

Rubén FAÚNDEZ

Estudiante Magíster en Ciencias de la Ingeniería,
Pontificia Universidad Católica de Chile.
refaunde@uc.cl

Paz ARROYO

Estudiante Magíster en Ciencias de la Ingeniería,
Pontificia Universidad Católica de Chile. pyarroyo@uc.cl

Luís F. ALARCÓN

Profesor de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad
Católica de Chile. Director del Centro de Excelencia en
Gestión de Producción de la Universidad Católica de
Chile - lalarcon@ing.puc.cl

RESUMEN

Las aplicaciones de simulación tienden a ser cada vez más cercanas a usuarios e industrias. Sin embargo, muchas de ellas no poseen ni la capacidad ni el conocimiento como para desarrollar internamente sus modelos de simulación. Por este motivo, y como una forma de apoyar la toma de decisiones basándose en modelos de simulación, se presenta la plataforma SOL (Simulación On Line). La metodología completa de trabajo, así como la interacción entre SOL, Empresa y Asesor, son presentadas. Su base de datos, los niveles de usuarios, sus funcionalidades, y la creación automatizada de información gráfica y visual, también son explicadas. En el caso de aplicación, el uso de SOL para apoyar la toma de decisiones en una operación de movimiento de material, permite a los tomadores de decisión acceder a análisis robustos basados en información extraída de los modelos de simulación. SOL, al almacenar información, funcionar vía web, generar análisis automatizados y crear visualizaciones, permite cumplir con las expectativas de los usuarios respecto a una solución integral en simulación.

Palabras claves: Simulación, Aplicaciones Web, Tecnología de la información en construcción (TIC).

ABSTRACT

The applications of simulation are becoming closer to users and industries. However, many of them don't have the capacity neither the knowledge to develop their simulation models in house. For this reason, and as a way to promote the use of simulation models for decisions making the authors have developed a web based platform called Simulation on Line (SOL). The paper introduces the complete work methodology, as well as the forms of interaction between SOL, company and consultant. Its data base, the user levels, its functionalities, and the automated creation of graphical and visual information, is also explained. An earthworks case study is used to explain how SOL can support decision making in complex operation, helping decision makers in performing robust analyses using simulation models developed using the web platform. SOL functionalities, for storing information, developing models via Web, generating automated analyses and creating visualizations, fulfill the users expectations regarding an integral simulation solution.

Key-words: Simulation Application Web, Information Building Technology.

1 INTRODUCCIÓN

¡Me la juego!, ¡Esta es mi decisión! ¿O no? Espero mostrar seguridad, pero cruzo los dedos para apuntarle.

La toma de decisiones importantes es siempre una tarea compleja. No es fácil decidir en proyectos con múltiples tareas, todas condicionadas entre sí, con un sin número de secuencias y restricciones, y recursos de elevado costo. Día tras día; gerentes de operaciones y encargados de proyectos tomando decisiones en base a la intuición.

Sin embargo, rubros como la manufactura, las telecomunicaciones, los servicios, y el transporte aplican una interesante técnica denominada “simulación estocástica” que les ha permitido dejar atrás la intuición. En efecto, esta técnica permite representar computacionalmente un sistema productivo para experimentar, incorporar variabilidad, y obtener información relevante para la toma de decisiones. Las reglas de operación, recursos y entidades que están presentes en el sistema real se plasman en un modelo estocástico. Es que los algoritmos de simulación permiten evaluar las operaciones sin intervenirlas, estudiar en profundidad la lógica de las operaciones, y ser una alternativa real a modelos matemáticos complejos. Según la experiencia de GEPUC (Centro de Excelencia en Gestión de la Producción de la Pontificia Universidad Católica de Chile), la utilización de modelos de simulación en la industria de la construcción tiene altos beneficios potenciales en términos de reducción de plazos y costos.

El mecanismo tradicional para la aplicación de estos estudios, contempla la captura de datos de terreno y la comprensión del sistema productivo. Toda esta información es llevada al computador, para finalmente recibir un informe con los resultados y conclusiones del estudio. Este mecanismo se repitió por largos años. Actualmente, los avances computacionales y el acceso masivo a Internet, han permitido diversificar y ampliar el espectro para las aplicaciones de simulación (Halpin, Jen y Kim, 2003).

Plataformas de acceso remoto, indexadas a algún modelo en particular o a modelos generales, se han usado en el rubro de la construcción y las telecomunicaciones. (Kim, 2000; Saltzman y Mehrotra, 2004). Ellas han facilitado que usuarios inexpertos en simulación, accedan a información de calidad superior para tomar sus decisiones. La utilización de sistemas remotos de simulación, es una fuente imparable de ahorro para muchas empresas, pues evita costos de aprendizajes, de recursos humanos, y de licencias, los cuales, no siempre están dispuestos a asumir. Una forma de seguir acercando la simulación a industrias y usuarios es generar plataformas de acceso remoto basadas en los requerimientos particulares de los usuarios. Para lograrlo, se propone un sistema remoto, al cual los usuarios tengan acceso a la información de sus modelos vía web.

2 HACIA UN SISTEMA INTEGRAL EN SIMULACIÓN

En el rubro de la construcción, cada una de las variables que se deben manejar eficientemente (seguridad, recursos, plazos, costos, abastecimiento, contratación, etc.) genera abundante información. Si esta información es producida por muchas fuentes y por muchos niveles de abstracción y detalle, contribuye a la fragmentación de la industria (Froese, Rankin y Yu, 1997). Por tal motivo, un

sistema con memoria, que recolecte ordenadamente la información, y que sea de fácil recuperación, permitirá una mejor integración entre las especialidades participantes. Si esta aplicación es remota, el acceso se facilita, permitiendo a múltiples usuarios acceder a la misma fuente informativa. El trabajo colaborativo se potencia al contar con una herramienta común, donde cualquiera de los usuarios pueda ingresar información. Si este esquema de trabajo contempla un historial de información, asociada a modelos, el sistema, a parte de servir para el análisis de operaciones, se transforma en un apoyo a la gestión de la información.

Obtener información rápida y confiable, es la base para tomar buenas decisiones. En esta línea, un sistema basado en análisis profundos de las operaciones que genere información de calidad, se transforma en un sistema confiable. El tiempo de respuesta debe ser otra de las preocupaciones del sistema. Automatizar la manipulación de los datos, permite ahorrar tiempo y recursos (Banks et al., 2003). La generación automatizada de comparaciones entre escenarios permite la rápida comunicación de las decisiones.

La información grafica y visual es un apoyo directo a la transparencia. De acuerdo a Stalk y Hout (1990) la transparencia se logra al “hacer visible y comprensible el principal flujo de la operación para todos los empleados”. Cuando una información es capaz de penetrar los diferentes estratos de la organización, llegando a cualquier persona independiente de la posición jerárquica y nivel educacional que posea, se dice que la información es transparente. En base a tales conceptos, los sistemas que muestran comparaciones gráficas y visualizaciones, se transforman en sistemas altamente robustos. Comunicar lo que ocurre internamente en los modelos, es especialmente útil para aquellos que no poseen conocimientos acabados en simulación y que, sin embargo, son los que finalmente deben tomar las decisiones. Según Kamat y Martínez (2001) estas persona, por lo general no tienen ni el entrenamiento ni el tiempo para hacer una revisión de un modelo basada solamente en información numérica.

Así, un sistema basado en los requerimientos de los usuarios, automatizado, altamente flexible, con capacidad para almacenar datos y con la ventaja de mostrar información gráfica y visual, permite integrar a las personas en base a información común de trabajo.

3 EL SISTEMA SOL

El objetivo del sistema propuesto es proveer a los usuarios un servicio completo en simulación. Para ello, SOL se divide en tres áreas fundamentales.

La primera es la plataforma de Simulación On-Line (SOL). Ella permite que los usuarios que no tienen conocimiento en simulación de operaciones, pero que son los encargados de las operaciones, puedan tener un acceso fácil y amigable a los modelos de simulación, pudiendo tomar decisiones con mayor información. Gracias a SOL, no se requiere que los usuarios tengan la necesidad de comprar software, ni adquirir conocimientos profundos en simulación, pues esa es tarea de los expertos en simulación. Con el uso de la plataforma SOL, la comunicación entre los usuarios (presentados como “empresa” en la figura 1) y los expertos (presentados como “asesor” en la figura 1), se hace más expedita.

La segunda área desarrollada, es una base de datos dinámica que permite almacenar los archivos, modelos, experimentos y análisis relacionados con el proyecto. Minutas de reuniones, descripción del problema, descripción de la solución y diagramas de flujo del modelo pueden manejarse de una forma ordenada gracias a la base de datos. Los diversos índices, velocidades, rendimientos, etc. pueden reutilizarse en proyectos futuros.

La tercera área desarrollada, es la visualización. Ella permite un fácil y rápido entendimiento del modelo. Permite verificar, validar, transparentar y comunicar el modelo. La visualización se genera automáticamente en SOL al crear un experimento.

Considerando las herramientas mencionadas anteriormente se propone el funcionamiento global del sistema: se parte con la comprensión del proceso y la recolección de la información, en la que participan tanto los asesores como la empresa; luego la construcción del modelo y verificación de éste por parte del asesor; a continuación se construye la visualización y se valida el modelo; posteriormente se conecta el modelo a la plataforma, para permitir la creación de experimentos y análisis ya sea del asesor o la empresa y; finalmente, se procede a la elección de alternativas y la implementación de éstas por parte de la empresa. El funcionamiento global del sistema se explica en la figura 1. En ella, las líneas completas representan participación de la empresa o del asesor en cada una de las etapas, y las líneas punteadas representan la secuencia entre etapas.

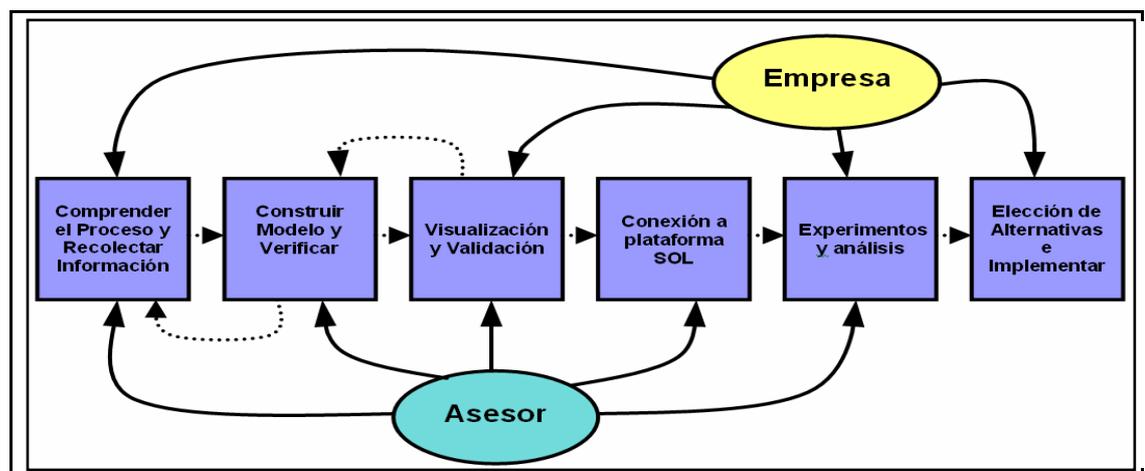


Figura 1 - Funcionamiento global de SOL.

Para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, los proyectos deberán tener un problema definido a simular que absorba al tomador de decisión, que sea intensivo en el uso de recursos, y que sea complejo de resolver por métodos tradicionales.

3.1 Plataforma SOL

La plataforma SOL fue diseñada para que los asesores puedan ingresar modelos pertenecientes a cualquier área productiva, permitiéndosele al usuario modificar libremente aquellos parámetros que controlan el sistema a estudiar. Para entender

mejor el funcionamiento de SOL, se explica como se divide la estructura de la plataforma, los diferentes tipos de usuarios, y sus funcionalidades.

La estructura de la plataforma se basa en diferentes niveles (figura 2). Cada empresa, puede tener varios proyectos en los cuales requiere utilizar simulación. Estos proyectos pueden tener varios modelos asociados, ya sea de distintas etapas o de diferentes configuraciones. En los modelos, se pueden variar recursos, rendimientos, velocidades, índices, etc... Cada combinación de parámetros genera una nueva configuración del sistema. A esto, SOL le llama "experimento". Los índices de desempeño (plazos, costos, tasas de producción, etc...) se despliegan automáticamente para cada experimento simulado. SOL recolecta la información y permite desplegar gráficamente los resultados de múltiples experimentos. A una agrupación de experimentos, SOL le llama "análisis". Estos permiten evaluar distintas alternativas de operación.

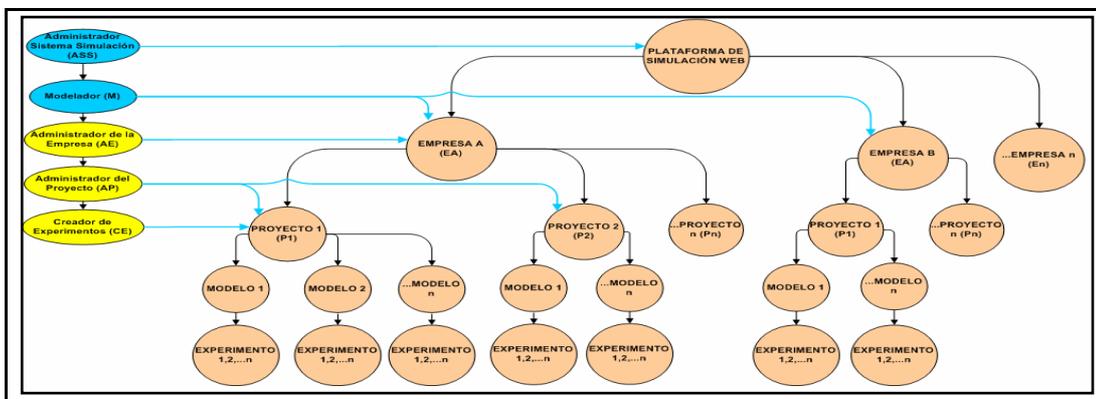


Figura 2 - Relación entre niveles de la plataforma SOL, y tipos de usuarios.

Cada uno de los niveles que estructuran la plataforma, se relaciona a algún usuario. Los diferentes tipos de usuarios se observan el extremo izquierdo de la figura 2. Estos se dividen principalmente entre los usuarios de la empresa, que expertos en construcción y no expertos en simulación (Creador de Experimentos, Administrador del Proyecto y Administrador de la Empresa) y los asesores, quienes son expertos en construcción y en simulación (Modelador y Administrador Sistema Simulación). Las atribuciones de los diferentes usuarios son:

Creador de Experimentos (CE): Este tipo de usuario tiene acceso a los modelos asociados a un proyecto en particular. Puede crear experimentos y análisis, y eliminar sólo aquellos experimentos y análisis creados por él (por tanto existe una asociación entre el experimento y el usuario que lo creo). CE tiene acceso a los resultados de todos los experimentos y análisis del proyecto. Además puede graficar análisis y visualizar experimentos.

Administrador del Proyecto (AP): Este tipo de usuario está asociado a uno o más proyectos de una empresa. Tiene las mismas atribuciones que el CE, pero además puede crear a estos últimos. También puede eliminar experimentos y análisis creados por cualquier CE.

Administrador de la Empresa (AE): Este tipo de usuario está asociado a una empresa y tiene acceso a todos los proyectos de ella. Puede crear nuevos proyectos y posee todas las atribuciones del AP. También puede crear a estos últimos.

Modelador (M): Este tipo usuario esta asociado a una o más empresas y forma parte del equipo “asesor” de la figura 1. Es el encargado de subir los modelos y conectarlos a los diferentes proyectos. Tiene todas las atribuciones del AE, pero además puede crear a estos últimos. Adicionalmente, este usuario tiene la capacidad de subir archivos a la base de datos.

Administrador Sistema Simulación (ASS): Este usuario tiene todas las atribuciones del usuario M, más la opción de crear a este último. Además, es el único que puede indexar una empresa a SOL.

Las funcionalidades de la plataforma SOL son:

- Ingresar empresa: Se ingresan los datos de la empresa.
- Ingresar Proyecto: Se ingresan los datos del proyecto asociado a una empresa.
- Ingresar Modelos: Se sube el archivo del modelo y la planilla de cálculo. En un modulo de visualización, se sube el “modelo visualizado” y el “layout”. En la planilla de cálculo, están asociados los parámetros de entrada y salida al modelo. Todos estos archivos se asocian a un proyecto en particular.
- Simular modelo: Se crean experimentos y análisis, también existe la opción de crear automáticamente análisis de sensibilidad o diseños de experimentos. Se ven los resultados en tablas, gráficos y visualizaciones.
- Ingresar usuario: Se crea un tipo de usuario, asignándole un login y password.

La matriz de la figura 3 muestra los accesos de los diferentes usuarios a las funcionalidades de la plataforma SOL.

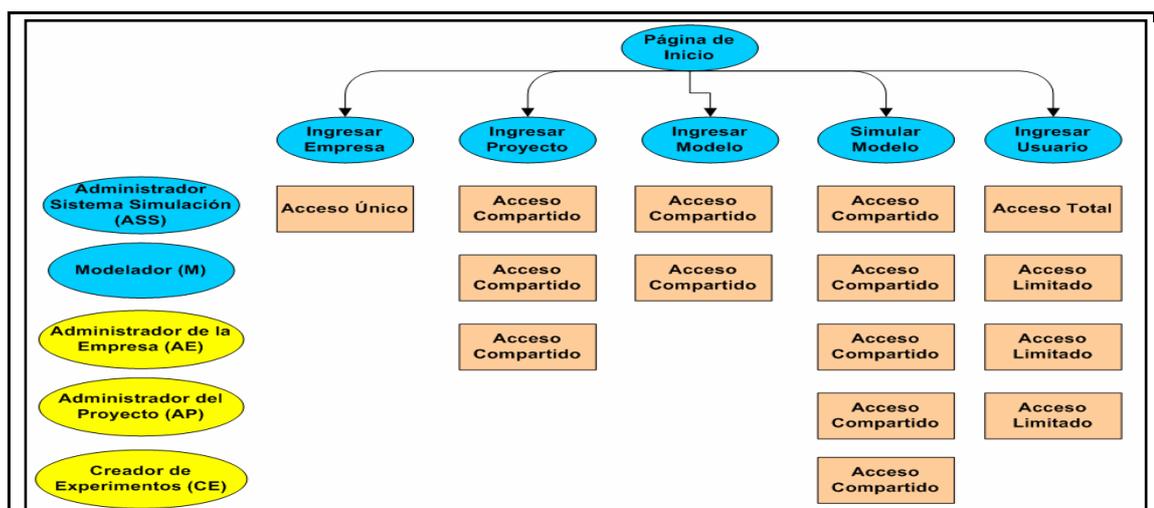


Figura 3 - Accesos por tipo de usuario a las funcionalidades de SOL.

3.2 Base de datos

SOL, al permitir almacenar y recuperar información de una forma fácil y ordenada se transforma en un aliado de la gestión de la información. SOL, es el nexo entre la información generada por los diferentes tipos de usuarios y la información contenida en la base de datos (figura 4).

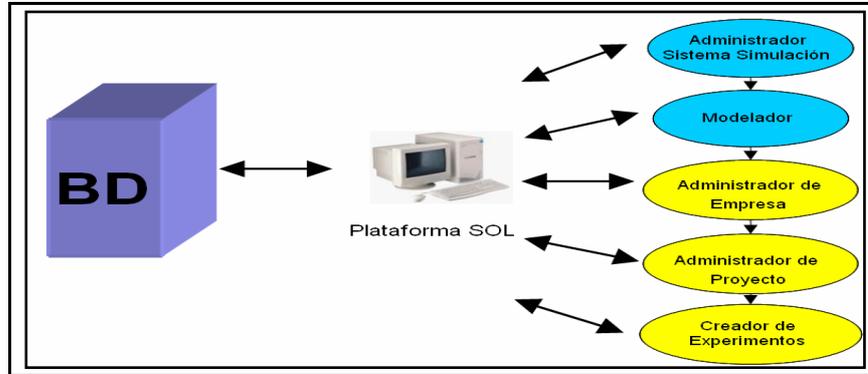


Figura 4 - Relación entre base de datos, SOL y la información generada por usuarios.

A fin de mantener la confidencialidad en la información y respetar los diferentes niveles de usuarios, los flujos de información son controlados en base a "identificadores" que discriminan el acceso a la información. El esquema general de la base de datos, identificando las áreas que contiene, se presenta en la figura 5.

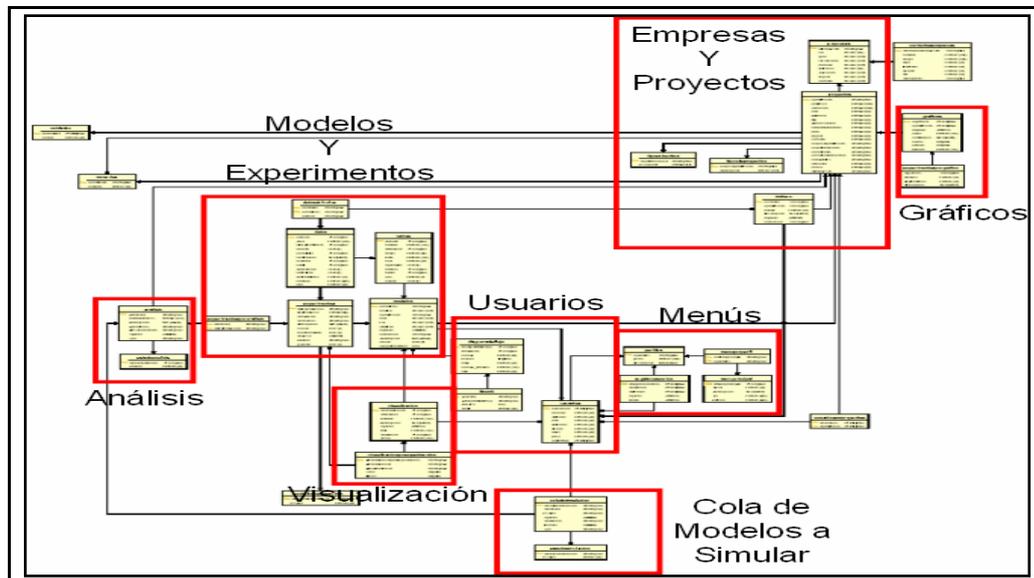


Figura 5 - Esquema general de la base de datos.

Toda la información administrada por SOL, es almacenada y resguardada en base a servicios de confidencialidad.

3.3 Visualización

La visualización dentro del sistema SOL se crea en base a los experimentos manejados por la base de datos. Estos experimentos están asociados tanto al

modelo de simulación como a un modelo con capacidad de visualización. Ambos modelos son ingresados por el usuario tipo “Modelador”.

El output de la visualización creada por SOL, se basa en dos archivos. Uno denominado “traza”, el cual es reflejo de los cambios que sufren las variables de estado en el modelo de simulación, y otro denominado “layout”, que es la información de los elementos fijos desplegados en pantalla. Posteriormente, “traza” y “layout” al correrlos simultáneamente generan la visualización final. El esquema de trabajo seguido por SOL para generar visualización se observa en la figura 6.

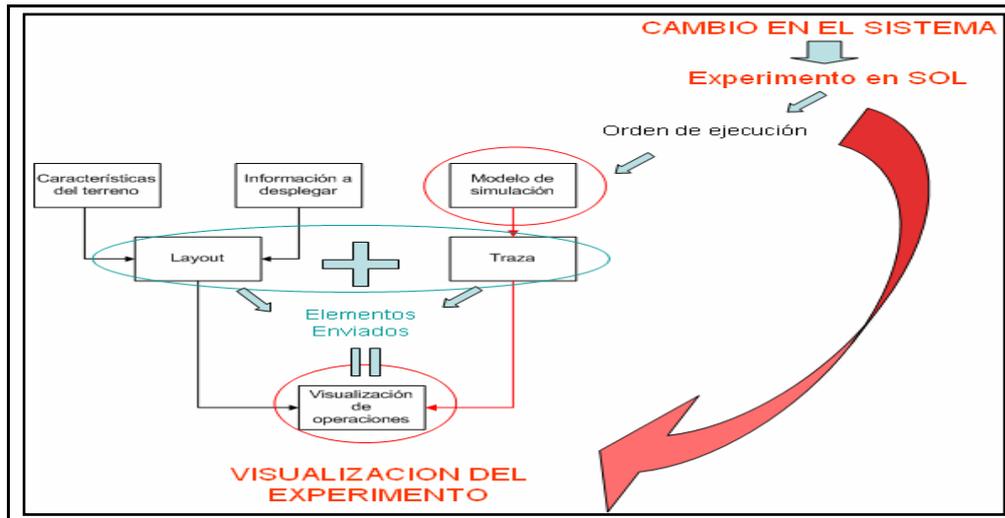


Figura 6 - Esquema de trabajo de SOL para crear visualización.

A fin de responder rápidamente con la visualización se propone que parte del equipo asesor este constituido por un experto en visualización que se encargue de administrar un banco de figuras y un banco de subestructuras. El primero de los bancos tiene por objeto construir rápidamente el “layout”, y el segundo, generar rápidamente el modelo visualizable para rescatar las “trazas”.

4 CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio presentado incluyo todas aquellas funcionalidades propias de SOL. Su metodología de aplicación sigue la secuencia mostrada en la figura 1.

4.1 Comprensión del proceso y recolección de información.

El proceso contempla transportar 6000m³ desde un depósito a un vertedero. De estos 6000m³, 5000m³ se encuentran en un depósito y 1000m³ en un acopio temporal. El número óptimo de camiones y el tamaño del acopio temporal deben evaluarse. La restricción es cumplir con los plazos del proyecto (8 días). Esta operación es posterior a la colocación de geotextiles, cuya duración son 15 días y no utiliza camiones. Como primera aproximación se utilizaron distribuciones triangulares para las velocidades de los camiones y los tiempos de carga y descarga.

4.2 Construcción del modelo y verificación.

Tras la realización del diagrama de flujo para el proceso descrito, el modelador generó el código del modelo de simulación. El diagrama de flujo de las operaciones y parte del código generado a partir del modelo se muestran en la figura 7 y 8.

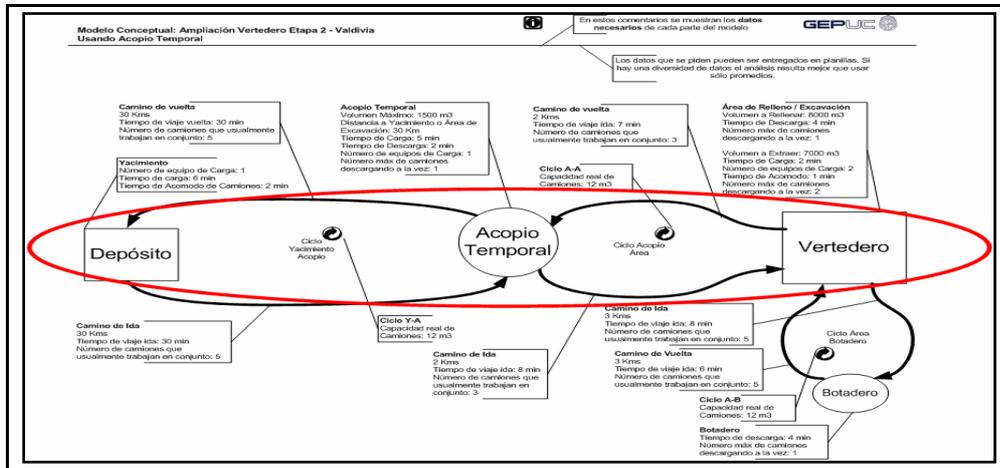


Figura 7 - Diagrama de flujo de las operaciones.

```

Activity, Multiple                                block number 58
Block Label: Vuelta
Input Parameters:
  Delay = minutes
  Last Delay Used = 32.783040767675 minutes
  Maximum Number in Activity = 1000
  Do not change animation pictures
Simulation Results:
  Arrivals = 666
  Departures = 662
  Average Length = 4.1247984756705
  Average Wait = 34.174113549326

Activity, Multiple                                block number 67
Block Label: Ida (cargado)
Input Parameters:
  Delay = minutes
  Last Delay Used = 43.72517810274 minutes
  Maximum Number in Activity = 1000
  Do not change animation pictures
Simulation Results:
  Arrivals = 673
  Departures = 668
  Average Length = 5.4944892639355
  Average Wait = 45.138731900195

ATTRIBUTES
Set Attribute                                     block number 5
Input Parameters:
  Attribute 1, Tipo = 0
  Attribute 2, Capacidad = 12, Modified by Connector
  Retain existing attributes
  Do not change animation pictures
Set Value                                         block number 15
Input Parameters:
  Value = 1, Modified by Connector
  Do not change animation pictures
DE Equation                                       block number 24
Input Parameters:
  Equation Results = Result
  When no item is in block return: the last value
  Equation Input 1 = Connector 1
  Equation Input 2 = Connector 2
  Equation Input 3 = Connector 3
    
```

Figura 8 - Sección del código generado por el modelo.

Para verificar los datos de salida, el modelo se corrió 100 veces y los resultados entregados se contrarrestaron con las experiencias reales. Se calculó la media, varianza e intervalo de confianza para la duración. El ciclo repetitivo hace que 30 corridas sean suficientes para tener un valor estadísticamente significativo.

4.3 Visualización y validación.

Se recolectaron fotografías de los emplazamientos de obra y de los recursos involucrados en las operaciones. El experto en visualización, con apoyo de un dibujante, generaron el layout. La figura 9 muestra la visualización 2D brindada

por SOL, y la visualización 3D generada para apoyar el proceso. Se espera en un corto plazo incorporar visualizaciones 3D a SOL.

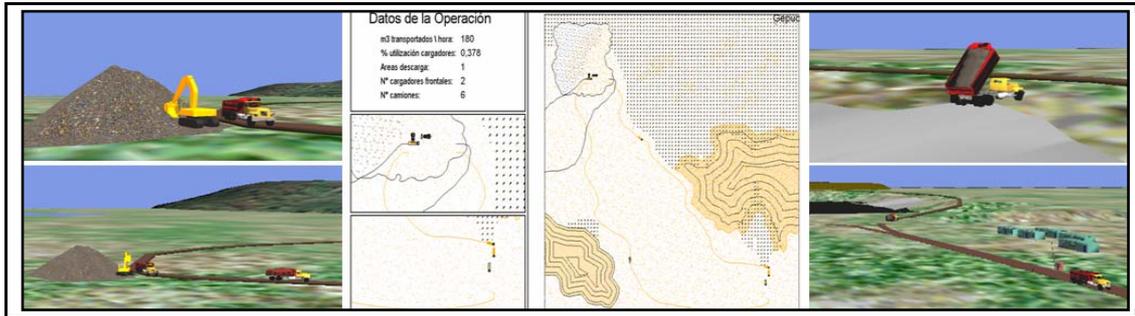


Figura 9 - Visualizaciones utilizadas en el proceso de validación.

La validación contempló una reunión con los usuarios de la empresa a fin de transmitirles lo realizado por el modelo. En esta reunión se les mostraron los análisis iniciales y las visualizaciones. Se logró la validación del modelo por parte de los usuarios.

4.4 Conexión a plataforma SOL.

El usuario ASS creó 2 usuarios M, 1 usuario AE (visitador de obra del proyecto), 1 usuarios AP (jefe de obra del proyecto) y 3 usuarios CP (3 profesionales de oficina técnica). Los usuarios M indexaron cuatro archivos principales a la plataforma SOL; el archivo del modelo, la planilla de calculo, el modelo visualizado y el layout. Otros archivos indexados fueron los diagramas de flujo y las minutas de reuniones.

4.5 Experimentos y análisis.

Mediante la Plataforma SOL los usuarios crearon diversos experimentos. Un primer análisis se generó para evaluar el transporte de 5000 m3 de material desde el depósito al vertedero, y 1000 m3 desde el acopio al vertedero. Este análisis, se muestra en la figura 10.



Figura 10 - Análisis para transportar 5000 m3 del depósito y 1000 m3 del acopio

El resultado del primer análisis arrojó que se requieren de 8 camiones y 1 cargador para cumplir la restricción de plazo ($7,76 < 8$ días).

Un segundo análisis se generó para evaluar el transporte de los 5000 m³ al acopio temporal. Este se podía comenzar a construir 15 días antes de la colocación de la grava (buffer por a colocación de geotextil). El análisis se muestra en la figura 11.

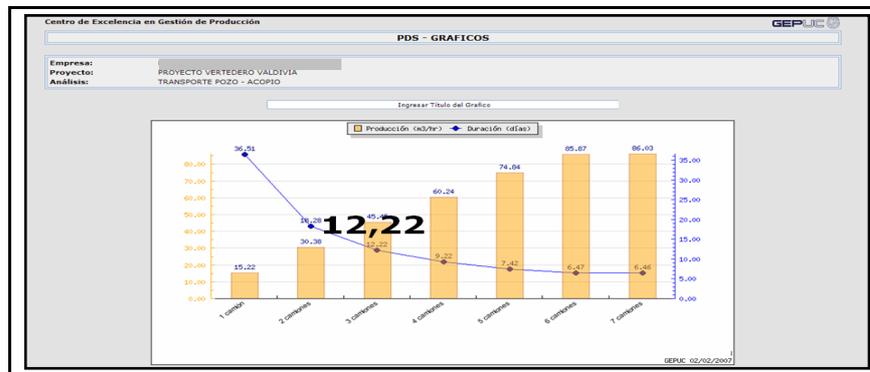


Figura 11 - Análisis para transportar 5000 m³ del depósito al acopio temporal

El resultado de este segundo análisis arrojó que se requieren de 3 camiones y un cargador para cumplir la restricción de plazo ($12,22 < 15$ días).

Un tercer análisis se generó para evaluar el transporte de 6000 m³ de material del acopio al vertedero. El análisis se muestra en la figura 12.

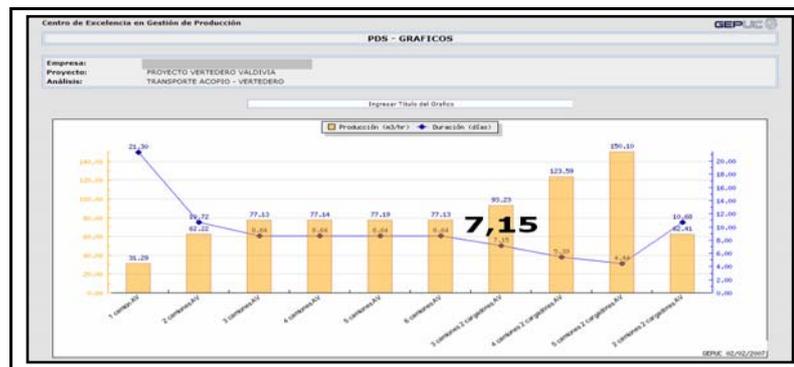


Figura 12 - Análisis para transportar 6000 m³ del acopio al vertedero

El resultado de este tercer análisis arrojó que se requieren de 3 camiones y dos cargadores para cumplir la restricción de plazo ($7,15 < 8,64$ días). Otra opción económicamente factible, aunque no respetaba la restricción del plazo era utilizar 3 camiones y un cargador. Esta configuración arrojaba una duración de 8,64 días.

La alternativa de menor costo directo es la del primer análisis, este implica utilizar 8 camiones y 1 cargador, sin ampliar el acopio temporal.

4.6 Elección de alternativas e implementación.

Por razones constructivas se decidió utilizar el segundo y tercer análisis. Así, los recursos son 3 camiones y un cargador para el transporte de 5000m³ al acopio temporal, y luego, 3 camiones y 2 cargadores para el transporte desde el acopio temporal al vertedero. Con esto se cumple la restricción en plazo ($12,22 + 7,15 < 15$

+ 8). La razón para optar por esta alternativa fue el mejor balanceo de los equipos a lo largo del periodo de los trabajos.

5 CONCLUSIONES

Basados en el caso de estudio, la utilización de de una plataforma de acceso remoto con las características de SOL, permite a expertos en construcción y de otras industrias, acceder a análisis robustos basados en información extraída de los modelos de simulación.

La estructura basada en niveles de usuarios y funcionalidades, permite filtrar los accesos y controlar adecuadamente el resguardo de la información. Esta segmentación permite que la información de una empresa no pueda ser conocida por la competencia.

SOL permite a las empresas ir mejorando su propia información. Por ejemplo, las distribuciones usadas en un proyecto en particular, pueden complementarse con mediciones en terreno. Con ello, en el futuro, proyectos de esta misma empresa, pueden contar con distribuciones más precisa en sus estudios.

La aproximación realizada por SOL en el caso de estudio, permitió que muchos de los profesionales del proyecto cambiaran sus tradicionales análisis basados en planillas de cálculo, por análisis más confiables basados en modelos de simulación.

En un afán por mejorar, se cree que aún quedan múltiples áreas en las cuales seguir avanzando con SOL. Darle la capacidad para realizar optimizaciones a los modelos de simulación, exportar reportes y mostrar análisis de confiabilidad de los resultados, son elementos que aún quedan por desarrollar. En el área de visualización, se contemplan dos áreas por desarrollar. La primera, busca que los usuarios modifiquen remotamente el "layout", y la segunda busca indexar visualizaciones 3D a SOL.

SOL, al almacenar información, funcionar vía web, generar análisis automatizados y generar visualizaciones, permitirá a muchos decir: ¡Me la juego!, ¡Esta es mi decisión! y sé que es la correcta.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANKS, J., HUGAN, J., LENDERMANN, P., MCLEAN, C., PAGE, E. H., PEGDEN, C. D., ULGEN, O., and WILSON, J. R., (2003). **"The Future of the Simulation Industry"**, *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, eds. S. Chick, P. J. Sánchez, D. Ferrin, and D. J. Morric. 2033-2043. IEEE, Piscataway, New Jersey.

FROESE, T., RNKIN, J. and YU, K., (1997). **"Project Management application models and computer-assisted construction planning in total project systems"** *Journal of Construction Information Technology*, Vol. 5, N°1, 39-62.

HALPIN, D. W., JEN, H., y KIM, J. (2003). **"A construction process simulation web service"**. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, S. Chick, P. J. Sánchez, D. Ferrin, and D. J. Morrice, eds., 1503 – 1509. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, NJ, U.S.A.

KAMAT, V., y MARTINEZ, C. (2001). **"Visualizing Simulated Construction Operations in 3D"** *Journal of Computing in Civil Engineering*, 15(4), 329-337
[doi: 10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2001\)15:4\(329\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2001)15:4(329))

KIM, J., (2000), **“Propotype of Interactive Simulation System: Interactive modeling and simulation of concrete construction process”** Independent research study. Division of construction engineering and management, school of civil engineering, Purdue University, west Lafayette, IN.

SALTZMAN, R. y V. MEHROTRA. (2004). **“A Manager-Friendly Platform for Simulation Modeling and Analysis of Call Center Queueing Systems”**. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, eds. R. G. Ingalls, M. D. Rossetti, J. S. Smith, and B. A. Peters, 466–473. [doi: 10.1109/WSC.2004.1371350](https://doi.org/10.1109/WSC.2004.1371350)

STALK, G. y HOUT, T..M., (1990). **“Competing against time”**. New York 285p.