando Quesada Pereira, Presidente/a de la Comisión Académica del Programa
“Tecnologías de la Información y Comunicaciones”

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada, “DESARROLLO AUTOMATIZADO DE SISTEMAS TELEO-REACTIVOS A PARTIR DE OBJETIVOS: UN ENFOQUE ORIENTADO A COMPONENTES Y DIRIGIDO POR MODELOS”, ha sido realizada, dentro del mencionado programa de doctorado, por D. José Miguel Morales Illán, bajo la dirección y supervisión del Dr. D. Pedro Sánchez Palma y del Dr. D. Diego Alonso Cáceres.

En reunión de la Comisión Académica de fecha 12/02/16, visto que en la misma se acreditan los indicios de calidad correspondientes y la autorización del Director de la misma, se acordó dar la conformidad, con la finalidad de que sea autorizado su depósito por la Comisión de Doctorado.

La Rama de conocimiento por la que esta tesis ha sido desarrollada es:

- Ciencias
- Ciencias Sociales y Jurídicas
- Ingeniería y Arquitectura

En Cartagena, a 15 de FEBRERO de 2016

EL PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA

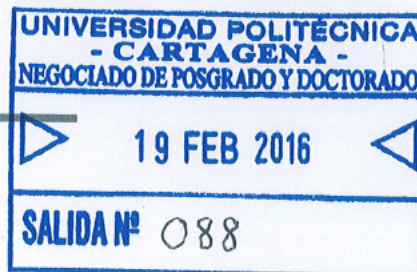
Fdo:-----



COMISIÓN DE DOCTORADO



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA DE
CARTAGENA
COMITÉ DE DIRECCIÓN DE LA EINDOC



Sr. D. José Miguel Morales Illán

Visto el informe favorable del Director de Tesis y el VºBº de la Comisión Académica del Programa de Doctorado “Tecnologías de la Información y Comunicaciones” para la presentación de la Tesis Doctoral titulada: **“Desarrollo automatizado de sistemas teleo-reactivos a partir de objetivos: un enfoque basado en componentes y dirigido por modelos”** en la modalidad de “compendio de publicaciones” solicitada por D. José Miguel Morales Illán, el Comité de Dirección de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Politécnica de Cartagena, en reunión celebrada el 18 de febrero de 2016, considerando lo dispuesto en el artículo 23 del Reglamento de Estudios Oficiales de Doctorado de la UPCT, aprobado en Consejo de Gobierno el 17 de diciembre de 2015,

ACUERDA

Autorizar la presentación de la Tesis Doctoral a D. José Miguel Morales Illán en la modalidad de “compendio de publicaciones”.

Contra el presente acuerdo, que no agota la vía administrativa, podrá formular recurso de alzada ante el Sr. Rector-Magnífico de la Universidad Politécnica de Cartagena, en el plazo de un mes a partir de la notificación de la presente.

Cartagena, 19 de febrero de 2016

EL DIRECTOR DE LA ESCUELA
INTERNACIONAL DE DOCTORADO



Fdo.: Pablo Fernández Escamez

Título: Desarrollo automatizado de sistemas Teleo-Reactivos a partir de objetivos: un enfoque basado en componentes y dirigido por modelos.

Autor: José Miguel Morales Illán.

Directores: Dr. Pedro Sánchez Palma.
Dr. Diego Alonso Cáceres.

© 2016 José Miguel Morales Illán

El trabajo de tesis que a continuación se presenta se acoge a la modalidad de “*tesis por compendio de publicaciones*” del Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de la Universidad Politécnica de Cartagena, de acuerdo con la normativa vigente (reglamento de estudios oficiales de doctorado de la Universidad Politécnica de Cartagena aprobado por Consejo de Gobierno de 17 de diciembre de 2015). Consta de cuatro artículos en revistas internacionales indexadas en ISI-JCR segundo cuartil. Tres de dichos artículos han sido publicados en la revista “*Journal of Systems and Software*” (editorial Elsevier) y el otro en la revista “*Artificial Intelligence Review*” (editorial Springer-Verlag).

Los artículos incluidos en este compendio son:

- [1] Sánchez, P., Alonso, D., Morales, J. M., & Navarro, P. J. (2012). *From Teleo-Reactive specifications to architectural components: a model-driven approach*. Journal of Systems and Software, 85(11), 2504-2518. (JCR-ISI, IF 1.135, Q2). DOI: 10.1016/j.jss.2012.05.067
- [2] Morales, J. M., Sánchez, P., & Alonso, D. (2014). *A systematic literature review of the Teleo-Reactive paradigm*. Artificial Intelligence Review, 42(4), 945-964. (JCR-ISI, IF 2.111, Q2). DOI: 10.1007/s10462-012-9350-2
- [3] Morales, J. M., Navarro, E., Sánchez, P., & Alonso, D. (2015). *A controlled experiment to evaluate the understandability of KAOS and i* for modeling Teleo-Reactive systems*. Journal of Systems and Software, 100, 1-14. (JCR-ISI, IF 1.352, Q2). DOI: 10.1016/j.riai.2015.06.003
- [4] Morales, J. M., Navarro, E., Sánchez, P., & Alonso, D. (2016). *A family of experiments to evaluate the understandability of TRiStar and i* for modeling Teleo-Reactive systems*. Journal of Systems and Software. (JCR-ISI, IF 1.352, Q2). DOI: 10.1016/j.jss.2015.12.056

RESUMEN

Esta tesis doctoral se presenta bajo la modalidad de compendio de publicaciones. Está formada por un total de cuatro artículos publicados en revistas del segundo cuartil del *Journal Citation Reports*.

El artículo "*A systematic literature review of the Teleo-Reactive paradigm*" ofrece una completa revisión sistemática de la literatura existente sobre el paradigma Teleo-Reactivo desde su presentación por el profesor Nils Nilsson en el año 1994. Su papel en esta tesis es el de servir de estado del arte de dicho paradigma, ofreciendo una buena perspectiva de la evolución de los sistemas Teleo-Reactivos desde su formulación hasta el presente.

Para poder desarrollar sistemas Teleo-Reactivos a partir de objetivos, surgió la necesidad de especificar los requisitos de estos sistemas usando el lenguaje más apropiado. Ese es uno de los objetivos principales del artículo "*A controlled experiment to evaluate the understandability of KAOS and i* for modeling Teleo-Reactive systems*". Como resultado de dicho trabajo se decidió utilizar i* dado que el experimento realizado mostró que las especificaciones realizadas con dicho lenguaje resultaban ligeramente más comprensibles que las realizadas con KAOS.

Aunque i* resultaba más comprensible a la hora de especificar requisitos para sistemas Teleo-Reactivos, también presentaba ciertas debilidades. Estas debilidades han sido descritas detalladamente en el artículo "*A family of experiments to evaluate the understandability of TRiStar and i* for modeling Teleo-Reactive systems*", en el que además se propone una extensión al lenguaje que permite superarlas. La extensión propuesta se denomina TRiStar y fue inicialmente presentada en [Morales15]. TRiStar ha demostrado superar los problemas de comprensibilidad identificados en i* en el modelado de sistemas Teleo-Reactivos mediante una familia de experimentos realizada con estudiantes de últimos cursos de grado y con desarrolladores software experimentados, cuyos resultados se exponen exhaustivamente en el artículo mencionado. En él se describe, además, un mecanismo que permite obtener mediante transformación de modelos el programa Teleo-Reactivo equivalente a un diagrama TRiStar dado.

TRiStar permite, por lo tanto, partiendo de los objetivos de un sistema Teleo-Reactivo obtener un diagrama que especifique su comportamiento. Ese diagrama puede ser transformado en un programa Teleo-Reactivo equivalente. Y siguiendo las transformaciones descritas en "*From Teleo-Reactive specifications to architectural components: a model-driven approach*" se puede obtener a partir del programa Teleo-Reactivo el modelo de componentes y la máquina de estados que describe el comportamiento de cada uno de esos componentes. Con estos elementos y usando un framework como el descrito en [Iborra09] se cerraría el proceso de desarrollo del sistema Teleo-Reactivo.

Como resultado de las investigaciones realizadas en el transcurso de esta tesis, y aunque no forma parte del compendio, hay un quinto artículo [Sánchez16] que está en segunda revisión en el *Journal of Systems and Software* en el que se estudian las posibilidades de introducir requisitos de tiempo real cuando se sigue el enfoque Teleo-Reactivo desde el modelado a la implementación de un sistema. Tras realizar un estudio del tipo de restricciones temporales que se pueden imponer desde el punto de vista Teleo-Reactivo, se considera la posibilidad de utilizar TeleoR [Clark14] para incorporar dichas restricciones y se proponen una serie de extensiones a TRiStar para permitir representar requisitos temporales. Estas extensiones dan lugar a lo que hemos llamado TRiStar+.

ABSTRACT

This doctoral dissertation has been presented in the form of *thesis by publication*. It is comprised of four articles indexed in the second quartile of the *Journal Citation Reports*.

The article “*A systematic literature review of the Teleo-Reactive paradigm*” offers a complete systematic review of the existing literature on the Teleo-Reactive paradigm since Prof. Nils Nilsson presented it in 1994. It plays the role of state of the art of that paradigm, showing a perspective of the evolution of Teleo-Reactive systems from their formulation to present time.

In order to develop Teleo-Reactive systems starting from its goals, there is the need of specifying the requirements of these systems using the most adequate language. That is one of the main objectives of the article “*A controlled experiment to evaluate the understandability of KAOS and i* for modeling Teleo-Reactive systems*”. As a result, we decided to use i* because the experiment showed that i* specifications were slightly more understandable than those made using KAOS.

Although i* was more understandable when specifying requirements for Teleo-Reactive systems, the experiment also showed some shortcomings. These shortcomings have been deeply described in the article “*A family of experiments to evaluate the understandability of TRiStar and i* for modeling Teleo-Reactive systems*”. In this article, an extension to i* is proposed in order to overcome the identified limitations. The proposed extension is named TRiStar and was initially presented at [Morales15]. TRiStar has shown to be more understandable than i* when modeling Teleo-Reactive systems through a family of experiments done with last year students and experienced software developers, whose results are described in the aforementioned article. In that article, a mechanism to obtain a Teleo-Reactive program starting from a TRiStar diagram is also described.

Therefore, TRiStar allows obtaining a diagram which specifies the behavior of a Teleo-Reactive system starting from its goals. That diagram can be transformed into an equivalent Teleo-Reactive program. Then, following the transformations described in “*From Teleo-Reactive specifications to architectural components: a model-driven approach*”, a component model and the state machine describing the behavior of each of those components can be obtained. With these elements and using a framework as that described in [Iborra09], the development process of the Teleo-Reactive system would be finished.

As a result of the research carried out during this dissertation there is another article, which is not comprised in the compilation, in second revision at the *Journal of Systems and Software* [Sánchez16]. In that article, after making a study of the type of timing constraints from the TR perspective, we consider the possibility of using TeleoR [Clark14] for incorporating such constraints. Some extensions on TRiStar notation are proposed to represent temporal requirements. Those extensions have been named TRiStar+.

ÍNDICE

Objetivos	11
Estado del arte	12
Publicaciones	13
From Teleo-Reactive specifications to architectural components: A model-driven approach	13
A systematic literature review of the Teleo-Reactive paradigm.....	29
A controlled experiment to evaluate the understandability of KAOS and i* for modeling Teleo-Reactive systems	50
A family of experiments to evaluate the understandability of TRiStar and i* for modeling Teleo-Reactive systems	65
Conclusiones.....	85
Referencias	86
Apéndices	87
Factor de impacto JCR de Journal of Systems and Software para el año 2012	87
Factor de impacto JCR de Artificial Intelligence Review para el año 2014.....	88
Factor de impacto JCR de Journal of Systems and Software para el año 2014	89

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, y como no podía ser de otra manera, quiero agradecer a mis directores, los doctores Pedro Sánchez Palma y Diego Alonso Cáceres, su dedicación y acertados consejos a lo largo del proceso de elaboración de esta tesis. Sin su apoyo en el campo académico nada de esto hubiera sido posible.

Sin embargo, no es sólo en el campo académico en el que he necesitado ayuda en el tortuoso periplo que en mayor o menor medida es siempre la redacción de una tesis. En el campo afectivo y, más aún, en el logístico siempre ha estado ahí Irene para ocuparse de nuestros hijos cuando *Papá tenía que trabajar en la tesis...* Espero que Miguel e Inés puedan perdonarme algún día todas las horas de juego que les he robado para sacrificarlas en el altar de la Ciencia. Mi padre y en especial mi madre, me han animado continuamente a seguir adelante con este trabajo y me consta que son, probablemente, las dos personas que más se enorgullecen de que al fin haya llegado este momento. No quiero terminar este capítulo sin agradecerle a María Dolores las muchas manos que nos echa a lo largo de la semana a Irene y a mí para poder dedicarnos a estos menesteres.

Volviendo al campo académico, la Dra. Elena Navarro se ha comportado en muchas ocasiones como una tercera directora de mi tesis. Quiero agradecerle de todo corazón el gran esfuerzo realizado como coautora de dos de los artículos de este compendio y mostrarle mi más profundo reconocimiento al trabajo realizado. Vaya desde aquí mi agradecimiento también al Dr. Pedro J. Navarro por sus aportaciones al primer artículo científico en el que participé. Para terminar con los colaboradores en la redacción de los artículos he dejado para el final a mi buena amiga Esther Corbalán, sin cuyo apoyo en el estudio estadístico del último artículo yo hubiera sido incapaz de sacarlo adelante.

Mención aparte creo que merece el personal y la directiva de la empresa SAES, en la que desarrollo la mayor parte de mi vida laboral. Desde el primer momento mostraron una actitud de plena colaboración empezando por la participación en experimentos hasta la flexibilidad mostrada para permitirme asistir a congresos y seminarios necesarios para completar mi formación en el programa de doctorado. Antonio Arnao, Carlos Alonso, Consuelo Lázaro, Antonio Sánchez, David Rebollo, Juan Pedro Cánovas o Antonio Padilla son sólo algunos de los que han tenido que soportar mis rollos sobre sistemas Teleo-Reactivos a lo largo de todos estos años.

Por último, quiero agradecer a los alumnos de la UPCT, tanto a los que participaron en los experimentos como a los que acuden a mis clases, el haberme inoculado el veneno de la docencia. Todo esto empezó por vuestra culpa.

No quiero terminar sin nombrar a mis amigos, Pablo, Emilio, Ángel, Tomás, Paco, Cristóbal y JuanSe que, sabiéndolo ellos o no, han estado ahí cuando yo más lo necesitaba.

Gracias a todos.

“Tú, que me lees, ¿estás seguro de entender mi lenguaje?”

Jorge Luis Borges, *La Biblioteca de Babel*

A Irene, a Miguel y a Inés

OBJETIVOS

Los objetivos principales de esta tesis doctoral son los siguientes:

- Escoger un lenguaje de especificación de requisitos para sistemas Teleo-Reactivos entre los lenguajes GORE (Goal Oriented Requirements Engineering) más extendidos.
- Una vez escogido ese lenguaje, proponer extensiones si es necesario para mejorar la eficacia y la eficiencia del lenguaje a la hora de especificar sistemas Teleo-Reactivos.
- Las especificaciones en ese lenguaje extendido deben permitir obtener el programa Teleo-Reactivo correspondiente al sistema especificado mediante transformaciones de modelos.
- Partiendo de un programa Teleo-Reactivo, obtener una arquitectura de componentes que permita su implementación así como una descripción del comportamiento de dichos componentes a través de máquinas de estados.
- Favorecer el “*diseño para la reutilización*”: es posible guiar el proceso de catalogación de componentes a partir de la especificación dada en los programas Teleo-Reactivos.
- Favorecer el “*diseño desde la reutilización*”: para el desarrollador es más directo identificar del catálogo qué componentes se adaptan al comportamiento del *software-to-be*.
- Realizar un estudio de las posibilidades que ofrece el paradigma Teleo-Reactivo para la consideración de restricciones temporales en los requisitos.
- Analizar las posibilidades que ofrece TeleoR para incorporar los requisitos temporales identificados y demostrar la viabilidad metodológica mediante un ejemplo.

ESTADO DEL ARTE

Uno de los artículos que conforman este compendio ("*A systematic literature review of the Teleo-Reactive paradigm*") ofrece una completa revisión sistemática de la literatura existente sobre el paradigma Teleo-Reactivo desde su presentación por el profesor Nils Nilsson en el año 1994.

La ingeniería de requisitos orientada a objetivos (GORE, por sus siglas en inglés) ha demostrado ser muy útil en el proceso de la ingeniería de requisitos [Lamsweerde01]. Las distintas propuestas GORE (ver [Kavakli05] para una introducción exhaustiva) se centran en el 'por qué' del *system-to-be* especificando la motivación y el razonamiento que justifica la especificación de requisitos. Un modelo orientado a objetivos puede ser especificado de muchas maneras pero todas ellas utilizan grafos dirigidos y refinamiento iterativo de objetivos.

Las referencias básicas para entender el desarrollo de software dirigido por modelos siguen siendo [Atkinson03] y [Selic03] mientras que para el desarrollo de software basado en componentes lo son [Szypersky02] y [Lau07]. La utilidad de desarrollar sistemas reactivos, particularmente en robótica, basados en componentes reutilizables está muy generalizada en la comunidad científica. [Brugali09] y [Brugali10] proporcionan una introducción a la ingeniería del software para robótica basada en componentes. Explican en detalle los principios de diseño y los aspectos básicos del desarrollo de sistemas robóticos mediante componentes software reutilizables y mantenibles. A este respecto, el grupo de investigación DSIE tiene más de una década de experiencia [Iborra09] en el desarrollo de sistemas reactivos con inputs de la ingeniería del software (por ejemplo, desarrollo de línea de producto software, patrones de diseño, frameworks de arquitectura, desarrollo de software dirigido por modelos o desarrollo de software basado en componentes). En particular, DSIE ha desarrollado un enfoque integrado para el desarrollo de sistemas reactivos basado en el uso de frameworks, patrones de diseño y generación de código a través de transformaciones de modelos.

PUBLICACIONES

FROM TELEO-REACTIVE SPECIFICATIONS TO ARCHITECTURAL COMPONENTS: A MODEL-DRIVEN APPROACH

RESUMEN

El enfoque Teleo-Reactivo diseñado por el profesor Nils Nilsson ofrece un modelo de programación de alto nivel que permite el desarrollo de sistemas reactivos como por ejemplo, vehículos robóticos. Los programas Teleo-Reactivos se escriben de manera que facilitan a los ingenieros definir el comportamiento del sistema teniendo en cuenta sus objetivos y los cambios que puedan producirse en su entorno. Este artículo presenta un enfoque sistemático que hace posible derivar modelos arquitectónicos con descripciones estructurales y de comportamiento partiendo de programas Teleo-Reactivos. El desarrollo de sistemas reactivos puede por tanto beneficiarse significativamente de la combinación de dos enfoques: (1) el enfoque Teleo-Reactivo, orientado a la descripción del sistema desde el punto de vista de sus objetivos y del estado de su entorno y (2) el enfoque arquitectónico, que se orienta al desarrollo de software basado en componentes, en el que las decisiones están condicionadas por la necesidad de reutilizar soluciones ya probadas con anterioridad. La integración de este trabajo en un entorno de desarrollo que proporciona generación de código mediante transformaciones de modelos abre nuevas posibilidades en el desarrollo de este tipo de sistemas. La propuesta se valida mediante un caso de estudio representativo del dominio y una encuesta realizada a estudiantes de postgrado.

A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW OF THE TELEO-REACTIVE PARADIGM

RESUMEN

N.J. Nilsson definió el enfoque Teleo-Reactivo en el año 1994. Desde entonces muchos investigadores han usado dicho enfoque bien aplicándolo a un dominio determinado o extendiéndolo para añadir nuevas capacidades a la definición original. Este artículo proporciona una revisión sistemática de 53 estudios basados en el paradigma Teleo-Reactivo publicados previamente en revistas o actas de congresos. El objetivo de este artículo es identificar, seleccionar y sintetizar toda esta actividad investigadora de alta calidad relacionada con el uso del paradigma Teleo-Reactivo. La literatura ha sido sistemáticamente revisada para ofrecer una visión del estado actual de este campo de estudio y para identificar los principales resultados obtenidos gracias al enfoque Teleo-Reactivo. Por último, el artículo detalla los desafíos y dificultades que deben ser superados para asegurar futuros avances en el uso de esta técnica.

A CONTROLLED EXPERIMENT TO EVALUATE THE UNDERSTANDABILITY OF KAOS AND I* FOR MODELING TELEO-REACTIVE SYSTEMS

RESUMEN

Las especificaciones Teleo-Reactivas permiten a los ingenieros definir el comportamiento de sistemas reactivos teniendo además en cuenta sus objetivos y los cambios que se producen en el estado del entorno. Este artículo evalúa dos notaciones de ingeniería de requisitos orientada a objetivos, i* y KAOS, para determinar su nivel de comprensibilidad a la hora de especificar sistemas Teleo-Reactivos. Para ello se llevó a cabo un experimento controlado en el que participaron dos grupos de estudiantes de grado. Cada uno de esos grupos analizó en primer lugar el modelo de requisitos de un robot móvil especificado mediante uno de los lenguajes a evaluar, rellenando a continuación un cuestionario para evaluar su comprensibilidad. Después, cada grupo procedió de forma análoga con el modelo de otro sistema especificado con el otro lenguaje evaluado. El análisis estadístico de los datos obtenidos por medio de este experimento mostró que la comprensibilidad de i* es mayor que la de KAOS cuando se modelan sistemas Teleo-Reactivos. El estudio demuestra que ambos lenguajes pueden ser usados para especificar sistemas Teleo-Reactivos, aunque los resultados sugieren que las notaciones deberían ser especializadas para maximizar la comprensibilidad de las especificaciones. i* supera a KAOS en términos de comprensibilidad debido a dos razones principales:

1. Los modelos i* representan dependencias entre agentes y objetivos o tareas.
2. Las diferencias notacionales entre tareas y objetivos en i* son más evidentes que las que hay entre objetivos y requisitos en KAOS.

A FAMILY OF EXPERIMENTS TO EVALUATE THE UNDERSTANDABILITY OF TRiSTAR AND I* FOR MODELING TELEO-REACTIVE SYSTEMS

RESUMEN

El enfoque Teleo-Reactivo facilita el desarrollo de sistemas reactivos sin perder de vista los objetivos del sistema. Este artículo presenta TRiStar, una extensión a la notación i* para especificar sistemas Teleo-Reactivos y trata de evaluar si esta extensión supone una mejora en términos de eficacia y eficiencia sobre la notación original cuando se usa para especificar sistemas Teleo-Reactivos. Con tal fin se llevó a cabo una familia de experimentos con estudiantes de último año de ingeniería y con desarrolladores de software experimentados en la que los participantes tenían que rellenar un formulario especialmente diseñado al efecto. Tanto el análisis estadístico de cada uno de los experimentos de la familia por separado como el meta-análisis de la familia de experimentos como un todo permiten determinar que TRiStar es más efectivo y más eficiente que i* como lenguaje de especificación de requisitos para modelar sistemas Teleo-Reactivos.

CONCLUSIONES

Uno de los principales objetivos de este trabajo es extender los recursos disponibles para el desarrollo de sistemas reactivos siguiendo el enfoque Teleo-Reactivo. Este objetivo global abarca sub-objetivos que tienen que ver con aspectos de ingeniería de requisitos, metodológicos, de diseño orientado a objetivos y de implementación en plataformas ejecutables utilizando tecnología de componentes.

Con esa intención realizamos un experimento controlado para comparar la comprensibilidad de KAOS e i^* , los dos lenguajes GORE más extendidos en la actualidad. La descripción y los resultados obtenidos con este experimento están cuidadosamente detallados en el artículo "*A controlled experiment to evaluate the understandability of KAOS and i^* for modeling Teleo-Reactive systems*" que forma parte de este compendio. Tras la realización de este estudio decidimos usar i^* como base de nuestro lenguaje ya que obtuvo unos resultados ligeramente mejores a los de KAOS. No obstante, i^* también demostró tener algunas debilidades a la hora de especificar sistemas Teleo-Reactivos.

Para intentar mitigar las debilidades detectadas en i^* propusimos una serie de extensiones al lenguaje que denominamos TRiStar. La validación de la propuesta vino gracias a la familia de experimentos que realizamos para comparar nuestra propuesta con el lenguaje original y que detallamos en profundidad en el artículo "*A family of experiments to evaluate the understandability of TRiStar and i^* for modeling Teleo-Reactive systems*", que también forma parte de este compendio. Los resultados demostraron holgadamente que TRiStar mejoraba la eficacia y la eficiencia de TRiStar cuando eran usados para especificar sistemas Teleo-Reactivos.

Un diagrama TRiStar puede ser transformado sistemáticamente a un programa Teleo-Reactivo gracias al *mapping* descrito en el artículo en el que se presentaba el lenguaje. A partir de ese programa, es posible obtener la arquitectura de componentes de un sistema que lo implemente. Además, también puede obtenerse el comportamiento de dichos componentes en forma de máquinas de estados. Esta transformación se describe en el artículo "*From Teleo-Reactive specifications to architectural components: A model-driven approach*", que cronológicamente fue el primero en publicarse de este compendio. Estos componentes pueden integrarse en el framework de desarrollo creado por el grupo de investigación DSIE [Iborra09].

A todo lo anterior le añadimos las posibilidades abiertas por TeleoR [Clark14] y TRiStar+ [Sánchez16] para introducir restricciones temporales en la especificación de requisitos de sistemas Teleo-Reactivos. Aunque TeleoR se ha mostrado capaz de soportar el tipo de restricciones temporales necesarias para desarrollar sistemas en tiempo real, también es cierto que existen algunas limitaciones que hacen que sea necesario seguir trabajando en el lenguaje y en su implementación.

Gracias a esto, disponemos de un mecanismo que nos permite partir de un diagrama en TRiStar+ y obtener una arquitectura de componentes con un comportamiento que se corresponde con la especificación del diagrama inicial y que además pueden integrarse en un framework de desarrollo ampliamente probado.

Entre los trabajos futuros queda pendiente proponer una metodología que permita obtener lo más sistemáticamente posible un diagrama TRiStar+ a partir de una descripción textual de un sistema Teleo-Reactivo y un caso de estudio que cubra todo el ciclo de desarrollo. Asimismo, tal y como hemos mencionado más arriba, queda pendiente la profundización en el lenguaje TeleoR y en su implementación para poder superar las limitaciones identificadas.

REFERENCIAS

- [Atkinson03] Atkinson, C.; Kühne, T.: "Model-driven development: a metamodelling foundation.", IEEE Software, 2003.
- [Brugali09] Brugali, D., Scandurra, P., 2009. "Component-based robotic engineering. Part I: Reusable building blocks." IEEE Robotics and Automation Magazine 16 (4),84–96.
- [Brugali10] Brugali, D., Scandurra, P., 2010. "Component-based robotic engineering. Part II: Systems and models." IEEE Robotics and Automation Magazine 17 (1), 100–112.
- [Clark14] Clark, K. L., Robinson, P. J., 2014. "Robotic Agent Programming in TeleoR." Research Report. Available online at <http://www.doc.ic.ac.uk/~klc/ShortTeleoRIntro.pdf>
- [Iborra09] Iborra, A., Alonso, D., Ortiz, F., Pastor, J.A., Sánchez, P., Álvarez, B., 2009. "Experiences using software engineering in the design of service robots." IEEE Robotics and Automation Magazine 16 (1), 24–33.
- [Kavakli05] Kavakli, E., Loucopoulos, P., 2005. "Goal Modeling in Requirements Engineering: Analysis and Critique of Current Methods." Information Modeling Methods and Methodologies, Idea Group.
- [Lamsweerde01] Lamsweerde, Axel van: "Goal-Oriented Requirements Engineering: A Guided Tour.", International Symposium on Requirements Engineering, Toronto, 2001.
- [Lau07] Lau, K; Wang, Z.: "Software Component Models.", IEEE Transactions on Software Engineering, 2007.
- [Morales15] J.M. Morales, E. Navarro, P. Sánchez, D. Alonso. "TRiStar: an i* extension for Teleo-Reactive systems requirements specifications.", Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on Applied Computing, 13-17 April, Salamanca, pp. 283-288.
- [Sánchez16] P. Sánchez, B. Álvarez, J. M. Morales, D. Alonso, A. Iborra. "An Approach to Modeling and Developing Teleo-Reactive Systems considering Timing Constraints", Journal of Systems and Software, 117, 317-333 ISSN 0164-1212, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jss.2016.03.064>
- [Selic03] Selic, B.: "The pragmatics of model-driven development.", IEEE Transactions on Software Engineering, 2003.
- [Szypersky02] Szypersky, C.: "Component Software: Beyond Object-Oriented Programming.", Addison- Wesley, 2002.



Rank in Category: JOURNAL OF SYSTEMS AND SOFTWARE

Journal Ranking

For **2012**, the journal **JOURNAL OF SYSTEMS AND SOFTWARE** has an Impact Factor of **1.135**.

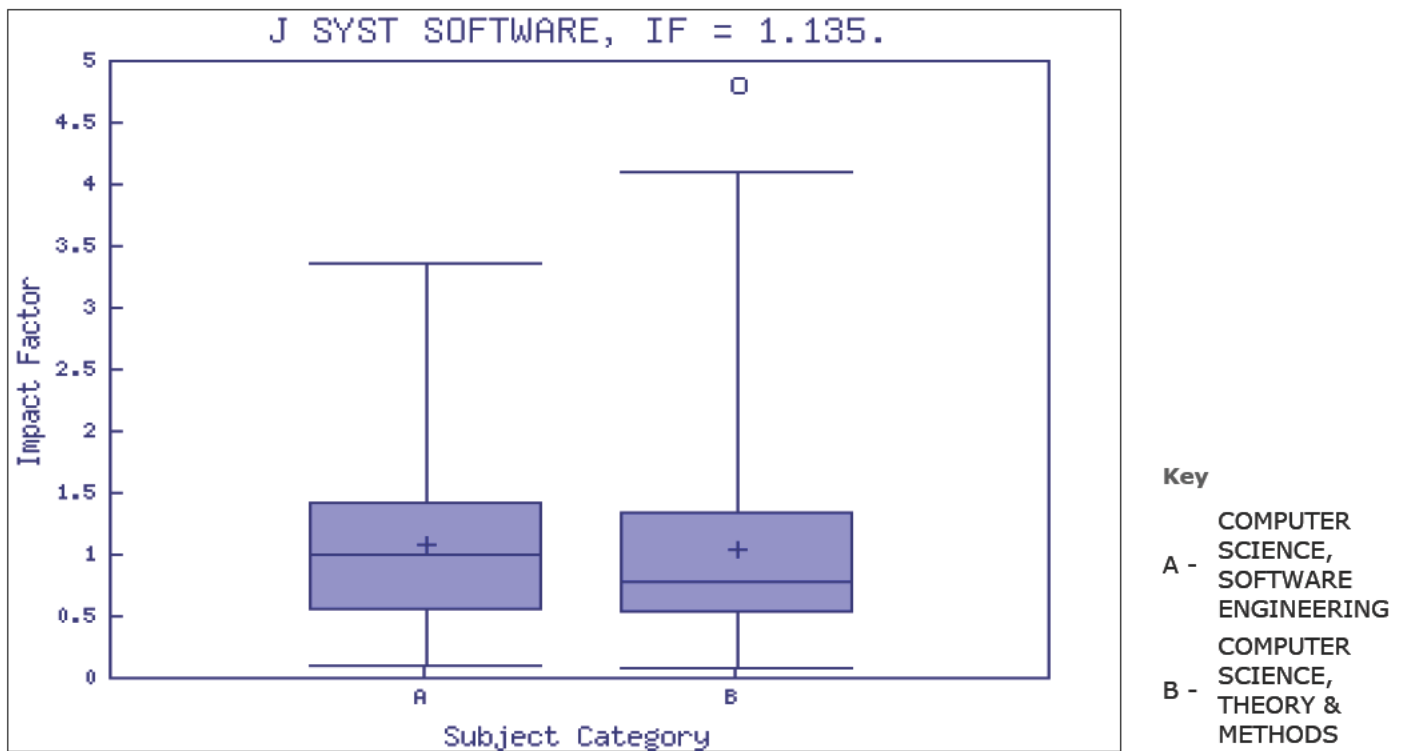
This table shows the ranking of this journal in its subject categories based on Impact Factor.

Category Name	Total Journals in Category	Journal Rank in Category	Quartile in Category
COMPUTER SCIENCE, SOFTWARE ENGINEERING	105	41	Q2
COMPUTER SCIENCE, THEORY & METHODS	100	30	Q2

Category Box Plot

For **2012**, the journal **JOURNAL OF SYSTEMS AND SOFTWARE** has an Impact Factor of **1.135**.

This is a box plot of the subject category or categories to which the journal has been assigned. It provides information about the distribution of journals based on Impact Factor values. It shows median, 25th and 75th percentiles, and the extreme values of the distribution.



[Acceptable Use Policy](#)
Copyright © 2016 [Thomson Reuters](#).

Rank in Category: **ARTIFICIAL INTELLIGENCE REVIEW**

Journal Ranking **i**

For **2014**, the journal **ARTIFICIAL INTELLIGENCE REVIEW** has an Impact Factor of **2.111**.

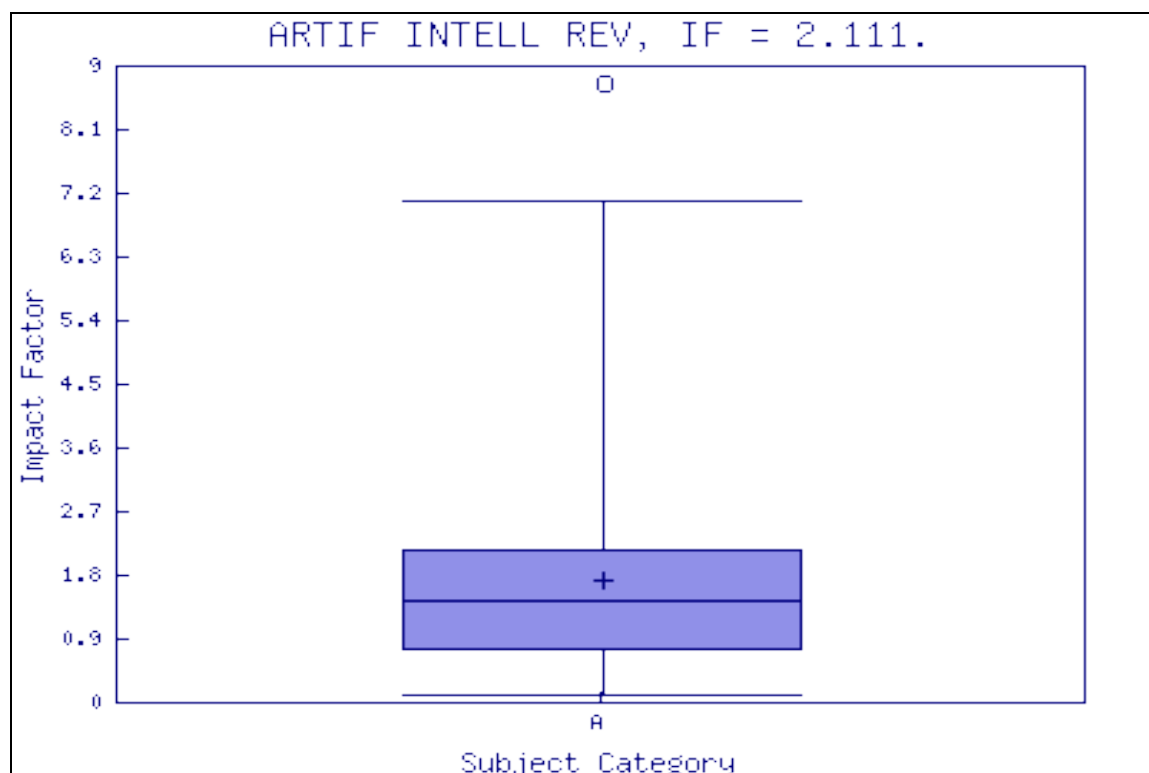
This table shows the ranking of this journal in its subject categories based on Impact Factor.

Category Name	Total Journals in Category	Journal Rank in Category	Quartile in Category
COMPUTER SCIENCE, ARTIFICIAL INTELLIGENCE	123	35	Q2

Category Box Plot **i**

For **2014**, the journal **ARTIFICIAL INTELLIGENCE REVIEW** has an Impact Factor of **2.111**.

This is a box plot of the subject category or categories to which the journal has been assigned. It provides information about the distribution of journals based on Impact Factor values. It shows median, 25th and 75th percentiles, and the extreme values of the distribution.



Key
A - COMPUTER SCIENCE, ARTIFICIAL INTELLIGENCE



Rank in Category: JOURNAL OF SYSTEMS AND SOFTWARE

Journal Ranking

For **2014**, the journal **JOURNAL OF SYSTEMS AND SOFTWARE** has an Impact Factor of **1.352**.

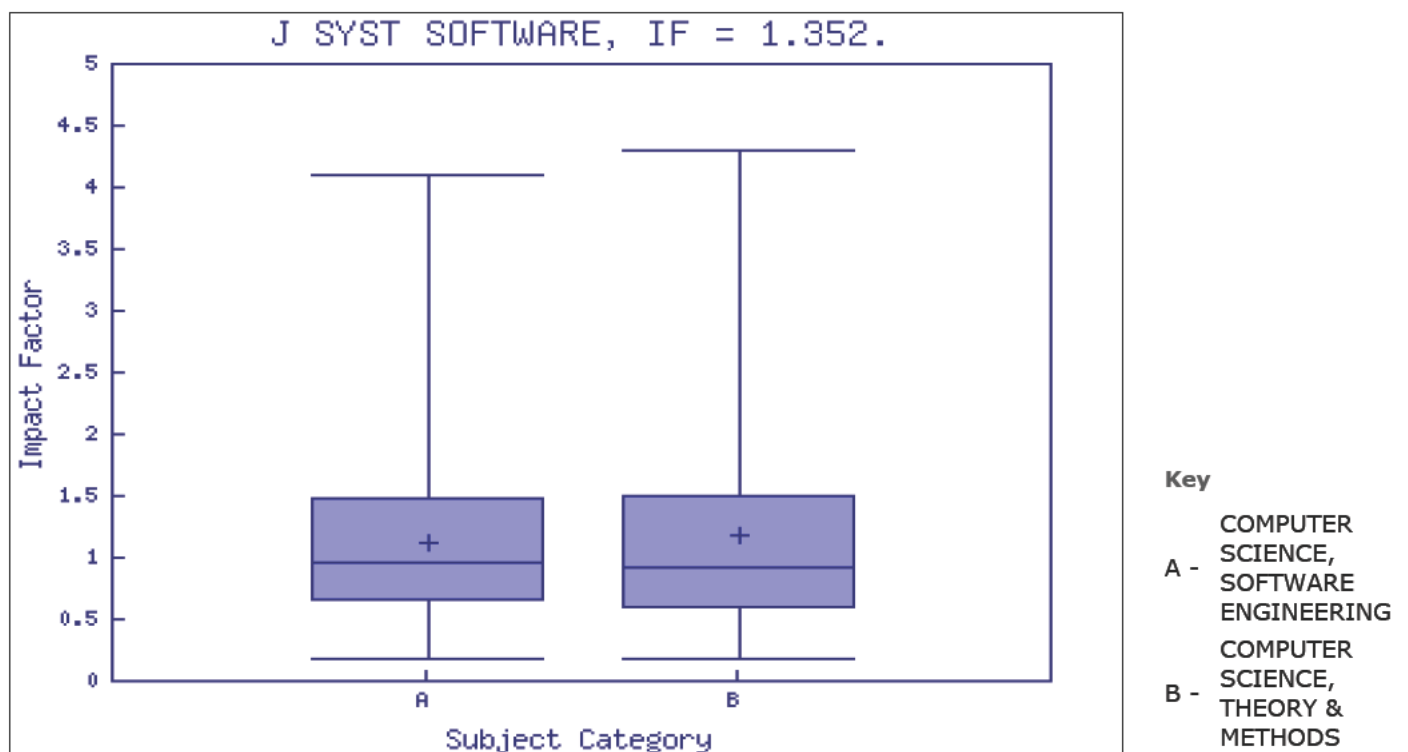
This table shows the ranking of this journal in its subject categories based on Impact Factor.

Category Name	Total Journals in Category	Journal Rank in Category	Quartile in Category
COMPUTER SCIENCE, SOFTWARE ENGINEERING	104	33	Q2
COMPUTER SCIENCE, THEORY & METHODS	102	31	Q2

Category Box Plot

For **2014**, the journal **JOURNAL OF SYSTEMS AND SOFTWARE** has an Impact Factor of **1.352**.

This is a box plot of the subject category or categories to which the journal has been assigned. It provides information about the distribution of journals based on Impact Factor values. It shows median, 25th and 75th percentiles, and the extreme values of the distribution.



[Acceptable Use Policy](#)
Copyright © 2016 [Thomson Reuters](#).