

MODELO DINÁMICO PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

Alejandro Manuel Martín Gómez

Francisco Aguayo González

Juan Ramón Lama Ruiz

Antonio Córdoba Roldán

Escuela Politécnica Superior, Universidad de Sevilla.

Abstract

The advances in developing information technologies have been improved and integrated by big productive corporations in the different ways of work so quickly. However the possibilities of the operation that new technologies in construction industry offer give some difficulties due to its peculiarities. A model of introduction analysis project management in construction field is proposed at companies, partnership and stakeholders collaborative environments, with the consideration of the informational view and the impact in customer satisfaction, being used as indicators the generated information from the quality area, to assess the opportunities that offers the integrated management through new information technologies. Firstly the fundamental parts of the proposed model are described, being identified the information flows, according to the standard that PMBOK guide proposes. Next, the implementation technology is shown from the information perspective view for the quality, being supported by distributed intelligent agents platform. Finally, the achievement results through the simulation with Dynamic Systems in the different ways of application of the integrated project management model is detailed, being used new distributed information technologies or without them.

Keywords: *distributed intelligent agent system; total quality; construction integrated project management; system dynamics; integration management*

Resumen

Los avances que se vienen desarrollando en las tecnologías de la información han sido rápidamente aprovechados e integrados en las grandes corporaciones productivas en los diferentes ámbitos de actuación. Sin embargo, por sus particularidades, la explotación de las posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías en la industria de la construcción presenta dificultades. Se propone el análisis de la implantación de un modelo de dirección de proyectos en el ámbito de la construcción (PMBOK), en un entorno colaborativo entre empresas, socios y stakeholders, considerando especialmente la perspectiva informacional y el impacto en la satisfacción del cliente, usando como indicadores la información generada desde el área de calidad, evaluando las oportunidades que ofrece la gestión integrada mediante nuevas tecnologías de la información. Primeramente se describen los elementos fundamentales del modelo propuesto, identificando los flujos de información, según el estándar que propone la guía del PMBOK. A continuación se muestra la tecnología de implementación desde la perspectiva informacional para la calidad, soportada mediante una

plataforma de agentes inteligentes distribuidos. Finalmente se detallan los resultados obtenidos mediante simulación con Dinámica de Sistemas en los casos de aplicación del modelo de gestión integrada de proyectos usando nuevas tecnologías de información distribuida y sin ellas, respectivamente.

Palabras clave: *sistema de agentes inteligentes distribuidos; calidad total; dirección integrada de proyectos de construcción; dinámica de sistemas; gestión de la integración*

1. Introducción

La dirección de proyectos (Lester, 2007) se orienta a la planificación, monitorización, y control de todos los aspectos de un proyecto, así como a la motivación de todas las partes involucradas, con el fin de lograr los objetivos marcados conforme a los criterios establecidos de tiempo, calidad y costes. Siendo necesaria para la efectiva y eficiente configuración de la dirección de proyectos, la integración de las distintas cadenas de valor que intervienen en el ciclo de vida del proyecto (Ballard & Howell, 1998).

Este trabajo parte de la hipótesis de que la incorporación de nuevos paradigmas (Nagel, 1992) de gestión en la dirección de proyectos puede aportar soluciones de los problemas de calidad y costes debidos a la falta de integración (Howell, 1999). Se propone desarrollar una simulación que permita comparar dos escenarios, uno de ellos en el que se emplean herramientas clásicas de gestión de proyectos, y un segundo escenario en el que se incorpora el paradigma holónico, sobre la base del modelo FRABIHO (Marcos, 2005), y una implementación de la integración de los procesos de tipo fractal, con un sistema de soporte de la información basada en Agentes Inteligentes Distribuidos (Kotak, 2003), así como el empleo de un protocolo específico de la norma ISO-10303 (STEP) en el que sustentar la Calidad Distribuida en el escenario de la Dirección de Proyectos de Construcción (Shen, 2010).

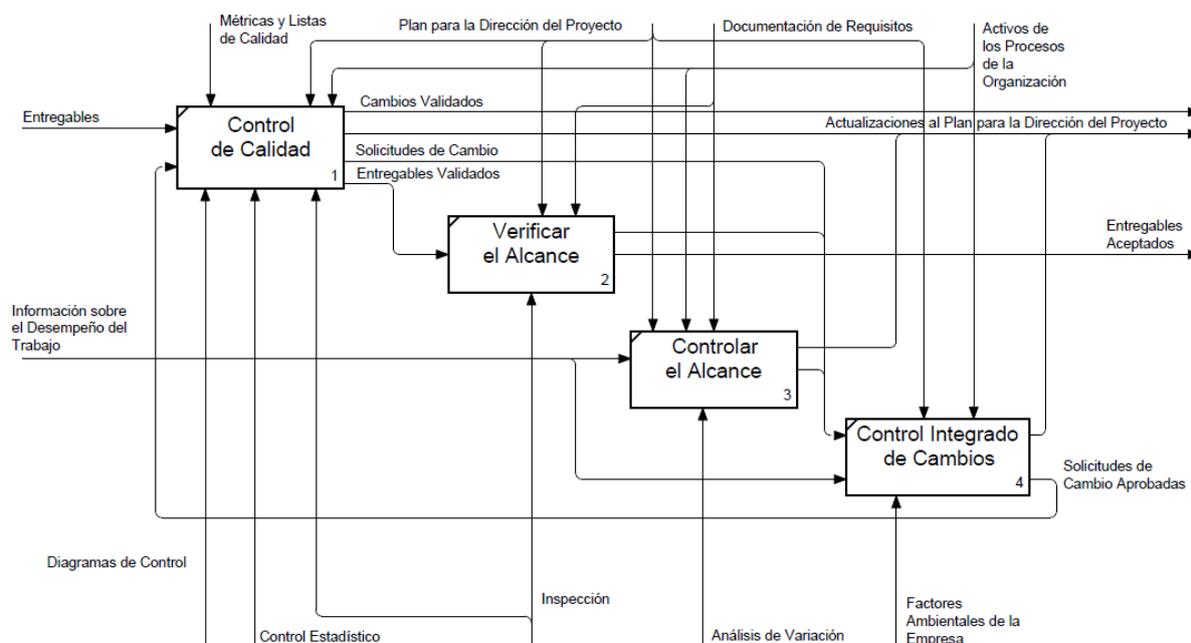
En primer lugar se ha procedido a desarrollar un análisis para evaluar el efecto sobre la calidad en la dirección de proyectos en la construcción, así como la forma en que podría beneficiar el uso de mecanismos de integración adecuados (Hvolby, 2010). Para seguidamente desarrollar un modelo de dinámica de sistemas que represente los elementos básicos que influyen en la calidad en la dirección de proyectos, con y sin integración (Serman, 1992). Finalmente se procede a obtener resultados vía simulación en los diferentes escenarios para extraer las conclusiones del estudio.

2. Desarrollo del Modelo de Gestión de Proyectos de Construcción

La falta de integración del sistema de gestión de la calidad a lo largo de toda la cadena del valor del proyecto provoca numerosos problemas en los proyectos de construcción (Ballard & Howel, 1998). Entre las principales causas de los problemas se encuentran los errores en el diseño, desencadenados, no sólo por la falta de integración, sino también por las presiones en el calendario, que conducen a un aumento de los reprocesos y/o cambios en el diseño (Han, 2011). El control de los flujos de información entre empresas que colaboran, desde el aseguramiento de ausencia de fallos en la transmisión de información y el tratamiento de la información actualizada, hasta la operación compartida de datos en tiempo real, es también uno de los principales problemas en este tipo de proyectos (Shen, 2010). Otro de los problemas son las relaciones entre los distintos participantes en el proyecto, centrándose en el grado de cooperación entre los agentes y la capacidad de cada uno de ellos para prever el impacto de sus decisiones (Pardo, 2007). Todas estas causas se reflejan afectando negativamente a los tres vértices del triángulo que sustenta la base de la dirección de proyectos: el nivel de calidad, el plazo de ejecución y los costes del proyecto (Lester, 2007).

La norma para la dirección de proyectos contenida en la Guía del PMBOK (PMI, 2008) es utilizada con objeto de definir las principales variables y procesos que componen el sistema descrito. Se toman parte de los procesos contenidos en el grupo de proceso de seguimiento y control, pertenecientes a las áreas de conocimiento de integración, calidad y alcance, identificando las principales entradas, salidas, mecanismos de control y herramientas y técnicas, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1: Grupo de Proceso Seguimiento y Control. PMBOK



A continuación, se ha desarrollado el modelo causal del Sistema de Gestión de la Calidad de una empresa dedicada a la gestión, diseño y ejecución de proyectos de construcción, Figura 2. El modelo está compuesto por un conjunto de bucles de realimentación, cuya interrelación determina tanto la estructura, como el comportamiento global del proyecto ante distintas situaciones y, especialmente, ante la existencia o no de mecanismos adecuados que posibiliten la integración, con objeto de identificar los efectos que producen en el sistema la existencia de estos mecanismos.

El primer paso para la realización del modelo, es la identificación y definición de las partes que componen el sistema a modelar (Sterman, 2000). Para la realización del modelo se ha tomado como referencia, tanto el estándar del PMBOK, como la norma UNE-EN-ISO 9001:2008, con objeto de identificar los procesos, las relaciones existentes y la información de calidad que fluye entre ellos.

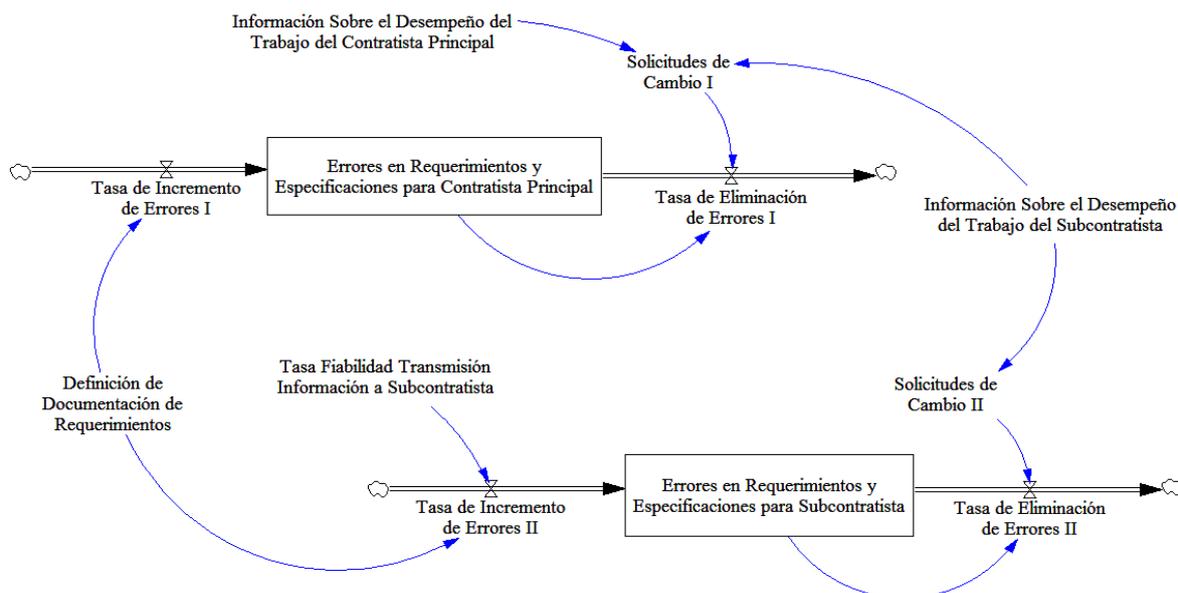
Según Sterman (2000), el siguiente paso en el proceso de modelado es la construcción de los diagramas causales, en los que se determina la relevancia de las variables desde el punto de vista del análisis propuesto, apreciándose normalmente una fuerte influencia de unas variables respecto de las otras así como la formación de lazos de realimentación tanto negativos como positivos (Burton, 2003).

En el modelo causal del sistema, Figura 2, se pueden observar distintos lazos que representan los procesos del sistema de calidad y el control que ejercen sobre las principales variables del mismo. La satisfacción del cliente, por ejemplo, está definida por varios lazos, puesto que el nivel de satisfacción depende principalmente de los retrasos en la verificación de los entregables (Ozbayrak, 2007), provocando un efecto negativo transitorio, y del nivel de calidad de las tareas terminadas (Dyer, 2000), cuyo efecto presenta

proceso de inspección y que, o bien son conducidas a una segunda fase donde pueden ser utilizadas como base para realizar otras tareas, o llegan directamente al cliente (Rahmandad, 2010). Este escape de actividades defectuosas viene determinado, como se observa en la Figura 2, por la capacidad de detección del sistema y por la existencia misma de actividades defectuosas susceptibles de ser detectadas (Hamid & Madnick, 1991). Estando dicha capacidad condicionada principalmente a la adecuación de los procedimientos de inspección a los procesos (Dyer, 2000). Cada proyecto conlleva el desarrollo y aprobación de un plan de inspecciones específico, lo que puede implicar la aparición de errores en los procedimientos, permitiendo por tanto la fuga de tareas defectuosas.

Identificada la dinámica del sistema y las principales variables que definen el modelo, se ha desarrollado el diagrama de Forrester (Sterman, 2000) del sistema de gestión de la calidad, incluyendo las distintas partes del sistema, como son: la gestión del alcance, satisfacción del cliente, gestión de inspecciones, diseño y desarrollo del proceso, mejora de procesos, recursos humanos, compras, no conformidades, auditorías y control de la documentación. En la Figura 3 se muestra parte de este diagrama de Forrester, concretamente el que modela los procesos de control y verificación del alcance y el control integrado de cambios, referido a los requerimientos y especificaciones de una fase concreta del proyecto.

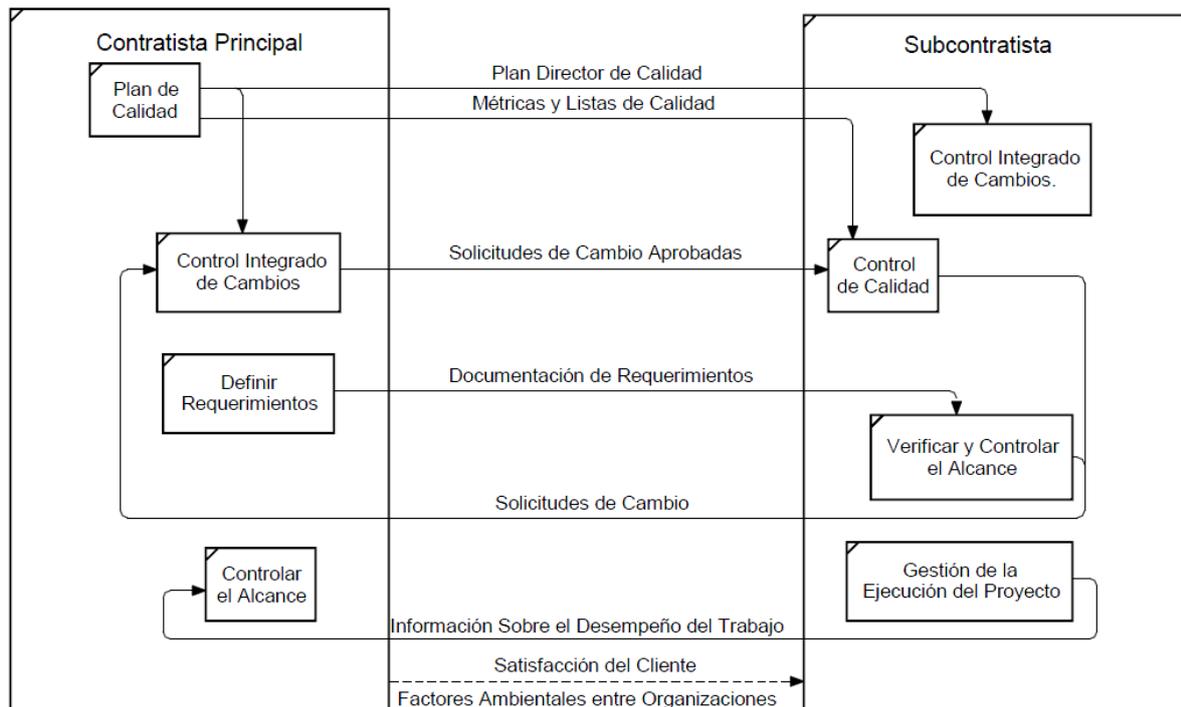
Figura 3: Diagrama parcial de forrester de flujos de información



Definido el modelo se ha identificado el conjunto de entradas y salidas que afectan a la dinámica de la gestión de la calidad, mostrándose como principales entradas la implantación de una nueva tecnología, definición de requerimientos y especificaciones, desarrollo de un nuevo plan de inspecciones y procedimientos y las tareas a realizar; y las principales salidas (Ozbayrak, 2007) constituidas por el nivel de calidad, las tareas finalizadas correctamente, la satisfacción percibida por el cliente y las tareas defectuosas (todas expresadas en porcentajes) (Rahmandad, 2010).

Por último, se diseña la interfaz del sistema de gestión de la calidad entre los participantes en el proyecto que constituyen la cadena de suministro del proyecto. La interfaz modela los flujos que contienen la información necesaria para cubrir sus interacciones, ver Figura 4, y mediante el uso de tasas, modela el grado de integración del sistema relativo a la fiabilidad y a los retrasos existentes en la transmisión de la información.

Figura 4: Interfaz informacional entre organizaciones



2.1 Requerimientos de Integración

Las ventajas que presenta la integración en la dirección de proyectos están sustentadas en una serie de factores:

- Protocolo de información. Usando el estándar de intercambio de información ISO 10303, conocido como STEP, partes 202 y 203 sobre diseño y ensamblaje controlado de modelos, se dota al sistema de la posibilidad de intercambio y compartición de información de forma adecuada entre empresas, asegurando la calidad de la información transmitida (Tanaka, 2006).
- Plataforma de información basada en Agentes Inteligentes Distribuidos. Soporta el protocolo de información posibilitando la transferencia de datos entre sistemas heterogéneos y dispersos (Xue, 2010), como son los existentes en las empresas que configuran la cadena de suministro del proyecto. Evitando los problemas derivados de la existencia de islas de información.
- Red de comunicaciones. La facilidad de acceso por parte de las empresas a las redes de comunicación, y la posibilidad de obtener puntos de conexión en prácticamente cualquier localización, permite el manejo de información actualizada incluso a pie de obra (Shen, 2010).

El uso de este tipo de plataforma confiere al sistema mejoras respecto a la integración, en cuanto que proporcionan flexibilidad, escalabilidad, y agilidad. Posibilitando al sistema adaptarse a los continuos cambios que puedan acontecer durante el proyecto (Zhengwen, 2006).

Dicho marco de integración permite reducir los errores y retrasos que se producen tanto en la transferencia como en la conversión de datos entre empresas. Permaneciendo, evidentemente, los introducidos debido a factores humanos (Caldwell, 2009).

3. Caso de estudio

En este apartado se describen las consideraciones, así como las hipótesis de partida, para la simulación del Sistema de Gestión de la Calidad de un grupo de empresas dedicadas a la gestión, diseño y ejecución de proyectos de construcción, considerando que trabajan conjuntamente para lograr un objetivo común. El modelo concreto desarrollado está constituido por dos empresas: la primera actúa como contratista principal (a cargo de la dirección y gestión del proyecto), así como de la definición de requerimientos, especificaciones y planes de calidad, y la segunda como subcontratista (trato con la dirección respecto a una determinada fase del proyecto) dedicada a la ejecución de una fase del proyecto. Una vez más, la idea es simular y medir el rendimiento de una mayor o menor integración del sistema de calidad de ambas empresas. El modelo sólo incluye la red de socios formada por las dos empresas, limitando por tanto su alcance en lo que se refiere a la interacción de la red con otros participantes como son los suministradores.

La simulación está acotada a la realización de una única fase del proyecto por parte de ambas empresas y centrada en el proceso de seguimiento y control. Las hipótesis de inicio considera que la fase está formada por 22.800 tareas, a realizar en un plazo (el cual ha de permanecer inamovible) de 450 días. Los recursos son en principio ilimitados, con lo que no existe restricción respecto al costo. Se considera que el contratista principal realiza el 80% de las tareas de la fase y el subcontratista el 20% restante. El sistema ha sido simulado para un periodo de 520 días.

Aunque el modelo desarrollado contempla el sistema de gestión completo, en este documento se muestra cómo afecta la gestión de la calidad a los procesos de control y verificación del alcance considerando que únicamente existen fallos en la definición de requerimientos y especificaciones, ver Figura 3.

3.1 Factores clave

En este caso de aplicación se presenta la comparativa del modelo de gestión de la calidad para los escenarios de dirección de proyectos de construcción con integración y sin integración. Ambos modelos se han sometido al mismo patrón de entradas, las cuales presentan una forma de crecimiento y decrecimiento sigmoideal, puesto que es el comportamiento que posee la aparición de defectos en el ciclo de vida de un proyecto (Hamid & Madnick, 1991). En este tipo de función la variable $x(t)$ parte de un valor inicial $x_0=x(0)$, luego crece exponencialmente hasta que se produce un punto de inflexión en el instante t_m , desde donde evoluciona asintóticamente hacia un valor final $x_f=x(\infty)$. En este caso se emplean dos curvas sigmoideas opuestas para representar cada entrada, de modo que alcanzando la función el valor máximo vuelve a descender hasta el valor inicial, a semejanza del descenso que presenta el número de defectos de un proyecto en su finalización. Este crecimiento sigmoideal se puede modelar con la siguiente función, que pasa por el valor $x_f/2$ en el punto de inflexión:

$$x(t) = x_f / (1 + e^{-k(t - t_m)}) \quad (1)$$

El crecimiento expresado por la función anterior queda perfectamente definido si se fija el valor inicial x_0 , el valor final x_f y el instante t_m en el que se tiene que producir el punto de inflexión.

El parámetro k es el que rige el ritmo de crecimiento, por ello es conocido como tasa de crecimiento, y está relacionado con los tres parámetros x_0 , x_f y t_m según la expresión:

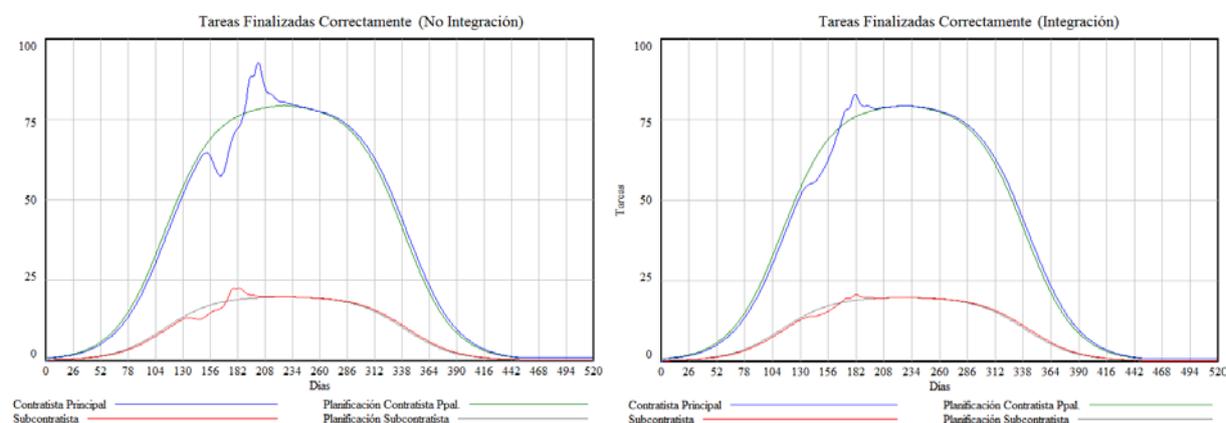
$$k = \frac{1}{tm} \cdot \ln\left(\frac{x_f - x_0}{x_0}\right) \quad (2)$$

Utilizando estas expresiones se modelan las entradas del modelo. Siendo éstas: nuevo plan de inspecciones y procedimientos (Ozbayrak, 2007), definición de requerimientos y especificaciones (Hamid & Madnick, 1991) y la implantación de una nueva tecnología (Repenning & Sterman, 1997). En este caso de aplicación, se ha utilizado en concreto la definición de requerimientos y especificaciones.

4. Resultados

Sometido el modelo a las condiciones descritas anteriormente se obtiene la respuesta del modelo. La entrada, definición de requerimientos y especificaciones, con crecimiento y decrecimiento sigmoideal entre el periodo de días 120-160 hace que se introduzcan errores en los citados documentos que utilizan cada una de las organizaciones respectivamente. Lo que provoca que parte de las tareas que están siendo realizadas no se adecuen completamente a los requerimientos del proyecto, apareciendo por tanto tareas defectuosas que han de ser desechadas o reprocesadas, con el consecuente aumento del costo, problemas en el nivel de calidad y de satisfacción del cliente, puesto que el tiempo del proyecto, como se indicó, permanece invariable.

Figura 5: Comparativa de tareas finalizadas correctamente



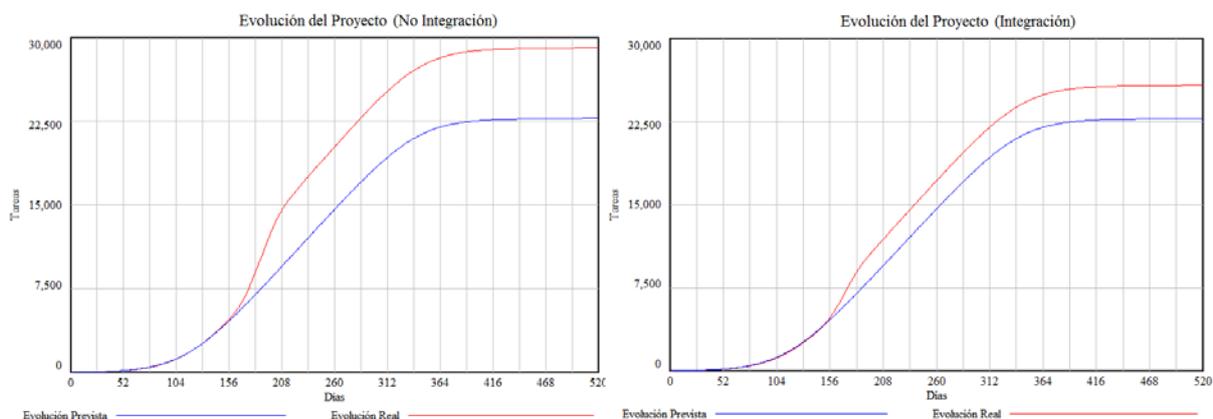
4.1 Escenario de no integración

Se considera, en el modelo de dirección de proyectos sin integración, que en la interacción entre empresas existe un retraso de 3 semanas en la transmisión de información y una fiabilidad de la información transmitida del 70%. Esto provocará que en el sistema de calidad aparezcan retrasos en la transmisión de información y errores por falta de fiabilidad.

En este caso se observa que la introducción de errores en los requerimientos desencadena en primer lugar un descenso de tareas finalizadas correctamente, que ha de ser compensado con el aumento de recursos y la posterior recuperación (superando el cronograma) con objeto de compensar la demora, ver gráfica izquierda de la Figura 5. La existencia de estos errores afecta del mismo modo al número total de tareas realizadas (correctas y defectuosas), incrementando el número de éstas frente al previsto al comienzo del proyecto, ver gráfica izquierda de la Figura 6. Por último, en la gráfica izquierda de la Figura 7, se muestra como la introducción de errores en los requerimientos hacen que lleguen entregables al cliente que no cumplen las especificaciones y/o límites de plazo. Lo que conlleva un descenso de la satisfacción del cliente percibida por cada organización, y un

retraso en la recepción de la información por parte del subcontratista.

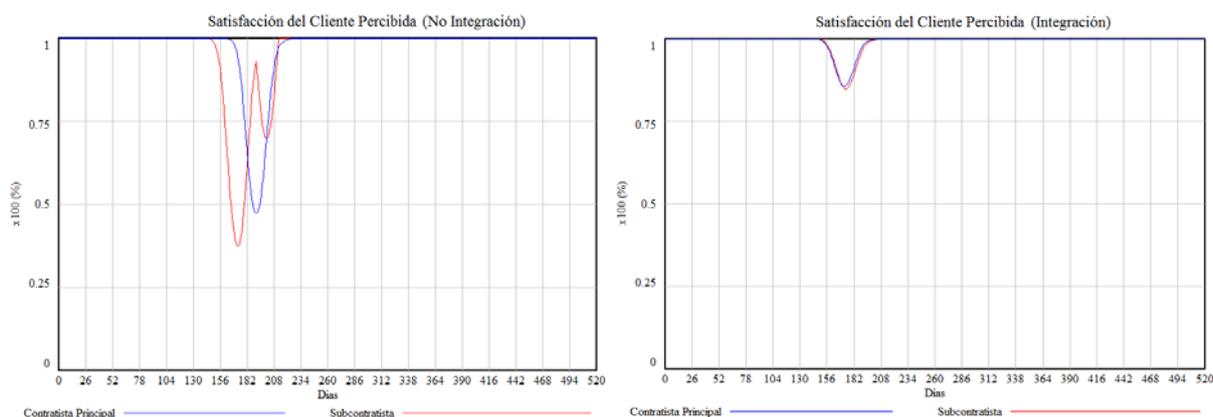
Figura 6: Comparativa de evolución del proyecto



4.2 Escenario de integración

En este escenario consideramos una integración del sistema de gestión de la calidad, en particular mediante la aplicación del Paradigma Holónico (Marcos, 2005) en su diseño y la implementación de un sistema de información mediante Agentes Inteligentes Distribuidos, así como el soporte de información mediante STEP, operando en una red de comunicaciones de alta velocidad (Shen, 2010). Todo ello implica una disminución en los retrasos y en los errores por falta de fiabilidad de la información. Se considera, por tanto, que en la interfaz existe un retraso de 1 día en la transmisión de información y una fiabilidad de la información transmitida del 95%. Es decir, sólo se consideran los retrasos y errores introducidos por causas humanas. A continuación se somete el modelo con integración a la misma entrada que en el caso del escenario anterior y se obtienen nuevos resultados, en lo que a amplitud y duración se refiere, ver Tabla 1.

Figura 7: Comparativa de nivel de satisfacción percibida



Los factores ambientales de las organizaciones, que se han considerado en este caso, permiten que el sistema absorba con mayor rapidez y menor repercusión los fallos introducidos. En la gráfica derecha de la Figura 5 se observa como el número de tareas finalizadas correctamente se adapta mejor al cronograma definido. Con el consecuente descenso, respecto al escenario anterior, del número de tareas totales ejecutadas, ver gráfica derecha de la Figura 6. Repercutiendo por tanto en una mayor integración de las

organizaciones, como se observa en la gráfica derecha de la Figura 7, donde los niveles de satisfacción del cliente percibido por cada empresa son prácticamente iguales. Como consecuencia de una compartición de información en tiempo real.

Tabla 1: Comparativa de escenarios

	Escenario de No Integración		Escenario de Integración	
	No.	%	No.	%
Tareas realizadas	22.352	124,35	25.821	113,25
Desfase máx. respecto al cronograma (Tareas/día)	15	119,23	7	109,2
Nivel mínimo de satisfacción percibida (Contratista Principal)		38		89
Nivel mínimo de satisfacción percibida (Subcontratista)		45		86

5. Conclusiones

De los resultados de los experimentos de simulación basados en dinámica del sistemas se puede corroborar, con las reservas correspondientes a la validación del modelo (Sargent, 2009), que los principales problemas derivados de la existencia de errores en la información (planes de proyecto, procedimientos, requisitos, etc.), así como de los errores y retrasos en la transmisión y conversión de información entre organizaciones de construcción son: los sobrecostos, los retrasos en la entrega y las pérdidas de calidad en las primeras etapas, que aparecerán con posterioridad conforme dichas tareas sean empleadas para desarrollar otras posteriores.

Mediante simulación se ha comprobado que el uso adecuado de los modelos de integración permitirá una reducción de las situaciones no deseadas que se han encontrado.

Se puede concluir que el marco de integración propuesto permite una mejor respuesta a los cambios que acontecen a lo largo del ciclo de vida del proyecto, disminuyendo el riesgo de desviaciones de la calidad así como el sobrecosto. Siendo estas variables controladas por modelos apropiados, que vienen aplicándose en los nuevos paradigmas de gestión en la dirección de proyectos de construcción, como la integración mediante FRABIHO, y por el uso de las tecnologías adecuadas que apoyan la aplicación de estos modelos, como son los Sistemas de Agentes Inteligentes Distribuidos y la aplicación de normas de soporte de la información como STEP.

Referencias

- Ballard, G. & Howell, G. (1998). *What Kind of Production Is Construction?*. Proceedings Sixth Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-6, Guarujá, Brazil, August 13-15.
- Burton, T. (2003). *The Lean Extended Enterprise moving beyond the four walls to value stream excellence*. United States of America, J. Ross Pub.
- Caldwell, B. (2009). Delays and user performance in human-computer-network interaction tasks. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 51, 813-830.

- Dyer, J. (2000). *Collaborative Advantage Winning Through Their Extended Enterprise Supplier Networks*. United States of America, Oxford University Press.
- Hamid, T. K. A. & Madnick, S. E. (1991). *Software Project Dynamics: An Integrated Approach*. Prentice-Hall.
- Han, S. (2011). A system dynamics model for assessing the impacts of design errors construction projects. *Mathematical and Computer Modelling*.
- Howell, G. (1999). *What Is Lean Construction*. Proceedings Seventh Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-7, Berkeley, CA, July 26-28, pp. 1-10.
- Hvolby, H. (2010). Challenges in business systems integration. *Computers in Industry*, 61, 808-812.
- Kotak, D. (2003). Agent-based holonic design and operations environment for distributed manufacturing. *Computers in Industry*, 52, 95-108.
- Lester, A. (2007). *Project management, planning and control: Managing engineering, construction and manufacturing projects to PMI, APM and BSI standards*. (2^a ed). London: Elsevier/Butterworth-Heinemann.
- Marcos, M. (2005). Toward the Next Generation of Manufacturing Systems. Frabiho: A synthesis model for distributed manufacturing. *Innovate Production Machines and Systems: First I*PROMS V. C*.
- Nagel, R. (1992). Performance Capabilities of the Next Generation Manufacturing Enterprise. Thirteenth IEEE/CHMT International. *Electronics Manufacturing Technology Symposium*. (págs. 321-324). Bethlehem, P.A.
- Ozbayrak, M (2007). Systems dynamics modelling of a manufacturing supply chain system. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15, 1338-1355.
- Parrod, N. (2007). Cooperative subcontracting relationship within a project supply chain: A simulation approach. *Simulation Modeling Practice and Theory*, 15, 137-152.
- Project Management Institute (PMI). (2008). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK)*. (4^a ed). Newton Square, Pennsylvania USA.
- Project Management Institute (PMI). (2000). *Construction Extension to a Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. Newton Square, Pennsylvania USA.
- Rahmandad, H (2010). Modeling the rework cycle, capturing multiple defects per task. *System Dynamics Review*, 26, 291-915.
- Repenning, N.P. & Serman, J. (1997). *Getting quality the old-fashioned way: self conforming attributions in the dynamics of process Improvement*. The Quality Movement and Organizational Theory. Cambirdge, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology.
- Sargent, R.G. (2009). Verification and validation of simulation models. *In Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)* (págs. 162-176). Austin, TX, USA.
- Shen, W. (2010). Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review. *Advanced Engineering Informatics*, 24, 196-207.
- Singh, H. (2009). *Construction project management*. Chandigarh, India: Abhishek Publications.

- Sterman, J. (1992). *Systems Dynamics Modeling of Project Management*. MIT, Sloan School of Management.
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics, Systems thinking and modeling for a complex world*. United States of America, McGraw-Hill.
- Tanaka, F (2006). STEP-based quality diagnosis of shape data of product models for collaborative e-engineering. *Computers in Industry*, 57, 245-260.
- Xue, Y. (2010). Web services-based and Multi-Agent information platform. *Proceedings of the Ninth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*. Qingdao.
- Zhengwen, D. (2006). An agent-based approach for e- manufacturing and supply chain integration. *Computers and Industrial Engineering*, 51, 343-360.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Departamento Ingeniería del Diseño. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.
Phone: +34 954 55 28 27
E-mail: ammartin@us.es, faguayo@us.es
URL: <http://www.eps.us.es>