



## Ing. Germán Snaider<sup>1</sup> - Ing. Fernando Pillón<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ing. Químico (U.T.N.) - Posgrado en Ing. Gerencial (U.T.N.)

<sup>2</sup> Ing. Químico (U.B.A.) - Especialista en Dinámica de Sistemas (U.P.C. Cataluña) - Jefe Laboratorio Mecánica (UdeMM).

# Modelo de dinámica de sistemas para el análisis de proyectos de Ingeniería con tareas en paralelo

## Resumen

Las consultoras de ingeniería normalmente organizan su trabajo en forma de proyectos. Estos proyectos consisten en grupos de tareas que se efectúan en paralelo entre sí, ejecutadas por distintos grupos de trabajo. A su vez, cada grupo de tareas tiene dos ó tres revisiones de trabajo, que pueden ser consideradas como tareas en serie, una respecto de la otra. Estas tareas son ejecutadas por distintos integrantes del grupo de trabajo de un área específica de la ingeniería. A partir del modelo de tareas en serie propuesto por Pillón et al (2006), se propone un modelo extendido con el objetivo de analizar en conjunto dos grupos de tareas en paralelo, y obtener una herramienta para la planificación, la organización de los recursos humanos y para la mejora de los tiempos de ejecución.

## Palabras Clave

Proyectos de ingeniería, Dinámica de sistemas, Tareas en paralelo, Vensim.

## Introducción

Las empresas de ingeniería cuyo foco de negocio es el mercado del gas y

petróleo (Oil & Gas) compiten por ganar clientes que requieren la ejecución de diferentes tipos de proyectos en un plazo que les permita cumplir sus expectativas de producción. Dentro de este ámbito, un gran número de tareas son de corto plazo, y requieren una respuesta acorde de la empresa comitente, que necesita organizar un mismo grupo de gente para realizar diversas tareas y optimizar su rendimiento.

A partir del trabajo realizado por Pillón, Trunzo y Cocco (2006), se parte del modelo de ejecución de tareas en serie y se amplía el análisis al caso de tareas en paralelo. A través de una función de nivel, se realiza el conteo del número de tareas realizadas en cada grupo y luego se calcula el número de tareas totales del proyecto. Las tareas en el proyecto básicamente consisten en la redacción-emisión de documentos y tareas de tipo general como por ejemplo visita a instalaciones para conocer el estado actual en caso de proyectos de expansión o adecuación.

## Objetivo

El modelo de proyectos en paralelo tiene como finalidad brindar una

herramienta para planificar tareas, organizar los recursos humanos involucrados y analizar los tiempos de ejecución.

## Alcance

Este estudio está limitado a los proyectos de ingeniería que son realizados siguiendo un esquema de revisión de los documentos elaborados del tipo: "Redactó/Revisó/Aprobó", el cual es considerado en el modelo como un circuito de información que se retroalimenta mejorando la calidad de los productos finales. El modelo ha sido desarrollado para una duración de 12 meses, de máximo, para cada tarea.

## Materiales y métodos

La dinámica de sistemas es una herramienta de construcción de modelos de simulación que emplea datos empíricos como base para comprender el sentido y la correlación de cada elemento de un sistema y evaluar las tendencias de comportamiento implícitas en el mismo. Su objetivo es comprender el comportamiento del sistema sin entrar en detalles de sus mecanismos internos.

Se utiliza la metodología de modelado en dinámica de sistemas con el software Vensim PLE.

**Modelo propuesto**

Se modeló un proyecto compuesto por dos grupos de tareas en paralelo, uno compuesto por tres tareas en serie y otro por dos tareas en serie.

Las asunciones del modelo son:

- Existe un proyecto con dos grupos de tareas que se ejecutan a un mismo tiempo (en paralelo). Uno cuenta de tres grupos de tareas en serie y el otro de dos grupos de tareas en serie.
- Las tareas en serie requieren que la tarea inmediatamente anterior se encuentre completa para poder iniciarse.
- Los errores detectados en cada etapa son considerados como un porcentaje fijo del flujo de trabajo y generan un circuito retroalimentado con la cantidad de tareas pendientes.
- Se modela un retraso en la detección de errores para representar una baja tasa de detección en los primeros meses de proyecto que se incrementa a medida que se concluyen tareas y estas son revisadas.
- Las No Conformidades detectadas son consideradas un porcentaje del total del flujo de Trabajo 1A, Trabajo 1B ó Trabajo 1C dadas por las variables Calidad 1A, Calidad 1B y Calidad 1C, generando los respectivos flujos Errores 1A, Errores 1B y Errores 1C. Lo mismo se considera para el grupo de tareas 2A y 2B.
- Las No Conformidades detectadas son almacenadas en el nivel Errores No Detectados 1A, 1B y 1C (y 2A y 2B). Ambas generan un flujo que incrementan los niveles de tareas pendientes. Es la manera elegida para representar el retrabajo.
- Los flujos Errores Detectados 1A, 1B y 1C tienen una demora dada por las variables Retraso en

Detectar Errores 1A, 1B y 1C. De igual manera para el grupo de tareas 2A y 2B.

- Las Tablas 1A, 1B y 1C, (2A y 2B), permiten establecer si la demora en detectar los errores depende del nivel de las tareas pendientes, los recursos disponibles, plazo restante u otra relación de interés a estudiar.
- Los Trabajos Requeridos 1A, 1B y 1C (2A y 2B) dependen del nivel de tareas pendientes, el retraso de las tareas y la fuerza de trabajo disponible.
- La Fuerza de Trabajo Disponible 1A, 1B ó 1C (2A y 2B) representan los recursos humanos disponibles.
- El plazo restante, el tiempo que queda para la entrega al cliente representa la manera de medir la distancia al valor deseado dada por la duración prevista.
- Se contempla el tiempo de formación de los nuevos equipos de trabajo. Cada ingeniero debe leer e interpretar la información recibida del cliente y realizar análisis preliminares antes de comenzar a producir.

El diagrama de flujos del modelo simulado en Vensim PLE es mostrado en la figura 1.

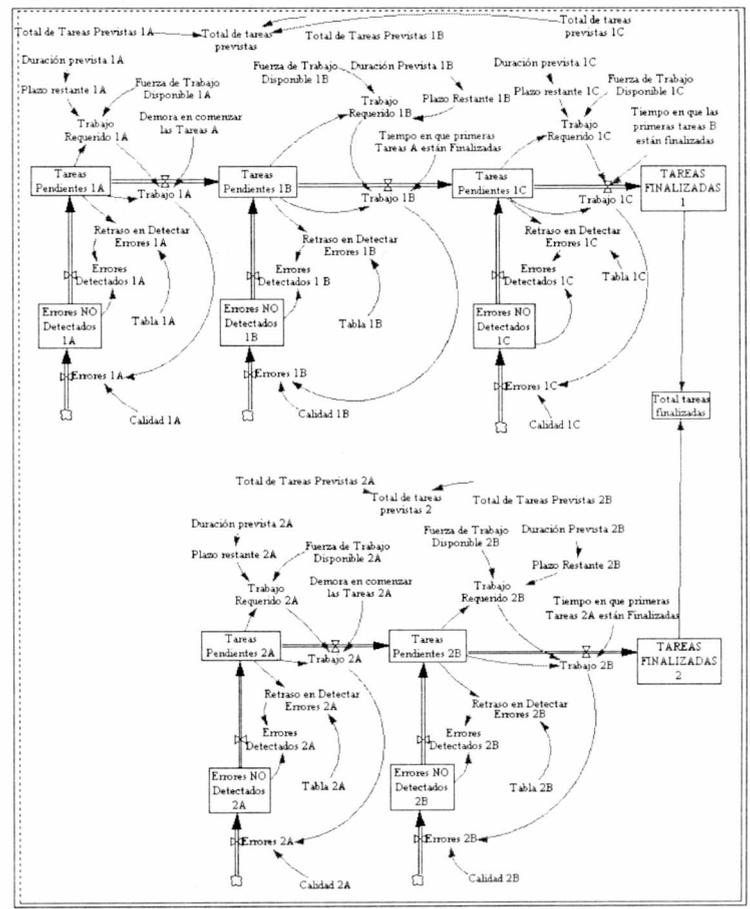


Figura 1: Diagrama de flujos del modelo de tareas en paralelo

Las tablas 1 y 2 muestran las principales variables del grupo de tareas 1 y 2, respectivamente, del modelo de la figura 1:

Variable	Valor ó valor inicial 1 A	Valor ó valor inicial 1 B	Valor ó valor inicial 1 C	Unidad
Calidad	0,9	0,9	0,9	-
Errores No detectados	0	0	0	tareas
Total tareas previstas	500	50	25	tareas
Duración prevista	12	12	12	mes
Fuerza de trabajo disponible	250	250	250	tareas/mes
Demora en comenzar las tareas A	0,5	-	-	mes
Demora en comenzar las tareas B	-	2	-	mes
Demora en comenzar las tareas C	-	-	6	mes

Tabla 1: Variables del modelo para el grupo de tareas en serie 1A, 1B y 1C.

Variable	Valor ó valor inicial 2 A	Valor ó valor inicial 2 B	Unidad
Calidad	0,9	0,9	-
Errores No detectados	0	0	tareas
Total tareas previstas	500	50	tareas
Duración prevista	12	12	mes
Fuerza de trabajo disponible	250	250	tareas/mes
Demora en comenzar las tareas A	0,5	-	mes
Demora en comenzar las tareas B	-	2	mes

Tabla 2: Variables del modelo para el grupo de tareas en serie 2A y 2B.

### Resultados:

Los valores dados en las tablas 1 y 2 permiten obtener los siguientes resultados para conocer la respuesta y desempeño del modelo.

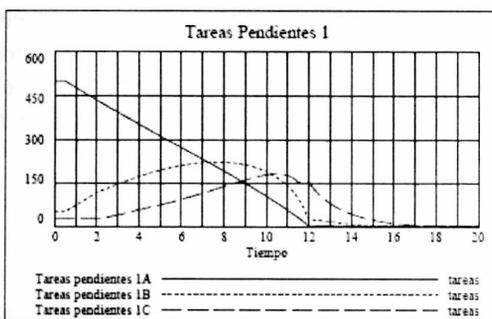


Figura 2: Tareas pendientes 1 - caso base

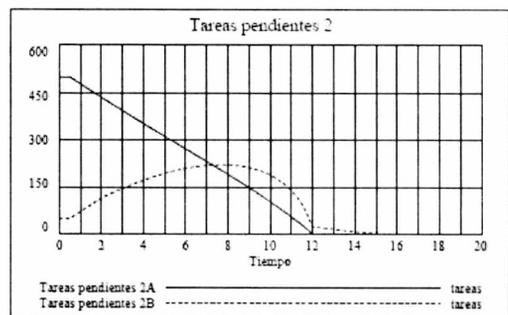


Figura 4: Tareas pendientes 2 - caso base

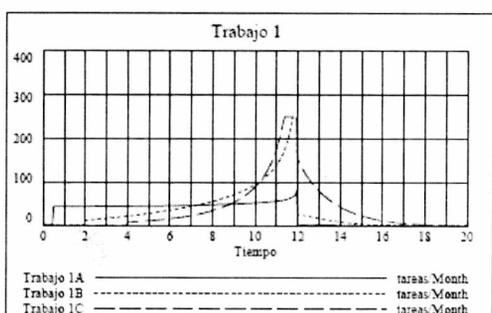


Figura 3: Trabajo 1 - caso base

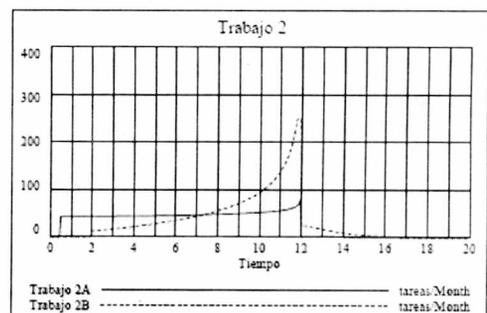


Figura 5: Trabajo 2 - caso base

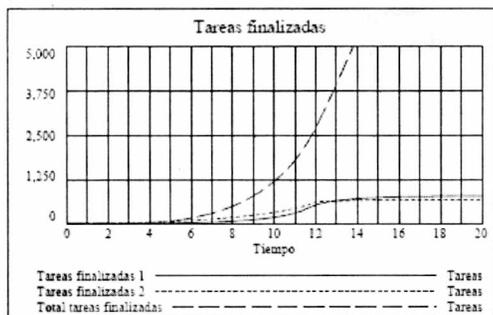


Figura 6: Tareas finalizadas - caso base

## Análisis de los resultados

El modelo de tareas en serie fue extendido a un esquema de dos grupos de tareas en paralelo, compuestas por un primer grupo de tres tareas en serie y un segundo grupo de dos tareas en serie. Este modelo corresponde a la corrida caso base. Se utilizan funciones de nivel para contabilizar el número de tareas finalizadas en cada grupo de tareas y luego, mediante una función de nivel adicional, se calcula el total de tareas finalizadas para todo el proyecto.

Las diversas simulaciones arrojaron los resultados de las figuras 2 a 6, para el grupo de tareas 2, podemos observar cuáles son las semanas con mayor demanda de trabajo para cada una de las 2 tareas en serie y puede ser evaluada si la fuerza de trabajo disponible podrá cubrir estos picos de demanda, uno de los problemas habituales de las empresas de ingeniería que buscan mantener a su personal ocupado el 100% de su tiempo. También es posible evaluar los esfuerzos extras requeridos en el cierre de proyecto y los efectos residuales de errores no detectados. El análisis para el grupo de tareas 1, de 3 tareas en serie, es análogo

al del grupo de tareas 2, excepto que los picos de trabajo acumulan una mayor demanda y el efecto residual de la tarea 1C es considerablemente mayor. El total de trabajo finalizado supera la suma del trabajo finalizado 1 y el trabajo finalizado 2 hacia el cierre del proyecto, porque es el momento en que se acumulan tareas por el factor de calidad empleado y el número de errores no detectados en los primeros meses.

## Conclusiones

Podemos concluir que el modelo representa de forma adecuada el esquema planteado y sintetiza la lógica de ejecución de proyectos. Los niveles de tareas, las variables de interrelación y los flujos elegidos dan una aproximación para simular casos de estudio para distintas situaciones. Entre ellas destacan las demoras del cliente o de la empresa de ingeniería, la falta de recursos y la calidad de los documentos elaborados.

También el modelo permite evaluar los momentos de mayor demanda de trabajo, y en el caso de 3 tareas en serie se observa que aumentan significativamente los picos de trabajo hacia el cierre del proyecto.

El modelo de tareas en paralelo incluyó al de tareas en serie y sienta las bases para realizar estudios de situaciones particulares o de un proyecto completo. Conocer de antemano el impacto dado por el cambio de una variable permitirá tomar medidas de mitigación y optimizar el objetivo del proyecto. El modelo permite analizar la posible ejecución del proyecto y el posible efecto de algunos eventos. Esto permite emplearlo como herramienta para realizar el análisis de riesgo, estudiar un probable flujo de caja y el manejo de recursos.

## Referencias

1. F. J. Pillon, A. R. Trunzo, F. H. Cocco. (2006). Gestión de proyecto - modelado y aplicaciones. Curso de especialización en dinámica de sistemas, Cátedra UNESCO, Universitat politècnica de Catalunya.
2. Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos (Guía PMBOK). 2004. Project Management Institute. 6, 123-156.
3. VENSIM PLE Version 4, Ventana Systems Inc. Software de simulación de dinámica de sistemas.
4. VENSIM PLE PLUS, User's guide version 4, 1988-1999 Ventana Systems Inc.
5. J. F. Speziale. (2000). "Presente y futuro de la consultoría". Trabajo presentado en el 8° Congreso Nacional y Panamericano de Consultoría Mérida 2000. Yucatán, México.