

Etapas de Validación y Verificación en la Construcción de Modelos para la Simulación de Procesos Industriales

Acosta, Esteban*, Chiodi, Franco, Fernandez, Marcelo, Tcach, Alexis,
Francesconi, Javier

*Instituto de Industria, Universidad Nacional de General Sarmiento,
Juan M. Gutiérrez 1150 (B1613GSX) Los Polvorines. Provincia de Buenos Aires, Argentina.
{ eacosta; fchodi; mfernandez; atcach; jfrancesconi }@ungs.edu.ar*

RESUMEN

Hoy en día, las herramientas informáticas de simulación de procesos industriales son ampliamente utilizadas en el sector productivo para asistir a la toma de decisiones. La simulación representa una valiosa ayuda para la evaluación de estrategias y selección de tácticas que se requieren en el diseño de proyectos de sistemas de fabricación.

En la literatura existen numerosos trabajos donde se describe y analiza la generación de proyectos de simulación aplicados a la industria manufacturera, sin embargo, las etapas de verificar el modelo y validar la capacidad del mismo para representar razonablemente el proceso real no presentan una amplia discusión.

En el presente trabajo se realiza una revisión bibliográfica de las metodologías presentadas en la literatura, relativas a estas dos etapas de la construcción de todo modelo de simulación, con el objetivo de realizar un análisis de los criterios y técnicas existentes; así como también plantear nuevas propuestas para sistematizar y formalizar las etapas de Verificación & Validación en la creación de modelos de simulación aplicados en la industria manufacturera.

Palabras Claves: validación, verificación, modelo de simulación.

ABSTRACT

Nowadays, computer simulation tools for industrial processes are widely used in the productive sector to assist decision making. Simulation is a valuable aid for strategies evaluation and tactics selection processes, which are required for the project design manufacturing systems.

In the literature, there are many works describing and analyzing the simulation projects building applied in the manufacturing industry. However, the stages of verification the model and validation the capacity thereof to represent reasonably the actual process does not have a wide discussion.

This paper presents a review of the methodologies existing in the literature concerning these two stages in the construction of a simulation model. It is performed an analysis of the existing criteria and techniques; as well as new proposals are presented in order to systematize and to formalize Verification & Validation steps in the simulation models building process applied to manufacturing.

Keywords: validation, verification, simulation model.

1. INTRODUCCIÓN

Las organizaciones presentan grandes desafíos en la toma de decisiones no estructuradas [1], las cuales no son repetitivas, generalmente no se tiene antecedentes y además suelen ser complejas por la variedad de variables que deben ser analizadas. La simulación de eventos discretos es una herramienta de modelado mediante la utilización de computadoras que reproduce sistemas complejos, permitiendo estudiar intervenciones sin comprometer al sistema real con cambios, cuyos efectos probables pueden no ser conocidos o inferidos fácilmente [2].

La simulación computarizada fue utilizada por primera vez en la industria de Defensa de los EEUU en los años 50. Los primeros modelos de simulación fueron construidos utilizando lenguajes de programación tales como FORTRAN ejecutados en grandes y costosos sistemas informáticos o servidores dedicados (Mainframes) [3]. En los años 80, la explosión de los ordenadores personales permitió mostrar interfaces visuales interactivos y posibilitó la animación digital, entre las herramientas más utilizadas se pueden mencionar 11 Writness, Pro-model, Arena y Ithink. La primera mitad de los noventa aportó otro interesante desarrollo de la simulación, mediante el uso de programación orientada a objetos. Los lenguajes de simulación tales como Modsim y Simple ++ representaron otro hito en la simulación, aprovechando la tecnología del objeto y permitiendo bibliotecas de "objeto reutilizable" [4]. Actualmente existen numerosos sistemas "open source" que han permitido ampliar la variedad de sistemas de simulación. Independientemente de los diferentes desarrollos del pasado y del presente, es evidente que la simulación ha sido siempre un poderoso instrumento.

Así como fue evolucionando el software de simulación en estos años, las metodologías para la construcción de un proyecto de simulación también lo han hecho. En el presente trabajo se realiza una revisión y análisis de diferentes metodologías presentadas en la literatura, haciendo foco en en las etapas de verificación & validación (V&V). La motivación de concentrarnos en estas etapas surge debido a que, a pesar de los numerosos trabajos donde se describe y analiza la generación de proyectos de simulación aplicados a la industria manufacturera, las etapas de verificación del modelo y validación de la-capacidad del mismo para representar razonablemente el proceso real no presentan una amplia discusión.

Verificación y validación se ocupan de determinar si un modelo y sus resultados son "correctos" para un uso o propósito específico. Verificación del modelo se define formalmente como "asegurar que el programa informático del modelo computarizado y su aplicación son correctos" y la validación del modelo se define como la "comprobación de que una modelo computarizado dentro de su ámbito de aplicación posee un conjunto suficiente de exactitud en consonancia con la aplicación prevista del modelo " [5].

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis de los criterios y técnicas existentes de V&V ; así como también plantear nuevas propuestas para sistematizar y formalizar las etapas de V&V en la creación de modelos de simulación aplicados en la industria manufacturera.

2. Descripción de metodologías en V&V

El proceso de verificación y validación fué evolucionando al igual que las metodologías propuestas para llevar adelante un proyecto de simulación de procesos. Si bien, no existe una única metodología para la construcción de un proyecto de estas características, se puede observar que todas ubican a la V&V como una de las etapas más importantes del proyecto.

En primer lugar, para visualizar cómo las mismas participan en el proceso de construcción de una simulación se describen tres metodologías ampliamente difundidas de la bibliografía. Los autores seleccionados son Banks [6]; Sargent [7] y Montevechio [8]. Posteriormente se analizan las herramientas que proponen cada autor en la etapa de V&V.

La metodología propuesta por Banks[6] se esquematiza en la Figura 1. La misma comienza con la formulación del problema. El analista debe asegurar que el problema que se describe esté claramente definido. Según Banks, hay ocasiones en las que el problema debe volver a formularse a medida que avanza el estudio, aunque no se muestra en la Figura 1 propuesta por el autor.

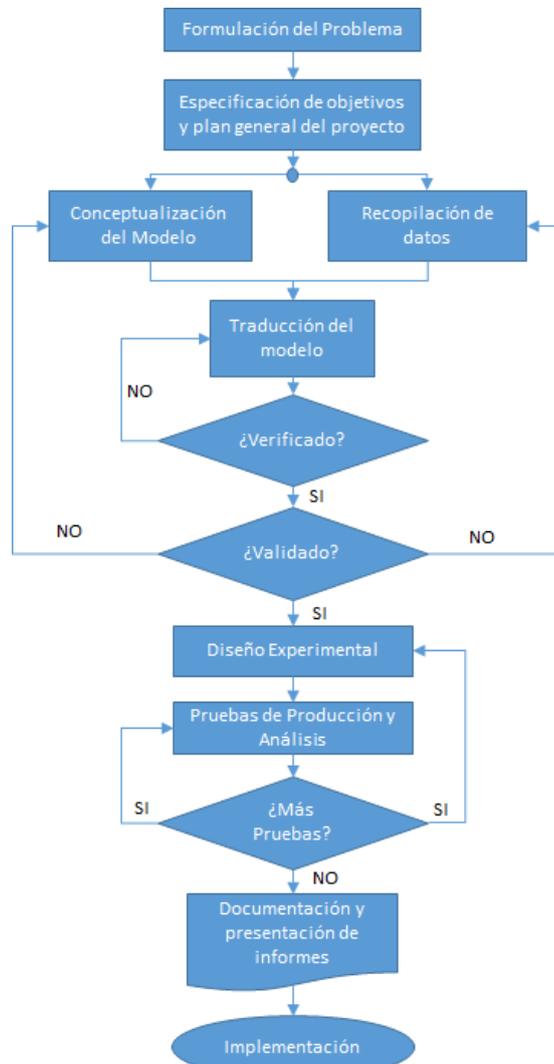


Figura 1. Pasos de un estudio de simulación propuesto por Banks[6].

A continuación se especifican los objetivos y el plan general del proyecto. Los objetivos indican las preguntas que debe responder la simulación. Algunos propósitos para utilizar esta metodología pueden ser: conocer más a fondo la forma del funcionamiento del sistema, el desarrollo de políticas y recursos para mejorar operacionales, el rendimiento del sistema, probar nuevos conceptos y/o sistemas antes de implementarlas y obtener la información sin necesidad de cambiar el sistema actual [9] .

La conceptualización del modelo reside en la abstracción de las características esenciales del problema para seleccionar y modificar las suposiciones básicas que caracterizan al sistema. En este sentido recomienda comenzar con un modelo sencillo y construir hacia una mayor complejidad. Es conveniente involucrar al usuario final en la construcción del modelo conceptual. La participación del usuario del modelo mejorará la calidad del modelo resultante y aumentará la confianza del usuario en la solicitud de modelo del modelo.

En paralelo a la definición del modelo conceptual se realiza la recopilación de datos necesarios para su traducción o implementación en el software o lenguaje de programación elegido. Los datos surgen de estudios estadísticos de distribución de intervalos de tiempos de las distintos componentes del sistema. Banks propone primero verificar la implementación del modelo y posteriormente su validación. Concluidas estas etapas se definen los escenarios o experimentos a simular.

Sargent [7] en su metodología para la construcción de un modelo de simulación (Figura 2), plantea dos validaciones y una verificación en todo el proceso. La *validación del modelo conceptual* se define como la determinación de que las teorías e hipótesis que sustentan el modelo conceptual son correctos y que la representación del modelo del problema es "razonable"

para la finalidad prevista del modelo. La *verificación del modelo computarizado* se define como la garantía de que la programación y la aplicación del modelo conceptual del ordenador son correctas. Por último, la *validación operacional* se define como la determinación de que el comportamiento de salida del modelo dispone de una gama satisfactoria de precisión para la finalidad prevista del modelo sobre el dominio de aplicación previsto del modelo.

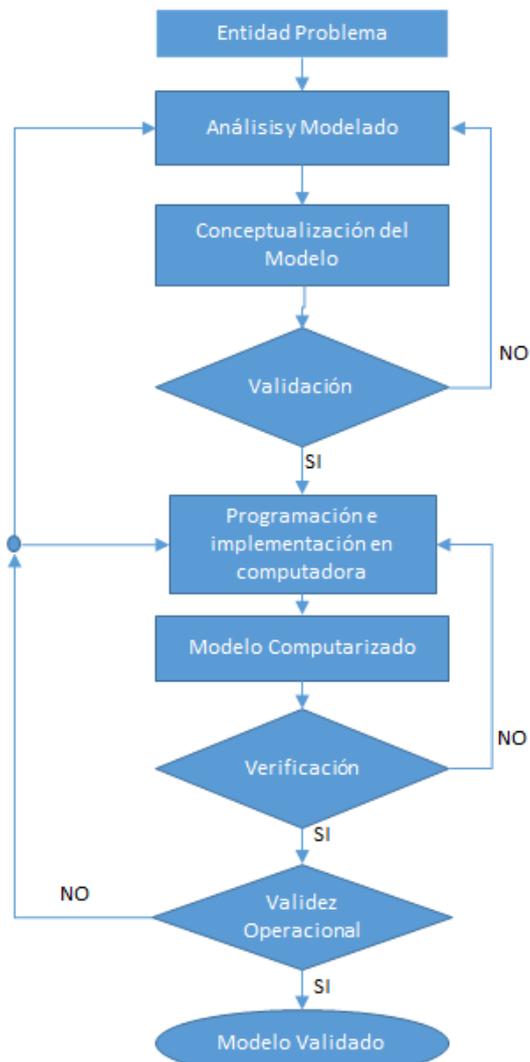


Figura 2. *Proceso interactivo de desarrollo de modelos sugerido por Sargent[7].*

Si bien, dentro de la metodología planteada por Sargent[7] (Figura 2) no se define un etapa de *validez de datos*, es considerado necesario para la construcción del modelo, la evaluación del mismo, la realización de los experimentos del modelo y pruebas para asegurar que sean adecuados y correctos (ver Figura 3)

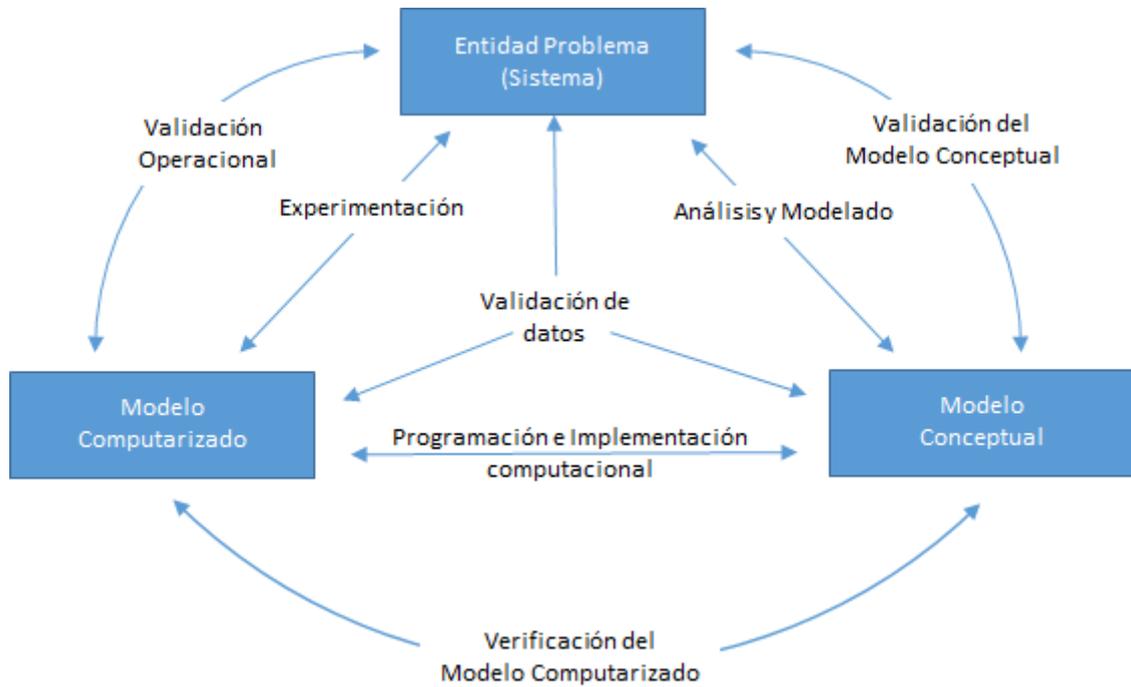


Figura 3. Versión simplificada del proceso de desarrollo de modelo

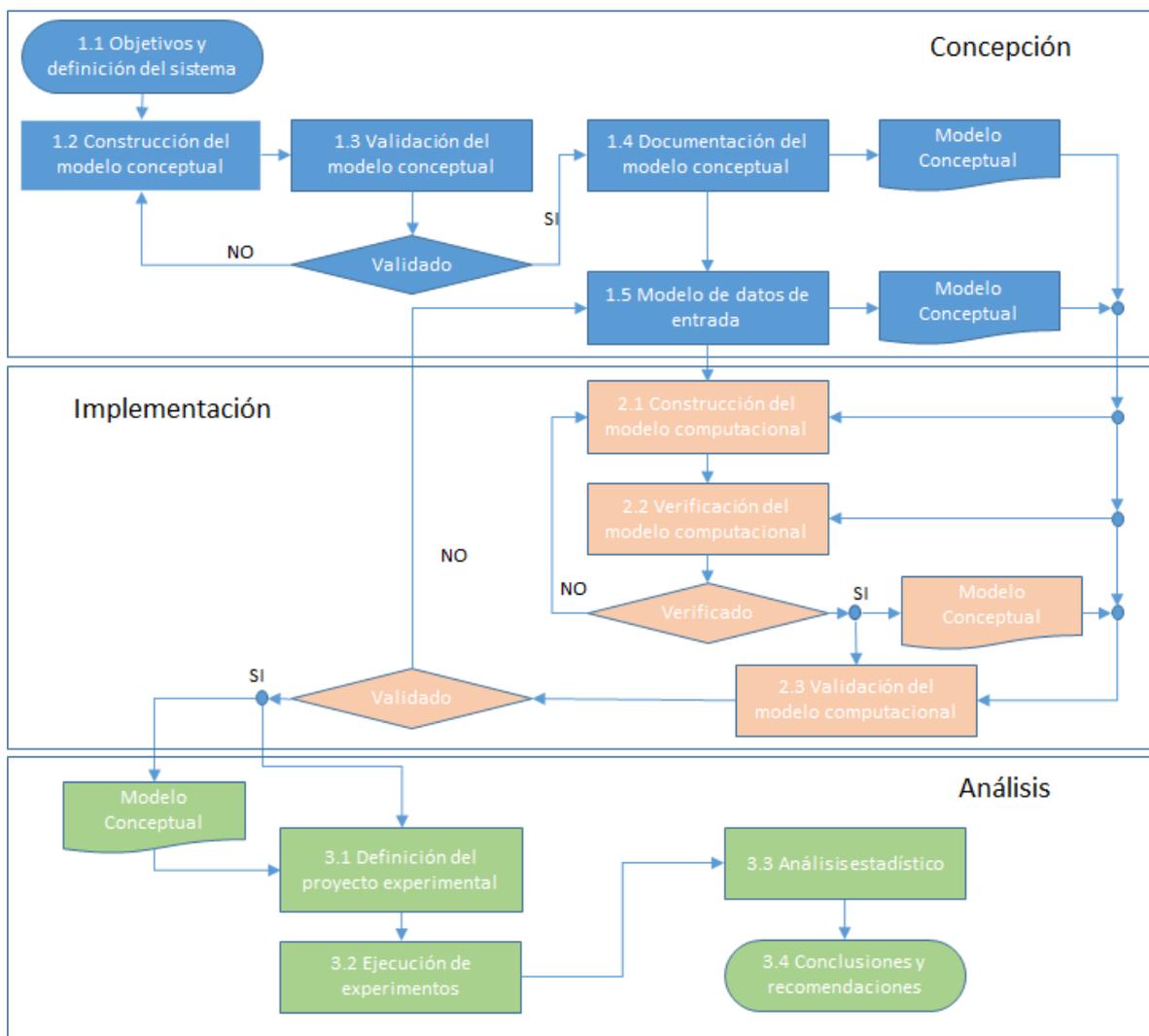


Figura 4. Método de conducción de investigación de simulación propuesta por Montevechio[8].

Modelo conceptual de validez es la determinación de que (1) las teorías e hipótesis que subyace en lo conceptual modelo son correctos y (2) la representación del modelo de la entidad problema y la estructura del modelo, lógicas y matemáticas y las relaciones son causales, "razonables", para la finalidad prevista del modelo.

Tabla 1. Etapas de V&V explícita o implícita dentro de la metodologías presentadas.

Metodología	Modelo conceptual	Modelo de datos	Modelo computacional
Banks	Validación implícita	Validación implícita	V&V explícito
Smith	Validación explícita	Validación implícita	V&V explícito
Montevechio	Validación explícita	Validado implícita	V&V explícito

Las teorías e hipótesis subyacentes en el modelo deben ser analizadas usando análisis matemático y métodos estadísticos sobre los datos de la entidad problema. Ejemplos de teorías e hipótesis son: linealidad, independencia de los datos y si los arribos siguen una distribución de Poisson. Ejemplos de métodos estadísticos aplicables de ajuste a las distribuciones de datos, la estimación de valores de los parámetros a partir de los datos y la extrapolación de los datos para determinar si los datos son estacionarios. Además, todas las teorías utilizadas deben ser revisadas para asegurarse de que se han aplicado correctamente.

Tabla 2. Preguntas orientativas a abordar en los procesos de verificación y validación.

Tipo de modelo	Verificación	Validación
Modelo conceptual		¿Contiene el modelo todos los elementos, sucesos, y relaciones relevantes? ¿Podrá el modelo responder a las cuestiones planteadas?
Modelo de datos	¿Son eventos discretos o continuos? ¿Están formuladas correctamente las medidas estadísticas? ¿Son correctas las formulaciones matemáticas y relaciones? ¿Están formulados correctamente los eventos?	¿Incluye el modelo todos los elementos considerados en el modelo conceptual? ¿Contiene todas las relaciones del modelo conceptual?
Modelo computacional	¿Están los eventos representados correctamente? ¿Son las fórmulas matemáticas y las relaciones correctas? ¿Están las medidas estadísticas formuladas correctamente? ¿Contiene el código todos los aspectos del modelo conceptual? ¿Están las estadísticas y las fórmulas calculadas correctamente? ¿Contiene el modelo errores de codificación?	¿Es el modelo una representación válida del sistema real? ¿Puede el modelo duplicar el comportamiento del sistema real? ¿Es creíble el modelo para los expertos del sistema?

Cada sub-modelo y el modelo general deben ser evaluados para determinar si son razonables y eventualmente corregirlo para la finalidad prevista del modelo. Esto debe incluir la determinación de si el detalle es el apropiado y si las relaciones globales se han utilizado para fines previstos para el modelo. Se han utilizado la estructura, lógica y matemáticas y las relaciones causales. Por lo general requiere examinar el diagrama de flujo o modelo gráfico o el conjunto de modelo ecuaciones [7].

3. DISCUSIÓN.

Como se observa en la metodologías mencionadas anteriormente cada autor ubica explícitamente la verificación y validación en diferentes etapas del proyecto de simulación. Sin embargo se observa que en general el proceso de V&V se encuentra en tres modelos distintos pero complementarios entre sí: modelo conceptual, modelo de datos y modelo computacional.

Si bien, para todos los autores es importante las etapas de V&V de dichos modelos, dependiendo del autor las tareas de validación y verificación se incorporan de manera explícita dentro de la metodología mencionada anteriormente (ver Tabla 1).

No existe un método único para verificar y validar el modelo de simulación y el proceso es más un arte que una ciencia [6]. Por esta razón se propone intentar sistematizar estas tareas mediante la realización de una serie de preguntas ejemplificadoras para cada tipo de modelo donde podemos resumir el papel que la verificación y la validación desempeñan en la simulación. En la Tabla 2 se presentan una serie de preguntas cuyas respuestas y análisis ofrecen una guía para llevar a cabo las tareas de V&V según sobre cuál de los modelos se esté trabajando.

Par responder a las respuestas a las preguntas de la Tabla 2 es posible aplicar herramientas del área de las matemáticas y la informática que permiten obtener una medida o indicador objetivo para que la etapa de verificación o validación se considere aceptable. En la Tabla 3 se mencionan algunas de las herramientas utilizadas para la verificación & Validación del modelo conceptual, modelo de datos y modelo computacional [10-12].

Tabla 3. Herramientas utilizadas en la V&V para cada modelo del proyecto de simulación.

Tipo de modelo	Herramientas
Modelo conceptual	Diagramas de flujo Gráficos Opinión del experto en el sistema. Relaciones matemáticas Redes de colas Redes petri UML (Unified Modeling Language) BPM (Business Process Modeling) IDEF-SIM (Integrated Definition Methods – Simulation)
Modelo de datos	Pruebas de Independencia Pruebas de Homogeneidad Pruebas de Bondad de Ajuste (Prueba de Chi-cuadrado o Prueba de kolmogorov smirnov) Análisis de regresión lineal
Modelo computacional	Opinión del experto del sistema Opinión del experto en simulación Herramientas estadísticas (intervalos de confianza, pruebas de comparación de medias, pruebas de comparación de distribuciones, etc) Análisis de sensibilidad Test de validación (continuidad, consistencia, Degeneración Condición absurda)

4. CONCLUSIONES.

A través de la revisión bibliográfica de las metodologías presentadas en la literatura, se observa que los autores formalizan de manera explícita o implícita las etapas de Verificación & Validación tanto de los modelos conceptuales, modelo de datos y modelo computacional. Los mismos coinciden en que dichas etapas son muy relevante al momento de demostrar la capacidad de la simulación para representar razonablemente el proceso real.

Si bien no hay un método único con el cual abordar las etapas de verificar y validar el modelo de simulación, la guía de preguntas planteadas en este documento permite visualizar rápidamente el objetivo de V&V de cada modelo. A su vez pone de manifiesto la necesidad de contar con normativas y estándares que permitan sistematizar las metodologías asociadas a las tareas de validación y verificación en el proceso de construcción de un proyecto de simulación de procesos industriales.

5. REFERENCIAS

- [1] Laudon K., J. Laudon J. (2012) "Sistemas de información gerencial". 12° Edición. Pearson Educación. Mexico.
- [2] Rutberg, M.H. , Wenczel, S. , Devaney, J. , Goldlust, E.J. and Day, T.E. (2015) "Incorporating discrete event simulation into quality improvement efforts in health care systems", *American Journal of Medical Quality* , Vol. 30 No. 1, pp. 31-35.
- [3] Harrington, H. J.; Tumay, K. (1999) "Simulation modeling models". McGraw Hill New York.. USA.
- [4] Belda, Carmen Fullana, and Elena Urquía Grande. (2009) "Los modelos de simulación: una herramienta multidisciplinar de investigación." *Encuentros multidisciplinares* 11.32 : 37-48.
- [5] Sargent Robert G. (2014) "Verifying and Validating simulation models" - Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference.
- [6] Jerry, Banks.(1984) *Discrete-event system simulation*. Pearson Education India,
- [7] Sargent, Robert G. (1996) "Verifying and validating simulation models." *Proceedings of the 28th conference on Winter simulation*. IEEE Computer Society.
- [8] Montevechi, José Arnaldo Barra. (2010). "Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company." *Proceedings of the Winter Simulation Conference*. Winter Simulation Conference, Brazilia - Brasil.
- [9] Morabito, R., and V. Pureza. "Modelagem e simulação." *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Rio de Janeiro: Elsevier. cap 8 (2010): 165-194.
- [10] Piera, Miquel Àngel.(2004) *Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Vol. 118. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.
- [11] Garavito, E. (2012) . "Tecnicas Modernas de Optimizacion". Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander UIS.
- [12] Herrera, Oscar Javier, and Luis Abraham Becerra. (2014)- "Diseño General de las Etapas de Simulación de Procesos con Énfasis en el Análisis de Entrada." Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014). Guayaquil, Ecuador.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer al Instituto de Industria de la Universidad Nacional de General Sarmiento.