



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



SISTEMA BASADO EN SIMULACIÓN PARA ESTIMAR EL EFECTO DE LA GESTIÓN DE LA CALIDAD SOBRE EL DESEMPEÑO DE LAS OPERACIONES DE CONSTRUCCIÓN *

G. A. Corona Suárez¹ y S. M. AbouRizk²

¹ Universidad Autónoma de Yucatán: Facultad de Ingeniería, Av. Industrias No Contaminantes por Periférico Norte S/N, Apdo. Postal 150 Cordemex, Mérida, Yucatán.

² University of Alberta: 3-014 Markin/CNRL Natural Resources Engineering Facility, Edmonton, Canada T6G 2W2.

RESUMEN

Se presenta un sistema con la capacidad para estimar el efecto de los factores propios de la de gestión de la calidad de proyectos (GCP) sobre el desempeño de las operaciones de construcción. Estos factores incluyen: las interferencias que ocurren durante las actividades de construcción, los recursos involucrados, y las iniciativas de GCP implementadas para administrar la calidad de los proyectos de construcción. Para estimar dicho efecto, el sistema se apoya en dos técnicas de modelación, la lógica difusa y la simulación de eventos discretos. De esta manera, es posible aprovechar la información y el conocimiento disponible en las organizaciones de construcción en la modelación de los factores mencionados. Se incluye un estudio de caso para ilustrar la aplicación del sistema en la toma de decisiones relacionadas con la implementación de sistemas de GCP y el mejoramiento del desempeño de los proyectos de construcción.

Palabras clave: Gestión de la calidad de proyectos, Lógica difusa, Simulación de eventos discretos, Interferencias en la construcción, Mejoramiento del desempeño.

SIMULATION-BASED SYSTEM FOR ESTIMATING THE EFFECT OF QUALITY MANAGEMENT ON THE PERFORMANCE OF CONSTRUCTION OPERATIONS

This paper introduces a system with the capability of estimating the effect of the Project Quality Management (PQM) factors on the performance of construction operations. The proposed system considers that these PQM factors include the nonconformities that occur during construction activities, the required construction resources, and the PQM practices implemented for managing the quality performance in the construction projects. The system integrates fuzzy logic with discrete-event simulation in order to achieve the analysis involved in such estimation. This way, it is possible to take advantage of quality-related information and knowledge that is available in construction organizations for modeling such factors. The paper includes a case study in order to illustrate the system's application on supporting decision-making regarding the implementation of PQM systems and the performance improvement of construction projects.

Key words: Project Quality Management, Fuzzy logic, Discrete-event simulation, Nonconformity, Performance improvement.

* Una versión de este trabajo ha sido previamente presentada en el *CSCE 2008 Annual Conference* ¹



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



INTRDUCCIÓN

Las organizaciones dedicadas a la construcción implementan iniciativas de GCP con el fin de administrar la calidad de las operaciones de construcción. Sin embargo, la cantidad y calidad de información explícita disponible en estas organizaciones sobre el desempeño de tales iniciativas es generalmente limitada. Un factor clave asociado con esta situación es la subjetividad y complejidad de las variables relacionadas con los sistemas de GCP. Las imprecisiones en la evaluación de dichas iniciativas son prácticamente inevitables ya que los encargados de administrar los proyectos de construcción generalmente utilizan términos lingüísticos, tales como pobre, mediocre, o bien, en su apreciación del desempeño de los factores involucrados en los sistemas de GCP. Esto implica una gran cantidad de incertidumbre en la toma de decisiones relacionadas con la administración y mejora de la calidad en los proyectos de construcción. En este caso, los encargados de tomar dichas decisiones no disponen de algún instrumento preciso para evaluar el efecto agregado de las iniciativas de GCP sobre el desempeño de las operaciones de construcción. Por ejemplo, aún esta pendiente la posibilidad de estimar la calidad que resultaría durante la ejecución de una cierta operación cuando el nivel de madurez de iniciativas tales como la evaluación de proveedores, la revisión de la constructabilidad de los proyectos, y la cualificación y capacitación del personal empleado es respectivamente “informal”, “reactivo” y “estable”.

Lo anterior expone la necesidad de contar con un instrumento con la capacidad de apoyar la toma de decisiones bajo las condiciones anteriores mediante la utilización del conocimiento tácito que posee el personal directamente involucrado en las operaciones de construcción. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo de investigación fue el desarrollo de un sistema capaz de estimar el efecto de la GCP sobre el desempeño de las operaciones de construcción, mediante la integración de las técnicas de modelación apropiadas. Se espera que este sistema facilite la evaluación y mejora de iniciativas de GCP involucradas en los proyectos de construcción.

FACTORES DE LA GESTIÓN DE LA CALIDAD EN PROYECTOS

La calidad de las operaciones de construcción es determinada por la interacción de tres factores: las interferencias que ocurren durante el proceso de construcción, los recursos empleados para la ejecución del proceso, y las iniciativas comprendidas en el sistema de GCP implementado para administrar la calidad de las operaciones². Como se muestra en la Figura 1, en el desarrollo del sistema propuesto se asumió que el nivel de madurez de las iniciativas de GCP determina la calidad de los recursos de construcción, los cuales podrían causar interferencias que afectarán el desempeño de las operaciones. Estas interferencias se manifiestan en el proceso de construcción mediante interrupciones de los trabajos, períodos de bajo rendimiento, ó retrabajos, que eventualmente afectarán el desempeño de las operaciones del proyecto. En este caso, la evaluación de la calidad podría ser en términos del logro de la productividad establecida para las operaciones analizadas, ya que esto facilitaría la implementación de técnicas de simulación en el sistema propuesto.

Bajo estas premisas, este sistema propone un análisis sistematizado de la calidad en los proyectos de construcción. Conviniendo con las directrices instituidas por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO, por su acrónimo en inglés), este análisis se enfoca en la

apreciación de las causas y consecuencias de las interferencias que afectan a los procesos, tanto productivos como administrativos³. Esto incluye analizar el origen de cada una de las interferencias ocurridas durante la construcción de los proyectos, con el fin de identificar los recursos implicados en cada una de estas interferencias, así como las iniciativas de GCP que respectivamente determinan el desempeño de estos recursos. Como también se aprecia en la Figura 1, por un lado las iniciativas de GCP y los recursos de construcción deben ser analizados como los factores causantes de estas interferencias, las cuales deben considerarse como los factores resultantes junto con su efecto en los parámetros de desempeño de las operaciones.

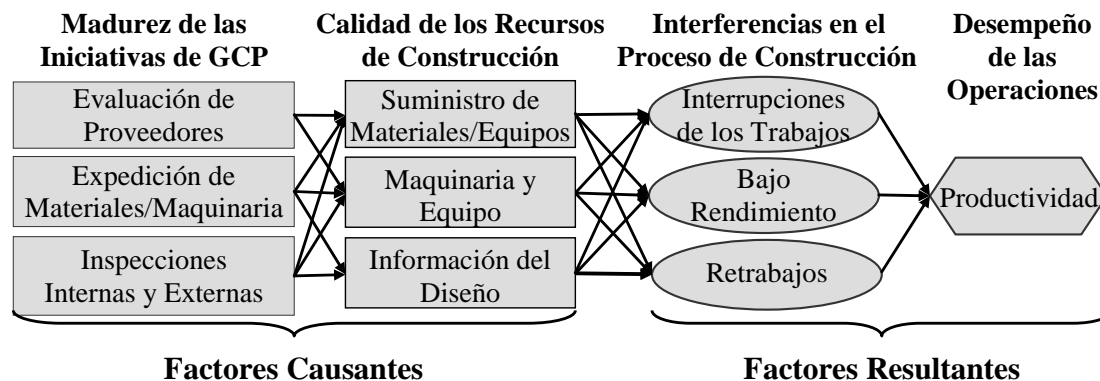


Figura 1. Influencia de los factores de GCP sobre el desempeño de las operaciones

Interferencias que afectan el proceso de construcción

Una interferencia puede definirse como cualquier incidente que interfiere el proceso de construcción y que resulta en un impacto negativo sobre el desempeño de las actividades de construcción. Sin embargo, solamente aquellos incidentes que son controlables o prevenibles por la administración del proyecto deben ser contabilizadas. Por ejemplo, no deben considerarse las interferencias que las condiciones climáticas causan en la ejecución normal de las actividades.

Las consecuencias del desempeño de los factores causantes sobre la productividad de una actividad son evaluadas en términos de las demoras que resultan de las interferencias que ocurren durante su ejecución. Estas demoras pueden ser atribuidas a interrupciones de los trabajos, bajos rendimientos y retrabajos. La ecuación para determinar el efecto total de estas interferencias, (es decir, la duración de todas las demoras durante la realización de una actividad), sobre la productividad de la actividad debe incluir dos variables: el número de interferencias durante la actividad y la duración de cada una de las demoras correspondientes a estas interferencias. La evaluación de ambas variables involucra términos lingüísticos como los mostrados en la Tabla 1.

Recursos de construcción

Los recursos de construcción son los elementos requeridos para ejecutar las actividades de un proyecto y se consideran intermediarios en la propagación del efecto de las iniciativas de GCP sobre el



desempeño resultante de las operaciones. Por lo tanto, la evaluación del desempeño de estos recursos juega un papel importante en la estimación de este efecto. En este caso, el desempeño de los recursos es valorado mediante sus respectivos niveles de calidad. La Tabla 1 muestra los términos lingüísticos utilizados para evaluar esta variable.

Tabla 1. Términos y dominios utilizados en la evaluación de las variables del sistema

Variables	Dominio	Rango	Términos Lingüísticos				
Madurez de las iniciativas de GCP	Difuso	No Aplica	Informal	Reactivo	Estable - Formal	Mejora Continua	Líder en su Clase
Número de interferencias asociadas con recursos	Difuso	No Aplica	Muy Bajo	Bajo	Intermedio	Alto	Muy Alto
Nivel de calidad de los recursos (Q)	Difuso	No Aplica	Muy Pobre	Pobre	Mediocre	Bueno	Muy Bueno
Frecuencia de ocurrencia del nivel de calidad (F)	Psicométrico	0 a 10	Muy Inusual	Inusual	Frecuencia Media	Usual	Muy Usual
Consecuencias sobre la actividad (C)	Psicométrico	0 a 10	Muy Benigna	Benigna	Moderada	Severa	Muy Severa
Número de interferencias afectando la actividad (N)	Números Naturales	0 a + ∞	Muy Bajo	Bajo	Medio	Grande	Muy Grande
Duración de las demoras por interferencias (D)	Períodos de 30 minutos	0 a + ∞	Muy Breve	Breve	Medio	Larga	Muy Larga

Iniciativas de la Gestión de la Calidad en Proyectos

Para los propósitos de este trabajo de investigación, estas iniciativas incluyen todos aquellos programas, prácticas y procesos implementados en una organización para administrar los objetivos de calidad en los proyectos de construcción. Se asume que el desempeño de estas iniciativas es el origen de gran parte de las interferencias que determinan el nivel de desempeño de las operaciones de un proyecto. A su vez, su desempeño depende de la madurez de los esfuerzos dirigidos a su implementación. La estimación de este nivel de madurez se vale de una escala que incluye los cinco términos lingüísticos mostrados en la Tabla 1. Esta escala ha sido propuesta por la guía ISO 9004:2000 para la auto-evaluación de procesos administrativos.

MODELACIÓN DEL SISTEMA

La evaluación del desempeño en base a resultados cuantitativos es una práctica que predomina en la industria de construcción⁴. Por lo tanto, los esfuerzos de este trabajo se dirigieron hacia a la obtención de estimaciones objetivas del efecto del desempeño de los sistemas de GCP sobre la productividad de las actividades que conforman una operación de construcción. Con dicho propósito, se determinó viable la aplicación de la técnica de simulación de eventos discretos; con lo cual el problema puede reducirse a la estimación de parámetros estadísticos que representen la incertidumbre implícita en las interferencias que afectan la productividad. El efecto total de estas interferencias puede modelarse por medio de dos variables: el número de interferencias y la duración de las demoras

ocasionadas por cada una de estas interferencias durante la ejecución de las actividades incluidas en la operación analizada. Estos parámetros pueden ser datos de entrada en un modelo de simulación de la operación y de esta manera incorporar explícitamente el efecto de los factores de GCP a las estimaciones de productividad resultantes del proceso de simulación. Sin embargo, la limitada disponibilidad de datos hace poco factible la estimación de dichos parámetros mediante técnicas probabilísticas; especialmente como para determinar las distribuciones de probabilidad correspondientes a estas dos variables. En este caso, el uso del conocimiento de expertos representa una manera más conveniente para modelar estas variables. Por lo tanto, el sistema propuesto incorpora el conocimiento de expertos a la estimación de los parámetros estadísticos requeridos mediante dos aplicaciones heurísticas: un sistema experto basado en reglas (SEBR) para deducir, en base a la madurez de las iniciativas de GCP, el nivel de calidad de los recursos; y un sistema analítico basado en lógica difusa (SABLD) que deduce los estadísticos requeridos en base a la calidad de los recursos. La Figura 2 muestra el arreglo de las variables comprendidas en estas aplicaciones.

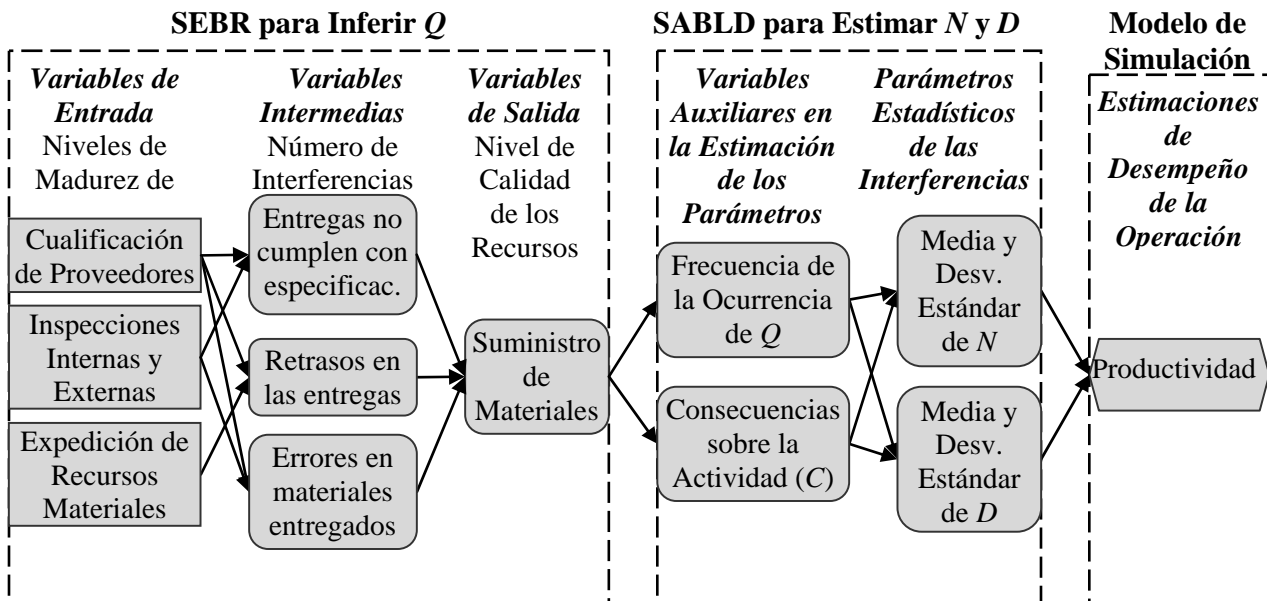


Figura 2: Integración de las variables comprendidas en el sistema propuesto

La lógica difusa utiliza conjuntos difusos para ejecutar procesos de razonamiento que incluyen proposiciones vagas que incluyen términos lingüísticos⁵. Los conjuntos difusos son definidos mediante funciones de membresía (FM) que expresan con grados de membresía (GM) la relación de ciertos valores numéricos con un conjunto difuso (término lingüístico). Los GM son definidos dentro del intervalo de cero (nula pertenencia al conjunto difuso) a uno (pertenencia total). Por ejemplo, las FM en la Figura 3 muestran que en la actividad de instalación de tuberías tres interferencias pertenecen al conjunto difuso *grande* con un GM de cero, mientras que cinco tienen un GM de 1.0. Las FM triangulares y trapezoidales, como las mostradas en la Figura 3, han sido comúnmente utilizadas en la modelación de los factores que afectan la construcción ya que pueden ser construidas con poca información.

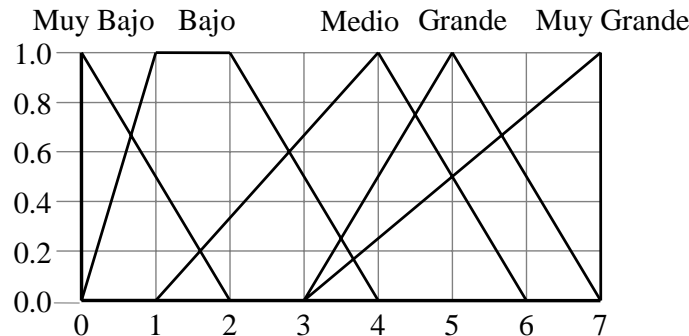


Figura 3. FM del número de interferencias en la actividad de instalación de tuberías Sistema Experto basado en Reglas para inferir la calidad de los recursos de construcción

Este SEBR incluye la modelación de las siguientes variables:

1. Los niveles de madurez de las iniciativas de GCP fueron modelados como interfaces de entrada. La evaluación, mediante el uso de términos lingüísticos, del nivel de madurez de cada una de las iniciativas del sistema de GCP debe ser realizada por personal informado del nivel gerencial dentro de la organización.
2. El número de interferencias, que están asociadas con cada uno de los recursos participando en la realización de la operación analizada, fue modelado como un resultado intermedio del SEBR. Como se muestra en la Figura 2, esta variable depende de los niveles de madurez de las iniciativas de GCP que deben estar implementadas en el sistema de GCP precisamente para evitar estas interferencias. Por ejemplo, del nivel de madurez de la cualificación de los proveedores y de la expedición de recursos depende el número de retrasos en las entregas de materiales y equipos. Esta variable fue incluida para facilitar la evaluación cognitiva del efecto de las iniciativas de GCP sobre la calidad de los recursos. La función de las variables intermedias es solamente transferir información de un bloque de reglas a otro durante el proceso inferencial y los valores que toman no son los resultados que se requieren del SEBR.
3. Los niveles de calidad de los recursos fueron modelados como las interfaces de salida del SEBR. Esta variable es determinada en base al número de veces que podría ocurrir en un proyecto cada una de las interferencias con las que está asociada el recurso analizado. Para esto es necesario tener en cuenta que este número depende de variables contextuales tales como el tipo de proyecto, el tamaño del proyecto, y el método de construcción. La identificación de las interferencias asociadas con cada uno de los recursos puede hacerse en base a los datos históricos en proyectos similares. Por ejemplo, como en la Figura 2, las interferencias asociadas con el Suministro de Materiales en la construcción a cielo abierto de un sistema de alcantarillado pueden incluir “retrasos en las entregas”, “errores en los materiales entregados” y “entregas que no cumplen con las especificaciones”.

Por lo tanto, la estructura del SEBR incluye dos diferentes bloques de reglas de inferencia. El primero es para inferir el número de los diferentes tipos de interferencias (por ejemplo: retrasos en las entregas, errores en los materiales entregados, etc.), teniendo los niveles de madurez de las iniciativas de GCP como premisas de las reglas. Por ejemplo, una regla de este grupo es “SI el nivel de madurez



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



de la Cualificación de Proveedores es *informal* Y el de las Inspecciones Internas y Externas es *reactivo* Y el de la Expedición de Recursos es *estable-formal* ENTONCES el Número de Entregas que No Cumplen las Especificaciones es *alto*.” El segundo bloque está compuesto por reglas para inferir el nivel de calidad de los recursos en base a los resultados intermedios obtenidos con el primer bloque de reglas, es decir el número de interferencias. Por ejemplo, este grupo incluye reglas como “SI el número de Retrasos en las Entregas es *intermedio* Y el de Errores en los Materiales Entregados es bajo Y el de las Entregas que No Cumplen con las Especificaciones es *alto*, ENTONCES el nivel de calidad de el Suministro de Materiales es *pobre*.” De esta manera, se debe establecer de manera exhaustiva las reglas que representan todas las posibles interacciones entre las variables consideradas dentro del sistema. Esto se debe hacer en base a la opinión de administradores de proyectos con basta experiencia en el tipo de proyecto analizado. Los lectores interesados deben referirse a Corona Suárez (2007) para una descripción detallada del procedimiento para generar las reglas de inferencia.

Sistema Analítico basado en Lógica Difusa para estimar los parámetros estadísticos

La formulación del SABL D se basa en una metodología propuesta por Ayyub y Eldukair para el análisis de riesgos⁶. Ésta, aplica la lógica difusa para obtener la distribución normal de la ocurrencia de un evento en base a la evaluación subjetiva del estado de los factores que lo afectan. En este caso estos factores están representados por los recursos de construcción cuyos estados (niveles de calidad) determinarán los valores de los parámetros estadísticos del número de interferencias en una actividad y de la duración de las demoras de cada una de estas interferencias. Es decir, el SABL D analiza el efecto combinado de los niveles de calidad de los recursos empleados en una operación (por ejemplo, *buena* calidad de la mano de obra + *mediocre* suministro de materiales + *muy buena* supervisión, etc.) sobre el desempeño de una actividad. Este análisis incluye las siguientes variables: (i) Q es el nivel de calidad de los recursos que toman parte en la operación analizada; (ii) F es la frecuencia de la ocurrencia de los valores de Q ; (iii) C es la magnitud de las consecuencias del efecto combinado de Q y F sobre la actividad analizada; (iv) N es el número de interferencias durante la ejecución de la actividad; y (v) D es la duración de las demoras causadas por cada una de las interferencias ocurridas. El SABL D incluye la obtención de FM de relaciones difusas entre estas variables en el cálculo de los parámetros estadísticos. Pero para esto, es necesario generar las FM y las reglas de inferencia (RI) que serán utilizadas en los cálculos. La Tabla 1 describe los dominios y rangos de valores que se utilizaron para construir las FM con la participación de personal experimentado en los procesos administrativos ejecutados en una organización muestreada. Por otro lado, la Tabla 2 contiene una muestra de las RI utilizadas para analizar el efecto de la calidad del Suministro de Materiales sobre el desempeño de la actividad de Excavación en la construcción de un sistema de drenaje sanitario. Por ejemplo, la frecuencia con la que el nivel de calidad del Suministro de Materiales es *muy pobre* ha sido percibida *inusual* y, por lo tanto, las consecuencias sobre la actividad de Excavación se estiman como *muy severas*, lo cual eventualmente generará un número de interferencias *grande* y demoras *largas*. Para mayores detalles sobre la generación de las FM y las RI, así como del procedimiento implícito en el SABL D, contactar a los autores.

Tabla 2. Ejemplo de RI del efecto del Suministro de Materiales sobre la Excavación



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



Recursos	Nivel de Calidad (<i>Q</i>)	Frecuencia de Ocurrencia (<i>F</i>)	Magnitud de las Consecuencias (<i>C</i>)	Número de Interferencias (<i>N</i>)	Duración de las Demoras (<i>D</i>)
Suministro de Materiales	Muy Pobre	Inusual	Severa	Grande	Larga
	Pobre	Frecuencia Media	Severa	Grande	Larga
	Mediocre	Frecuencia Media	Moderada	Medio	Larga
	Bueno	Usual	Moderada	Medio	Breve
	Muy Bueno	Inusual	Benigna	Bajo	Muy Breve

EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL SISTEMA

Un estudio de caso fue llevado a cabo para mostrar la aplicación del sistema. Esto incluyó el análisis de la construcción a cielo abierto de un sistema de drenaje sanitario que comprendió la instalación de 402.3 metros de tubería sanitaria de 24 pulgadas de diámetro. Como se ve en la Tabla 3, este estudio de caso incluyó solamente una muestra de las iniciativas de GCP, los recursos y las actividades que estuvieron involucrados en el proyecto.

Tabla 3. Datos de entrada y resultados en los diferentes escenarios formulados

Escenarios →		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Niveles de la Madurez del Desempeño de las Iniciativas de GCP	Expedición de Recursos Mat.	Informal	Informal	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Estable – Formal	Mejora Continua	
	Cualificación de Proveedores	Informal	Informal	Reactivo	Estable – Formal	Mejora Continua	Mejora Continua	Mejora Continua	Mejora Continua	Líder en su Clase	
	Inspecciones Internas y Extern	Informal	Informal	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Estable – Formal	Mejora Continua	
	Gestión de la Comunicación	Informal	Informal	Informal	Informal	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Estable – Formal	Estable – Formal	
	Revisión de la Operabilidad	Informal	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Estable – Formal	Mejora Continua	
	Revisión de la Constructabilidad	Informal	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Estable – Formal	Mejora Continua	
	Cualificación y Capacitación Pers	Informal	Estable – Formal	Estable – Formal	Estable – Formal	Mejora Continua	Líder en su Clase	Líder en su Clase	Líder en su Clase	Líder en su Clase	
	Gestión de los Riesgos	Informal	Informal	Informal	Informal	Reactivo	Reactivo	Reactivo	Estable – Formal	Estable – Formal	
	Gestión de la Seguridad	Informal	Informal	Reactivo	Reactivo	Mejora Continua	Mejora Continua	Mejora Continua	Mejora Continua	Líder en su Clase	
	Calidad de los Recursos	Suministro de Materiales	Muy Pobre	Muy Pobre	Pobre	Mediocre	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Muy Bueno
Información del Diseño		Muy Pobre	Pobre	Mediocre	Mediocre	Mediocre	Bueno	Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	
Condiciones de Trabajo		Muy Pobre	Muy Pobre	Muy Pobre	Bueno	Bueno	Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	
Datos estadísticos	Excavación	\bar{N}	3.98	3.20	3.00	2.47	2.29	2.26	1.93	1.42	1.34
		σ_N	0.82	1.26	1.34	1.11	1.09	1.07	0.81	1.07	1.09
	Hechura de Base	\bar{N}	4.00	3.09	2.79	2.22	2.00	1.48	1.45	0.95	0.91
		σ_N	0.79	1.30	1.30	1.11	1.06	0.50	0.50	0.78	0.81



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



	Instalación de Tuberías	\bar{N}	5.51	5.11	4.36	2.72	2.45	1.97	1.94	1.44	1.44
		σ_N	1.10	1.05	1.32	1.35	1.26	0.81	0.80	1.06	1.06
	Relleno de Zanjas	\bar{N}	3.83	3.75	3.28	2.22	2.00	1.48	1.46	0.94	0.89
		σ_N	1.13	1.11	1.37	1.11	1.06	0.50	0.50	0.78	0.85
Parámetros de D (en minutos)	Excavación	\bar{D}	354.23	291.55	301.82	168.84	101.51	49.55	45.57	21.43	23.11
		σ_D	156.07	126.76	117.50	85.58	101.69	46.80	46.00	28.75	29.20
	Hechura de Base	\bar{D}	354.23	326.63	258.21	251.19	185.01	185.01	176.10	161.68	83.11
		σ_D	156.07	147.06	115.56	114.00	82.47	82.47	84.99	87.56	29.20
	Instalación de Tuberías	\bar{D}	344.75	362.80	374.24	164.90	143.90	88.76	51.89	41.63	42.18
		σ_D	159.70	155.62	149.18	85.95	83.97	29.97	48.65	47.27	46.66
Relleno de Zanjas	\bar{D}	344.75	361.81	301.06	164.90	143.90	88.76	87.69	56.64	53.74	
	σ_D	159.70	154.36	119.87	85.95	83.97	29.97	29.91	46.97	51.11	
Resultados	Tiempo Prom. de Terminación (hrs)		266.67	240.96	217.39	150.94	136.52	118.69	115.27	108.11	102.30
	Productividad Media (m/hr)		1.50	1.66	1.84	2.65	2.93	3.37	3.47	3.70	3.91
	Incremento en la Productividad		NA	10.67%	10.84%	44.02%	10.57%	15.02%	2.06%	6.63%	5.68%

El SEBR y el SABL D de este caso fueron respectivamente implementados con Fuzzytech, un software especializado en análisis con lógica difusa, y con Matlab, para facilitar los cálculos. Además, un modelo de simulación de la operación analizada fue desarrollado para obtener estimaciones de productividad que reflejen el efecto del desempeño de las iniciativas de GCP. Nueve escenarios definidos por iniciativas de GCP con niveles de madurez alternos, fueron simulados mediante la plataforma de simulación Simphony.NET desarrollada por el Grupo de Investigación para la Simulación de Operaciones de Canadá con sede en la Universidad de Alberta. La Tabla 3 muestra los niveles de madurez en cada escenario y que fueron los datos de entrada para el SEBR del proyecto estudiado. En base a esos niveles de madurez se obtuvieron para cada escenario los niveles de calidad de los recursos. Estos niveles de calidad fueron alimentados al SABL D para obtener los parámetros estadísticos de N y D en las actividades analizadas, los cuales fueron posteriormente introducidos al modelo de simulación. Este modelo de simulación fue corrido cincuenta veces para obtener la productividad media en cada escenario. La sección de resultados de la Tabla 3 muestra cómo la productividad estimada varía de acuerdo a las condiciones de cada escenario.

CONCLUSIONES

Este documento reporta una metodología innovadora para modelar el desempeño de la calidad de los proyectos de construcción; la cual incluye una estructura de análisis que integra modelos heurísticos junto con modelos de simulación para estimar el efecto de las GCP sobre el desempeño de las operaciones de construcción. Esto permite aprovechar en dicha estimación el conocimiento y la experiencia del personal en las organizaciones dedicadas a la construcción. Las estimaciones obtenidas mediante este sistema permiten un mejor entendimiento de dicho efecto, lo cual eventualmente apoyaría la toma de decisiones sobre el mejoramiento del desempeño de los procesos de gestión y productivos de los proyectos de construcción.

AGRADECIMIENTOS



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



Se reconoce el apoyo financiero del Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología (México) y del Natural Sciences and Engineering Research Council/Construction Industry Research Chair (Canadá), en la realización de la investigación aquí reportada.

REFERENCIAS

- ¹ G. Corona-Suárez y S. AbouRizk, “Simulation-based Approach to Evaluate and Improve Project Quality Management Systems in Construction”, Proceedings of the CSCE 2008 Annual Conference, Quebec: QC (Canadá)
- ² G. Corona-Suárez, “Simulation-Aided Framework for Assessing the Effect of Project Quality Management on Construction Performance”, Tesis de Doctorado, University of Alberta, (2007): p. 132
- ³ ISO 9004:2000 International Standard: Quality management systems – Guidelines for performance improvements, Segunda edición, Ginebra (Suiza).
- ⁴ F. Yasamis, D. Arditi y J. Mohammadi, “Assessing contractor quality performance”, Construction Management and Economics **20**, 3 (2002): pp. 211-223.
- ⁵ G. Bojadziev y M. Bojadziev, Fuzzy logic for business, finance, and management, Advances in Fuzzy Systems – Applications and Theory Vol. 12 (Singapore: World Scientific, 1997).
- ⁶ B. M. Ayyub y Z. A. Eldukair, “Safety assessment methodology for construction operations” en Proceedings of ICOSSAR '89, 5th International Conference on Structural Safety and Reliability, American Society of Civil Engineers, (1989): pp. 771-777, New York: NY (USA)