

# Uso de la simulación en procesos de construcción

## Use of simulation in construction processes

Alejandro Ramón-Elizondo<sup>1</sup>, Róger Barboza-Arguedas<sup>2</sup>

*Fecha de recepción: 3 de febrero de 2019*

*Fecha de aceptación: 21 de mayo de 2019*

Alvarado-Madrigal, M; Chavarría-Quirós, T; Leiva-Montero, B; Mora-Román, J. Uso de la simulación en procesos de construcción. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32-4. Octubre-Diciembre 2019. Pág 145-157.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i4.4799>



- 1 Ingeniero Civil. Correo electrónico: a.ramon@ricsacr.com. Ramón Ingeniería y Construcción S.A. Costa Rica.  
 <https://orcid.org/0000-0002-2225-3880>
- 2 Ingeniero en Construcción. Ramón Ingeniería y Construcción S.A. Costa Rica. Correo electrónico: proyectos@ricsacr.com.  
 <https://orcid.org/0000-0002-5121-4792>

## Palabras clave

Procesos de construcción; operaciones de construcción; modelado; simulación; FlexSim.

## Resumen

En un entorno económico como el actual, las empresas de construcción deben procurar que los procesos que se desarrollan en sus proyectos se caractericen por altos rendimientos y desempeños operacionales, sean eficientes en cuando al uso de materiales, cuenten con altas tasas de productividad de los recursos físicos y humanos y lo hagan en un ambiente de riesgos controlados. En este artículo se exploran las estrategias y herramientas relacionadas con el modelado y la simulación de procesos que pueden ayudar a conseguir estos fines y otros relacionados.

Para lograr esto primero se aborda la conceptualización necesaria para entender la gestión de procesos orientada a resultados, enseguida se profundiza en los conceptos del modelado y la simulación, así como otros temas relacionados, abordando aquí el uso y las características mas sobresalientes de los programas informáticos de simulación, incluyendo las ventajas y desventajas de su uso. Se ahonda luego en la descripción del software FlexSim, explorando sus principales características y facilidades que ofrece para su uso y para el análisis de los resultados de las simulaciones.

Luego de lo anterior se incluyen apartados en los que se amplía estos temas realizando un estudio más detallado, particularizándolos para relacionarlos con los procesos de construcción y la utilización de escenarios y su importancia para la gestión de riesgos y la depuración y validación de modelos.

## Keywords

Construction processes; construction operations; modeling; simulation; FlexSim.

## Abstract

In an economic environment like the present, the construction companies should procure that the processes they develop in their projects are characterized by high yields and operational performance, efficiency in the use of materials, high rates of physical and human resource productivity, and manage to do it under a risk-controlled environment. In this article are explored the strategies and tools related with the modeling and simulation of processes, that can help to get these purposes and others related.

To achieve it, first, it is necessary to address the conceptualization required to understand results-oriented process management. Next, going further in the concepts of modeling and simulation, and in other related subjects, leading at this point the use and the most outstanding characteristics of the software of simulation, including the advantages and disadvantages of its purpose. Then, intensifying the description of the FlexSim software, exploring the main features and the ease that it offers for the usage as well as for the analysis of the outcomes of the simulations.

Finally, some sections are included to expand these themes, making a particular and more detailed study to relate them with the construction processes and scenarios, and their importance for risks management, debugging and validation of models.

## Introducción

La gestión efectiva de los proyectos de construcción debe incluir el análisis y mejoramiento de los procesos que los componen, ya que esto permite la incorporación de mejoras operacionales y de la de productividad en la ejecución de los distintos procesos.

La necesidad de las compañías de construcción de contar con sistemas que incluyan métodos para el modelado y simulación de procesos y operaciones se vuelve de esta manera evidente, sobre todo, si se añaden las virtudes que tienen estos modelos de permitir la gestión de la información y el conocimiento acumulado de cada procedimiento y de simular respuestas en distintos escenarios que responden a variaciones en las condiciones que intervienen en los proyectos. Todo lo que contribuye a la mejora del desempeño operacional y además permite que se aislen resultados no deseados antes de la implementación de los procesos en la realidad e incluyendo aspectos como el análisis de escenarios.

Con el progresivo desarrollo de la computación, la simulación en sistemas informáticos se ha convertido en una versátil herramienta que permite la experimentación, verificación y validación de procesos y que ha sido ampliamente probada en distintas aplicaciones de producción y de servicios, lo que valida su uso particular en los procesos de construcción.

Con el fin de fomentar el uso de la simulación de procesos de construcción, en este artículo se exponen las bases conceptuales para la implementación de sistemas modelado y simulación de procesos y operaciones de construcción. También se explora el uso de programas informáticos de simulación para la representación de procesos constructivos y el análisis de resultados que estos proveen en distintos escenarios

## Conceptos relativos a los procesos, modelado y la simulación

Un ciclo de gestión de procesos tiene como etapas características las fases de modelado, que se configura como una representación fiable de la realidad deseada, la de simulación, que trata de la construcción y evaluación de escenarios, la de emulación, en la que se introducen datos reales en los modelos y escenarios proyectados y la de implementación real de los procesos [1]. Para entender y afianzar conceptualmente la Gestión de Procesos y la Simulación, enseguida se anotan los conceptos relacionados con estos.

### Proceso

Un proceso es una transformación de entradas que se convierten en resultados de procesamiento o salidas. Si se dirige el enfoque más a los resultados que a las acciones, un proceso es mucho mas que una simple secuencia de actividades [1].

### Modelado o modelación

Un modelo es la representación de la realidad en términos de sus características, construido a partir de algunos parámetros que se consideren como más importantes, por tanto, modelar un proceso es representarlo por medio de los componentes que se consideren de mayor importancia. Es común que durante el modelado se recurra a diseños de componentes y sus relaciones, especificaciones, niveles de calidad y tolerancia y a la determinación de eventualidades que se pueden presentar en el proceso, así como a planes de acción y contingencia para contrarrestarlas [1].

## Simulación

El modelado puede implicar también la construcción de escenarios potenciales que puedan revelar situaciones que pudieran presentarse durante la ejecución del proceso. Estos escenarios surgen a partir de las simulaciones de variaciones en los valores normales de operación y de la verificación de los resultados y los impactos en curso, y pueden servir para tomar medidas correctivas previas a la implementación del proceso. La simulación es, por tanto, una evaluación de si las premisas del modelo funcionan según lo previsto, y una observación del comportamiento del proceso frente a la presencia de múltiples variables [1].

Si se considera en la definición de simulación su relación con recursos informáticos, habría que agregar que la simulación es el proceso de modelado computarizado de un sistema real con el fin de experimentar con escenarios numéricos que sirvan para entender el comportamiento de dichos los sistemas según distintos conjuntos de condiciones [2].

## Emulación

La emulación es una extensión de la simulación que permite incluir datos reales junto a los cálculos ya efectuados. Con esto se ayuda en la confirmación de hipótesis o el hallazgo de errores [1].

## Transformación

La transformación es el componente de los procesos que suscita los cambios, modifica las entradas del proceso y genera los resultados o valores [1].

## Conectores

Los conectores son los medios por lo cuales los valores y las transformaciones se asocian para que se de la generación de resultados [1].

## Puertas lógicas

Las puertas lógicas son componentes que sirven para representar que es necesario de que dos o más entradas estén disponibles para que ocurra una transformación, para recalcar que la salida de una transformación generó dos o más resultados o para simbolizar la posibilidad de que la transformación ocurra cuando está disponible sólo una de varias entradas [1].

## Roles

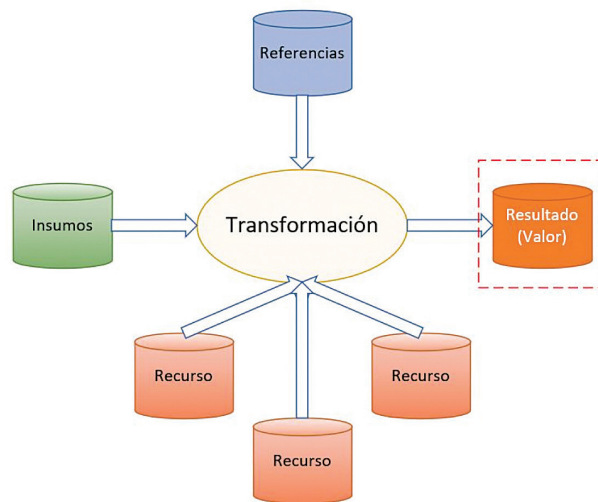
En los procesos un resultado generado por una salida puede convertirse en entrada para otra parte del proceso. Por otro lado, no todas las entradas que contribuyen a la generación de un resultado tienen el mismo rol en la transformación, así, las entradas de un proceso que se transforman en un resultado se conocen como insumos, las entradas que orientan la transformación se denominan referencias y los elementos del proceso que son total o parcialmente consumidos en las transformaciones se designan como recursos [1].

## Modelado

La intención del modelado es la de generar un modelo de procesos y operaciones que refleje de manera fiable la realidad, por tanto para iniciar se debe partir de la definición del objetivo que se busca al modelar el proceso. Ahora bien, teniendo en cuenta que es normal que en las organizaciones lo que se busca con estos procedimientos es la generación de valor, entregar mejores productos y servicios, generar satisfacción en los interesados y garantizar la aceptación de las entregas, se hace claro que la mejor alternativa para el planteamiento del modelado es la

de comenzar por los resultados y definir en concordancia los objetivos. Ya que las salidas de un proceso están asociadas a los resultados que genera, se hace entonces claro que el inicio de un modelado debe arrancar con la identificación de los resultados que el proceso debe generar.

En la figura 1 se establece la configuración un proceso de un proceso típico, en esta se resalta el elemento por el cual se debe iniciar el modelado, que es el o los resultados finales (valores) [1].



**Figura 1.** Configuración de un proceso típico, adaptado de [1].

Los resultados proyectados pueden provenir de normas, planos, especificaciones, planes estratégicos, objetivos prioritarios, las necesidades y expectativas de los interesados y otros documentos que señalen lo que se espera del proceso modelado. Una vez se tienen identificados los resultados esperados se debe describir la calidad requerida para estos resultados, esto garantiza una verificación permanente de la adecuación de lo que el proceso genera [1].

### Transformación de las entradas en salidas

La descripción de las transformaciones debe contener como información fundamental la definición de la calidad que se espera al recibir cada uno de los componentes y esto se debe repetir para cada entrada del proceso: insumos, referencias y recursos. Siguiendo esta lógica, sólo se debe conectar las entradas con las salidas a través de las transformaciones, si todos los requisitos de calidad y los criterios de aceptación se ajustan, reflejando así el modelo una cadena de valor [1].

A partir de lo anterior, si los resultados y sus interacciones están bien identificados y especificados y si se tiene una apropiada descripción de la calidad de lo que va a generarse, se disminuye la posibilidad de que ocurra alguna condición no prevista [1].

### Condiciones y acciones

Durante la ejecución del proceso se puede descubrir la existencia de algunas condiciones que exigirán tomar ciertas acciones para garantizar la concordancia de los resultados. Pueden ocurrir algunas condiciones del contexto, que si se detectan a tiempo, permiten evitar grandes trastornos sobre el trabajo. Los planes de acción pueden incluir contingencias y otros detalles, como la definición de responsables, que mejoran sustancialmente el conocimiento del proceso

y documentan la toma de decisiones antes de la ocurrencia de ocurrencia de algún hecho, lo que ayuda en la gestión de riesgos y de oportunidades derivados de cambios contextuales [1].

### Actividades

La descripción de las actividades debe incluir los pasos necesarios para producir resultados con la calidad descrita y las características mencionadas en el proceso. Describir actividades, conociendo los demás componentes y requisitos del proceso permite registrar todo el conocimiento asociado en el momento del modelado y no sólo un conjunto de etapas o tareas [1].

### Simulación

La simulación es la manera como se aproxima el modelo a la realidad que se busca representar. Para lograr esto se puede recurrir a una serie de modelos de simulación agrupados en varias clasificaciones, sin embargo, para el desarrollo de este artículo solo interesan los que se agrupan dentro de la clasificación de modelos discretos. Esta clasificación obedece al tipo de variable que se utiliza, la cual se limita solo a algunos valores específicos definidos por la presencia o ausencia de algún atributo, lo que es lo mismo, se orienta a un conjunto finito de valores [3].

De acuerdo con [4] los modelos de simulación de variable discreta presentan las siguientes características:

- Por su naturaleza de variable discreta se favorece la simulación de procesos de manufactura.
- Los sistemas informáticos de simulación creados siguiendo este modelo incluyen interfaces gráficas de usuario, animación y salidas reunidas automáticamente para medir el desempeño del sistema.
- Los resultados son desplegados en forma gráfica o tabular, son observables mientras corre la simulación y se pueden generar reportes a partir de estos.
- El análisis estadístico incluye intervalos de confianza para la medición del desempeño y su comparación.

Ahora bien, no para todos los sistemas o situaciones reales es viable aplicar una simulación, ya que dependerá de la conveniencia de invertir los recursos necesarios (tiempo y dinero) en su desarrollo. Aquellas situaciones que por su simplicidad no requieren una simulación o que por su complejidad demandarían una gran cantidad de recursos, no es conveniente simularlas [3].

En [2] se establecen algunas de condiciones específicas en las que es adecuada la simulación:

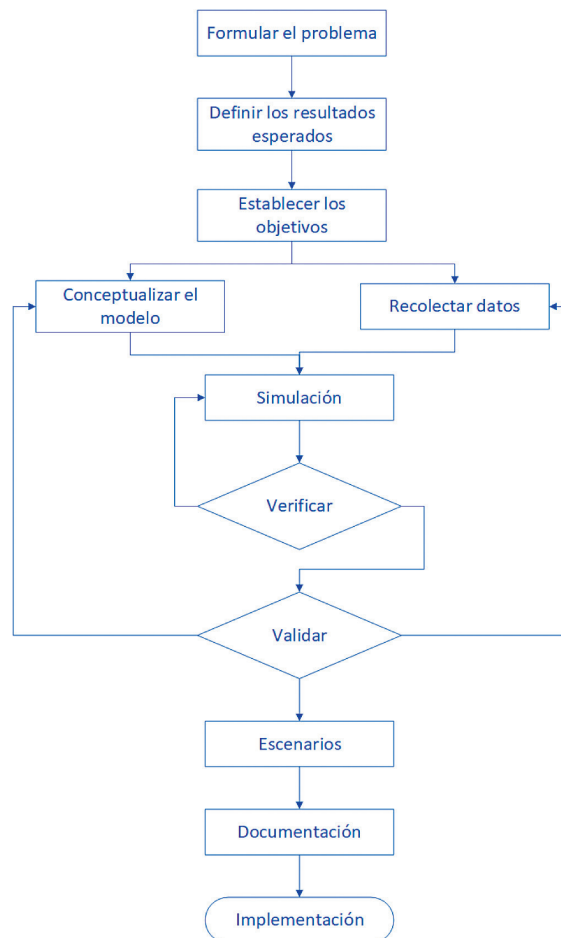
- Experimentación o procesos difíciles de observar o muy caros de realizar en sistemas reales.
- Problemas en los cuales el modelo matemático puede ser formulado pero las soluciones analíticas son demasiado complicadas.
- Si la validación del modelo matemático que describe el sistema resulta extremadamente cara de implementar.

### Procedimiento de simulación

Si las condiciones son propicias para llevar a cabo una simulación en [2] se propone la siguiente secuencia de desarrollo:

- Identificar el problema.
- Formular el problema.
- Recolectar y procesar los datos del sistema real.
- Formular y desarrollar el modelo.
- Llevar a cabo el modelado.
- Documentar el modelo.
- Seleccionar el diseño del experimento.
- Establecer las condiciones experimentales para la simulación.
- Correr la simulación.
- Interpretar y presentar los resultados.
- Proponer cursos de acción.

Por otro lado en [5] se proponen los pasos que se muestran en el diagrama de flujo de la figura 2 para la creación de un modelo de simulación. En este diagrama fue adaptado y se introdujo el paso de la definición de los resultados esperados, como una etapa primordial propuesta por la gestión de procesos basada en resultados.



**Figura 2.** Pasos para la creación de un modelo de simulación, adaptado de [5].

### Ventajas y desventajas del uso de la simulación

De acuerdo con [5] dentro de las principales ventajas de elaborar modelos de simulación se encuentran:

- Permite evaluar todos los aspectos para la toma de decisiones necesarios para apreciar el impacto de los cambios o adiciones antes de implementar un sistema.
- Facilita el explorar nuevas políticas y procedimientos sin interrumpir la operación de los procesos del sistema real.
- Logra presentar un proceso en la escala de tiempo que se requiera, acelerando o disminuyendo su marcha y obteniendo información más o menos detallada según se necesite.
- El análisis de resultados y condiciones permite dilucidar el origen de algunas situaciones.
- Con un modelo válido de simulación se pueden explorar diferentes posibilidades de comportamiento de un sistema.
- Hace factible diagnosticar problemas presentes en los procesos de producción.
- Puede poner de manifiesto en qué proceso se produce una demora del sistema.
- Identifica restricciones o cuellos de botella en un proceso.
- Visualiza el plan de trabajo.
- Ofrece un punto de vista objetivo y racional para la propuesta de cambios y prepara los procesos para estos cambios.
- La inversión resulta más baja con relación a los costos de implementación de los cambios.
- Ayuda en la obtención de requerimientos específicos de un sistema.

Dentro de las posibles desventajas de utilizar la simulación en [2] se refieren a las siguientes:

- En situaciones complejas requiere equipo costoso y la obtención de los resultados puede tomar un tiempo considerable.
- Por ser una aproximación del sistema real no genera necesariamente las soluciones óptimas para los problemas.
- El usuario debe generar las condiciones y restricciones.
- Se requiere de equipo informático, software especializado y del conocimiento y entrenamiento necesarios para poder aplicarlo.
- Por ser un enfoque iterativo de ensayo y error puede generar diferentes soluciones.

Los sistemas de simulación son medios para producir una aproximación de la realidad, pero no para reemplazarla, de aquí que será conveniente su utilización si se hace de manera adecuada y conociendo sus limitaciones y particularidades [2].

### Software de simulación de procesos

Los programas informáticos de simulación permiten resolver procesos cuyo análisis por medio de métodos tradicionales resulta muy complejo. Gracias al uso de estos sistemas se construyen modelos que permiten imitar el desarrollo de los procesos en la realidad, agregando el beneficio de que la repetición de la simulación faculta para reunir un número importante de observaciones sobre el comportamiento del proceso, a partir de las cuales, mediante técnicas de análisis estadístico y probabilístico, es posible reunir información y conclusiones sobre el funcionamiento del sistema real [6].



En la actualidad existen comercialmente una variedad importante de programas informáticos de simulación y virtualización de procesos, que resultan sencillos e intuitivos en su utilización. Algunos programas incluyen inclusive simulación animada en 3D, lo que agrega una mejor comprensión de los procesos. Dentro de estas herramientas informáticas de simulación se encuentran Anylogic, Arena, ProModel, Flexsim, IndustrySim, Simio y muchas otras de uso general y de uso más específico para ciertas industrias [6].

Para conocer las características principales de los programas de simulación modernos se realizará la revisión de las propiedades principales del software FlexSim, ya que este puede resultar versátil para la simulación de procesos y operaciones de construcción.

FlexSim es un software con un ambiente orientado a objetos con animación 3D en la visualización de los modelos, permite el modelado y simulación de actividades y procesos de sistemas de producción sin la necesidad de programaciones especializadas. Utiliza objetos parametrizados que representan, entre otros, procesos, transportes y colas, teniendo cada objeto localización en el espacio, velocidad, rotación y un comportamiento específico [7].

El software permite además la inclusión de escenarios del tipo ¿qué pasa sí? que corren automáticamente guardando los resultados en forma tabular, gráficos y reportes. Se puede analizar el desempeño de cada escenario mediante la utilización de una serie de indicadores y variables definidos por el usuario [8].

Para [9] las siguientes características justifican el uso de FlexSim para la simulación de procesos:

- Es un software orientado a objetos lo que permite una mejor visualización del flujo del proceso.
- La interfaz gráfica de usuario facilita y posibilita la optimización del sistema simulado.
- Posee un entorno realista y ambiente 3D que aporta a la comprensión del proceso.
- Permite importar objetos y archivos desde programas como: AutoCAD, SketchUP, SolidWorks, Excel y otros.
- Permite la simulación de sistemas discretos y de sistemas combinados continuos-discretos.
- Facilita el programar escenarios y condiciones variadas.
- Utiliza distribuciones de probabilidad que pueden ser representadas con gran precisión.
- La visualización de resultados posee una gran calidad ya que utiliza tablas, gráficos y reportes con estadísticas variadas.
- Su aplicación se puede adaptar para diferentes campos como el de salud, logística, manufactura, construcción, minería, servicios y muchos otros.

## **Modelado y simulación en las operaciones de construcción**

Para un mejor entendimiento del modelado y simulación de las operaciones de construcción se recurre a la ejemplificación de la metodología por medio de un caso sencillo. Se describe el modelado y simulación de un proceso típico de los proyectos de construcción, un movimiento de tierras, para esto se realiza el análisis, modelado y la definición de las variables del proceso. La descripción incluye las etapas que se deben seguir para el modelado de las operaciones que componen el movimiento tierras.

Se tiene que anotar que aunque el ejemplo se trata de un proceso muy sencillo, esto no disminuye los alcances que ofrece el modelado y posterior simulación de procesos de construcción, ya que se pueden desarrollar análisis mucho más complejos por medio de estos procedimientos [10].

## Modelado

En [10] se recomienda la definición de un modelado de procesos de construcción siguiendo estas etapas:

- Definición del proceso a modelar.
- Identificación de los insumos, recursos y unidades de flujo más importantes.
- Identificación de todos los estados posibles de las unidades de flujo (productivo, contributivo, no productivo).
- Identificación de los ciclos individuales de los recursos.
- Integración de los ciclos individuales de los recursos antes definidos.
- Ubicación de los recursos.
- Determinación de la duración de las actividades.
- Validación y verificación del modelo.

Siguiendo estas recomendaciones se contemplan la utilización de recursos que comprenden un cargador y vagonetas que cumplen con procesos cíclicos de acopio, carga, viaje para descarga, descarga y viaje para carga. Las dos últimas etapas de la lista anterior son más factibles de ser incorporadas en la simulación informática del proceso y en la simulación de escenarios, que se esbozan seguido de este apartado.

Los elementos del flujo del proceso incluyen: suelo en sitio de excavación, suelo excavándose y acopiándose, suelo cargándose en las vagonetas, suelo cargado en las vagonetas, suelo transportado hacia sitio de descarga y suelo descargándose [10].

El modelado del proceso incluye las operaciones individuales del cargador y las vagonetas que posteriormente serán combinadas en un ciclo relacionado. Se identificaron ciclos que delimitan sus movimientos, para el cargador el ciclo es el que describe en la figura 3 y para las vagonetas el que describe en la figura. 4. Los ciclos relacionados combinados se muestran en la figura 5.

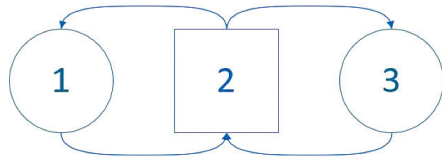
## Simulación

A partir del modelado se definen los subprocesos, los insumos, recursos y unidades de flujo necesarios y se han identificado los ciclos de los recursos. Para la simulación se hace necesario determinar además la duración de las actividades, las cantidades que se manejarán en las etapas distintas de los ciclos, estimar la disponibilidad de los insumos y recursos, estimar las velocidades, los tiempos de transporte y espera o la distribución en que se presentan y definir las condiciones y restricciones que afectan el proceso [11].

Está más allá del alcance de este artículo el mostrar la programación de la simulación en el software y la obtención y análisis de resultados, por lo que únicamente se presenta gráficamente en la figura 6 su inclusión en el programa FlexSim, que muestra los mismos ciclos relacionados definidos en el modelado.

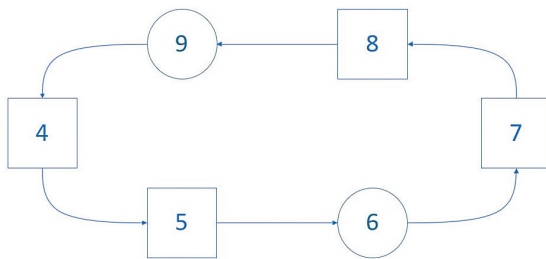
## Escenarios

La simulación de escenarios permite anticipar situaciones con posibilidad de presentarse cuando el proceso esté en funcionamiento, lo que posibilita validar el modelo que se elaboró y tomar las debidas medidas correctivas con anticipación a la implementación [1].



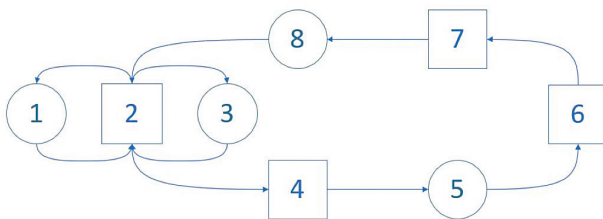
1. Cargador disponible.
2. Cargador llenando la vagoneta.
3. Material acopiado para ser cargado.

**Figura 3.** Ciclo del cargador, adaptado de [10].



4. Vagoneta siendo cargada.
5. Viaje de la vagoneta para descargar.
6. Vagoneta esperando para descargar.
7. Vagoneta descargando.
8. Viaje de la vagoneta para cargar.
9. Vagoneta esperando para ser cargada.

**Figura 4.** Ciclo de las vagonetas, adaptado de [10].



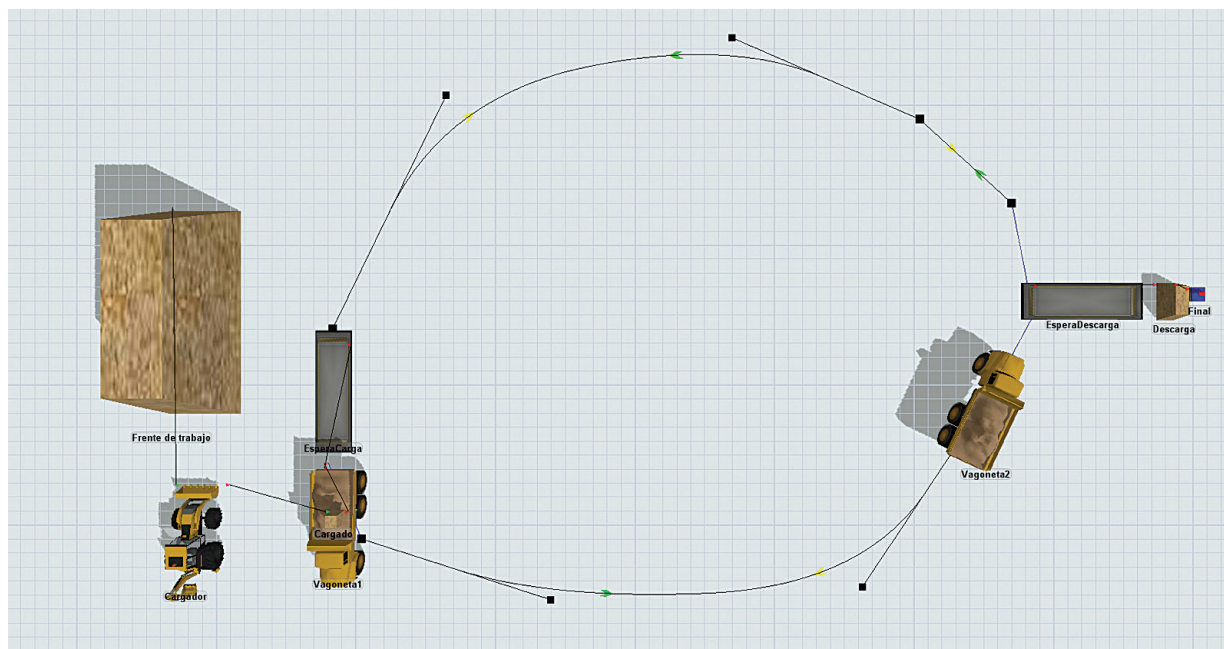
1. Cargador disponible.
2. Cargador llenando la vagoneta.
3. Material acopiado para ser cargado.
4. Viaje de la vagoneta para descargar.
5. Vagoneta esperando para descargar.
6. Vagoneta descargando.
7. Viaje de la vagoneta para cargar.
8. Vagoneta esperando para ser cargada.

**Figura 5.** Ciclo combinado, adaptado de [10].

Siguiendo con el ejemplo tratado, con el fin de realizar análisis ¿qué pasa sí? del proceso, se pueden plantear diferentes escenarios que tiene posibilidad a ocurrir, como incluir tiempos de excavación superiores a lo estimado inicialmente por condiciones particulares del suelo a excavar, excavación en suelo saturado, excavación en suelo no saturado, inclusión de tiempos por salida de maquinaria por reparaciones y otros. Para finalizar es factible realizar una combinación de los escenarios para simular la condición más crítica que puede afectar al proceso [12].

## Conclusiones

Para realizar un correcto modelado de procesos se debe partir del resultado o valor a ser generado y enseguida identificar los elementos más importantes para su correcta implementación. Se debe definir también la calidad que se espera que presente el resultado y las condiciones en las que el proceso será eventualmente ejecutado.



**Figura 6.** Representación gráfica de la simulación del ejemplo en FlexSim.

Para lograr la calidad establecida en los resultados se debe extender su definición para abarcar no solo las salidas del proceso, si no, todas las entradas que incluyen los insumos, las referencias y los recursos.

El uso de la simulación de procesos puede mejorar la eficiencia y el desempeño operacional, ya que gracias a la simulación es posible adelantar decisiones sobre probables cambios a efectuar en los procesos, efecto de situaciones indeseadas o el efecto de múltiples variables mucho antes de su implementación en la realidad.

Una buena gestión de los procesos debe ocuparse de minimizar los riesgos asociados a estos. Esto se puede lograr con el uso de simulaciones y escenarios que logren una representación cercana a realidad, la verificación de algún efecto adverso durante la implementación de los procesos, la falta de algún componente vital o cualquier otro tipo de trastorno o situación emergente que perjudique los procesos y las operaciones del proyecto.

## Referencias

- [1] B. Palvarini y C. Quezado. *Gestión de Procesos Orientada a los Resultados*. Brasilia, Brasil: Vertysys, 2013.
- [2] J. Cantú, M. Guardado y J. Balderas. "Simulación de procesos, una perspectiva en pro del desempeño operacional", *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*. no. 4, pp. 1-21, enero-junio 2016.
- [3] B. Render, R. Stair y M. Hanna. *Métodos Cuantitativos para los Negocios*. México D.F., México: Pearson Education, 2012.
- [4] D. Möller. *Introduction to Transportation Analysis, Modeling and Simulation*. Londres, Inglaterra: Springer, 2014.
- [5] J. Banks, J. Carson, B. Nelson y D. Nicol. *Discrete-Event System Simulation*. New Jersey, EE. UU.: Prentice Hall, 2005.
- [6] Xunta de Galicia. "Oportunidades de la Industria 4.0 en Galicia" en Estado del Arte en Modelización, Simulación y Virtualización de Procesos. Santiago de Compostela, España: 2017, pp. 2 - 34.
- [7] I. Simón. *Un Primer Paso a la Simulación con FlexSim*. Madrid, España: FlexSim Iberia, 2016.

- [8] D. Casadiego. *Guía de Usuario para el Modelamiento y Análisis con el Software FlexSim*. Cúcuta, Colombia: Universidad Francisco de Paula Santander, 2015.
- [9] I. Simón, F. Santana, R. Granillo y V. Piedra. “La simulación con FlexSim, una fuente alternativa para la toma de decisiones en las operaciones de un sistema híbrido”, *Científica*, vol.17, no. 1, pp. 39-49, enero-marzo 2013.
- [10] R. Verbal y A. Serpell. “Modelación y simulación de operaciones de construcción”, *Revista Ingeniería de Construcción*, pp.1-19, julio-diciembre 1992.
- [11] M. Verdecho, J. Alfaro y D. Pérez. *Ejercicios Resueltos Mediante el Software FlexSim*. Valencia: Universitat Politècnica, 2011.
- [12] A. Gómez. “Simulación de procesos constructivos”, *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 25, no. 1, pp. 121-141, abril 2010.