

## Planificación de Tareas de Proyectos basados en el Estándar PMBOK utilizando Teoría de Control Supervisor

*Dr. Eduardo Gamaliel Hernández Martínez*

*Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, Estado de México, México.*

[eghm2@yahoo.com.mx](mailto:eghm2@yahoo.com.mx)

*Ing. Víctor Manuel Guerrero García*

*Tecnológico Estudios Superiores de Chimalhuacán, Estado de México, México.*

[guerreroqvm@prodiqy.net.mx](mailto:guerreroqvm@prodiqy.net.mx)

*Lic. Guillermina Pérez González*

*Tecnológico Estudios Superiores de Chimalhuacán, Estado de México, México.*

[guille\\_929500@hotmail.com](mailto:guille_929500@hotmail.com)

**Área de participación:** Ingeniería Industrial

### Resumen

El artículo está dedicado al desarrollo de una metodología para la planificación de tareas de proyectos basados en el estándar de gestión de proyectos PMBOK. El objetivo consiste en generar automáticamente el cronograma que optimice la realización del proyecto, dadas las restricciones de dependencia lógica, recursos disponibles y tiempos. La alternativa que se propone consiste en la aplicación de los conceptos de Automatas de Estado Finito y Teoría de Control Supervisor. La ventaja de este enfoque, a diferencia de los métodos propuestos en el PMBOK como los diagramas de precedencia, método de la cadena crítica, PERT, etc. es que el usuario no necesita establecer la planificación en un solo gráfico con base en su experiencia, sino que construye y combina diferentes AEF y sintetiza un supervisor que propone las opciones de mayor concurrencia de tareas considerando la compartición de recursos. Finalmente, se presenta un caso simple que muestra las ventajas de esta metodología.

**Palabras clave:** PMBOK, Sistemas de Eventos Discretos, Teoría de Control Supervisor.

### Introducción

Un sistema de gestión de proyectos es el conjunto de herramientas, técnicas, metodologías, recursos y procedimientos utilizados para gestionar de forma eficaz un proyecto hasta su conclusión. En años recientes el mundo empresarial se está enfocando al uso de estos estándares ya que generalizan y aplican experiencias humanas consideradas como buenas prácticas (PMI, 2008). Estudios sistemáticos (Milosevic y Patanakul, 2005) afirman que su utilización incrementa el éxito de los proyectos debido a que el hombre somete su criterio a una metodología donde coordina y plasma sus ideas ordenadamente en un proyecto (Pant y Baroudi, 2008). Existen diferentes perspectivas en los estándares de gestión de proyectos, de los cuales el enfoque basado en tareas ha cobrado gran importancia en aplicaciones industriales (Kolltveit et al., 2007), donde los métodos de planeación y control, así como la estimación de costos tienen una posición central. El *Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*, creado por el *Project Management Institute (PMI)*, es uno de estos estándares ampliamente utilizado el cual propone la dirección de proyectos sustentada en cinco grupos de proceso que se interrelacionan con nueve áreas de conocimiento (PMI, 2008). La *gestión del tiempo del proyecto* es una de estas áreas e incluye los procesos requeridos para la generación y control de

un cronograma de actividades donde se lleve a cabo una secuenciación o coordinación de las tareas y recursos disponibles.

Existen diferentes métodos tradicionales de secuenciación de tareas dentro de la administración de proyectos y que incluso algunos son mencionadas en el PMBOK, por ejemplo, los diagramas de precedencia (PDM por sus siglas en inglés), el modelo de PERT, balanceo de líneas, métodos IDEF, etc. (PMI, 2008), (Lester, 2006), (Mayer y Menzel, 1995). La desventaja principal es que los gráficos se diseñan en un solo paso en manos de un experto, formando un diseño en lazo abierto. Así depende de la habilidad del diseñador la obtención de la mayor concurrencia de las tareas para optimizar el tiempo del proyecto. Por lo tanto, para proyectos con gran cantidad de tareas e interdependencias, estos métodos resultan confusos y no óptimos y pueden generar una inadecuada planificación. Algunas de las temáticas actuales de investigación sobre el PMBOK consisten el diseño y aplicación de métodos o procedimientos novedosos que faciliten al usuario la aplicación del estándar (PMI, 2008). Por esta razón, en este trabajo se propone una alternativa sistemática para la obtención de la secuenciación de tareas considerando dependencias lógicas, tiempos de tareas y compartición de recursos. La propuesta está basada en Sistemas de Eventos Discretos (SED) a través del formalismo de Automatas de Estado Finito (AEF) y Teoría de Control Supervisor (TCS) (Wonham, 2009). Aunque los SED se han aplicado ampliamente a diferentes áreas de la ingeniería y procesos (Cassandras y Lafortune, 2008), este método se ha usado poco en la gestión de proyectos, por lo que este trabajo propone una aplicación original y no convencional de los SED. En la literatura, trabajos como (Chen et al., 2008) y (Kao et al., 2006) sólo reportan aplicaciones de Redes de Petri para la asignación de recursos en proyectos.

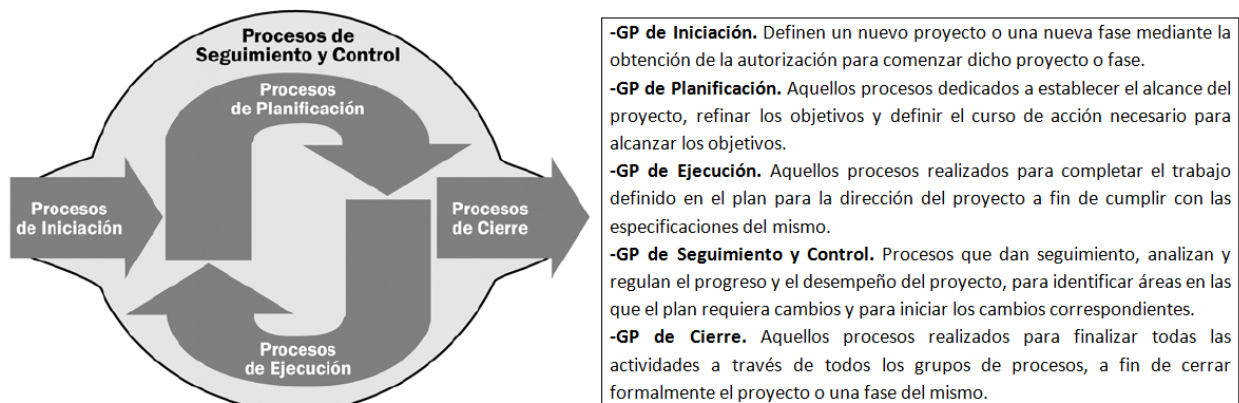
Este documento está estructurado de la siguiente manera. En la siguiente sección se proporciona una síntesis de los fundamentos del PMBOK subrayando la problemática de la secuenciación de tareas. Posteriormente se presentan los conceptos básicos de AES y TCS y su aplicación como método de secuenciación de tareas. Finalmente se presenta un ejemplo simple y comentarios sobre la implementación de la metodología en software.

### La secuenciación de tareas en el estándar PMBOK

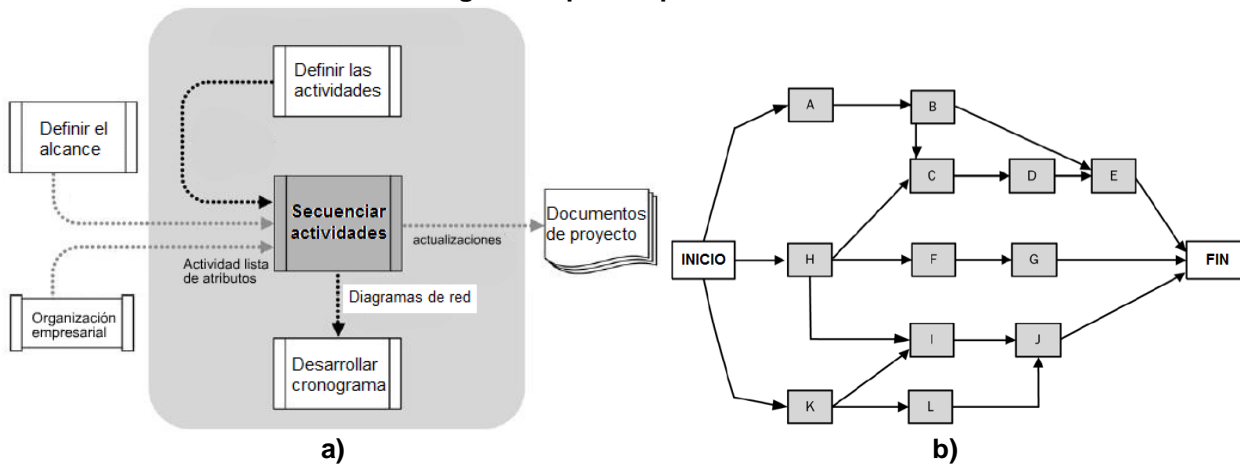
Un proyecto se define en el PMBOK como un esfuerzo temporal que se realiza para crear productos, servicios o resultados entregables únicos (PMI, 2008). Cada proyecto se logra con la integración de 42 procesos de dirección de proyectos los cuales se agrupan en los 5 Grupos de Procesos (GP's) mostrados en la fig. 1. Cuando el proyecto está dividido en fases, los GP's interactúan dentro de cada fase. La aplicación de estos GP's se basa en el dominio de 9 áreas de conocimiento relacionadas, respectivamente, con la gestión de la integración, alcance, tiempo, costos, calidad, recursos humanos, comunicaciones, riesgos y adquisiciones del proyecto. La gestión del tiempo del proyecto incluye los procesos requeridos para administrar la finalización del proyecto a tiempo y está centrada en la secuenciación de actividades como se muestra en la fig. 2a. Todo parte del establecimiento de las actividades, auxiliado por el método de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT por sus siglas en inglés), los alcances del proyecto y las políticas de la organización para definir, a través de algún método, la programación del proyecto, la cual se verá reflejada en un gráfico de Gantt o cronograma final.

El PMBOK hace alusión al PDM el cual es utilizado en el método de la ruta crítica (CPM) para crear un diagrama de red que utiliza casillas o nodos para representar las actividades, que se conectan con flechas las cuales representan sus relaciones lógicas (ver figura 2b). En general, el PMBOK establece cuatro tipos de dependencias lógicas entre dos tareas que relacionan el Inicio (IN) y/o Final (FI) de las mismas, así por ejemplo la relación (FI-IN) significa que deberá finalizar la

actividad predecesora para que inicie la actividad sucesora. De manera análoga se definen las otras tres relaciones dadas por (FI-FI), (IN-IN), (IN-FI). Observe que en la fig. 2b todas las dependencias son del tipo (FI-IN). También el PMBOK sugiere clasificar estas cuatro dependencias, de acuerdo a su naturaleza, en obligatorias (requeridas por contrato o inherentes a la naturaleza del trabajo), discretionales (o lógica preferencial o blanda) y externas (relaciones entre las actividades del proyecto y aquellas que no pertenecen al proyecto). Como se mencionó anteriormente, para proyectos con gran cantidad de tareas e interdependencias, el PDM y en general todos los métodos gráficos resultan no óptimos y confusos y dependen de la habilidad del diseñador para contemplar todas las posibles concurrencias debido a las dependencias lógicas y recursos disponibles. El objetivo en este sentido es diseñar una metodología donde, dada una lista inicial de actividades, recursos disponibles y tiempos además de considerar un conjunto de dependencias lógicas entre las tareas, obtener la mayor concurrencia posible de las tareas del proyecto de forma sistemática. La alternativa que se propone en este trabajo es el uso de la TCS cuyos conceptos fundamentales se presentan en la siguiente sección.



**Fig. 1. Grupos de procesos del PMBOK**

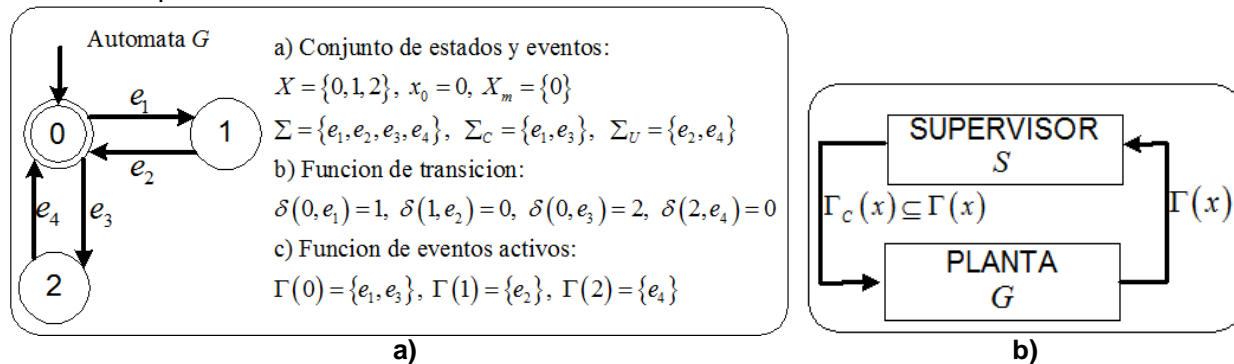


**Fig. 2. a) Secuencia de actividades del PMBOK, b) Método de diagrama de precedencias**

### Conceptos generales de AEF y TCS

Un SED es un sistema donde su estado evoluciona por la ocurrencia asincrónica de eventos a través del tiempo. En (Cassandras y Lafortune, 2008) se dan ejemplos de aplicaciones de SED en sistemas de tráfico, bases de datos, sistemas de administración, sistemas distribuidos, protocolos de comunicación, sistemas de logística, sistemas de manufactura, etc. Los AEF son un formalismo para

el estudio de los SED cuya ventaja principal es que se pueden construir modelos complejos a través de la sincronización o combinación de modelos individuales. También es posible modelar y sincronizar especificaciones individuales para la síntesis de controladores (Wonham, 2009). Un AEF es un tipo especial de grafo capaz de representar secuencias de eventos y se define como una séxtupla  $G := (X, \Sigma, x_0, X_m, \delta, \Gamma)$  donde  $X$  es el conjunto de estados,  $\Sigma$  es el conjunto de eventos,  $x_0 \in X$  es el único estado inicial,  $X_m \subseteq X$  es el subconjunto de estados marcados,  $\delta: X \times \Sigma \rightarrow X$  es la función (parcial) de transición y  $\Gamma: X \rightarrow \Sigma$  es la función de eventos activos. Los estados marcados permiten distinguir algunos estados que tienen un significado especial, por ejemplo, pueden representar el final de un proceso o el arranque de una estación de trabajo. El conjunto de eventos  $\Sigma = \Sigma_C \cup \Sigma_U$ ,  $\Sigma_C \cap \Sigma_U = \emptyset$  donde  $\Sigma_C, \Sigma_U$  son los conjuntos de eventos controlables e incontrolables, respectivamente. Un evento controlable puede ser ejecutado por un agente externo (la señal de un botón de arranque, un comando de arranque, etc.), mientras que un evento incontrolable no puede ser inhabilitado y puede ocurrir en cualquier momento como la señal de un sensor o la falla de una máquina.



**Fig. 3. a) Ejemplo de AEF, b) Esquema de control supervisor**

La figura 3a muestra un AEF, los estados son representados por círculos y los eventos por flechas. El estado inicial es el círculo con una flecha señalando hacia él. Los estados marcados son representados con doble círculo. Se observa que el estado 0 es un estado inicial y un estado marcado. La funciones del inciso b de la fig. 3a establecen las transiciones posibles del sistema. Finalmente la función de eventos activos indica qué eventos pueden ser habilitados en cada estado del sistema. El producto síncrono (Cassandras y Lafortune, 2008) es una operación que permite combinar dos o más autómatas en uno solo a través de reglas bien definidas donde un evento común puede ser ejecutado solo si los dos autómatas lo ejecutan simultáneamente y los demás eventos no comunes o privados no están sujetos a restricciones y pueden ser ejecutados donde sea posible. El producto síncrono puede realizarse a través de software especializado en SED como TCT (Wonham, 2009), Supremica (Cassandras y Lafortune, 2008) o SSPC (Sánchez y Douriet, 2004).

La TCS (Wonham, 2009) es una herramienta sistemática para la síntesis de supervisores de SED. Consiste en obtener el AEF de una planta o proceso no controlado, obtener modelos de comportamiento deseado para el sistema mediante especificaciones y entonces sintetizar un supervisor. El supervisor es otro AEF que determina qué eventos pueden ser habilitados para cada estado de la planta. El esquema de control supervisor se ilustra en la fig. 3b donde se observa que la planta comunica al supervisor los eventos activos de cada estado y entonces permite la habilitación de una parte o de todos los eventos posibles a elegir. La condición principal es que solo pueda habilitar o deshabilitar eventos controlables, es decir, eventos que físicamente se pueden accionar. La condición anterior se le conoce como condición de controlabilidad de un supervisor. El procedimiento para la síntesis de un control supervisor se resume a continuación.

1. Obtención de modelo de planta  $G = \text{sync}(G_1, \dots, G_n)$  donde  $G_1, \dots, G_n$  son los modelos en AEF de cada uno de los elementos del sistema.
2. Obtención de modelo de especificaciones  $S = \text{sync}(S_1, \dots, S_m)$  donde  $S_1, S_2, \dots, S_m$  son los modelos en AEF de cada una de las especificaciones del sistema.
3. Síntesis del Supervisor que se obtiene mediante la operación  $\text{SUPER} = \text{sync}(G, S)$ , sin embargo, si este AEF viola la condición de controlabilidad, será necesario eliminar estados hasta encontrar un sub autómatá que satisfaga esta condición. A este último AEF se le conoce como supremo controlable (SUPCON). El software TCT implementa un algoritmo para este último supervisor.

### Metodología de secuenciación de tareas basada en TCS

La metodología de secuenciación de tareas basada en TCS se resume en la fig. 4. Utilizando los procedimientos del PMBOK (específicamente de la gestión de integración del proyecto y la EDT) se identifican los responsables del proyecto (una sola persona, grupo de personas o incluso departamentos de una empresa) y las tareas que realizan. Por cada tarea se define dos eventos (inicio y fin de tarea), además se estima su duración, recursos, y dependencias lógicas con otras tareas. También se establecen los recursos disponibles del proyecto. Con esta información se construyen los AEF de los responsables, que al sincronizarlos generan el AEF de planta. Con la información de dependencias lógicas, se construyen los AEF de Especificaciones de Dependencias Lógicas (EDL) y con la información de los recursos disponibles se construyen las Especificaciones de Compartición de Recursos (ECR). Al sincronizar las EDL y las ECR se obtiene el AEF de especificación total del sistema. Finalmente con el algoritmo de SUPCON se sintetiza el control supervisor (SUPER) el cual es traducido a un gráfico de Gantt donde se obtiene el tiempo total del proyecto. Si este Gantt es aprobado, será el cronograma final del proyecto; si no lo es, entonces es posible, dado el caso, modificar algunas dependencias lógicas o asignar más recursos al proyecto y entonces recalcular a SUPER. Esto último constituye una retroalimentación del sistema para que el diseñador elija la mejor opción de cronograma.

Para ser más específicos en el procedimiento de modelado, considere a  $R_1, \dots, R_n$  como responsables del proyecto,  $H(R_i) = \{T_{i1}, \dots, T_{ik_i}\}$  como el conjunto de las  $k_i$  tareas que realiza  $R_i$ . Se definen  $ij1, ij0$  como los eventos de fin e inicio, respectivamente, de la tarea  $T_{ij}$ . Considere a  $A = \{A_1, \dots, A_p\}$  como el conjunto de recursos del sistema y  $C(A_i)$  la cantidad disponible del recurso  $A_i$ . Finalmente se define  $U(T_{ij}) \subseteq A$  como el conjunto de recursos que utiliza la tarea  $T_{ij}$ . Los modelos en AEF de cada responsable se muestran en la fig. 5. Se observa que el AEF establece que un responsable puede realizar todas sus tareas pero una sola a la vez. Cuando se han modelado los  $n$  responsables, entonces se sincronizan para obtener el autómatá de planta  $G$  (ver fig. 4). Por otra parte, las EDL's definidas entre pares de tareas se modelan de acuerdo a su tipo, tal como lo muestra la figura 5. Se observa que se colocan autolazos en cada estado de todos los eventos del sistema (conjunto  $\Sigma$ ), excepto los eventos que aparecen en la lógica de dicha EDL. Cada uno de los recursos  $A_i$  del sistema genera una ECR que básicamente es un modelo de cola cuya longitud (número de estados) depende de la cantidad de recursos disponible  $C(A_i)$  y donde los eventos que vacían y llenan la cola son los eventos de inicio y fin, respectivamente, de las tareas que utilizan dicho recurso. De manera similar a las EDL, las ECR también llevan autolazos. Como se mencionó anteriormente, la especificación total  $S$  se obtiene de sincronizar todas las EDL y ECR. Finalmente, con el AEF de planta y el AEF de especificación total se sintetiza el supervisor SUPER. De manera breve, la traducción de SUPER al gráfico de Gantt se resume en los siguientes puntos:

1. Ejecutar de manera paralela al AEF de planta y a SUPER.
2. Si en el estado actual, aparecen eventos de inicio que SUPER permite ejecutar, elegir uno de ellos y dibujar el inicio de la tarea correspondiente en el Gantt.
3. Si en el estado actual solo aparecen eventos de fin de tarea, elegir el evento de la tarea que dure menos tiempo y dibujar el fin de esa tarea en el Gantt.
4. Realizar lo anterior hasta que no haya más eventos que habilitar.

Para comprender mejor la metodología descrita en esta sección, se presenta una aplicación simple en la siguiente sección.

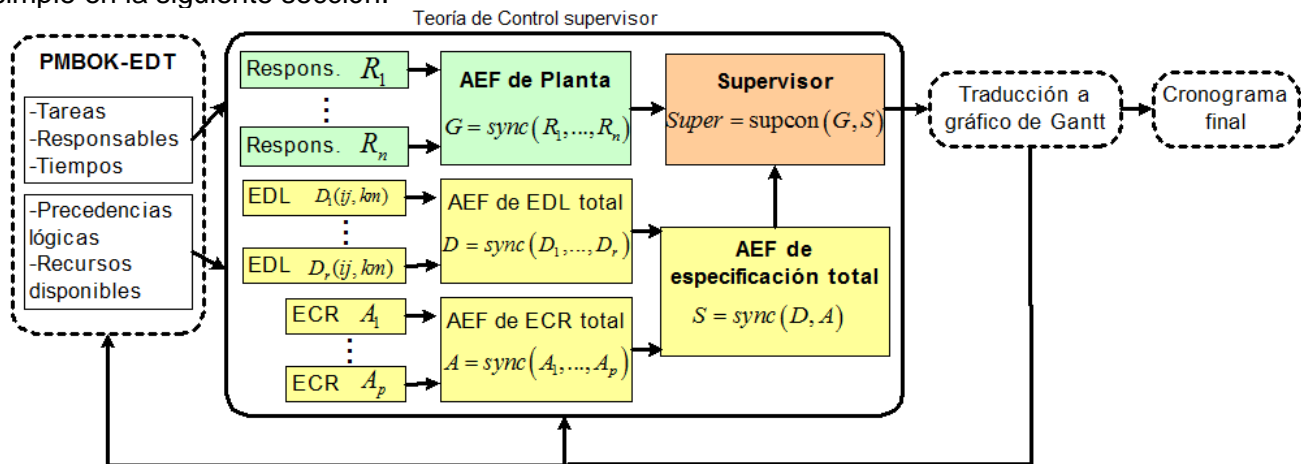


Fig. 4. Metodología de TCS en la planificación de tareas.

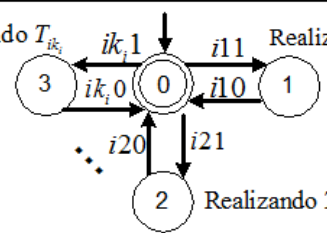
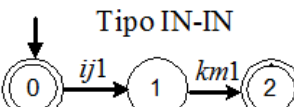
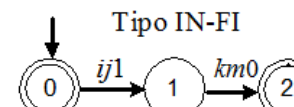
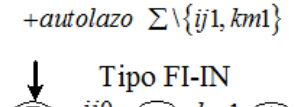
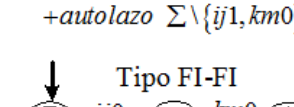
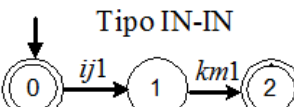
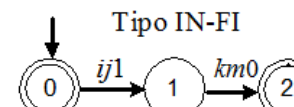
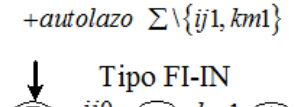
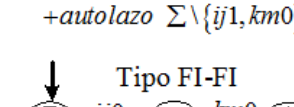
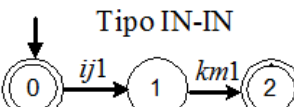
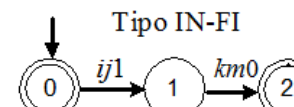
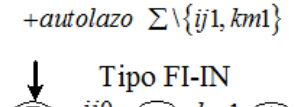
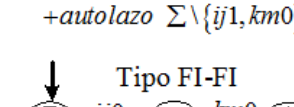
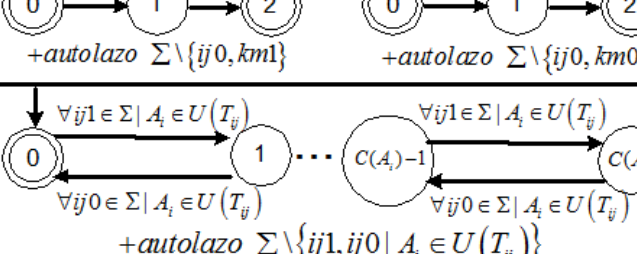
Tipo	AEF				
Responsable $R_i$	 <p>Realizando <math>T_{ik}</math>    <math>ik,1</math>    <math>i1,1</math>    Realizando <math>T_{i1}</math></p> <p><math>ik,0</math>    <math>i1,0</math></p> <p><math>i2,0</math>    <math>i2,1</math></p> <p>Realizando <math>T_{i2}</math></p>				
EDL $t$ entre $T_{ij}$ y $T_{km}$ $D_i(ij, km)$	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"> <p>Tipo IN-IN</p>  <p><math>ij,1</math>    <math>km,1</math></p> <p>+autolazo <math>\Sigma \setminus \{ij,1, km,1\}</math></p> </td> <td style="text-align: center;"> <p>Tipo IN-FI</p>  <p><math>ij,1</math>    <math>km,0</math></p> <p>+autolazo <math>\Sigma \setminus \{ij,1, km,0\}</math></p> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> <p>Tipo FI-IN</p>  <p><math>ij,0</math>    <math>km,1</math></p> <p>+autolazo <math>\Sigma \setminus \{ij,0, km,1\}</math></p> </td> <td style="text-align: center;"> <p>Tipo FI-FI</p>  <p><math>ij,0</math>    <math>km,0</math></p> <p>+autolazo <math>\Sigma \setminus \{ij,0, km,0\}</math></p> </td> </tr> </table>	<p>Tipo IN-IN</p>  <p><math>ij,1</math>    <math>km,1</math></p> <p>+autolazo <math>\Sigma \setminus \{ij,1, km,1\}</math></p>	<p>Tipo IN-FI</p>  <p><math>ij,1</math>    <math>km,0</math></p> <p>+autolazo <math>\Sigma \setminus \{ij,1, km,0\}</math></p>	<p>Tipo FI-IN</p>  <p><math>ij,0</math>    <math>km,1</math></p> <p>+autolazo <math>\Sigma \setminus \{ij,0, km,1\}</math></p>	<p>Tipo FI-FI</p>  <p><math>ij,0</math>    <math>km,0</math></p> <p>+autolazo <math>\Sigma \setminus \{ij,0, km,0\}</math></p>
<p>Tipo IN-IN</p>  <p><math>ij,1</math>    <math>km,1</math></p> <p>+autolazo <math>\Sigma \setminus \{ij,1, km,1\}</math></p>	<p>Tipo IN-FI</p>  <p><math>ij,1</math>    <math>km,0</math></p> <p>+autolazo <math>\Sigma \setminus \{ij,1, km,0\}</math></p>				
<p>Tipo FI-IN</p>  <p><math>ij,0</math>    <math>km,1</math></p> <p>+autolazo <math>\Sigma \setminus \{ij,0, km,1\}</math></p>	<p>Tipo FI-FI</p>  <p><math>ij,0</math>    <math>km,0</math></p> <p>+autolazo <math>\Sigma \setminus \{ij,0, km,0\}</math></p>				
ECR de recurso $A_i$	 <p><math>\forall ij,1 \in \Sigma   A_i \in U(T_{ij})</math>    <math>\forall ij,1 \in \Sigma   A_i \in U(T_{ij})</math></p> <p><math>\forall ij,0 \in \Sigma   A_i \in U(T_{ij})</math>    <math>\forall ij,0 \in \Sigma   A_i \in U(T_{ij})</math></p> <p>+autolazo <math>\Sigma \setminus \{ij,1, ij,0   A_i \in U(T_{ij})\}</math></p>				

Fig. 5. Modelos de AEF de responsables y especificaciones

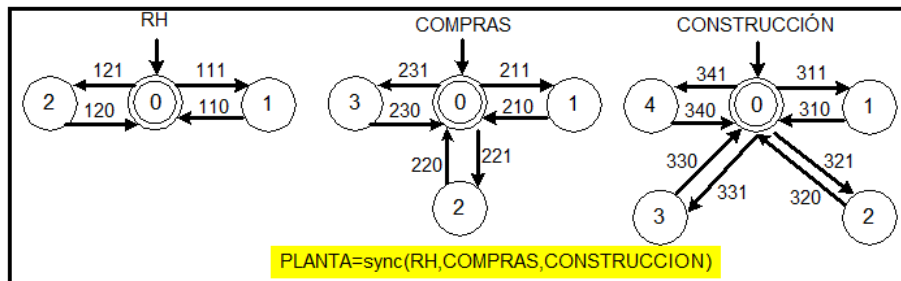
### Ejemplo de aplicación

Considere la construcción de un hospital. Después de aplicar las recomendaciones del PMBOK y del EDT, se establecen los responsables, tareas y recursos mostrados en la Tabla 1. Aplicando los modelos descritos en la fig. 5, se obtienen los AEF de los responsables mostrados en la fig. 6. Por otra parte, la Tabla 1 describe 8 dependencias lógicas del tipo FI-IN mostradas en la fig. 7. Por ejemplo, la T12 puede comenzar hasta que la tarea T34 finalice (ver D1(34,12)), y así sucesivamente. Observe que estas EDL están clasificadas, por sugerencia del PMBOK, en obligatorias, discrecionales y externas. Así, la dependencia entre la tarea T23 y T34 es externa porque la compra de equipo médico (T23) depende de la disposición de los proveedores, mientras que la dependencia entre T31 y T32 es obligatoria ya que hasta después de haber concluido los cimientos (T31), se puede iniciar la obra negra (T32). Finalmente las ECR relativas a cada recurso se muestran en la fig. 8. Observe que solamente el recurso A7 llega hasta el estado 2 ya que es el único recurso con cantidad igual a 2. Finalmente, hallando el supervisor y aplicando el método de traducción se obtiene el gráfico de Gantt de la fig. 9. Este presenta la mayor concurrencia posible de tareas que obedecen las especificaciones y recursos disponibles del sistema. El diseñador podrá constatar que si se aumenta otro responsable para el área de compras o aumenta recursos, se obtiene una mayor concurrencia de tareas, por lo que solamente modificando la tabla inicial de datos, se obtienen diferentes propuestas de cronogramas. Aunque el ejemplo de aplicación es relativamente simple por falta de espacio, se puede vislumbrar que la metodología es aplicable para todo tipo de proyectos con gran número de tareas y compleja compartición de recursos, como los que suelen existir comúnmente en la industria.

La metodología puede ser accesible al usuario, ya que solo se requiere la tabla inicial de datos en Excel. El algoritmo de TCS puede ser programado basado en una ventana gráfica en Visual Basic, C++, etc. y los gráficos de Gantt pueden ser trazados fácilmente o exportados a otros programas de gestión de proyectos. Por lo tanto la infraestructura tecnológica necesaria consiste solo en equipo de cómputo con plataformas comerciales de software.

**Tabla 1. Datos de inicio del ejemplo de aplicación**

RESPONSABLE	TAREA	DESCRIPCIÓN	Ev. Inicio	Ev. Fin	Tiempo (días)	Recursos	Dependencias lógicas			DISPONIBILIDAD DE RECURSOS		
							OBL	DISC	EXT	RECURSO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
R1-Recursos Humanos	T11	Selección y contratación de personal	111	110	2	A1				A1	1	Personal operativo de RH
	T12	Pago al personal	121	120	1	A1, A2	T34			A2	1	Personal administrativo
R2-Compras	T21	Compra material para construcción	211	210	3	A2,A3				A3	1	Supervisor de Gobierno
	T22	Renta de maquinaria y equipo	221	220	1	A2,A5				A4	1	Técnicos de equipo médico
	T23	Compra de equipo médico	231	230	3	A2,A4				A5	1	Cuadrilla de albañiles
R3-Construcción	T31	Construcción de cimientos	311	310	20	A5,A6	T11		T21,T22	A6	1	Maquinaria pesada
	T32	Construcción de obra negra	321	320	30	A5,A7	T31			A7	2	Herramientas para construcción
	T33	Acabados finales	331	330	30	A5,A7	T32					
	T34	Instalación de equipo médico	341	340	15	A3,A4	T33		T23			



**Fig. 6. AEF de los responsables y obtención del AEF de planta**

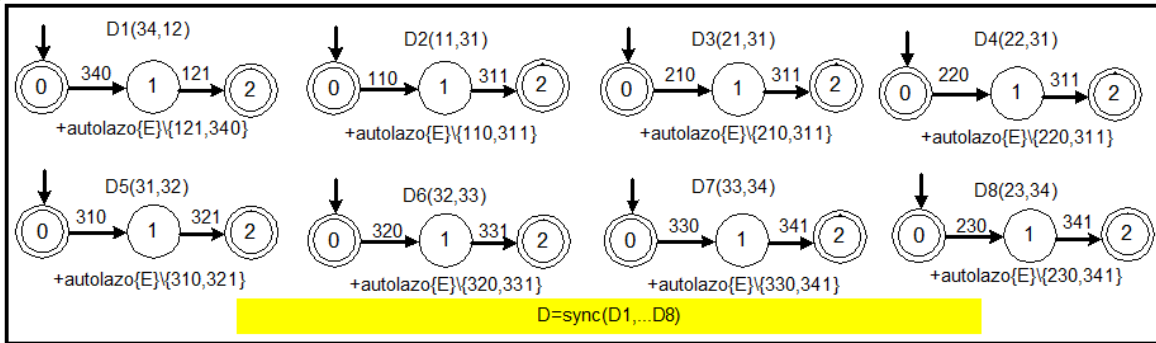


Fig. 7. Modelos de las EDL

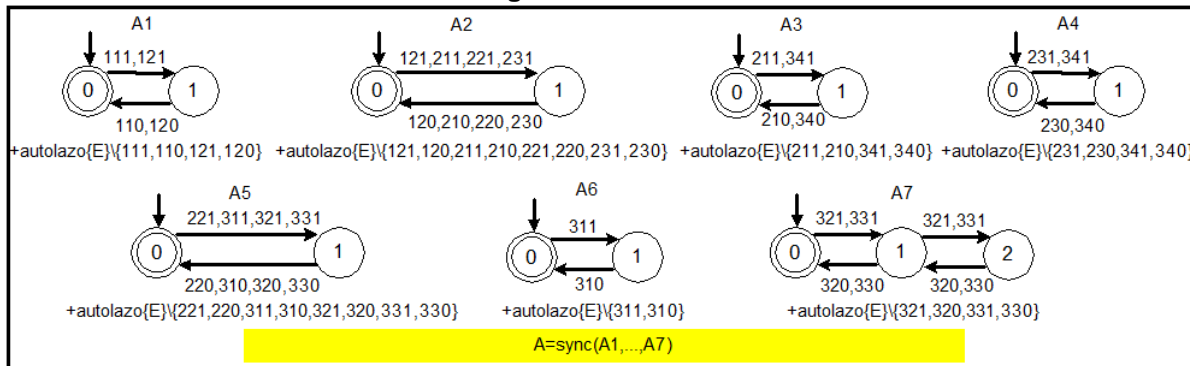


Fig. 8. Modelos de las ECR

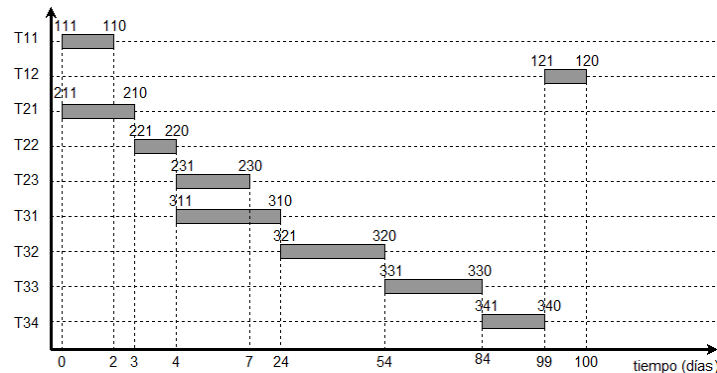


Fig. 9. Cronograma final

### Conclusiones

La aplicación de TCS presenta una alternativa para la planificación de tareas de proyectos. La ventaja radica en que, dada la información inicial de responsables, tareas, tiempos, dependencias lógicas entre pares de tareas y recursos disponibles, es posible obtener un control supervisor que permita la máxima concurrencia de tareas y al mismo tiempo obedezca las restricciones del sistema. Dicho supervisor puede ser traducido fácilmente a uno o varios gráficos de Gantt, de tal manera que el diseñador puede elegir un cronograma final o realizar las modificaciones pertinentes para lograr una mayor concurrencia y optimizar el tiempo del proyecto. Como trabajo futuro se considerarán los costos de las tareas y recursos, de manera que se obtenga un nuevo criterio de selección de cronograma que equilibre tanto los costos como el tiempo del proyecto. También se desarrollará la aplicación de software que implemente esta metodología.

## Agradecimientos

Al programa de Apoyo de Becas de posgrado COMECYT, por el financiamiento de este trabajo.

## Referencias

- <sup>1</sup> Project Management Institute, *Project Management Book of Knowledge (PMBOK)*, cuarta edición, 2008.
- <sup>2</sup> D. Milosevic, P. Patanakul, Standardized *project management may increase development projects success*, International Journal of Project Management, vol. 23, 2005, pp. 181–192.
- <sup>3</sup> I. Pant, B. Baroudi, *Project management education: The human skills imperative*, International Journal of Project Management, vol. 26, 2008, pp. 124–128.
- <sup>4</sup> B.J. Kolltveit, J.T. Karlsen, K. Grønhaug, *Perspectives on project management*, International Journal of Project Management, vol. 25, 2007, pp. 3-9.
- <sup>5</sup> A. Lester, *Project Management, Planning and Control*, 5a. Edición, Butterworth-Heinemann, 2006.
- <sup>6</sup> R. J. Mayer, C. P. Menzel, *Information Integration for concurrent engineering IDEF3 process description capture*, College Station, 1995.
- <sup>7</sup> W. M. Wonham. *Notes on Control of Discrete-Event System*. University of Toronto, 2009.
- <sup>8</sup> C.G. Cassandras, S. Lafortune. *Introduction to Discrete Event Systems*. Kluwer Academics, 2008.
- <sup>9</sup> Y. L. Chen, P.Y. Hsu Y.B. Chang, *A Petri Net Approach to Support Resource Assignment in Project Management*, IEEE transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part A, vol. 38, no. 3, 2008, pp 564-574.
- <sup>10</sup> H.P. Kao, B. Hsieh, Y. Yeh, *A Petri-net based Approach for Scheduling and Rescheduling Constrained Multiple Projects*, Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, vol. 23, no. 6, 2006, pp. 468-477.
- <sup>11</sup> A. Sanchez, J. Douriet. *Synthesis of a class of discrete-event controllers for forced actions*, IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, 2004.

## Acerca de los autores

El Dr. Eduardo Gamaliel Hernández Martínez estudió Ingeniería Electrónica en el ITO. Posteriormente se graduó como Maestro y Doctor en Ciencias en Mecatrónica en el CINVESTAV-IPN. Actualmente es profesor de tiempo completo de la Unidad de Estudios de Posgrado e Investigación del TESCo. Sus principales áreas de interés son los sistemas de eventos discretos, robótica móvil y sistemas multiagentes.

El Ing. Víctor Manuel Guerrero García y la Lic. Guillermina Pérez González estudiaron las carreras de Ingeniería Industrial en el TESOEM y la licenciatura en Economía en la UAM-Iztapalapa, respectivamente. Ambos son profesores en la división de Ingeniería Industrial en el Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán y actualmente concluyen sus estudios de M. en C. en Ingeniería Industrial en el TESCo. Sus principales áreas de interés son los procesos industriales y la administración de proyectos.