

Artículo No. 06. No. 12, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

**DESARROLLO DE MODELOS CONCEPTUALES EN
SIMULACIÓN: UTILIZACIÓN DE
LA TÉCNICA IDEF-SIM EN LOS PROCESOS DE DESPACHO
EXPEDICIÓN DE
UNA PLANTA DE CEMENTO**

**DEVELOPMENT OF CONCEPTUAL MODELS IN SIMULATION:
USE OF THE IDEF-SIM
TECHNIQUE IN DISPATCH AND DELIVERY PROCESSES OF A
CEMENT FACTORY**

Urrutia Silvia Beatriz¹, Villalba Luciano¹, Petesch Gustavo¹, Pastore Emilio¹,
Leal Fabiano², José Antonio de Queiroz²

¹Departamento Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Olavarría, Argentina.

Silvia Beatriz Urrutia: Avda. Del Valle 5737, (7400) Olavarría, Provincia de Buenos Aires, silviaburrutia@gmail.com

²Instituto de Engenharia de Produção e Gestão Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil.

Resumen. Las herramientas computacionales juegan un rol cada vez más preponderante en la industria. La simulación computacional es, entre ellas, una de las más utilizadas. La construcción del modelo conceptual es la primera etapa de cualquier proyecto de simulación y es a la vez una de las etapas de mayor importancia. En este trabajo presentamos las etapas principales de los proyectos de simulación, deteniéndonos en la técnica IDEF-SIM para la construcción de modelos conceptuales. Luego implementamos esta técnica en el desarrollo del modelo conceptual de los procesos de despacho y expedición de una planta de cemento. El proceso de creación del modelo conceptual permitió identificar los requerimientos de datos de entrada, mientras que el mapa de flujo de procesos obtenido constituye el insumo básico de la etapa siguiente del proyecto de simulación.

Palabras Clave: Modelo Conceptual; IDEF-SIM; Simulación

Abstract: Computational tools are becoming increasingly preponderant in industry. Computational simulation is, among them, one of the most used. The construction of the conceptual model is the first stage of a simulation project and is -at the same time- one of the most important steps. In this work we present the key processes of simulation projects. Then, we focus on the

Artículo No. 06. No. 12, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

IDEF-SIM technique for the construction of conceptual models. We use this technique for the development of the conceptual model of the dispatch processes of a cement plant. The process of creation of the conceptual model allowed us to identify input data requirements, while the process flow map obtained served as the main input for the elaboration of the next step of the simulation project.

Key Words: Conceptual model; IDEF-SIM; Simulation.

Resumo. O problema de atribuição de atividades tem sido amplamente investigado e estudado por

INTRODUCCIÓN

En estas primeras décadas del siglo XXI, la industria está experimentando cambios acelerados a nivel global. Esto responde, en gran medida, al advenimiento de una nueva revolución en los métodos de administración de las operaciones, los cuales incorporan -cada vez más- las nuevas tecnologías para el desarrollo de sus herramientas. En esta Cuarta Revolución Industrial (Yin, Stecke, & Li, 2018), los procesos de producción y los flujos de información de la llamada Industria 4.0 tienden tanto a la descentralización como a la integración (vertical y horizontal).

Esta “transformación digital” que da origen a “fábricas inteligentes” se logra mediante la incorporación en los procesos de la empresa de recursos tecnológicos tales como (Xu, Xu, & Li, 2018): los robots autónomos, la simulación computacional, los sistemas ciberfísicos, la integración sistémica, la Internet de las cosas, la ciberseguridad, las Tecnología de la Información y de las Comunicaciones (TICs), la manufactura aditiva, la realidad aumentada, la Ciencia de Grandes Datos (Big Data), etc.

Entre estas herramientas, una de las más ampliamente utilizadas es la simulación computacional (SiC). La SiC sirve como soporte al proceso de toma de decisiones, permitiendo predecir y evaluar el comportamiento de sistemas estocásticos complejos -analíticamente intratables regularmente presentes en el entorno industrial (Castro, Kofman, & Wainer, 2010). Desde sus inicios, los cuales acompañaron el desarrollo las primeras computadoras (Robinson, 2004), la SiC se ha aplicado a diversos sectores, tales como la manufactura, el comercio, los servicios, la defensa y la salud. Más allá del nivel de complejidad con que se desarrolle el proceso de simulación, el mismo sigue una serie de etapas que han sido descritas de distinta manera por diferentes autores. El punto de partida del proceso de simulación es, en todos los casos, la creación de un modelo conceptual. Esta etapa, que es considerada de crucial importancia, no es sin embargo lo suficientemente tratada en la literatura (Robinson et al., 2011).

El presente artículo se inicia con la descripción de las etapas del proceso de simulación, haciendo foco en la importancia del desarrollo del modelo conceptual. Luego se realiza una introducción en la técnica IDEM-SIM. Finalmente, se presenta la aplicación de dicha técnica al desarrollo del modelo conceptual de los procesos de expedición y despacho de una fábrica de cemento.

METODOLOGÍA

Etapas del proceso de simulación

El punto de partida de todo proceso de simulación es la construcción de un modelo, es decir, de una abstracción que sintetice el sistema real mediante la selección de los componentes y eventos que permitan realizar una imitación (en una computadora) del progreso del sistema en el tiempo (Robinson, 2004). Montevechi et al. (2010) describe la secuencia de pasos para el desarrollo de un proyecto de simulación, agrupándolos en tres etapas principales:

Conceptualización: Consiste en establecer formalmente el alcance del problema, el planteamiento de los interrogantes a responder mediante el modelo de simulación, la definición del objetivo de dicho modelo y la identificación de las restricciones que el medio impone al sistema en estudio. Incluye la construcción del modelo conceptual utilizando algún tipo de técnica de mapeo de proceso, independientemente del tipo de software utilizado (Balci, 2011; Montevechi, et al., 2010). Este modelo debe ser validado. Según Sargent (2013), esto consiste en determinar que las premisas del modelo conceptual son consistentes con las premisas del sistema real, dando soporte al modelo de simulación definido. El último paso del diseño es el modelado de los datos de entrada necesarios para la construcción del modelo computacional.

Implementación: En esta etapa se debe construir un modelo computacional que represente el modelo conceptual y el modelo de datos. Dicho modelo es construido con la ayuda de un software especializado en simulación de procesos. Una vez seleccionado el software, se debe traducir el modelo conceptual al lenguaje requerido por el mismo, para lograr una representación fehaciente de la realidad. El modelo computacional debe contemplar las variables de decisión, los parámetros del modelo, la formulación matemática del objetivo y las restricciones del sistema en estudio. Una vez construido el modelo computacional, este debe ser validado mediante una serie de pruebas que permitan cotejar el comportamiento del sistema y su semejanza con la realidad.

Análisis: la última fase de la simulación de acuerdo a Montevechi et al. (2010) es el análisis, que engloba las etapas de planificación, construcción y análisis de los experimentos, seguida por el análisis de los datos y conclusiones. En la etapa de planificación, construcción y análisis de los experimentos se realiza la elaboración de posibles escenarios que permitan responder las preguntas iniciales planteadas para el modelo y los objetivos propuestos, además del uso de planificación de experimentos (DOE por sus iniciales en inglés) y pruebas estadísticas. Finalmente, se analizan los resultados de los escenarios, obteniendo así conclusiones y la respuesta al problema definido en la etapa de concepción.

La importancia de los modelos conceptuales en los proyectos de simulación

Como sostienen Robinson et al. (2011), el modelado conceptual es una de las etapas más importantes de un estudio de simulación. Impacta en muchos aspectos importantes, tales como los requerimientos de datos, la velocidad a la cual se podrá completar el estudio, la validez del mismo, la rapidez de la experimentación y la confianza que se dará a los resultados obtenidos. Sin embargo, existen pocas metodologías disponibles para su construcción (ibídem).

La técnica IDEF-SIM

La técnica de diseño de procesos IDEF-SIM (Integrated Definition Methods - Simulation) fue desarrollada por Leal et al. (2008) y tiene como objetivo facilitar el trabajo de modelado en la fase de implementación y análisis, reduciendo el tiempo de realización del proyecto. La técnica fue creada a partir de la adaptación de elementos lógicos ya existentes en otras técnicas de mapeo consolidadas dentro de la Gestión de Procesos de Negocios (Business Process Management, BPM) como el IDEF0, IDEF3 y el diagrama de flujo.

Los símbolos utilizados en la técnica IDEF-SIM son una traducción directa del modelo conceptual para la programación de simulación en software, el cual presenta componentes de simulación como entidades, recursos, funciones, flujos y controles de flujo, reglas lógicas y transportes (Pereira, et al., 2015). Una entidad, representa los elementos a procesar por el sistema (materia prima, productos, personas, documentos, etc.). Las mismas pueden agruparse o dividirse durante el proceso de producción y se mueven solas o mediante recursos. Cada símbolo sólo aparecerá en el momento en que se cree una nueva entidad. Las funciones, representan los lugares donde la entidad sufrirá una acción. Las funciones se entienden como puestos de trabajo, cintas transportadoras, filas y existencias y puestos de servicio. Estas funciones pueden cambiar una entidad, como en los puestos de servicio, o incluso alterar el tiempo de esta entidad en el flujo, como un retraso (filas, stock). El flujo de entidad, representa la dirección de la entidad en el modelo, caracterizando el momento de entrada y salida de las entidades en las funciones. Los recursos, representan elementos utilizados para mover las entidades y ejecutar funciones. Los recursos pueden representar personas o equipos. En un sistema, puede haber recursos estáticos o dinámicos. Los controles representan las reglas utilizadas en las funciones, como secuenciación, reglas de filas, programación, entre otras.

Las reglas para flujos paralelos y/o alternativos, son reglas provenientes de la técnica IDEF3 y se denominan empalmes. Hay tres posibilidades para estas reglas: Regla "Y", cuando se tienen dos o más caminos que deben ser ejecutados en paralelo; Regla "O", cuando existen dos o más caminos, pero ejecutados de forma alternativa; Regla "Y/O", si dos o más caminos pueden ser ejecutados en paralelo y/o en caminos alternativos. El movimiento, representa un desplazamiento de una entidad, en el que el modelador cree que posee un efecto importante en el modelo. Cuando se representa

Artículo No. 06. No. 12, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

este elemento, se espera encontrar una programación específica para este movimiento, con el tiempo empleado y el recurso utilizado, en el modelo de computadora.

En el modelo se puede introducir información explicativa con el objetivo de facilitar la comprensión del mismo. A su vez, el flujo de entrada define la entrada o la creación de entidades. El límite definido para el modelo no contempla el origen de esta entidad. Asimismo, el fin del sistema define el final de una ruta dentro del flujo modelado. Todo lo que, en la práctica, se encuentra más allá de este punto está fuera de los límites del modelo.

En la Figura 1, se muestran los elementos y símbolos utilizados en IDEF-SIM.














Elemento IDEF-SIM	Símbolo
Entidad	
Función	
Flujo de entidad	
Recursos	
Controles	
Reglas	Regla "Y" 
	Regla "O" 
	Regla "Y/O" 
Movimiento	
Información explicativa	
Flujo de entrada en el sistema modelado	
Fin del sistema	
Conexión a otra figura	

Figura 1: Elementos y símbolos utilizados en la metodología IDEF-SIM. Fuente: Leal et al. (2008)

Caso de aplicación: los procesos de despacho y entrega en una fábrica de cemento

La empresa en la cual fue aplicada esta metodología es una fábrica de cemento y cal ubicada en la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Alcances y objetivos del modelo

En la Figura 2 se muestra el diagrama de los procesos de fabricación de ambos productos. Para medir la eficiencia de las etapas de Despacho y Expedición, la empresa tiene un indicador específico denominado Tiempo Medio de Espera (TME), que es el tiempo que transcurre desde que un camión llega a la playa de camiones con el turno de carga hasta que sale de la planta cargado. Este tiempo es de vital importancia para la satisfacción del cliente ya que, al tratarse de productos cuya calidad está definida por normas, la diferenciación en el mercado se mide por los niveles de

Artículo No. 06. No. 12, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

satisfacción de los clientes. En la actualidad, este objetivo se cumple en el caso de los productos despachados a granel, pero no para los embolsados.

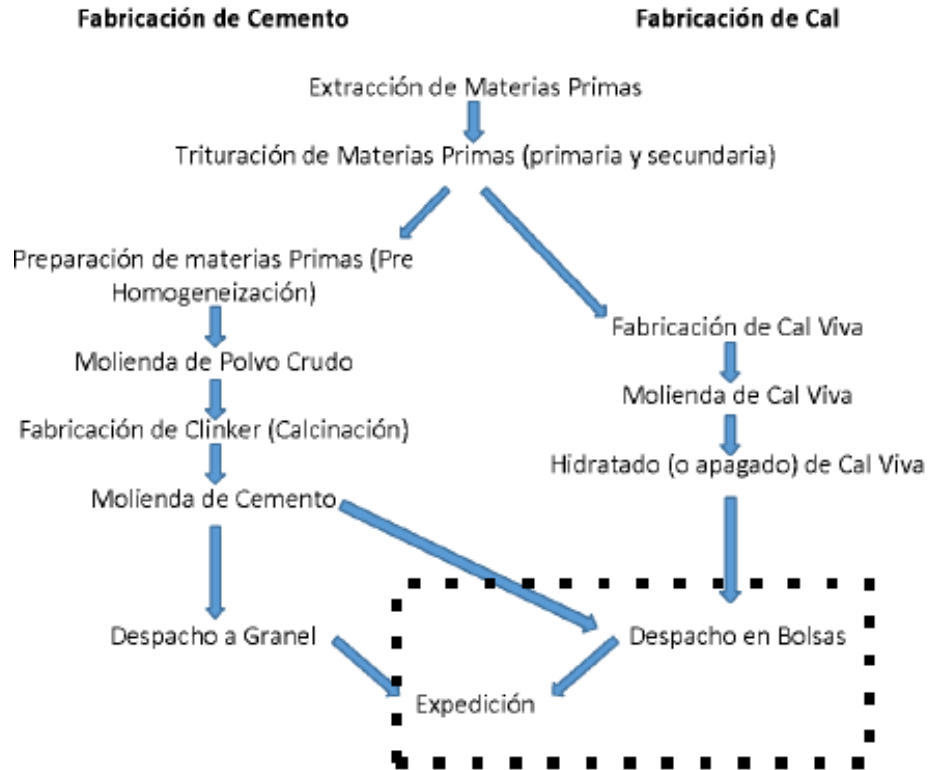


Figura 2. Límites del modelo respecto al proceso de fabricación. Fuente: Elaboración propia

El objetivo final del estudio de simulación fue el de determinar cuáles son las partes del proceso de Despacho y Expedición de cementos y cales embolsados que generan las mayores demoras y así poder definir alternativas de mejora que permitan disminuir el TME.

Creación del modelo conceptual

Siguiendo los lineamientos propuestos por la metodología IDEF-SIM, se definieron los siguientes componentes del modelo:

Flujo de entrada en el sistema. Cuatro flujos de entrada iniciales, correspondientes a las llegadas de camiones para cada uno de los tipos de producto a despachar: a) cemento; b) cemento de albañilería; c) cargas combinadas (camiones que cargan combinaciones de cementos y cales); d) cales. Entidades. Cuatro entidades diferentes de acuerdo al producto a cargar: a) camión cemento; b) camión cemento albañilería; c) camión combinados; d) camión cales.

Artículo No. 06. No. 12, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

Funciones y reglas. En este modelo encontraremos varias funciones y reglas dependiendo de la etapa en que se encuentren las entidades.

Las entidades generadas en cada uno de los flujos de ingreso, alimentan -de acuerdo a su naturaleza- las colas de espera en playa: a) cola cemento; b) cola cemento de albañilería; c) cola combinados; d) cola cales.

Una vez que los camiones se encuentran en las colas respectivas, esperan a ser llamados a la balanza de ingreso. Por lo tanto, es necesario definir una regla que determine con qué criterio se llamará las entidades. Con base en las entrevistas realizadas a los operarios, se decidió utilizar una Regla “O” basada en la disponibilidad de producto para despachar y la cantidad de camiones dentro del sector de carga.

Dentro de este sector, los camiones se dirigen a la cola que corresponda al tipo de producto a cargar. Para esto también es necesario definir los flujos de entidades y una regla “O” de manera tal que nos asegure que cada entidad seguirá el camino que corresponda:

- Cola Calle 1: espera previa al ingreso a cargar cemento.
- Cola Calle 2: espera previa al ingreso a cargar productos combinados y cemento de albañilería.
- Cola Calle 3: espera previa al ingreso a cargar cales.

Luego, las entidades circulan hasta la zona de carga asignada a cada producto, Las mismas son cargadas con los productos respectivos, mediante autoelevadores. Los autoelevadores, se definen como recursos, Como existen varias calles y más de un autoelevador se deben incluir reglas del tipo “O”. Por lo tanto, los autoelevadores 1 y 2, están disponibles para la Calle 1 de carga de cemento; los autoelevadores 3 y 4, lo están para la Calle 2 de carga de productos combinados y cemento de albañilería; los autoelevadores 5 y 6, para la Calle 3 de carga de cales. En cada una de las Calles de carga, se ejecutan las funciones de carga, donde las entidades de tipo de camión se combinan con las entidades de tipo pallet de productos (pallet de cemento, etc.), formando nuevas entidades: a) camión cargado cemento; b) camión cargado de cemento de albañilería; c) camión cargado de productos combinados; d) camión cargado de cales.

El recorrido de estas nuevas entidades continúa hacia las colas de espera de las cinco enlonadoras (funciones), donde se deben incluir nuevamente reglas del tipo “O” que determinan el camino a tomar:

- Cola Enlonado 1: cola de espera para las enlonadoras 1 y 2
- Cola Enlonado 2: cola de espera para las enlonadoras 3 y 4
- Cola Enlonado 3: cola de espera para la enlonadora 5

Los camiones pasan a continuación a las enlonadoras, ya que es un requisito que la carga salga tapada de Planta. Para el caso de las enlonadoras 3 y 4 debe definirse una regla “O” que indica la posibilidad de que pasen por dichas funciones camiones cargados con cemento de albañilería y/o

CONCLUSIONES

La construcción de modelos conceptuales en el proceso de simulación es un área poco desarrollada en la literatura. Al mismo tiempo, son pocas las metodologías disponibles para construir modelos conceptuales. La herramienta IDEF-SIM ha sido especialmente desarrollada para dar respuesta a esta vacante.

En este artículo mostramos la aplicación de IDEF-SIM para la obtención del modelo conceptual de los procesos de Expedición y Despacho en una fábrica de cemento. El proceso de creación del modelo conceptual permitió identificar los requerimientos de datos de entrada y el mapa de flujo de procesos obtenido servirá como insumo para la elaboración del modelo computacional, resultado que queda fuera del alcance de este trabajo.

REFERENCIAS

- Balci, O., 2011. *How to successfully conduct large-scale modeling and simulation projects*. In: *Winter Simulation Conference*. Phoenix, AZ.
- Castro, R., Kofman, E.; Wainer, G. (2010). *A Formal Framework for Stochastic Discrete Event System Specification Modeling and Simulation*. *Simulation* 86(10), pp. 587–611
- Montevechi, J. A. B.; Leal, F.; Ferreira de Pinho, A.; da Silva Costa, R. F.; Moura de Oliveira, M. L. (2010). Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: *Winter Simulation Conference*, Baltimore, MD.
- Leal, F.; Almeida, D. A.; Montevechi, J. A. B. (2008). Uma proposta de técnica de modelagem conceitual para a simulação através de elementos do IDEF. In: *XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. João Pessoa.
- Liu, J.; Yu, Y.; Zhang, L.; Nie, C. (2011). An Overview of Conceptual Model for Simulation and Its Validation. In: *2011 International Conference on Advances in Engineering* (24), pp. 152-158.
- Pereira, T. F., Montevechi, J. A. B., Miranda, R. d. C.; Friend, J. D. (2015). Integrating soft systems methodology to aid simulation conceptual modeling. In: *International Transactions in Operational Research* (22), p. p. 265–285.
- Robinson, S. (2004). *Simulation: the practice of model development and use*. Chichester, West Sussex, England ; Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Ltd.

Artículo No. 06. No. 12, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

Robinson, S.; Brooks, R.; Kotiadis, K.; van der Zee, D-J. (2011). Conceptual modeling for discrete-event simulation. Boca Raton, FL, United States. CRC Press, Taylor&Francis Group. Sargent, R. G. (2013). Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, pp. 12–24. Xu, L. D.; Xu, E. L.; Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), pp. 2941–2962.

Yin, Y., Stecke, K. E.; Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research* 56(1–2), pp. 848–861.