

Paper ## - MODELADO Y SIMULACIÓN DE TERMINALES PORTUARIAS
Paz, Daniel – Merli, Andrés

Ingeniero Industrial Universidad Nacional de Rosario

Email: daniel@logsis.biz

ABSTRACT: En los países desarrollados es casi mandatorio realizar una simulación antes de aprobar un gran proyecto de inversión. En Argentina se comenzó a difundir desde hace 20 años, en algunas grandes empresas, aunque su uso no es generalizado.

El presente trabajo expone lineamientos de algunos casos de aplicación en puertos cerealeros y de cargas generales. Explicando los beneficios a nivel estratégico y de optimización de inversiones.

En todos los casos el estudio de pre-factibilidad apoyado en modelado computacional y simulación de escenarios generó importantes ahorros evitando sobre-inversiones en nuevos proyectos y resolviendo cuellos de botella en la operatoria de terminales existentes.

La metodología de trabajo en proyectos de simulación va mucho más allá que el dominio de una herramienta informática, ya que el valor agregado no se produce en la programación de los procesos dentro de un lenguaje de simulación, sino en la tarea de relevamiento, modelado y conversión del proceso real en un modelo matemático-lógico-computacional dinámico, capaz de responder en forma consistente a los cambios en sus variables de entrada.

Comienza por un relevamiento previo de los procesos con una visión sistémica, haciendo foco en entender la existencia de restricciones en las capacidades de los activos y relevando cuidadosamente las lógicas decisorias embebidas en los procesos logísticos.

Las variables de entrada resultan heterogéneas, desde un simple parámetro representado por un número hasta patrones temporales, distribuciones de probabilidad o curvas de respuesta que relacionan diversas variables y cronogramas, por lo tanto, imposibles de resumir en un conjunto de fórmulas matemáticas.

Por otra parte, en las terminales portuarias existen complejas lógicas de planificación, que en la práctica se pueden simular con heurísticas simplificadas, sin afectar significativamente la calidad del resultado de la simulación. Resulta de particular importancia modelar la variabilidad estadística de la demanda de modo de dimensionar los activos para soportar los picos de la misma.

Finalmente se expone la metodología de “experimentación por escenarios” que permite estudiar una amplia gama de posibilidades futuras, tanto de variables controlables como incontrolables, y anticipar sus posibles efectos, de modo de trazar una hoja de ruta para la toma de decisiones, reforzando la capacidad estratégica de la dirección portuaria.

1 INTRODUCCIÓN

La aplicación de tecnología de simulación computacional es habitual para grandes inversiones en los países desarrollados, es de uso habitual entre las principales empresas industriales de Argentina, y comienza a ser adoptada en puertos proyectados y en operación

2 QUE ES SIMULACION

2.1 Definición

Una Simulación Computacional consiste en representar en la computadora un modelo de la realidad a estudiar, que permite experimentar con dicho modelo para luego

aplicar las conclusiones de estos experimentos a la realidad.

Tipos de Simulaciones:

- Física, Hidrológica, Mecánica, Termodinámica, Elementos Finitos
- De Maniobra de Buques
- Continua (systems dynamics)
- **Discreta (operaciones/logística)**

Este paper se refiere al campo de aplicación de simulación discreta, en el campo de Planificación Logística y Diseño de Terminales.

2.2 Historia y Paradigmas

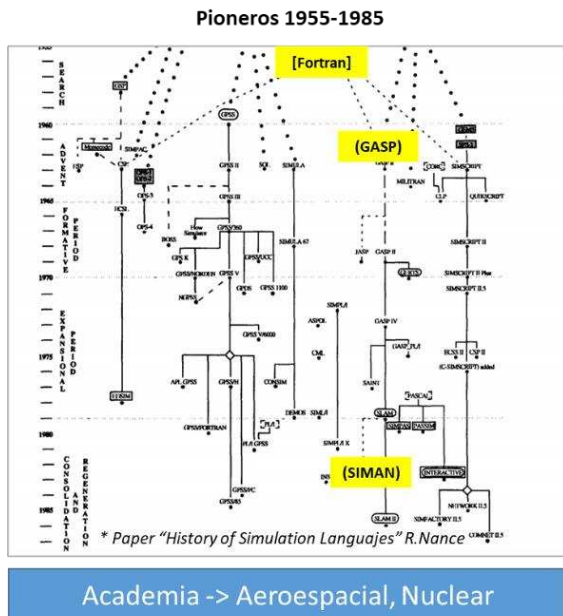


Fig1. Historia de Lenguajes de simulación – Nance.

La tecnología de simulación computacional se inicia hacia el año 1955, primero con sistemas de representación gráficos y con modelos de ecuaciones diferenciales en FORTRAN. Surgen luego los primeros lenguajes específicamente orientados a simulación como GASP, GSP, PSS. Hacia los 70s la tecnología se consolida en lenguajes como SIMAN, DEMOS, SIMLA. En un principio los modelos de simulación solo podían ejecutarse en las grandes computadoras de la época, por lo que el campo de aplicación era restringido a lo académico y temas como tecnología aeroespacial e ingeniería nuclear.

Principales Lenguajes Modernos Simulación 1986-2022



Fig2. Lenguajes modernos

A finales del siglo XX se populariza en la industria, y con los nuevos sistemas operativos y máquinas de escritorio potentes surgen los “lenguajes” modernos, que ya son verdaderas plataformas de desarrollo con interfases gráficas de diseño por bloques y módulos de animación completos en 2D y 3D.

3.1 Paradigmas de Simulación

De acuerdo con la definición de D. Pedgen,

“Una simulación discreta consiste en un conjunto de variables de estado y un mecanismo para cambiar esas variables ante la ocurrencia de eventos. Una visión del mundo de modelado y simulación proporciona al profesional un marco para definir un sistema de modo de lograr los objetivos en suficiente detalle, y que puede simular el comportamiento del sistema. A diferencia de las herramientas descriptivas estáticas simples como el Flow chart”

Estas “visiones del mundo” que plantea Pedgen, llevan a los distintos paradigmas de simulación que han orientado el desarrollo de los lenguajes y sistemas.



Fig3. Paradigmas de Simulación – Pedgen

Los dos primeros se refieren al modo en que se programaban los antiguos modelos de simulación basados en lenguajes procedimentales, en base a un “reloj de avance de eventos” con un alto grado de hard-coded del modelo junto con el motor del simulador.

El paradigma de “procesos” modela los sistemas con “entidades” que recorren flujos de procesos y así se van generando los eventos, representado por los lenguajes como GPSS, SLAM, SIMAN.

A principios de los 60s SIMULA provocó una verdadera revolución en todo el campo de la ingeniería del software con el paradigma “orientado a objetos” influyendo lenguajes como Smalltalk, LISP, C++, C#, Java. Implica la creación de objetos con su propia lógica que interactúan con otros objetos.

El paradigma de “Systems Dynamics” desarrollado en el MIT por J. Forrester emula una simulación de variable continua para representar grandes sistemas con un gran número de entidades, como ser ecosistemas o modelos económicos. Trata las interacciones como stocks y flujos, y permite analizar relaciones causales y de realimentación entre subsistemas.

El paradigma de agentes es el más moderno (North , Macal 2007) consiste en ubicar “agentes” (autónomos) y permitirles evolucionar en el sistema de acuerdo con las interacciones entre ellos.

La mayoría de los lenguajes modernos son “multi-paradigmas”, sin embargo, el desarrollador debe tener claro que visión del mundo va a utilizar en su diseño conceptual del modelo.

3.2 Input/Output - Heterogeneidad

A diferencia de los modelos basados en fórmulas matemáticas, cuyo input es siempre un número, vector o matriz de números, los modelos de simulación admiten inputs de tipos muy diferentes.

Así resulta posible alimentar un modelo con simples números, matrices, tablas de datos, cronogramas, distribuciones de probabilidades incluso diferentes flujos decisorios incluso modelos de optimización e IA.

Esta heterogeneidad de “variables” de entrada permite un rico proceso de experimentación y rediseño del sistema proyectado o en estudio, que resulta imposible con un simple plano, maqueta 3D o planilla Excel.

Por otra parte, los outputs del modelo son mucho más ricos que los que produce una fórmula matemática, o planilla Excel, pudiendo generar tantos videos de animaciones 2d o 3D, gráficos de evolución temporal y reportes completos de KPIs operativos proyectados.

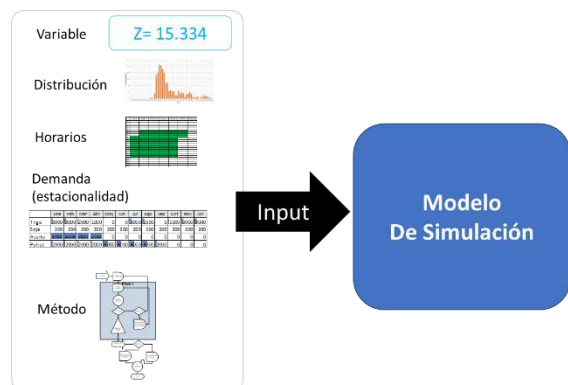


Fig4: Heterogeneidad de inputs

3 GESTIÓN DE PROYECTOS

La adecuada gestión del proyecto permite convertir un entendimiento del proceso real en un modelo computacional con el que resulte posible experimentar y proyectar conclusiones sobre el futuro ante diferentes escenarios y definiciones de diseño.



Fig5: Elaboración propia aplicada en más de cien proyectos basada en metodología propuesta por D. Pegden

Del esquema anterior destacamos estos puntos importantes:

- Modelo Conceptual
- Resultados
- Escenarios

3.3 Modelo Conceptual

Consiste en una representación mediante gráficos de Flow-chart, tablas, distribuciones y datos de todos los componentes relevantes del sistema a modelar. Es importante que establezca claramente los bordes o límites del sistema, el nivel de detalle, y marco temporal que definirán el alcance a modelar.

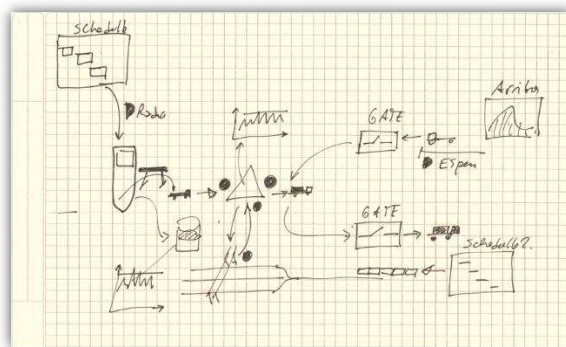


Fig6: Modelo Conceptual

3.1 Resultados

El líder de proyecto debe definir con claridad cuales serán los outputs del modelo y que formato tendrán. Es muy recomendable contar no solo con reportes de KPIS estáticos sino además poder observar gráficos de evolución temporal de las variables, además de distribuciones estadísticas y videos 3D.

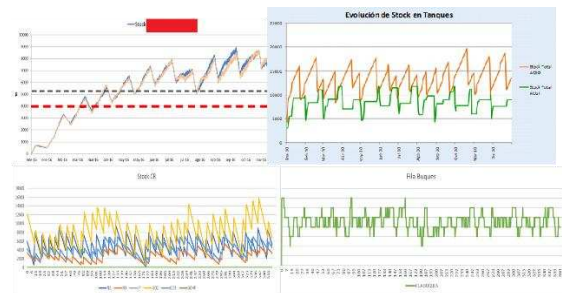


Fig7 Resultados

3.2 Escenarios

Como es imposible predecir exactamente el futuro, una proyección de resultados estratégico debe basarse en posibilidades. El modelo de simulación evaluará el “QUE-PASARIA-SI...” ante un conjunto de situaciones posible y probables. Si bien no resulta posible determinar con certeza cuál de estas situaciones podrán eventualmente ocurrir, conocer el impacto esperado de un conjunto amplio de “escenarios” permite trazar una hoja de ruta y prever alternativas de acción para mitigar riesgos.

Escenarios	E1	E2	E3	E4	..	En	En+1
Variables							
V1	x	x	x	x	x	x	x
V2	x	x	x	x	x	x	x
..							
Resultados							
R1	x	x	x	x	x	x	x
R2	x	x	x	x	x	x	x
..							
Conclusiones	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗

Fig8. Ejemplo de matriz de escenarios

Un “escenario” debe definir tanto las variables incontrolables como las variables controlables o de diseño, entonces el modelo de simulación producirá los resultados esperables para ese escenario.

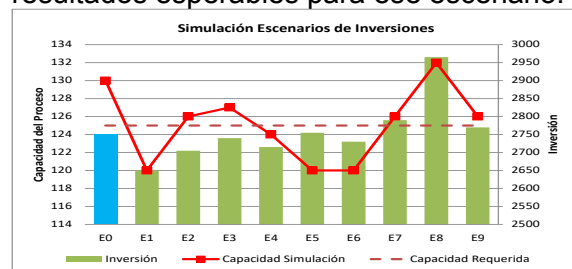


Fig9: Conjunto de resultados para los escenarios considerados en un experimento por simulación

3.3 Gestión de la Complejidad

La complejidad del sistema real es ilimitada, si se consideran todos los pequeños detalles de la misma

Sin embargo, a los efectos del resultado buscado, los modelos se simplifican, se adoptan premisas y supuestos, para reducir su complejidad a un nivel manejable, que sin embargo provea la suficiente precisión para de proceso decisorio involucrado.

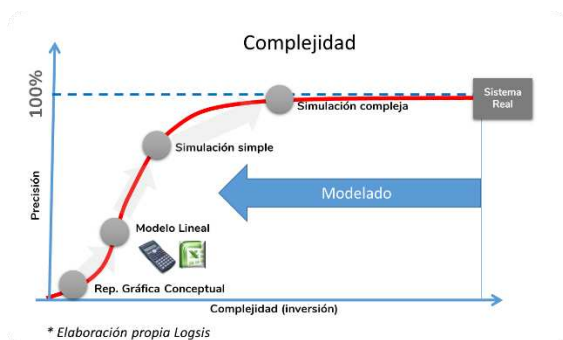


Fig10. Complejidad vs Precisión

Se debe entender siempre que:

complejidad = tiempo = costo de desarrollo

De modo que el proyecto debe dimensionarse al nivel de complejidad adecuado al costo de análisis y al valor producido por las conclusiones finales del estudio.

3.4 Tipos de Proyectos

Clasificación de los proyectos según sus objetivos, y según la etapa del proyecto general en que se realicen. Durante prefactibilidad y factibilidad, el simulador ejecuta un diseño como si existiera en la realidad y verifica su viabilidad operativa.

En la etapa de diseño se busca evitar establecer “márgenes de seguridad” arbitrarios sino dimensionar los activos a lo realmente necesario, una vez consideradas las volatilidades del sistema, esto genera grandes ahorros por evita sobre-inversiones innecesarias.

Para terminales existentes, los estudios por simulación detectan los cuellos de botella y

proponen mejoras para resolverlos y evalúan el impacto marginal de ampliaciones o inversiones incrementales.



Fig11. Tipos de Proyectos

4 APLICACIONES PORTUARIAS

La simulación de una terminal se aplica en todos los aspectos de la logística de una terminal portuaria. Un modelo que integre estos aspectos, producirá valiosos resultados al presentar los resultados de las interacciones entre estos sistemas, que normalmente se estudian por separado.

Temas típicos de estudio por simulación:

3.5 Navegación

- Nivel de servicio
- Variabilidad
- Mix de Barcos
- Interrupciones
- Cuellos de botella
- Flujo máximo

3.6 Logística Terrestre

- Filas en ruta
- Tiempo de espera
- Cantidad de gates
- Tiempos de inspección
- Estadía de camiones
- Esquemas de turnos
- Problemas de calidad
- Estacionalidad
- Picos Horarios

3.7 Capacidad de Terminales

- Green field
- Factibilidad diseño
- Validación de capacidad
- Saturación de patios
- Ocupación de equipos
- Cantidad de equipos

- Calles internas
- Ocupación de muelles
- Cumplimiento de programa

3.8 Aplicaciones Industry 4.0

- Plataformas Intermodales
- AGVs
- Automatic Stacking Systems
- Digital Twins
- IoT
- Diseño concurrente

3.9 Ejemplos Necesidades Típicas

- Ej1: ¿Este Diseño de Terminal tendrá capacidad para operar 4 Millones de TEUS al año? ¿En caso de no poder, donde estaría el principal cuello de botella?
- Ej2: Necesitamos atender esta curva de plan de expansión. ¿Cuáles serían los cuellos de botella en cada nivel de crecimiento de modo de planificar las inversiones?
- Ej3: ¿Qué capacidad de tanques necesito dimensionar para este plan de refinación y capacidad de transporte de crudo? ¿Dónde se generan las restricciones?
- Ej4: ¿Qué nivel de servicio y tiempo máximo de espera tendrá el canal de navegación? ¿Como impactaría resolver ciertos cuellos de botella?
- Ej5: ¿Que impacto tendría un sistema web de turnos, sobre las filas en ruta y ocupación de la playa de camiones?

5 BENEFICIOS



Fig13: Beneficios

3.10 Reducción de Riesgos

El proyecto de simulación implica un estudio riguroso y sistémico de los procesos involucrados, que permite detectar anticipadamente inconsistencias.

Los resultados de los escenarios estudiados permiten crear una “hoja de ruta” para mitigar anticipadamente los problemas detectados antes que se manifiesten como costos o restricciones de capacidad.

3.11 Mejora TIR de Inversiones

Mientras en la fase más temprana se realice mayores serán los beneficios

A nivel de factibilidad, y concurrente con el diseño de ingeniería, permite proyectar la performance esperada del proyecto y dimensional los activos necesarios sin márgenes de seguridad arbitrarios.

En terminales existentes permite definir las inversiones en base a detectar y resolver los cuellos de botella, de modo que se minimiza la inversión incremental, aprovechando al máximo los activos instalados.

6 CONCLUSIONES

- Herramienta estratégica para proyectos portuarios que genera ventajas competitivas
- Mejora significativamente la TIR de los activos con una inversión pequeña
- Evaluar volatilidad en vez de fijar factores de seguridad arbitrarios
- Master Plan en base a resolver cuellos de botella
- Desafío más allá del software, implica rigurosa metodología de proyecto
- Los puertos pueden adoptarla de la misma forma que las industrias
- Para Argentina significa optimizar el aprovechamiento de los activos en un contexto de restricciones de capitales

7 REFERENCIAS

R.Nance – History of Simulation Lenguajes,
Virginia Tech 2012

D.Pedgen , S:Roberts– History of Simulation
Modelling , Winter Simulation Comference 2017

Borges, Simões, Franzese, Paz,- “Capacity
Planning Analsys For Service Steel Products
Harbor”, Winter Simulation Comference 2008

Moretti, Franzese, Benevides - “Matching
Production Planning And Ship Arrival
Scheduling By Simulation” Winter Simulation
Comference 2010