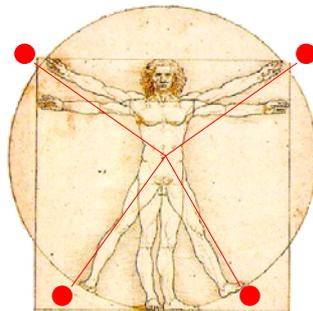


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN III. AÑO 2005

SEPARATA



FORMULACIÓN DE UN ALGORITMO PARA LA ASIGNACIÓN Y
NIVELACIÓN DE RECURSOS EN LA PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS
CON RECURSOS LIMITADOS Y DISTINTAS DURACIONES POSIBLES PARA
LAS ACTIVIDADES, UTILIZANDO EL MÉTODO ROY.

Fco. David de la Peña Esteban, Daniel García de Frutos y M^a Antonia Simón
Rodríguez.



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Fco. David de la Peña Esteban, Daniel García de Frutos y M^a Antonia Simón Rodríguez.
Marzo, 2005

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECTIN05_001.pdf

© De la edición: *Revista Tecnológ@ y desarrollo*

Escuela Politécnica Superior.

Universidad Alfonso X el Sabio.

28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).

ISSN: 1696-8085

Editor: Julio Merino García tecnologia@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

Tecnológ@ y desarrollo. ISSN 1696-8085. Vol.III. 2005.

FORMULACIÓN DE UN ALGORITMO PARA LA ASIGNACIÓN Y NIVELACIÓN DE RECURSOS EN LA PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS CON RECURSOS LIMITADOS Y DISTINTAS DURACIONES POSIBLES PARA LAS ACTIVIDADES, UTILIZANDO EL MÉTODO ROY

Fco. David de la Peña Esteban^{a)}, Daniel García de Frutos^{b)}, M^a Antonia Simón Rodríguez^{c)}

a) Ing. Industrial, Profesor Asociado del Departamento de Tecnología Industrial, Escuela Politécnica Superior, Universidad Alfonso X el Sabio. Avda. de la Universidad nº1, Villanueva de la Cañada, 28691 Madrid. España. Tlf.:918109190, email: fdelaest@uax.es

b) Arquitecto Técnico, Jefe de Estudios de Arquitectura Técnica, del Departamento de Arquitectura Técnica, Escuela Politécnica Superior, Universidad Alfonso X el Sabio.

c) Ing. Industrial, Profesora Asociada del Departamento de Tecnología Industrial, Escuela Politécnica Superior, Universidad Alfonso X el Sabio.

RESUMEN: Las técnicas heurísticas tradicionales que se utilizan para la nivelación de recursos en la programación de proyectos presentan el inconveniente de no tener en cuenta todas las posibles consideraciones. Uno de los problemas detectados en estas técnicas es que las actividades solo tienen una duración posible, y otras que no tienen en cuenta los recursos necesarios para distintas duraciones de una misma actividad. Para solventar estos problemas se ha desarrollado un método heurístico, que con ayuda de gráficos tipo ROY, realiza en función de los recursos humanos disponibles, y de las posibles duraciones de cada actividad, una programación del proyecto.

PALABRAS CLAVE: recursos, nivelación, programación, proyecto.

ABSTRACT: *The heuristic techniques involved in leveling resources in project scheduling don't consider many factors. There are well known problems in these techniques, as the activities have only one estimated time, and the no consideration of the associated resources to different estimated times. Trying to correct this, it has been developed an heuristic algorithm, that uses the ROY method. This new algorithm has in consideration the human resources available in conjunction with the possibility of different estimated times for any activity, and the result is the project scheduling.*

KEY-WORDS: *resources, leveling, scheduling, project.*

1. Introducción

La planificación de un proyecto incluye la definición de las actividades a realizar, su secuenciación, la estimación de la duración de las actividades, así como la consideración de recursos que se disponen para la realización del proyecto.

La planificación se puede considerar como un conjunto de estimaciones, que producen un plan con una fecha de finalización que es aceptada por todos los implicados. A esta planificación se la llama *planificación libre o free planning*.

Para que esta planificación tenga éxito, y se obtenga la programación del proyecto, es indispensable que la asignación y nivelación de recursos se realice de una manera precisa y concreta. Para ello los métodos de nivelación de recursos crean un marco no siempre satisfactorio, ya que no consideran todos los factores relevantes.

Las técnicas de programación lineal son las que mejor se pueden adaptar a cada proyecto en particular, pero implican la creación de un modelo propio, con sus restricciones particulares. La dificultad en la creación de este modelo puede variar mucho, siendo en muchos casos trivial, pero en otros entraña unas dificultades muy grandes. Poder parametrizar en restricciones todas las actividades, duraciones, recursos, tanto humanos como materiales, es en ocasiones una tarea muy ardua, por lo que apenas se utiliza.

Las técnicas heurísticas tradicionales que se utilizan para la nivelación de recursos en la programación de proyectos presentan el inconveniente de no tener en cuenta todas las posibles consideraciones. La mayoría se basan en los diagramas PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) ó ROY, con lo que las únicas precedencias posibles entre las actividades son final – comienzo, lo que en muchos proyectos es insuficiente.

Otro problema detectado es que en estas técnicas las actividades solo tienen una duración posible, excepto en el método de programación de recursos CPM (*Critical Path Method*). Esto no es real, ya que una misma actividad puede ser realizada en distintos períodos de tiempo (una misma actividad puede ser realizada en algún caso en dos días, o si se aceleran los trabajos, y se emplean más recursos puede ser realizada en un día), lo que implicaría una asignación de recursos en cada caso, no teniendo que ser lineal la relación entre la duración de la actividad y recursos necesarios para finalizarla. A pesar de que el método de programación de recursos con CPM sí tiene en cuenta distintas duraciones, sólo tiene en cuenta el coste derivado con cada una de las opciones,

Formulación de un algoritmo para la asignación y nivelación de recursos en la programación de proyectos con recursos limitados y distintas duraciones posibles para las actividades, utilizando el método ROY. 5

pero no los recursos necesarios para cada una de las duraciones, con lo que el estudio que realiza es meramente económico.

La programación del proyecto determinará las fechas de inicio y fin de cada actividad, así como la reasignación de los recursos necesarios para cada actividad, de manera que se pueda llevar el plan a cabo con éxito. Se basará en la información del diagrama de red del proyecto, la estimación de la duración de las actividades, las restricciones existentes en el proyecto, los supuestos asumidos en el mismo, las restricciones (fecha de terminación impuesta, hitos en el proyecto) y las necesidades de recursos previstos para cada actividad.

Con toda esta información se deberá comprobar cuando los recursos necesarios quedan libres, y habrá que comprobar el calendario de proyectos, y de esta manera determinar cuando se puede llevar a cabo el proyecto. Habrá que comprobar los tiempos de suministro de todo aquello necesario para el proyecto.

Mediante las técnicas de programación (CPM, PERT, Precedencias, etc) y otra serie de herramientas se obtendrá el Programa para el proyecto. Este contendrá las fechas de inicio y fin para cada actividad, así como la fecha final del proyecto. Este programa se presentará de varias formas, como diagramas de red, diagramas de barras (Gantt), diagramas de hitos, diagramas en función del tiempo, etc. El Programa deberá tener un gran nivel de detalle, incluyendo la documentación relativa a todas las restricciones dadas, los supuestos asumidos, el riesgo asumido, los recursos necesarios por unidad de tiempo, programas alternativos para el mejor y el peor caso. También deberá incluir las posibles actualizaciones en las necesidades de recursos.

La programación inicial proporcionará una información que incluirá tanto informes numéricos como gráficos. Los informes numéricos harán referencia a cada actividad aisladamente, especificando descripción, duración, fechas de inicio y de terminación, margen total (máximo retraso posible), duración planificada, niveles de organización (que las relaciona con un contrato, especialidad, capítulo establecido en la Estructura de Descomposición del Proyecto, EDP). También harán referencia al conjunto de actividades, informando sobre listado de actividades del camino crítico, listado general, listado por cada nivel establecido en la EDP, etc.

De cara a una perfecta definición de la programación habrá que considerar también los siguientes factores:

6 Fco. David de la Peña Esteban, Daniel García de Frutos y M^a Antonia Simón Rodríguez.

Elección de las unidades para los recursos: no siempre será posible decir que una actividad necesita de un número entero de días de trabajo para un trabajador, sino que puede necesitarse unidades más pequeñas, como las horas de trabajo/ hombre.

Habrá que especificar si el uso de los recursos es constante durante una actividad, o si se deben usar primero unos recursos y luego otros.

Se deberá tener en cuenta la eficiencia de los trabajadores empleados, ya que se pueden tener 10 trabajadores, pero que realmente se realice el trabajo sólo de 9.

Las disponibilidades de sobretiempo en un proyecto, como trabajar los sábados por la mañana, o trabajar a 3 turnos en vez de a 2, puede ayudar en momentos que ha habido un retraso.

Las vacaciones del personal habrá que tenerlas en cuenta de cara a la disponibilidad de los recursos humanos.

Para estar dentro del presupuesto disponible, se deberá conocer los costes de mano de obra programados, y comprobar que son válidos o se necesita algún reajuste. Por la misma razón se tendrán en cuenta los costes derivados por compras de materiales, maquinaria, etc para poder realizar el proyecto.

Este artículo se basa en los resultados del proyecto de investigación “Análisis e innovación de las técnicas de nivelación de recursos en la programación de proyectos”, cuyos investigadores son los mismos autores del artículo.

2. Objetivos

Una vez analizados los métodos para la asignación y nivelación de recursos en la programación de proyectos, y vistos los inconvenientes que presentan, el objetivo de este artículo es el desarrollo de un método de nivelación de recursos que tenga en cuenta la posibilidad de que una actividad pueda tener una duración variable, permitiendo el método especificar qué duración sería la idónea. Para ello sería necesario conocer para cada posible duración, qué recursos humanos son necesarios por la unidad de tiempo elegida, habitualmente un día. Estos recursos no tienen por qué ser lineales con respecto a la duración de la actividad, ya que una misma actividad realizada en menos tiempo, puede necesitar más o menos recursos que los que proporcionalmente se establecería.

El método desarrollado debe poderse implementar fácilmente, que logre que la duración del proyecto sea lo más corta posible, y obligando a que la carga de trabajo diaria nunca supere a los recursos humanos disponibles por día.

3. Programación de recursos

La programación de los recursos disponibles será un tema crucial para lograr que el proyecto esté finalizado en los plazos y costes establecidos. Lo primero será determinar cuáles son los recursos que pueden ser programados. Se incluirán generalmente los recursos humanos, maquinaria disponible, materias primas y dinero.

Con ayuda de las diversas técnicas de redes, se habrá establecido un camino crítico y unas holguras para cada una de las actividades. La prioridad para asignar recursos que se impondrá será que a menor holgura disponible para una actividad, mayor será la prioridad para programar los recursos de esa actividad.

Habrá que realizar un estudio de tiempos, considerando condiciones normales de trabajo, y determinar cuál es el tiempo mínimo requerido para la finalización del proyecto. Se dispondrá de un diagrama de Gantt, donde están reflejadas todas las actividades, duración, así como queden reflejadas las necesidades de trabajadores y su cualificación para cada día del proyecto. Con ello ya se podrá realizar el calendario, donde habrá que considerar en un principio que las semanas son de 5 días laborables, así como las posibles fiestas que pueda haber.

Con ello se obtendrá un histograma de recursos humanos por días. Habrá que reajustar los recursos teniendo en cuenta las disponibilidades de cada día. Para el reajuste se realizará primero el de las actividades no críticas, intentando disminuir los picos de trabajadores necesarios. Luego se reajustarán las actividades críticas cuando no quede otro remedio. Esto ocurrirá cuando los recursos son limitados, y no se puede hacer nada para aumentarlos a lo largo de la vida del proyecto.

Pero el que los recursos sean tan limitados puede hacer que el proyecto no pueda ser llevado a cabo en las condiciones de tiempo necesarias. Habrá veces que será necesario reprogramar los recursos del proyecto, pero sin que afecte a la duración total del proyecto. Para ello, por ejemplo, se podrá recurrir a aceptar trabajadores adicionales solo los días que sean estrictamente necesarios para que el proyecto no se retrase. Por tanto las actividades críticas no pueden modificarse, no así las actividades no críticas,

que al disponer de holgura pueden retrasarse cuando interese ese margen sin que afecte a la duración total del proyecto.

Se puede llegar a una solución intermedia cuando se puede finalizar el proyecto en una fecha posterior al de la programación con las fechas más tempranas. En estos casos se podrán retrasar algunas tareas críticas, de manera que los recursos queden mejor distribuidos.

Para poder lograr esta programación de los recursos que se ha comentado, se pueden aplicar técnicas de *programación lineal*, así como algunos *métodos heurísticos*. Las técnicas de programación lineal no suelen ser operativas debido al exceso de variables y restricciones, la dificultad de poder reflejar todas las consideraciones como restricciones, y la falta de estandarización que conlleva. Si por el contrario se logra obtener todas las restricciones y la función objetivo de un proyecto, la solución obtenida será la óptima.

Como técnicas heurísticas para la nivelación de recursos, destaca el de **Burgess-Killebrew** (Domínguez et al, 1999) para la nivelación de la mano de obra de un proyecto. En este método se parte del diagrama de carga de mano de obra, y lo primero a realizar será buscar la actividad no crítica que tenga la fecha temprana de finalización más avanzada. En esta actividad se retrasa su finalización unidad por unidad de tiempo, hasta agotar su holgura. Se elige como fecha más temprana de finalización de la actividad la que haga mínima la suma de los cuadrados de las cargas. Se hace esto con todas las actividades no críticas, teniendo prioridad en caso de que la fecha temprana de finalización más avanzada de dos actividades coincide, aquella actividad que posea mayor holgura. Una vez realizado con todas, se vuelve a iniciar un nuevo ciclo de iteraciones hasta que finalizada una iteración no resulte posible disminuir la suma de los cuadrados de las cargas.

Como ya se ha comentado, todas estas técnicas adolecen de no tener en cuenta la posibilidad de que las actividades pueden tener distintas posibles duraciones, y cada una tendrá asociados unos recursos humanos determinados, los cuales no tienen que ser proporcionales a la duración.

4. Desarrollo del algoritmo

Para cada actividad (A_j) necesaria para realizar el proyecto, habrá que especificar qué actividades son precedentes (P_k). Todas las relaciones de precedencia serán final – comienzo.

Para cada actividad (A_j) también se deberá especificar todas las posibles duraciones i que puede tener la actividad j (D_{ij}), así como el número de trabajadores necesarios para la duración i de la actividad j por día (T_{ij}).

Existirá un número máximo de trabajadores por día en el proyecto ($T_{\text{máx}}$).

Paso 1: Se dibujará el diagrama de red ROY para la duración más corta de todas las actividades. A partir de él se obtendrá el camino crítico, y las holguras totales de todas las actividades.

Paso 2: Se irán asignando trabajadores a actividades analizando día a día, empezando en $t=0$.

Paso 3: En el tiempo (t) analizado, se establecerán qué actividades son candidatas a ser las asignadas de los recursos disponibles. Para ello, únicamente habrá que fijarse en el diagrama de red, y una actividad no podrá ser candidata hasta que todas sus actividades precedentes hayan sido asignadas y se hayan finalizado.

Paso 4: De entre las actividades candidatas, se elegirá aquella que tenga menor holgura total. Se recuerda que todas las actividades pertenecientes al camino crítico tienen una holgura igual a cero. En caso de igualdad a holgura total, se elegirá aquella actividad cuya duración más corta sea la menor. Si persistiese la igualdad, se elegirá la actividad que necesite el menor número de trabajadores en su duración más corta. Si todavía persistiese la igualdad, se elegirá una cualquiera indiferentemente.

Paso 5: Para la actividad elegida, se deberá decidir en qué duración de las posibles se va a realizar, y que trabajadores por día se van a necesitar. La duración tomará esa actividad será la menor de las posibles, comprobando que no se supera el número máximo de trabajadores por día ($T_{\text{máx}}$). Esto se realizará con ayuda de un gráfico de carga. Se volverá al paso cuatro hasta que para el tiempo (t) analizado ya no sea posible elegir ninguna actividad más debido a falta de trabajadores libres.

Paso 6: Ir al siguiente tiempo (t) en el cual alguna actividad puede empezar a ser realizada.

Paso 7: Volver a realizar el diagrama de red ROY, teniendo en cuenta las duraciones establecidas en las actividades elegidas, el tiempo (t) en el que se encuentra y tomando

las mínimas duraciones para las actividades no asignadas todavía. Se vuelven a obtener el camino crítico y las holguras totales para las actividades no asignadas.

Paso 8: Volver al paso tres hasta que todas las actividades estén programadas, y se tenga ya unas fechas de inicio y fin de cada actividad, así como el gráfico de carga del proyecto.

5. Ejemplo del algoritmo propuesto

Se tiene un proyecto con las siguientes características, que aparecen en la tabla 5-1:

Actividad	Pk	D1j (días)	T1j	D2j (días)	T2j	D3j (días)	T3j
A	-	1	7	2	3	3	2
B	-	3	6	4	4	5	3
C	A	2	5	3	3	4	2
D	A, B	4	5	5	4	6	3
E	C	1	3				
F	B	1	9	2	4		

Tabla 5-1

El número máximo de trabajadores por día ($T_{\text{máx}}$) es igual a siete.

La notación usada por el método ROY es la de la figura 5-1:

<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 10px;">t</td> <td style="padding: 10px;">T</td> </tr> <tr> <td style="padding: 10px;">X</td> <td style="padding: 10px;">Dx</td> </tr> <tr> <td style="padding: 10px;">t'</td> <td style="padding: 10px;">T'</td> </tr> </table>	t	T	X	Dx	t'	T'	<p>t: fecha más temprana de inicio actividad T: fecha más temprana de fin de actividad t': fecha más tardía de inicio de actividad T': fecha más tardía de fin de actividad X: Denominación de la actividad Dx: duración de la actividad</p>
t	T						
X	Dx						
t'	T'						

Figura 5-1

Lo primero a realizar será el diagrama de red ROY con las mínimas duraciones de cada actividad, según aparece en le figura 5-2. El camino crítico aparece con un trazo más grueso:

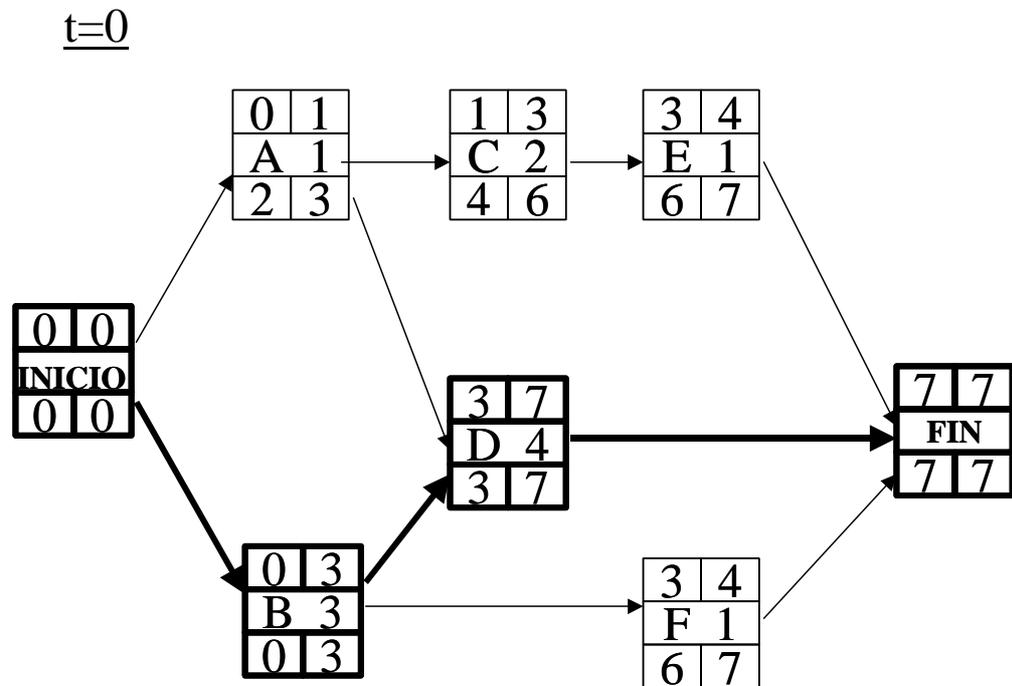


Figura 5-2

Las actividades candidatas serán:

Candidatas	A	B
Holgura Total	2	0

Tabla 5-2

La actividad elegida será la B, ya que su holgura total es cero, ya que pertenece al camino crítico. Como los trabajadores que todavía hay libres para t=0 son siete, se elige la menor duración de B que tenga como máximo siete trabajadores por día.

Comprobando en la tabla, la mínima duración de B son tres días, siendo necesarios seis trabajadores por día. El gráfico de carga quedará:

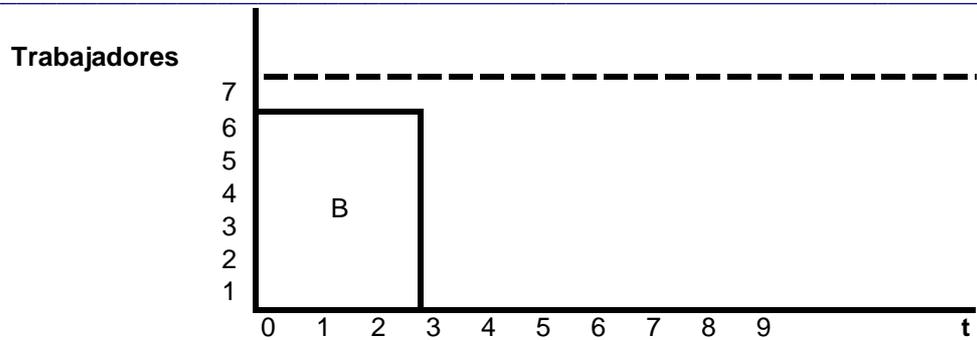


Figura 5-3

Se observa que hasta $t=3$ no se puede realizar ninguna actividad, ya que no existen suficientes trabajadores libres. Se vuelve a realizar el diagrama de red ROY para esta fecha:

$t=3$

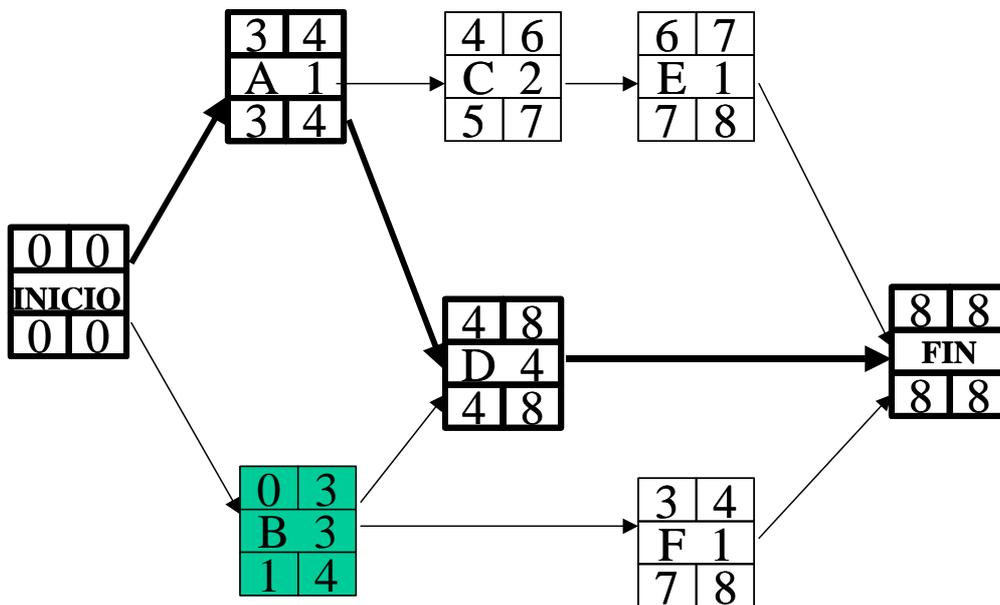


Figura 5-4

Las actividades candidatas serán:

Formulación de un algoritmo para la asignación y nivelación de recursos en la programación de proyectos con recursos limitados y distintas duraciones posibles para las actividades, utilizando el método ROY. 13

Candidatas	A	F
Holgura Total	0	4

Tabla 5-3

La actividad elegida será la A, ya que su holgura total es cero, ya que pertenece al camino crítico. Como los trabajadores que hay libres para $t=3$ son siete, se elige la menor duración de a que tenga como máximo siete trabajadores por día.

Comprobando en la tabla, la mínima duración de A es un día, siendo necesarios siete trabajadores por día. El gráfico de carga quedará:

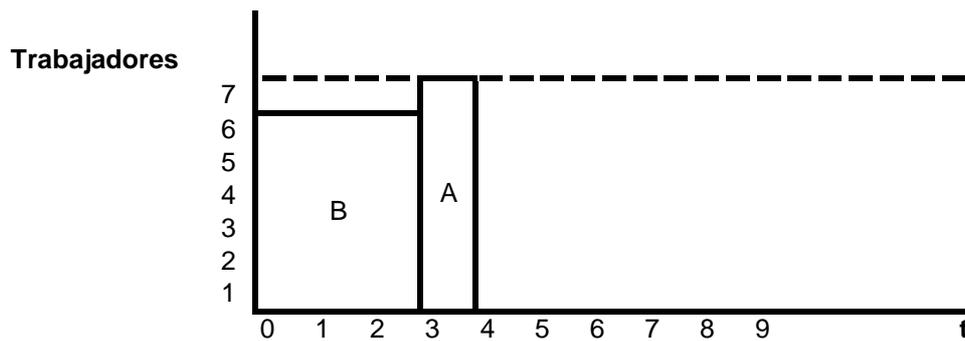


Figura 5-5

Se observa que hasta $t=4$ no se puede realizar ninguna actividad, ya que no existen suficientes trabajadores libres. Se vuelve a realizar el diagrama de red ROY para esta fecha:

t=4

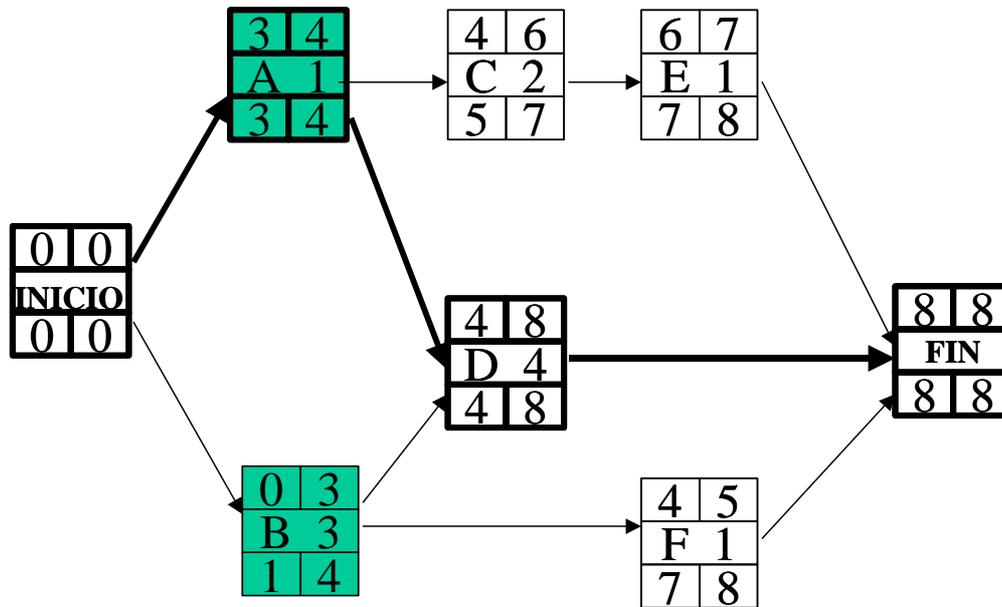


Figura 5-6

Las actividades candidatas serán:

Candidatas	C	D	F
Holgura Total	1	0	3

Tabla 5-4

La actividad elegida será la D, ya que su holgura total es cero, ya que pertenece al camino crítico. Como los trabajadores que hay libres para t=4 son siete, se elige la menor duración de a que tenga como máximo siete trabajadores por día.

Comprobando en la tabla, la mínima duración de D son cuatro días, siendo necesarios cinco trabajadores por día. El gráfico de carga quedará:

Formulación de un algoritmo para la asignación y nivelación de recursos en la programación de proyectos con recursos limitados y distintas duraciones posibles para las actividades, utilizando el método ROY. 15

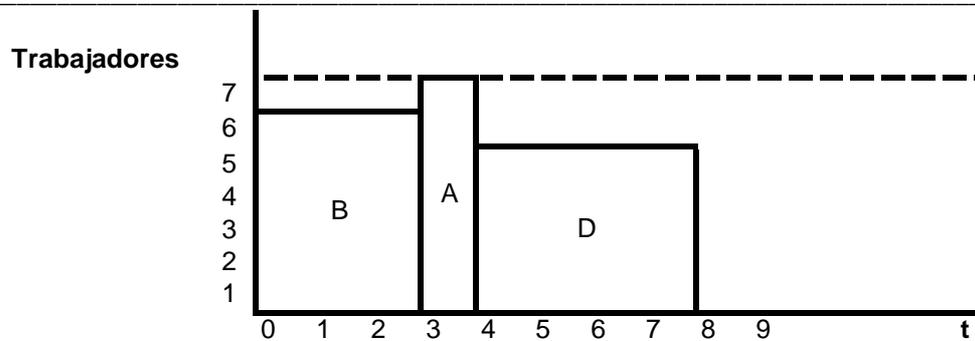


Figura 5-7

Para $t=4$ se observa que todavía hay dos trabajadores libres. La siguiente actividad elegida de entre las candidatas será la C, ya que tiene menor holgura total que la F. Comprobando en la tabla, la mínima duración de F, que necesite como máximo 2 trabajadores, son cuatro días, siendo necesarios dos trabajadores por día. El gráfico de carga quedará:

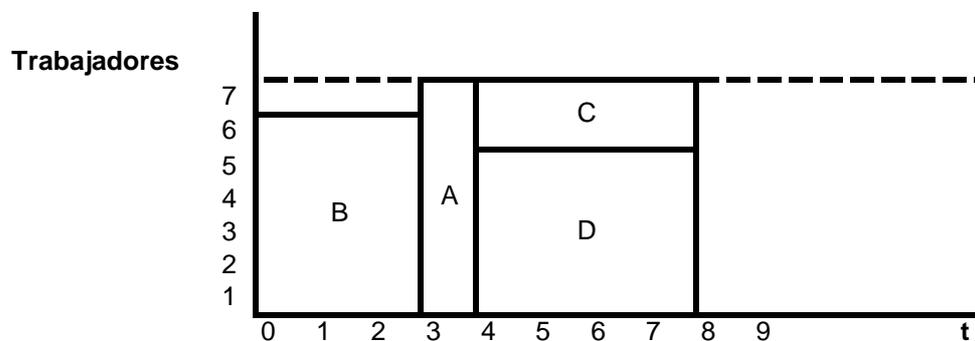


Figura 5-8

Se observa que hasta $t=8$ no se puede realizar ninguna actividad, ya que no existen suficientes trabajadores libres. Se vuelve a realizar el diagrama de red ROY para esta fecha:

t=8

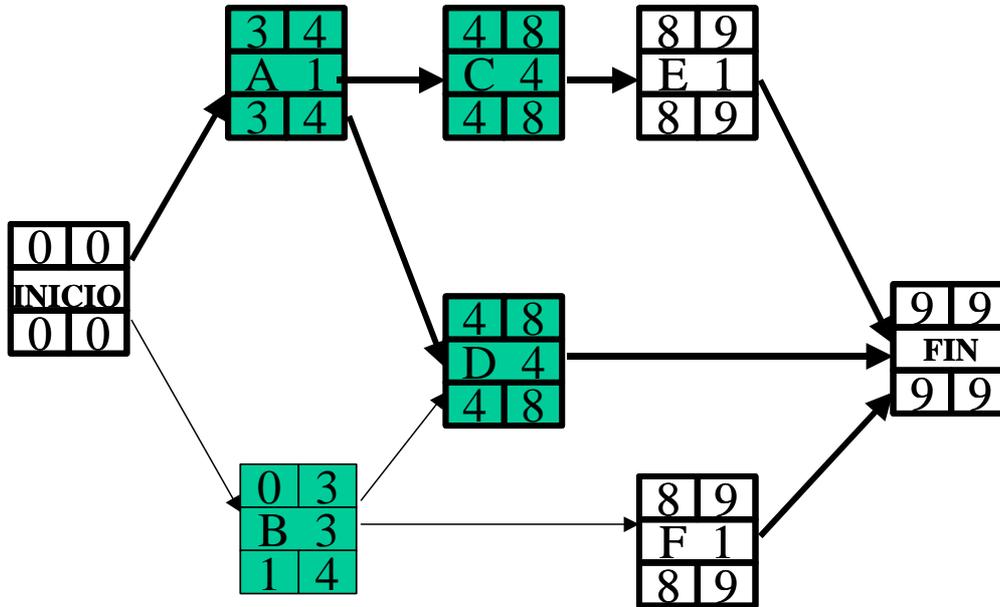


Figura 5-9

Las actividades candidatas serán:

Candidatas	E	F
Holgura Total	0	0

Tabla 5-5

La actividad elegida será la E, ya que a igualdad de holguras, y de duración mínima, necesita menos trabajadores por día. Como los trabajadores que hay libres para t=8 son siete, se elige la menor duración de a que tenga como máximo siete trabajadores por día. Comprobando en la tabla, la mínima duración de E es un día, siendo necesarios tres trabajadores por día. El gráfico de carga quedará:

Formulación de un algoritmo para la asignación y nivelación de recursos en la programación de proyectos con recursos limitados y distintas duraciones posibles para las actividades, utilizando el método ROY. 17

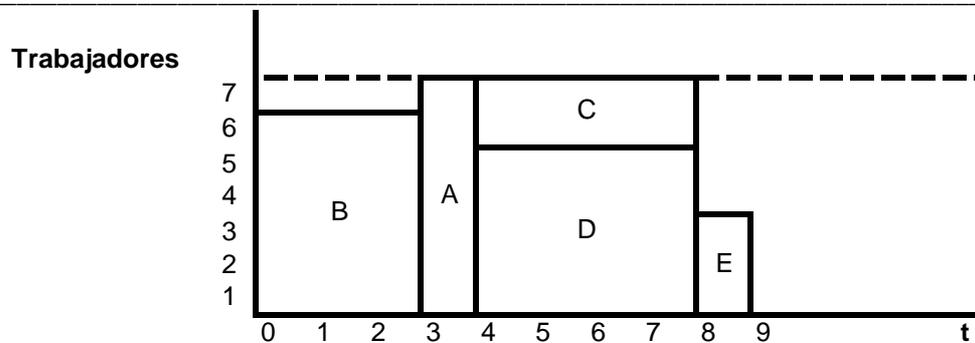


Figura 5-10

Para $t=8$ se observa que todavía hay cuatro trabajadores libres. La siguiente actividad elegida de entre las candidatas será la F. Comprobando en la tabla, la mínima duración de F, que necesite como máximo cuatro trabajadores, son dos días, siendo necesarios cuatro trabajadores por día. El gráfico de carga quedará:

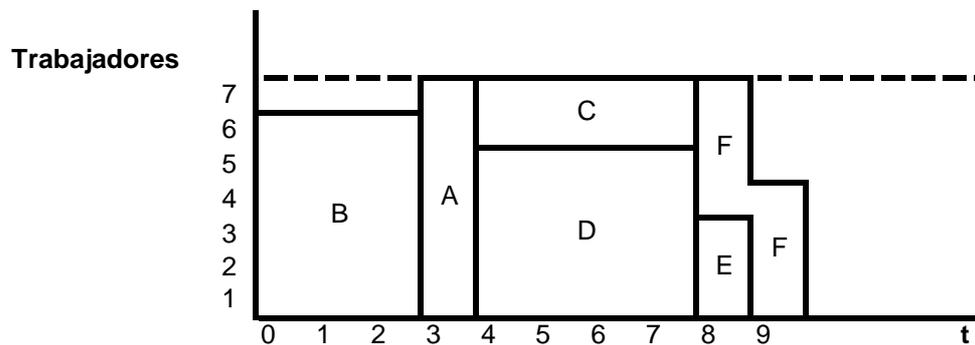


Figura 5-11

El diagrama de red ROY definitivo quedará:

FINAL

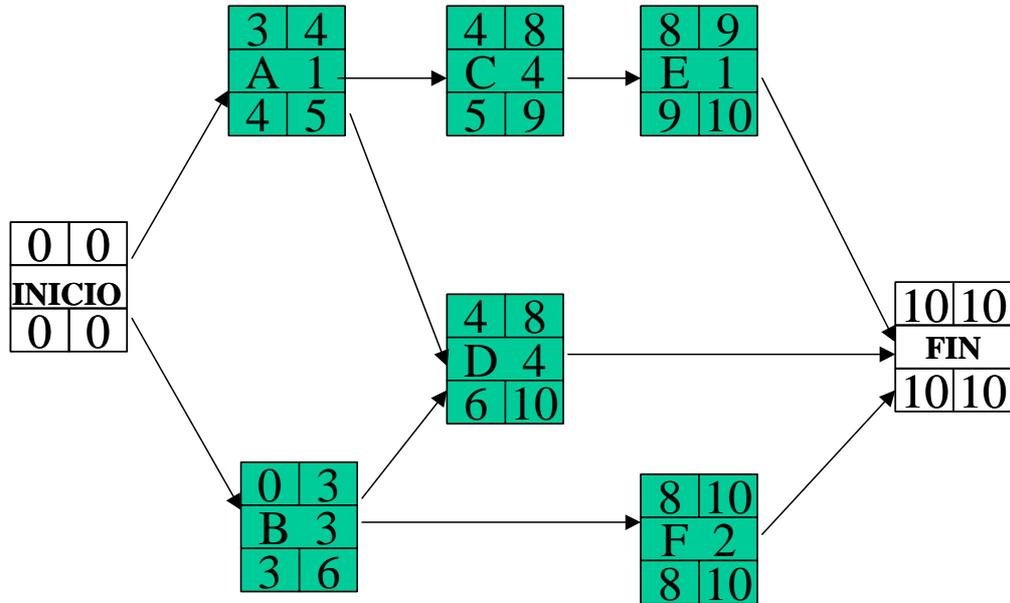


Figura 5-12

Las fechas de inicio y fin de cada actividad serán:

Actividad	Fecha de inicio	Fecha de fin
A	3	4
B	0	3
C	4	8
D	4	8
E	8	9
F	8	10

Tabla 5-6

La duración total del proyecto será de 10 días.

El diagrama de Gantt del proyecto será el siguiente:

Formulación de un algoritmo para la asignación y nivelación de recursos en la programación de proyectos con recursos limitados y distintas duraciones posibles para las actividades, utilizando el método ROY. 19

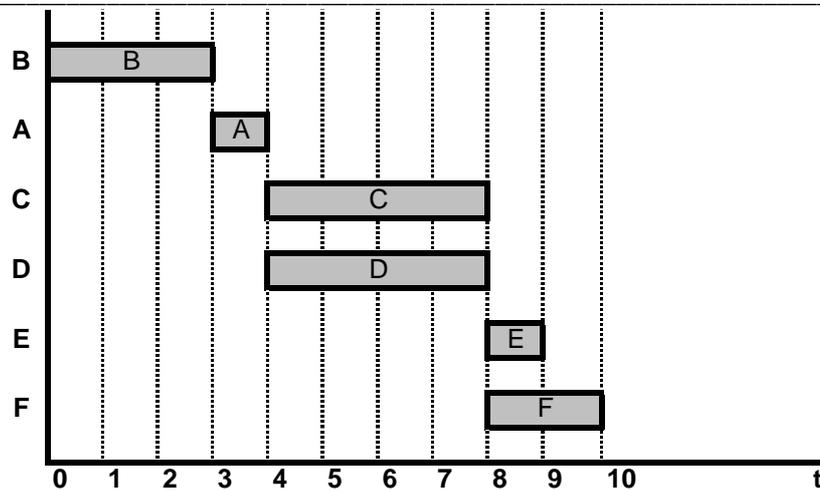


Figura 5-13

6. Conclusiones

Se ha propuesto un algoritmo heurístico para la programación de proyectos y la asignación y nivelación de recursos con posibles distintas duraciones para cada actividad, y distintas necesidades de recursos, en un entorno de recursos humanos limitados.

La problemática que presenta es cómo decidir qué actividad debe realizarse primero, qué duración debe tener de entre las posibles, y qué recursos serán los necesarios. Todo esto hay que hacerlo para lograr que la duración del proyecto sea lo más corta posible.

Este algoritmo se basa en ir adjudicando recursos a las actividades de una en una, y siguiendo un orden en el tiempo. Las actividades se irán eligiendo siguiendo la secuencia o flujo del proyecto, y dentro de las posibles, las que presenten una menor holgura total. Hay que notar que cada vez que se avanza en el tiempo hay que volver a realizar el diagrama de red, actualizando las actividades ya asignadas, y teniendo en cuenta el tiempo (t) analizado en cada momento.

Este método se va adaptando a las necesidades del problema, ya que siempre se intentan aprovechar al máximo los trabajadores disponibles por día, realizando para ello la elección más adecuada de las duraciones de las actividades.

Este algoritmo en muchas ocasiones se acercará a la duración óptima del proyecto, con el mínimo desaprovechamiento de recursos, como se puede ver reflejado en el gráfico de carga. La carga de trabajadores por día se aproximará mucho al número máximo de trabajadores por día.

Como ventajas de este nuevo método habría que resaltar la consideración de nuevos factores, que no se tienen en cuenta en los métodos tradicionales. El primer factor sería las distintas duraciones posibles para cada actividad, y el segundo factor sería asignar unos niveles de carga de trabajo distintos según la duración considerada. Otra ventaja de este método es que se va adaptando a la asignación de recursos realizada, volviendo a analizar el camino crítico. Este camino crítico va evolucionando a lo largo del problema.

Como desventaja del método está que en ciertas ocasiones y según las necesidades del problema planteado, puede ocurrir un desaprovechamiento de los recursos humanos disponibles, quedando el nivel de carga de trabajadores para algunos días más bajo de lo que sería deseable.

7. Futuras líneas de investigación

Una vez analizados los métodos para la asignación y nivelación de recursos en la programación de proyectos, y vistos los inconvenientes que presentan, una línea de investigación preferente sería el desarrollo de un método de nivelación de recursos que tenga en cuenta la posibilidad de ir corrigiendo una programación realizada de un proyecto en curso, según se va viendo el avance del proyecto, y las desviaciones que pueda sufrir. Habría que corregir estas desviaciones lo más posible, dentro de los recursos disponibles (humanos, económicos y de tiempo).

Los inconvenientes de la especialización de los trabajadores ó equipos también afectan a la programación de proyectos. El que ciertos trabajadores ó equipos solo puedan realizar una serie de tareas del proyecto debe ser tenido en cuenta en futuros desarrollos del método desarrollado en este artículo.

Otro factor a incorporar es la posibilidad de establecer de alguna manera qué impacto tiene en la duración de las actividades y la asignación de recursos, el hecho de que dos actividades deban realizarse en el mismo espacio, al mismo tiempo. También sería interesante introducir la interacción en la asignación y nivelación de recursos, en proyectos con recursos compartidos. Otro aspecto a profundizar son las consideraciones

específicas que se podrían obtener en la asignación de recursos por tipología de proyecto.

La ampliación de todo lo realizado no sólo al método ROY, sino al método de las precedencias, que ya no restringe el que todas las precedencias sean final – comienzo. Con ello, se podrían realizar estudios gráficos dinámicos sobre líneas Gantt.

Por último se pueden buscar aplicaciones directas de estos métodos a la programación de proyectos de construcción, y ver como habría que adaptarlos.

8. Bibliografía

- COS CASTILLO, M. (1995). *Teoría general del proyecto*. Sección de Publicaciones de la ETSII (UPM). Madrid.
- CESTA, A., ODDI, A., SMITH, S.(2002) *A Constraint-Based Method for Project Scheduling with Time Windows*. Journal of Heuristics, 8(1). Pág. 109-136.
- DAVIS, M.M., AQUILANO, N., CHASE, R.B.(2001). *Fundamentos de Dirección de Operaciones*. Ed. McGraw Hill. Madrid
- DOMÍNGUEZ MACHUCA, J.A. et al (1999). *Dirección de Operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. Ed. McGraw Hill. Madrid
- DOMÍNGUEZ MACHUCA, J.A. et al (1999). *Dirección de Operaciones. Aspectos estratégicos en la producción y los servicios*. Ed. McGraw Hill. Madrid
- FRANK, H.; MCCAFFER, R.(1999). *Construction Management. Manual de gestión de proyecto y dirección de obra*. Ed. Gustavo Gili S.A. Barcelona.
- KAVADIAS, S., LOCH, C.(2003). *Project selection under uncertainty: dynamically allocating resources to maximize value*. International series in operations research (69)
- LEU, S., CHEN, A., YANG, Ch. (1999) *A fuzzy optimal model for construction resource leveling scheduling*. Canadian Journal of Civil Engineering 26(6): 673-684.
- LEU, S., HUNG, T.(2002) *An optimal construction resource leveling scheduling simulation model*. Canadian Journal of Civil Engineering 29(2): 267-275.
- LOCK, D. (1996). *Project Management (Sixth edition)*, University Press, Cambridge.
- MONTAÑO, A (1976). *Iniciación el método del camino crítico*. Editorial Trillas, México.

-
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. (1996) *A guide to the project management body of Knowledge*.
- PETE SPINNER, M. (1997) *Project Management. Principles and Practices*. Prentice-Hall, London.
- ROMERO LÓPEZ, C. (2002). *Técnicas de programación y control de proyectos*. Ed. Pirámide. Madrid.
- SAPAG CHAIN, N., SAPAG CHAIN, R.(2000). *Preparación y evaluación de proyectos, 4^a Ed.* Editorial Mc Graw Hill. Santiago de Chile.
- TAHA, H. A.; (1998) *Investigación de Operaciones. Una introducción*. Editorial Prentice Hall. México.
- TURNQUIST, M. A., NOZICK, L.K. (2003). *Allocating Time and Resources in Project Management Under Uncertainty*. Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'03).
- VANHOUCKE, M. (2004). *Work continuity constraints in project scheduling*. Working paper. FACULTEIT ECONOMIE EN BEDRIJFSKUNDE. Universiteit Gent..
- ZHANG, P., ZHU, Dan, (1997). *Information Visualization in Project Management and Scheduling*. ISDSS'97. HEC Lausanne,