

SIMULANDO EL PROCESO DE GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

SIMULATING THE CONSTRUCTION MANAGEMENT PROCESS

Por / By Eddy M. Rojas, Amlan Mukherjee

Resumen

Este artículo explica la relevancia de las simulaciones en el proceso de ingeniería y gestión de la construcción. La mayoría de las simulaciones tradicionales en construcción pertenecen a la categoría de optimización. En contraste con las simulaciones de optimización, las simulaciones situacionales no se basan en las interrelaciones y los equilibrios entre variables medibles. Las simulaciones situacionales requieren la evaluación e interpretación de información relevante para "resolver la crisis o el problema" y son apropiadas para problemas o situaciones que ofrecen el desencadenamiento rápido de eventos y la presión para la toma de decisiones. Las simulaciones situacionales son también conocidas como simulaciones de manejo de crisis, simulaciones estratégicas, y juegos de rol. El proceso de ingeniería y gestión de la construcción es representado por medio de tres modelos diferentes: el modelo del proceso, el modelo del producto, y el modelo de información. El modelo del proceso representa al proceso de construcción, el modelo del producto simboliza a la estructura física que se está construyendo, y el modelo de información caracteriza los datos generados acerca del producto y del proceso. Una descripción de cada modelo es presentada en este artículo para ilustrar el marco conceptual necesario para establecer la fundación de simulaciones situacionales.

Palabras clave: *Simulación, simulación situacional, gestión de la construcción, ambientes virtuales, Virtual Coach (entrenamiento virtual).*

Abstract

This paper explains the relevance of situational simulations in the construction engineering and management process. Most of the traditional simulations in construction belong to the optimization category. In contrast with the optimization simulations, situational simulations are not based on the interrelationships and trade-off among measurable variables. Situational simulations require the evaluation and interpretation of relevant information to "solve the crisis or problem" and are appropriate for problems or situations that offer the rapid unfolding of events and the pressure for decision-making. Situational simulations are also known as crisis management simulations, strategic simulations, and role-playing simulations. The construction engineering and management process is represented through three different models: the process model, the product model, and the information model. The process model represents the construction process, the product model symbolizes the physical facility that is being built, and the information model characterizes the data generated about the product and the process. A description of each model is presented in this paper in order to illustrate the conceptual framework needed to establish the foundation for situational simulations.

Keywords: *Simulation, situational simulation, construction management, virtual environments, Virtual Coach.*



1. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción está caracterizada por la singularidad de sus proyectos en términos de diseños y especificaciones, métodos organizativos, procedimientos administrativos, y participantes. En esta coyuntura, la destreza para la toma de decisiones es adquirida lentamente a lo largo de los años. Algunas veces, el gerente de proyectos no tiene otra alternativa que aprender de sus errores. Por otra parte, la destreza en la toma de decisiones es difícil de enseñar en el ambiente académico. El análisis de casos históricos es utilizado frecuentemente, pero éste se limita a estudiar lo que ya ocurrió. Por lo tanto la exploración de alternativas en un contexto dinámico no es posible. Además, no es factible exponer individuos a situaciones particulares en proyectos reales para mejorar sus destrezas en la toma de decisiones. Nadie convertiría un proyecto de construcción en un laboratorio donde diferentes situaciones catastróficas fueran implementadas simplemente para estudiar y analizar el comportamiento de estudiantes o administradores de proyectos. La solución es el desarrollo de un ambiente virtual donde se puedan estudiar las consecuencias de varias decisiones y acciones tomadas durante la ejecución de proyectos simulados.

La industria aeronáutica y la industria médica han enfrentado el mismo dilema de cómo proveer situaciones realistas para la adquisición de destrezas en la toma de decisiones sin arriesgar la vida de pasajeros o pacientes respectivamente. Ambas industrias han resuelto este problema por medio de la implementación de ambientes virtuales. Por ejemplo, simuladores de vuelo permiten que pilotos ejecuten y estudien diferentes alternativas sin arriesgar sus vidas o las de sus pasajeros. Además, cirugías asistidas por computadora permiten que médicos efectúen operaciones virtuales sin arriesgar el bienestar de sus pacientes. De manera similar, la industria de la construcción puede desarrollar ambientes virtuales para proveer gerentes de proyectos y otros en mandos ejecutivos con la oportunidad de experimentar eventos de alto riesgo sin poner en peligro el éxito de proyectos reales.

Este artículo describe el marco teórico, el marco conceptual, y la implementación de un ambiente virtual para la industria de la construcción llamado “Virtual Coach” (Entrenador Virtual).

2. MARCO TEÓRICO

Las simulaciones pueden clasificarse como simulaciones tácticas o simulaciones de procesos sociales (Gredler 1994). En las simulaciones tácticas, los participantes interactúan con una crisis o problema complejo que evoluciona y el propósito es llevarlo a una conclusión segura o lógica. En simulaciones de procesos sociales, los participantes interactúan con otros miembros de un grupo social en un esfuerzo para alcanzar metas sociales o políticas, o para enfrentar un reto particular. Obviamente, las simulaciones en ingeniería forman parte de la categoría de simulaciones tácticas.

Las simulaciones tácticas a su vez pueden clasificarse en tres grupos: diagnóstico, situacionales, y optimización (Gredler 1994). Las simulaciones de diagnóstico se enfocan en “resolver el misterio,” donde los participantes deben determinar la causa de un evento particular. Las simulaciones situacionales involucran la redistribución de recursos en un esfuerzo para evitar o minimizar un peligro inminente para un negocio, una industria, o un sistema social, político, o económico. Las simulaciones de optimización se basan en el manejo de datos en un esfuerzo por satisfacer metas para mejorar el estatus de una institución o un individuo. Su enfoque es en las interrelaciones y los equilibrios entre variables medibles. En este caso, la tarea de los participantes es optimizar la distribución de los recursos disponibles basándose en algún tipo de modelo. Por lo tanto, prácticamente todas las simulaciones tradicionales en el área de la construcción son simulaciones de optimización.

Las simulaciones tradicionales en construcción se enfocan usualmente en la etapa de planificación. Algunos ejemplos incluyen la simulación de programación de proyectos (Chehayeb y AbouRizk, 1998; Sawhney y AbouRizk, 1995; Senior, 1995), la simulación de métodos de construcción (Senior y Halpin, 1998; AbouRizk y Wales, 1997; Ioannou y Martínez, 1996; Gonzalez-Quevedo et al., 1993; Vanegas et al., 1993), la simulación de movimientos de tierra (Smith et al., 1995; Farid y Koning, 1994), y la simulación de construcciones repetitivas (Lutz et al., 1994; AbouRizk y Halpin 1990).

La mayoría de las simulaciones mencionadas anteriormente utilizan herramientas de simulación basadas en la interacción de procesos tales como CYCLONE, SLAM, PICASSO, y STROBOSCOPE. Por lo tanto, se refleja que la noción de que las simulaciones tradicionales en construcción pertenecen a la categoría de optimización.

El “Virtual Coach” está basado en un modelo de simulación situacional. Las simulaciones situacionales son apropiadas para problemas o situaciones que ofrecen el desencadenamiento rápido de eventos y presión para la toma de decisiones. Estas simulaciones generalmente requieren evaluación e interpretación de información relevante para “resolver la crisis o el problema.” Las simulaciones situacionales son también conocidas como simulaciones de manejo de crisis, simulaciones estratégicas, y simulaciones de personajes.

Las simulaciones situacionales han sido utilizadas ampliamente en el ámbito militar (Allen, 1987; Bloomfield y Whaley, 1965; Goldhammer y Speirt, 1959). Sin embargo, algunos ejemplos pueden encontrarse también en otras áreas, tales como administración de operación de ayuda después de desastres naturales (Ritchie, 1985).



3. MARCO CONCEPTUAL

El proceso de gerencia de la construcción no es trivial. Este involucra una serie de complejidades que deben de ser incorporadas en cualquier modelo. El marco conceptual introducido en esta sección es una representación del proceso de gestión de la construcción, que sirve como fundación para el desarrollo de simulaciones situacionales en el virtual coach.

Los componentes de este marco conceptual se ilustran en la Figura 1. Tal como se muestra en la figura, existen tres modelos diferentes: el modelo del proceso, el modelo del producto, y el modelo de información. El modelo del proceso representa al proceso de construcción, el modelo del producto simboliza a la planta física que se está construyendo, y el modelo de información caracteriza los datos generados acerca del producto y del proceso. Además, este marco conceptual también incluye mecanismo de visualización para proveer a los participantes con retroalimentación sobre el proceso y el producto. Una breve descripción de cada modelo es presentada a continuación.

3.1 El Modelo del Proceso

Tal como se observa en la Figura 1, el modelo del proceso está definido por restricciones, dependencias, atributos, y eventos. Las restricciones son limitaciones al proceso gobernadas por principios nomológicos, definicionales, o constitutivos. Las restricciones nomológicas son limitaciones no-negociables que deben de ser satisfechas porque ellas son dictadas por leyes naturales. Dos instancias son espacio y tiempo. Por ejemplo, en el modelo del proceso, dos materiales no pueden ocupar el mismo espacio simultáneamente. Tampoco es posible que la cantidad total de materiales almacenados en el sitio de la obra exceda el espacio disponible. Las *restricciones* definicionales son limitaciones impuestas por relaciones matemáticas. Dos instancias son el orden polinomial de las ecuaciones y la naturaleza determinística o estocástica de las variables. Todas las ecuaciones en el modelo del proceso son polinomios del primer orden, lo que simplifica los cálculos numéricos dado que relaciones lineales son utilizadas para efectuar interpolaciones y extrapolaciones de datos. Además, todas las variables en el modelo del proceso son determinísticas, lo que reduce aún más los requerimientos computacionales. Finalmente, *restricciones* constitutivas son limitaciones impuestas en el modelo por decisión del autor. Dos instancias son productividad y materiales. Productividad es representada en el modelo como dólares por unidad de tiempo, en lugar de metros cuadrados, metros cúbicos, o cualquier otra medida de producción por unidad de tiempo. Esta restricción ha sido impuesta para proveer una medida única de esta variable y por lo tanto facilitar la implementación de eventos que impactarán la productividad de una variedad de actividades. Materiales es otra variable a la que se le ha impuesto una restricción. El número de materiales utilizados en un proyecto típico de construcción puede llegar a miles. Para reducir los requerimientos de almacenamiento de datos en el modelo del proceso, los materiales fueron clasificados en dos categorías: primarios y secundarios. Un sistema de monitoreo para materiales primarios en cada actividad constructiva es implementado en el modelo del proceso. Los materiales primarios son definidos como aquellos que definen primordialmente el costo de una actividad. Esta limitación voluntaria en el modelo del proceso reduce significativamente el número de materiales a monitorear dado que unos pocos materiales representan frecuentemente la mayor parte del costo de materiales de una actividad incluso cuando varias docenas de materiales diferentes pueden ser necesarias. Los materiales secundarios son combinados en el modelo en una sola variable que no está expuesta a cambios de precios.

Las dependencias son relaciones entre variables dadas por subordinaciones técnicas, financieras, y de recursos. Las dependencias técnicas están subordinadas al programa de construcción y representan la secuencia lógica de actividades del proyecto. Las dependencias financieras están dictadas por las relaciones entre las diferentes variables. por ejemplo, los costos indirectos de un proyecto están relacionados con la duración del mismo y la estructura de la cadena de proveedores implementada. Las dependencias de recursos están determinadas por las relaciones entre las diferentes variables y recursos tales como materiales, mano de obra, y equipo. Como una ilustración, la tasa de consumo de un recurso por una actividad está relacionada con su duración programada. Si la duración de la actividad es comprimida, la tasa de consumo de recursos incrementa.

Los atributos son las características específicas que identifican a una variable. por ejemplo, un material puede tener atributos tales como cantidad, costo, fecha de procura, equipo requerido, y mano de obra requerida entre otras. la mano de obra puede tener atributos tales como el tamaño de la cuadrilla, los salarios, los beneficios, y la eficiencia.

Los eventos son ocurrencias particulares de escenarios situacionales. por ejemplo, un evento puede ser el reporte de los resultados de una prueba de compresión de concreto por el chorreado de varias columnas, en el que los resultados experimentales de la prueba de compresión a los tres días demuestran una resistencia un 25% por debajo de lo anticipado. los participantes, durante su proceso de toma de decisiones, pueden omitir los resultados, ordenar nuevas pruebas, esperar por los resultados de las pruebas a los siete días, demoler las columnas y reconstruirlas, etc. la acción específica que los participantes tomen, tanto como el costo asociado y el impacto en el programa original de la obra, y otros factores relevantes son determinados por el proceso del modelo a través de sus *dependencias* y *restricciones*.



3.2 El Modelo del Producto

El modelo del producto representa la estructura física y define su alcance, granularidad, e interactividad. el alcance se refiere al porcentaje de la estructura que debe de ser representado por el modelo del producto. esta decisión es dependiente de las necesidades de los otros modelos. Por ejemplo, algunas simulaciones situacionales pueden enfocarse solamente en unas cuantas actividades en lugar de todo el proyecto. Cuando este sea el caso, no existe la necesidad de modelar la estructura completa porque un modelo de la estructura que incluya a las actividades de precedencia y a aquellas requeridas por el ejercicio de simulación sería suficiente. Además, el *alcance* del modelo también puede ser limitado restringiendo la *interactividad* del mismo. no es necesario modelar aquellos aspectos de la estructura física que no serán experimentados por los participantes. Básicamente, los mismos principios que aplican al diseño de ensamblajes para películas de cinematografía, también aplican a la definición del modelo del producto: construya/modele solamente aquellas cosas a la que los espectadores/ participantes serán expuestos.

La granularidad está relacionada con el nivel de detalle en el modelo físico de la estructura. la granularidad de un modelo del producto está intrínsecamente asociada al programa de construcción del proyecto para apoyar las visualizaciones de cuatro dimensiones (4D) del proceso. Estas cuatro dimensiones incluyen las tres dimensiones espaciales más la dimensión temporal. sin embargo, la granularidad está también relacionada a los diferentes escenarios situacionales. Por ejemplo, una simulación situacional podría ser desarrollada para exponer participantes a la tragedia del hotel regency hyatt en kansas city, eeuu, en 1981 (sweet, 1999). Esta simulación debería de incluir detalles totalmente desarrollados sobre las conexiones de los miembros estructurales en los corredores suspendidos del segundo y del cuarto piso de acuerdo el diseño original como la modificación propuesta. Este nivel de detalle es absolutamente necesario pues representa la esencia del problema que se estaría simulando. Sin embargo, si una estructura similar es modelada para una simulación en la cual las conexiones de los miembros estructurales no son necesarias durante los eventos, entonces el modelo del producto no tiene por qué proveer este nivel de detalle y los detalles de las conexiones de los miembros estructurales podrían ser omitidas de todo el modelo.

Finalmente, la interactividad se refiere a la habilidad del modelo para ser manipulado para servir mejor a los participantes. La interactividad del modelo del producto está correlacionada con el alcance y el nivel de granularidad requeridos. La tecnología seleccionada para presentar el modelo del producto a los participantes es también un factor limitante al grado de *interactividad* del modelo. Por ejemplo, modelos inmersivos de realidad virtual son más interactivos que modelos no-inmersivos, y éstos a su vez son más interactivos que modelos que no utilizan realidad virtual.

3.3 El Modelo de Información

El modelo de información está constituido por el contexto, los escenarios situacionales, y el plan de ejecución. El contexto provee a los participantes con información relativa al proyecto de construcción incluyendo la definición del alcance y el plan de negocios. También provee datos sobre el sitio donde la obra será construida incluyendo información como la disponibilidad de recursos locales (mano de obra, materiales, equipos), y regulaciones locales. Esta información del contexto le ofrece a los participantes un entendimiento general de las metas y limitaciones del proyecto.

Los escenarios situacionales proveen a los participantes con información específica sobre eventos administrativos, técnicos, y externos. Un factor importante que diferencia a las simulaciones situacionales de los juegos de cómputo es el concepto de la realidad de función. La realidad de función ocurre cuando los participantes aceptan sus papeles y responsabilidades seriamente y con lo mejor de sus habilidades. Para lograr este objetivo, las simulaciones situacionales deben proveer a los participantes con suficiente información para que éstos se comporten profesionalmente. el objetivo de los escenarios es transmitir a los participantes la magnitud, severidad, premura del problema y oportunidad así como los factores relevantes para estimular una respuesta analítica en lugar de una respuesta heurística.

Finalmente, el *plan de ejecución* introduce a los participantes al *programa* original del proyecto incluyendo los requerimientos de recursos para cada actividad, al presupuesto de la obra, a la organización del *sitio de obra*, y a las cadenas de abastecimiento. Los participantes poseen completa libertad para desviarse del plan original durante la gestión simulada del proyecto de construcción si ellos consideran que el proceso puede ser mejorado. Sin embargo, el plan original sirve como base de comparación para evaluar la validez de sus decisiones. Desviaciones del plan original pueden ocurrir también cuando *eventos* suceden y se espera que los participantes ajusten los diferentes parámetros bajo su control para traer el proyecto de vuelta al plan original.



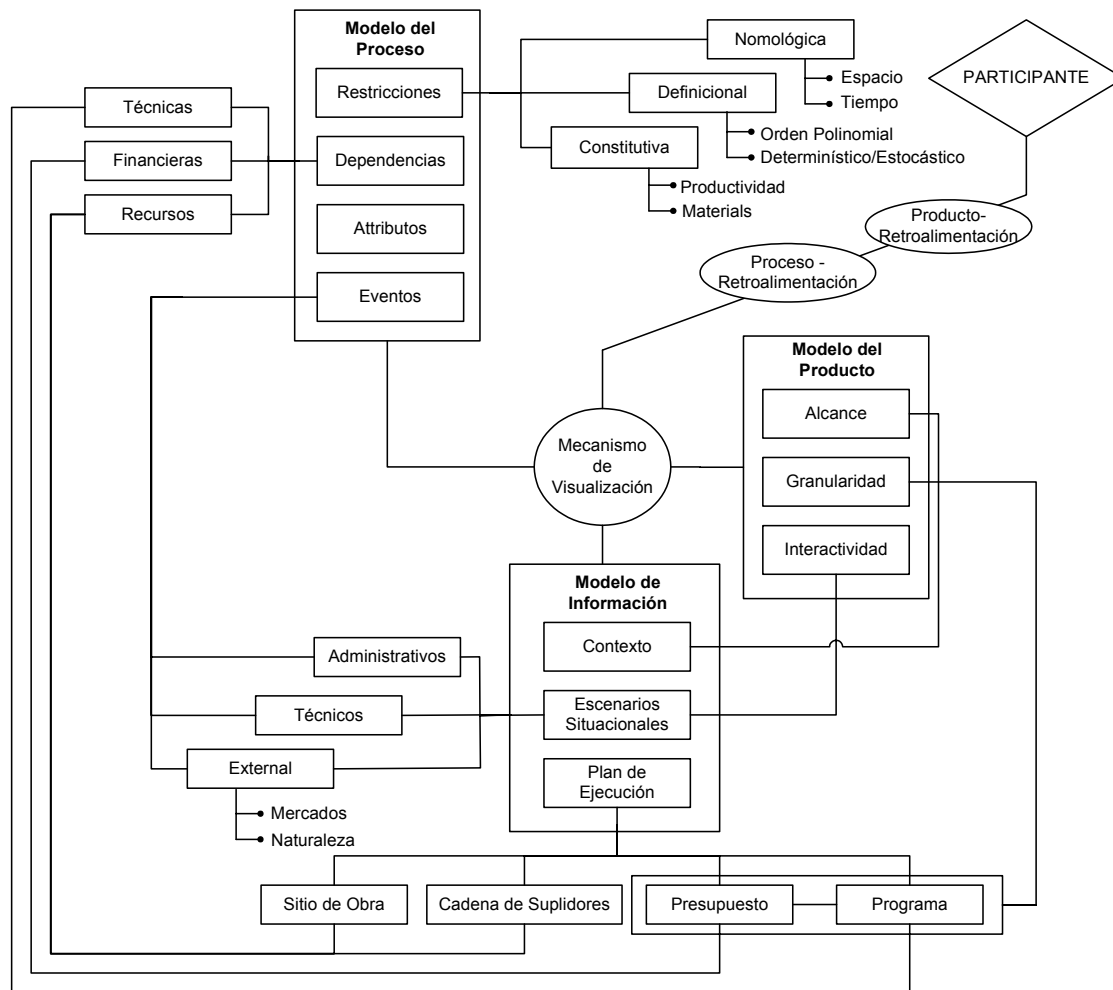


Figura 1. Marco conceptual del “Virtual Coach”

4. IMPLEMENTACIÓN

El “Virtual Coach” es un sistema de simulación basado en los principios expuestos en las secciones anteriores. Específicamente, este sistema está constituido por tres aplicaciones: emulador, visualizador, y desarrollador. El emulador es un programa de cómputo que es ejecutado en un servidor y encargado de realizar todas las operaciones matemáticas necesarias para la implementación de los ambientes simulados. Un modelo matemático, con más de 20 ecuaciones diferentes, desarrollado para establecer las relaciones de causa y efecto necesarias para determinar los resultados de las acciones de los usuarios. Es importante recalcar que éste modelo, es una simplificación de la realidad y que posee varias limitaciones. Por ejemplo, solamente se utilizan ecuaciones lineales y no hay variables estocásticas. Estas limitaciones podrían ser superadas en futuras implementaciones.

El visualizador es un programa de cómputo que es ejecutado en computadores conectados a la Internet. Es precisamente por medio de Internet que el visualizador y el emulador se comunican. El visualizador es responsable por el manejo de la interfase usuario-computadora, uno de los aspectos más interesantes en el desarrollo del visualizador es el despliegue de información en “tiempo real” a través de Internet. El visualizador ha sido diseñado como una colección de aplicaciones independientes que se comunican directamente con la base de datos del emulador, dado que el tiempo necesario para que cada aplicación obtenga nueva información del emulador depende de una serie de parámetros incluyendo la congestión en la Internet y la ruta que los paquetes de datos siguen durante su transporte, fue necesario desarrollar una nueva aplicación que sirviera de intermediario. El intermediario se encarga de ejecutar los pedidos de información de cada una de las aplicaciones independientes del visualizador y obtener la información del emulador. Sin embargo, el intermediario no transmite la nueva información a ninguna de las aplicaciones independientes hasta que éste no halla recibido la información para todas las aplicaciones. Esto es necesario para evitar que el visualizador despliegue información en la pantalla que pertenece a periodos diferentes. Por ejemplo, sin el intermediario, el usuario podría



encontrar una variada información perteneciente a diferentes días, lo cual no sería beneficioso a la hora de tomar decisiones. El intermediario también permite simular situaciones interesantes en donde se puede definir un retraso de varios días o incluso semanas en la disponibilidad de la información sobre el desempeño del proyecto y evaluar de manera cuantitativa los efectos de éste retraso en la ejecución del proyecto.

El Desarrollador es un programa de cómputo que es ejecutado en computadoras y contiene componentes gráficos para facilitar a los autores el desarrollo de simulaciones situacionales. Por lo tanto, los autores no tienen que preocuparse por los detalles relacionados con la programación del sistema y pueden invertir todo su tiempo en el desarrollo de simulaciones de alta calidad.

El "Virtual Coach" también posee dos bases de datos, en una se almacena la información de acuerdo con el plan original y en la otra se almacena la información de manera dinámica al tiempo que los participantes ejecutan la simulación. La comparación entre la información almacenada en estas bases de datos es lo que permite la retroalimentación a los participantes para que éstos evalúen sus acciones.

5. CONCLUSIONES

El desarrollo de un ambiente de simulación para apoyar simulaciones situacionales de la gestión de la construcción representa una iniciativa de gran envergadura. Este artículo se ha enfocado únicamente en el marco teórico y el marco conceptual del "Virtual Coach." El modelo matemático y la arquitectura tecnológica del "Virtual Coach" no han sido explicados en detalle. Sin embargo, ambos han sido desarrollados y publicaciones subsecuentes se encargarán de describir éstas y otras áreas relevantes de esta iniciativa. El desarrollo de un prototipo del "Virtual Coach" está actualmente en ejecución y los resultados de las evaluaciones del sistema serán también diseminados en el futuro.

6. REFERENCIAS

- ABOURIZK, S. y HALPIN, D. (1990), "Probabilistic Simulation Studies for Repetitive Construction Processes". *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 116, No. 4, p. 575-594.
- ABOURIZK, S. y WALES, R. (1997), "Combined Discrete Event/Continuous Simulation for Project Planning". *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 123, No. 1, p. 11-20.
- ALLEN, T. (1987), "War Games". McGraw-Hill, New York.
- BLOOMFIELD, L. y WHALEY, B. (1965), "The Political-Military Exercise: A Progress Report". *Orbis*. Vol. 8, No. 4, p. 854-870.
- CHEHAYEB, N. Y ABOURIZK, S. (1998), "Simulation-based Scheduling with Continuous Activity Relationships". *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 124, No. 2, p. 107-115.
- FARID, F. Y KONING, T. (1994), "Simulation Verifies Queuing Program for Selecting Loader-Truck Fleets". *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 120, No. 2, p. 386-404.
- GOLDHAMMER, H. y SPEIER, H. (1959), "Some Observations on Political Gaming". *World Politics*. Vol. 12, No. 1, p. 71-83.
- GONZALEZ-QUEVEDO, A., ABOURIZK, S., ISELEY, D. y HALPIN, D. (1993), "Comparison of Two Simulation Methodologies in Construction". *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 19, No. 3, p. 573-589.
- GREDLER, M. (1994), "Designing and Evaluating Games and Simulations: A Process Approach". Gulf Publishing Company, Houston.
- IOANNOU, P. y MARTINEZ, J. (1996), "Comparison of Construction Alternatives Using Matched Simulation Experiments". *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 122, No. 3, p. 231-241.
- LUTZ, J., HALPIN, D. y WILSON, J. (1994), "Simulation of Learning Development in Repetitive Construction". *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 120, No. 4, p. 753-773.
- RITCHIE, G. (1985), "Atlantis: The Basis for Management Simulation Development". *Simulation/Games for Learning*. Vol. 15, No. 1, p. 28-43.
- SAWHNEY, A. y ABOURIZK, S. (1995), "HSM-Simulation-Based planning Method for Construction Projects". *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 121, No. 3, p. 297-303.
- SENIOR, B. (1995), "Late-Time Computation for Task Chains Using Discrete-Event Simulation". *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 121, No. 4, p. 397-403.
- SENIOR, B. y HALPIN, D. (1998), "Simplified Simulation System for Construction Projects". *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 124, No. 1, p. 72-81.
- SMITH, S., OSBORNE, J. y FORDE, M. (1995), "Analysis of Earth-Moving Systems Using Discrete-Event Simulation". *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 121, No. 4, p. 388-396.
- VANEGAS, J., BRAVO, E. y HALPIN, D. (1993), "Simulation Technologies for Planning Heavy Construction Processes". *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 119, No. 2, p. 336-354.



Eddy M. Rojas

*Ingeniero Civil, Doctor en Ingeniería Civil y Magíster en Ciencias de la Economía
Profesor Asistente, Departamento de Gestión de la Construcción
Profesor Asistente Adjunto, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
University of Washington
Seattle, Estados Unidos*

Eddy M. Rojas, Ph.D., M.A.

*Assistant Professor, Department of Construction Management
Adjunct Assistant Professor, Department of Civil and Environmental Engineering
University of Washington
116 Architecture Hall, Box 351610
Seattle, USA
er@u.washington.edu*

Amlan Mukherjee

*Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería Civil.
Estudiante de Doctorado, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
University of Washington
Seattle, Estados Unidos*

*Doctoral Student, Department of Civil and Environmental Engineering
University of Washington
116 Architecture Hall, Box 351610
Seattle, USA
amlan@u.washington.edu*

