

# Simulación para no Programadores

## Una experiencia en la Ingeniería en Minería

González A., Maldocena P., Printista M.

Cátedra de Simulación

Departamento de Informática

Universidad Nacional de San Luis

San Luis, Argentina

{adelag, chino, mprinti}@unsl.edu.ar

### Resumen

Minería es una disciplina que presenta un desafío para el modelado y la simulación. Es por ello que los ingenieros y administradores de minas están interesados en aprender la tecnología para asistirles en la fabricación de los modelos de simulación y en la animación de sus operaciones de explotación minera. Estas técnicas se han probado a través del mundo y han generado mejoras financieras importantes. En este artículo se presenta la experiencia de dictado de la asignatura Simulación a alumnos de la Ingeniería en Minería, cómo fue el proceso de aprendizaje de un lenguaje de simulación sin que se tuvieran conceptos previos de programación y los exponen los resultados obtenidos.

## 1 Introducción

Durante el ciclo lectivo 2002, se dictó por primera vez la asignatura Simulación a los alumnos de 4to. año de la Ingeniería en Minería. Si bien esta carrera coloca la asignatura en años superiores, los alumnos no poseen conocimientos previos de programación, tan solo poseen práctica en la utilización de algunos programas de aplicación. En este sentido, fue nuestro desafío enseñar a plantear y resolver los modelos (por medio de una simulación) más frecuentemente referenciados en la actividad minera. Para que los alumnos capitalizaran las nociones básicas de programación en un crédito horario semanal limitado a cuatro horas teóricas - prácticas, debió escoger muy cuidadosamente un lenguaje de programación de propósito específico de simulación que fuera sencillo y comprensible de utilizar.

Con la visita del profesor, *Dr. John Sturgul* de la Universidad de Idaho, se afianzó la idea de la utilización del lenguaje *GPSS/H* [3, 8] para el modelado de problemas mineros junto con el visualizador *PROOF* [5] como herramienta de animación del sistema.

En este trabajo presentamos la estrategia de trabajo empleada y los resultados obtenidos.

## 2 Descripción de la Actividad Curricular

Mediante la simulación se presenta artificialmente una situación real, con la intención de que el alumno experimente con el modelo, participe y aprenda.

El Departamento de Minería solicitó al Departamento de Informática el dictado, como materia de servicio, de la materia simulación. Esta materia con una dirección claramente

definida en las carreras de informática debía adaptarse a los requerimientos de alumnos con un perfil disciplinario diferente. Estos alumnos tenían información estadística, disciplina ríza de la simulación pero no tenían información específica en programación, más allá de algunos conocimientos aislados de uso de Pc.

Sintéticamente, el programa analítico que la cátedra propuso fue el siguiente:

Resumen de Contenidos:

- Introducción a Simulación.
- Simulación de Eventos Discretos.
- Simulación de Muestras Probabilísticas (generación de números y variables aleatorias)
- Lenguajes de Simulación (*GPSS/H*).
- Análisis de los Resultados de la Simulación.

Clases Teóricas: Todos los temas teóricos fueron desarrollados por el profesor en clases teóricas; y los alumnos los profundizaron basándose en la bibliografía recomendada para cada eje temático en particular. El 85% de estas clases fueron comunes tanto para los alumnos de la Lic. en Cs. de la Computación (asignatura de 3er año) como para los de la Ing. en Minería.

Las Clases Prácticas se dividieron en los siguientes grupos:

- Prácticos de Aula:  
Constaron de 2 horas semanales donde se modelizó a través de esquemas y con un lenguaje natural los distintos modelos y técnicas de simulación. Ejecución de simulaciones manuales para comprender en otras cosas, qué herramientas representaban diversos aspectos del sistema real (variables aleatorias discretas / continuas y distribuciones de probabilidad).
- Prácticos de Máquina:  
Se presentaron las estructuras típicas de simulación (única cola - único servidor, única cola - múltiples servidores, etc.), con ejemplos, instanciados a la actividad minera. Es decir, se puso a discusión un esqueleto algorítmico básico al cual ellos debían amoldar su problema de estudio particular (*queue, storages* velocidades de arribos, definiciones de tablas de distribución, etc.).  
Estos programas esqueletos se ampliaron paulatinamente variando los datos y la complejidad del problema, con el objetivo de preparar a los alumnos para el proyecto final individual.

Consultas:

Este horario se usó en su mayor parte, para las etapas de programación y del proyecto final de simulación, las consultas superaron ampliamente los horarios previstos por la cátedra.

Proyecto Final:

Para finalizar la materia, los alumnos debieron desarrollar un proyecto integrador de todas las etapas que incluye una Simulación. Para esta experiencia se eligió *SAN LUIS - EL GIGANTE*, el cual se describe en el anexo al final del artículo. El trabajo fue defendido ante la presencia de un grupo de profesores del campo de la ingeniería.

### 3 El Rol de los Lenguajes de Simulación de Eventos Discretos

A pesar de que el modelado y la simulación se empezaron a utilizar tardíamente en la ingeniería de explotación minera, han encontrado un lugar legítimo tanto en el diseño como en el planeamiento. Los lenguajes de simulación de eventos discretos, disponibles desde 1960, han sido usados para modelar las operaciones involucradas en el procesamiento y manufacturación con la construcción de eventos discretos que ocurren en el tiempo.

La simulación de sistemas discretos y la animación se han utilizado a través del mundo proporcionando un modelo rápido y confiable, dando respuestas rápidas y exactas a los interrogantes más frecuentes que se plantean a la hora de diseñar una mina [1, 2]. Entre estos interrogantes se encuentran:

- ¿Cuántos y qué tamaño deben tener los dispositivos para acarrear el material?
- ¿Cuán grandes deben ser los compartimentos de almacenaje?
- ¿Qué cambios necesitan ser realizados de modo que se pueda manejar el mineral?

Un párrafo extraído de un reporte de trabajo ([9]), da evidencia de la importancia que la elección de un lenguaje de simulación tiene en el desarrollo de una mina: *Las minas, tales como la mina de Lihir en Papua-Nueva Guinea, la mina de Oro Gigante de Canadá, el Minera Yanachoncha en Perú, y la mina de carbón del EL Diablo en Venezuela, etc. han encontrado las herramientas valiosas de los modelos de la simulación y han ahorrado sumas grandes con mis diseños ... se decidió por el lenguaje GPSS, pues es el software que se utilizó para modelar algunas de las minas más grandes del mundo.*

Dentro del campo de las operaciones en minería los Lenguajes de Simulación más ampliamente usados son GPSS/H con PROOF para efectos de animación y ARENA [10].

En 1985, GPSS – PC [3] fue equipado de un componente de la animación y se convirtió, probablemente, en el primer sistema de simulación comercialmente distribuido. Eso dio lugar a un éxito notable durante ese tiempo, ya que con la introducción de la animación, los resultados del estudio de simulación pueden ser visualmente mostrados a los administradores de las minas quienes no tienen conocimiento de la simulación pero de este modo pueden apreciar a la mina en ejecución.

GPSS en particular usa lo que se conoce como enfoque de interacción de procesos para modelar y programar las simulaciones [1, 2, 3]. Este enfoque incluye características de planificación de eventos; lo que significa que genera una lista de eventos a ser ejecutados en el futuro. Pero también lleva a cabo, en cada avance del clock (even-time), una búsqueda de actividad en otra lista de eventos condicionales, las cuales pueden ser capaces de ocurrir debido a la ejecución del evento planificado.

Más que modelar cambios en el estado del sistema, este enfoque describe el progreso de las actividades a través del sistema.

### 4 La animación

A la hora de animar un proceso simulado se debe elegir entre [4, 5, 6, 7]:

- La tarea intensiva de programar la animación completa,
- El uso de un sistema de simulación con componente de animación integrado o

- El uso de un sistema de animación universal.

En 1989 *J.O.Henriksen* decidió desarrollar y distribuir el animador universal *Proof Animator* (Brunner and Henriksen 1989), que fue especialmente realizado para su *GPSS/H*. Desde entonces no existen sistemas de simulación bien conocidos que no posean una posibilidad de animación. Por ejemplo; los sistemas de simulación citados en [5], *ARENA*, *DOSIMIS*, *PROMODEL*, *SLAMSYSTEM*, *SIMPLE ++*, *SIMSCRIPT*, *SASTRE*, *TESTIGO* vienen con sus propias componentes de animación. En la mayoría de los casos son una parte integrante del sistema y no pueden ser utilizados independientemente de su sistema de simulación.

Por este motivo *Proof Animator* se utiliza ampliamente como material de aprendizaje y a que es un componente independiente y puede ser usado por cualquier software que sea capaz de escribir archivos de trace en formato *ASCII*.

Los componentes de animación de los sistemas de simulación orientados a eventos discretos se localizan sobre la ganancia de conocimiento tanto en la presentación como en el entrenamiento [5]. Ellos son usados para:

- Descubrir errores en el modelado
- Analizar e interpretar el comportamiento del sistema, descubrir posible conflictos, cuellos de botella y deadlocks
- Entrenamiento y educación
- Expresar y presentar conexiones complicadas en el proceso y en los resultados de la simulación

Las tareas básicas de animación (y posibles extensiones) que son descriptas a continuación deben ser resueltas durante la programación propiamente dicha [5]:

- Definir y nombrar clases de objetos
- Definir y nombrar posiciones de objetos estáticos.
- Extensión: Definir y especificar clases de atributos
- Crear y nombrar objetos dinámicos.
- Extensión: Definir y especificar atributos de objetos
- Posicionar objetos dinámicos.
- Extensión: definir y especificar atributos de objetos
- Destruir objetos dinámicos
- Colorear objetos
- Rotar objetos dinámicos
- Mover objetos dinámicos a un tiempo o velocidad dada
- Diseñar capas.
- Extensión: Especificar aceleraciones

- Definir pasos
- Mover objetos dinámicos sobre pasos
- Manejar colisiones.
- Extensión: Tomar distancia, orientar un paso

De todos modos, algunas de estas tareas básicas necesitan una elaboración más compleja.

## 5 Experiencias y resultados

Aprender un nuevo lenguaje de simulación no es una tarea fácil, requiere un cuidadoso estudio de manuales, y una práctica considerable. Mucha gente está reticente a hacer el esfuerzo a menos que esté convencida que arribará a un propósito útil. En el caso de un lenguaje de simulación de propósito específico, no sólo la conveniencia de programación es lo que justifica tal esfuerzo. A menudo la mayoría de los resultados positivos de aprender uno de estos lenguajes son los nuevos conceptos y técnicas contenidas en el lenguaje.

La metodología de trabajo utilizada se desprende de la naturaleza del lenguaje seleccionado, y a que en *GPSS* la forma básica para obtener una simulación se puede resumir en: identificar las partes estáticas del modelo, definir las transacciones entre ellas y finalmente diagramar el modelo especificando las transformaciones que las entidades sufren a lo largo de su ciclo de vida dentro del sistema.

Esto llevó a los estudiantes a desarrollar la capacidad de reconocer los vínculos existentes entre los objetos reales con los objetos computacionales y consideramos que esta forma de programar resultó lo suficientemente intuitiva con procesos mineros y por ello fue rápidamente incorporada por los alumnos.

La forma en que se trabajó básicamente fue como se explica a continuación:

Se presentaron varios problemas tipos (a través de los programas esqueletos -ver sección 2) en orden creciente de complejidad, posteriormente se le pidieron variaciones simples a dichos problemas, se analizaron y se compararon arcos de salida.

El objetivo de la presentación de estos programas tipos fue reducir el esfuerzo de programación y mostrar un enfoque general a la programación de simulaciones, enfatizando aquellas características comunes a los programas de simulación y que luego podrían ser incorporadas a nuevos estudios usando procedimientos tipos.

Para ello, en primer lugar, se realizó un acercamiento al lenguaje de programación, *enfoque sintáctico*, incorporando los conceptos teóricos de simulación (entidades, atributos, eventos, etc. Luego, se realizó el nexo entre las posibilidades que da la herramienta de simulación y las diversas realidades a simular, *enfoque semántico*.

Para la aprobación de la asignatura se realizó un proyecto final de simulación (ver Anexo), donde, si bien el tema de estudio fue propuesto por los alumnos, se logró incorporar la mayoría de los temas centrales de la materia.

Con respecto a la animación, podemos decir que dada la naturaleza de la herramienta, la cual incluye gran entusiasmo y muchas expectativas, el aprendizaje de ésta fue rápido y sin mayores dificultades. Primero se diseñó el *background* o paisaje y finalmente las clases, los objetos y los pasos (vínculos entre objetos) que protagonizarían la animación.

A pesar de que la generación automática de las instrucciones de *trace* para la visualización se debe instrumentar al código de *GPSS/H*. Es decir, se deben insertar manualmente en el código de la simulación instrucciones que explícitamente realicen la visualización de un sistema. La cátedra estaba convencida que esta etapa podría llegar a presentar algún grado de dificultad

si nos abocáramos directamente a la enseñanza como implementar cada acción (*sintaxis*) de las listadas en la Sección 4. Esta dificultad surge debido a que el éxito de la visualización depende no sólo de las instrucciones utilizadas, sino de su ubicación dentro del código original de la simulación. Es por esto, que una vez más (y acertadamente) recurrimos a una estrategia empírica de confección experimental. De esta forma, observamos que no se generaron grandes problemas de detectar la ubicación de las mismas dentro del programa, ya que cuando las entidades sufrían las transformaciones dentro del sistema éstas se traducían en cambios de los objetos dentro del visualizador, por ejemplo, la creación de un objeto en la simulación es equivalente a que un camión entre en la escena, etc.

Durante la exposición del trabajo de simulación a pedido de los asistentes, se solicitaron cambios en la simulación, por lo que el alumno tuvo que alterar algunos parámetros de entrada a pedido de ingenieros que presenciaban la defensa. Este proceso significó, modificar parte del código fuente y realizar nuevamente los pasos para visualizarlo, tarea que se logró sin ninguna dificultad.

## 6 Conclusiones

Las conclusiones las hacemos desde dos puntos de vista; desde el impacto del uso de la herramienta en los alumnos no informáticos y desde el impacto del uso de la herramienta en la cátedra.

La experiencia contada en este trabajo, es un ejemplo que demuestra que es posible enseñar a utilizar herramientas de propósito general sin la necesidad de que los usuarios de las mismas posean conocimientos formales previos de las estructuras sintácticas del lenguaje de programación asociado a la misma. Creemos que fue suficiente, hacerles notar que dicho lenguaje está específicamente creado para tal herramienta, siendo de esta manera el aprendizaje una tarea más sencilla por parte del usuario logrando asociar sin dificultad las estructuras básicas del modelo con las estructuras del lenguaje. Creemos que gran parte de los logros en este proceso se debieron a que existe una estrecha interrelación entre el modelo a simular con las herramientas seleccionadas (*GPSS/H* y *Proof*), resultando transparente la manipulación de las instrucciones específicas del lenguaje de programación para lograr el objetivo planteado en el modelo real.

Para la cátedra, el desafío y motivación fue mostrar la utilidad del modelado y la simulación para el campo de aplicación específico. En particular, la enseñanza de las herramientas (lenguajes y animadores) no le agregó a la cátedra complicaciones mayores a la hora de la planificación. Se debió encontrar la estrategia para que fuese natural expresar un modelo real en uno artificial y para que logran plasmar su modelo artificial con una simulación.

Todo lo anterior, confirma que fue muy criteriosa la selección del conjunto *GPSS/H* y *Proof* para introducir al mundo del modelado y la simulación a estudiantes no programadores y nos incentiva a seguir explorándolo en futuros cursos de la misma índole.

No obstante algunos ajustes serán necesarios. Es importante acotar en las conclusiones de nuestra experiencia, que el objetivo final de la materia fue alcanzado debido a la baja cantidad de alumnos, logrando una excelente relación alumno-docente. Además, durante el desarrollo del proyecto específico los horarios de consulta se duplicaron a pedido de los alumnos, por lo que el crédito horario propuesto fue ampliamente superado. En este sentido, será necesario para próximos cursos un ajuste en cuanto al tenor del proyecto de simulación.

## Agradecimientos

Queremos agradecer muy especialmente al alumno Vallejos, por su valiosa cooperación con la cátedra actuando de nexo entre los Departamentos de Minería y de Informática. También, agradecer a nuestros compañeros del Área de Sistemas de Computación, por permitirnos en tablereufóricos debates, y por enriquecer el armado de esta cátedra con sus experiencias y aportes.

## Referencias

- [1] Discrete Event System Simulation, 1984 .Second edition. Jerry Banks, J.Carson. Prentice Hall.
- [2] Discrete Event System Simulation, 1996 Second edition. Jerry Banks, J.Carson, Barry Nelson. Prentice Hall.
- [3] A Guide to Simulation. Second Edition. 1983 P.Bratley B.Fox, L.Schrage. Simulation with GPSS y GPSSV 1976. P . Bobillier. B Kahan. A. Probst. Prentice Hall.
- [4] A Graphical Facility for an Interactive Simulation System. Donovan, J.J.and M.M.Jones IFIP Congress Amsterdam 1968.
- [5] Tutorial Simulation and Animation. Lorenz, P. und R. Helbing, Vienna 1995.
- [6] The Art and Science of Computer Animation Mealing, S.. Exford 1992.
- [7] Computer Animation Magnenat-Thalman, N. and D. Thalman. Springer Berlin 1985.
- [8] Simulation Mining Engineering Problems Using the GPSS Computer Language, Sturgul, J. R., Bull. Proc. Aus. IMM, Melbourne, Vol. 292, N. 4, June, 1987.
- [9] Building Simulation Models of Surface Coal Mines Using the GPSS Computer Language Sturgul, J. R., and Yi, Ren, , The Coal Journal, N° 18, 1987, Sydney, Australia, 1987.
- [10] Mine Design: Examples Using Simulation, Sturgul, J. R., published By Soc. Of Mining Engrs., Littleton, Co, 2000.

## ANEXO

### PRO YECTO FINAL

Cátedra de Simulación - 2002

Departamento de Informática

U.N.S.L.

A 75 Kms. al noroeste de la ciudad capital de la provincia de San Luis, se encuentran las *Sierras Del Gigante*. En ellas se realiza la explotación de rocas de aplicación como ser laja, calizas, basalto, mármol y en menor cantidad granito. Este tipo de minerales presenta buenas perspectivas para explotación puesto que la provincia dispone de importantes reservas de granito y piedra laja.

Particularmente se explotan 5 cerros cuyos nombres operativos son *Redondo Azul, Impuro I, Impuro II y La Calera*.

La materia prima se obtiene de yacimientos de estos cerros constituidos principalmente por calizas que representan distintos tenores de arcilla. En cada cerro se encuentra una pala excavadora que es la encargada de trabajar las zonas fragmentadas por las explosiones (voladuras) que se trasladarán en camiones de gran porte hasta la planta industrial. Allí se encuentra una trituradora primaria donde sus martillos reducen el tamaño de las piedras grandes en trozos mas pequeños.

Se pide que realice en el ambiente *Proof* un diseño para la visualización de la situación descrita a continuación:

Las clases a definir deben ser 6:

- Camión Vacío/Camión lleno
- Pala vacía/Pala llena
- Explosión (Voladura)/Trituradora

Los pasos a definir deben ser:

- Desde los cerros hasta la planta.

El ambiente estático:

- Desde contener todo lo necesario para la simulación (se deja a su elección).

Para realizar su Simulación considere los datos especificados en los Cuadros 1 y 2.

Origen	Destino	Distancias
Cerro Redondo	Planta	4,5 kms.
Cerro Azul	Planta	3,7 kms.
Impuro I	Planta	3,2 kms.
Impuro II	Planta	2,8 kms.
Camino Principal	Planta	0,3 kms.
Cerro Calera	Planta	6,8 kms.

Tabla 1: Distancia de los cerros

Vacío	Cargado
50 km/h	40 km/h

Tabla 2: Velocidades de los camiones

Además suponga que:



La mina consta con 15 camiones de idénticas características, 3 de estos camiones destinados a cada pala.

La pala demora en cargar a un camión en promedio de  $5' \pm 1.3'$

El camión demora en descargar  $2' \pm 0.5'$

Suponga que la jornada laboral, para camiones y palas se especifica de la siguiente manera:

1. 8 hs. de trabajo. Divididas en dos turnos de 4 hs. Se trabaja de lunes a lunes.
2. Un corte de 90 minutos cada 5 hs. por diversos motivos (almuerzo, recarga de combustible, etc.).

Todo el equipo está sujeto a fallas no programadas.

La empresa contratista responsable del transporte del material posee un horario de mantenimiento preventivo (P.M.), que, para el caso de los camiones consiste de 6 hs., 24 hs. y 48 hs. de detenimiento que se realiza después de las 250, 750 y 1500 hs. de funcionamiento.

**El objetivo del estudio radica en observar si se producen colas de espera tanto en las palas como en la trituradora para una posterior re-planificación de los recursos. Para ello se necesita analizar los tiempos medios de espera en colas para una simulación de 6 meses.**