

COMPARATIVE ANALYSIS OF ALTERNATIVES IN THE LOCATION OF ACTIVITIES IN PROJECT PLANNING THROUGH NETWORK DIAGRAMS

Claver Gil, J. ¹; Muñoz Hernández, J. I. ²; Sanz Lobera, A. ³; Sebastián Pérez, M. A. ¹

¹ UNED, ² UCLM, ³ UCM

This paper analyzes problematic situations which happen in teaching of methods of planning and project management based on AOA (Activities On Arrows) type networks, it also proposes the introduction of new criteria for an easier understanding and application, and finally compares these methods with the AON type (Activities On Nodes). The study focuses on the criteria that the literature specialized in planning and project management commonly take into account in reference to the application of AOA type networks, and analyzes situations in which its application is insufficient to obtain correct analyses even with simple models. Thus the introduction of additional criteria for the application of these techniques is proposed, as well as the comparison with the type of AON on the basis of practical cases.

Besides the intrinsic interest of the developed methodology should be noted that also may be of interest in the field of learning in project planning undergraduate degrees in both the School of Industrial Engineering of the UNED, with distance learning methodology, as in other engineering schools.

Keywords: *Project; Planning; PERT; CPM*

ANÁLISIS COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS EN LA UBICACIÓN DE ACTIVIDADES EN LA PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS MEDIANTE DIAGRAMAS DE RED

Este trabajo aborda situaciones problemáticas identificadas en la enseñanza de los métodos de planificación y gestión de proyectos basados en redes de tipo AOA (Activities On Arrows), propone la introducción de nuevos criterios que faciliten su comprensión y aplicación, y compara estos métodos con los del tipo AON (Activities On Nodes). El estudio se centra en los criterios que comúnmente contempla la literatura sobre planificación y gestión de proyectos en referencia a los métodos AOA y las situaciones en las que su aplicación resulta insuficiente para la obtención de análisis correctos incluso de modelos sencillos. De este modo se propone la introducción de criterios complementarios para la aplicación de estas técnicas, además de compararse, en base a casos prácticos, con las del tipo AON.

Además del interés intrínseco de la metodología desarrollada cabe resaltar el interés docente que puede presentar en el campo de la enseñanza de materias sobre planificación de proyectos en las titulaciones de grado; tanto en la E.T.S. de Ingenieros Industriales de la UNED, con la metodología a distancia, como en otras Escuelas de Ingeniería.

Palabras clave: *Proyecto; Planificación; PERT; CPM*

Correspondencia: j.claver.gil@gmail.com

1. Introducción

El uso de gráficos de red, también comúnmente denominados redes o grafos, como herramienta para la planificación de proyectos está ampliamente extendido y explicado en los manuales clásicos, tanto en los de gestión de operaciones (Heizer, 2013) como en los de dirección de proyectos (Kerzner, 2009; Nicholas, 2009; PMI; 2008). También está siendo objeto de diversas comunicaciones en jornadas técnicas y congresos, tales como los organizados por AEIPRO (Amendola, 2005; González-Cruz, 2009; Sanz-Lobera, 2012), siendo una de las líneas tratadas en dichos eventos la relativa a la comparación entre distintas alternativas de aplicación y de tratamiento de la información contenida en dichos gráficos de red. Dentro de esa línea de trabajo, este trabajo plantea el estudio comparativo de la aplicación de estas técnicas según dos estrategias diferentes: las conocidas como AOA (Activities On Arrows) y las designadas por AON (Activities On Node). En el primer grupo caben ser enmarcados los métodos PERT y CPM, los más conocidos y empleados, mientras que en el segundo grupo destaca el método ROY.

El desarrollo masivo de los ordenadores y la posibilidad de implementar estas técnicas en ellos supuso un auge en el empleo de los métodos AON, que eliminaban incompatibilidades relacionadas principalmente con la presencia de actividades ficticias, y abrieron una amplia vía de investigación enfocada al perfeccionamiento de su empleo en soportes informáticos que hoy día sigue siendo objeto de estudio (Tune, 2001). Así, actualmente, siguen enseñándose los métodos AOA, al tiempo que el empleo en la actividad profesional de software de gestión basados en métodos AON hace necesario conocer ambas técnicas.

Las dificultades de construcción de las redes AOA que hacen más operativo el empleo de técnicas AON en su aplicación informática, suponen igualmente problemas para los usuarios de estas redes al trabajar manualmente con ejemplos sencillos. Los textos sobre la materia plantean metodologías de trabajo que dan pautas generales de construcción de estas redes. Sin embargo es frecuente encontrar situaciones en las que estas pautas no son suficientes.

En este trabajo se analizan las dificultades recurrentes en la construcción de redes AOA y se dan pautas que complementan las tradicionalmente enseñadas y que simplifican significativamente el proceso. Posteriormente se comparan las técnicas AOA y las AON desde el punto de vista docente.

2. Criterios en la construcción de redes AOA y para la orientación de actividades ficticias

La construcción de un grafo o red que represente el proyecto objeto de estudio, facilita su comprensión y su control, al plasmar las relaciones entre los distintos trabajos que deben realizarse de forma clara e intuitiva, permitiendo la definición de una óptima planificación y programación del proyecto, así como detectar caminos con diferentes circunstancias y necesidades de control. El CPM (Critical Path Method) identifica de entre todos los posibles, desde el suceso inicial al final del proyecto, aquel en el que el retraso de cualquiera de sus actividades supondrá un retraso igual en el plazo total del proyecto. Este camino se denomina camino crítico y debe cumplir las siguientes condiciones:

- Todas sus actividades son críticas, es decir no tienen margen
- Todos sus sucesos son críticos, es decir no tienen holgura
- Como consecuencia del primer criterio, se puede enunciar que al efecto debe ser considerado el camino más largo del proyecto y por tanto el que indica la duración total del mismo.

Estos criterios se encuentran en la mayoría de textos enunciados de igual manera, pero es importante entender que el primer criterio referente a los márgenes de las actividades es necesario y suficiente, y no así el segundo, pudiendo haber caminos con holgura cero para todos sus sucesos y sin embargo con actividades no críticas, es decir con márgenes. Esto es relevante dada la mayor visibilidad que tienen las holguras en la representación gráfica de estos métodos frente a los márgenes.

Las actividades ficticias se introducen en las redes para cumplir relaciones existentes entre actividades, sin representar trabajo alguno y por tanto con duración nula. La situación más recurrente en la que se emplean actividades ficticias está asociada a la eliminación de paralelismos entre actividades, ya que no están permitidos en el método AOA. La siguiente figura ilustra esta situación.

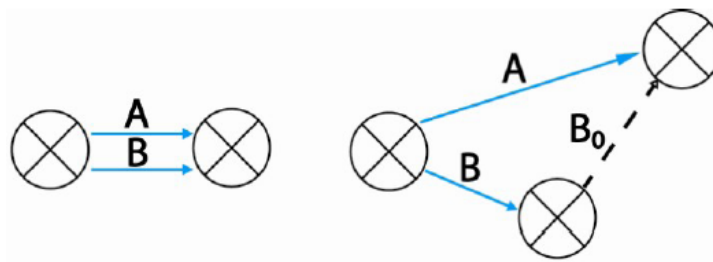


Figura 1: Eliminación de paralelismos mediante introducción de actividades ficticias

Estos paralelismos son fruto de relaciones de precedencias que indican la necesidad de que hayan terminado los trabajos asociados a dos actividades diferentes para que comiencen los de una tercera actividad, que estará por tanto precedida por ambas. De este modo, para reunir ambas actividades en un mismo suceso que marque el final de los trabajos que cada una representa y el comienzo de los trabajos de la nueva actividad, se hace necesario introducir una actividad ficticia.

A continuación se propone un ejemplo que ilustra esta situación. Para un proyecto se identifican las siguientes actividades, indicando en la Tabla 1 sus duraciones y sus relaciones de precedencias entre actividades.

Tabla 1: Ejemplo 1 (actividades, duraciones y relaciones de precedencias)

ACT	DURACIÓN (semanas)	PRECEDE
A	1	-
B	1	A
C	2	A
E	1	B,C

Las siguientes redes responden a las relaciones de precedencias indicadas en la Tabla 1.

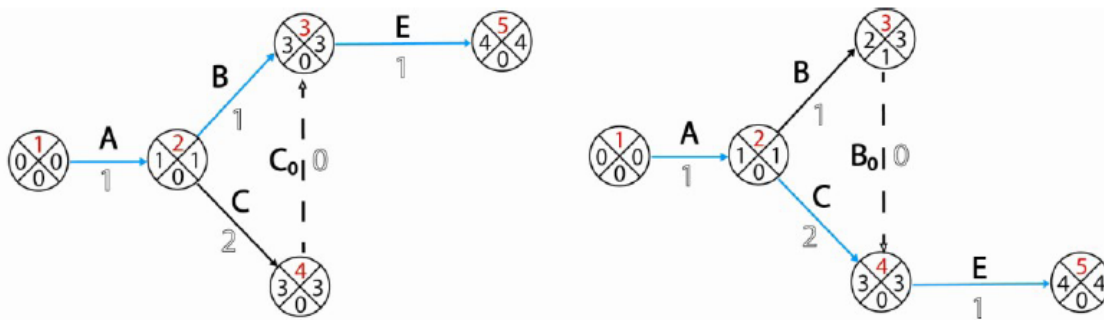


Figura 2: Construcción de redes del ejemplo 1

Al construir la red correspondiente, y en base a los criterios de construcción de redes tradicionales, es frecuente encontrar las dos soluciones indicadas en la Figura 2. En ambas redes se cumplen las relaciones de precedencias establecidas, sin embargo no son en absoluto iguales.

En primer lugar en la red de la izquierda es habitual incurrir en el error de señalar el camino 1-2-3-5 como camino crítico, al ser todas las holguras de los sucesos nulas. Sin embargo este camino no es crítico. La actividad B dispone de un margen de una semana, igual que el camino en conjunto. La suma de la duración estimada para la realización de sus actividades es de tres semanas, frente a las 4 que tiene como duración total el proyecto.

Es fácil deducir que el camino crítico debe incluir a las actividades A, C y E, que son las que representan el camino más largo o mayor tiempo acumulado (duración) para el proyecto, es decir, el camino crítico debería ser el 1-2-4-5, como se indica en la red de la derecha, en la que el camino crítico identificado cumple todos los criterios comentados, y en el que a la actividad B se le asocia un suceso final que presenta una holgura.

Esto da visibilidad al hecho de que no es crítico, y nos da un conocimiento completo del proyecto, a diferencia de la solución anterior, pudiendo hacer uso de esta holgura y del margen de la actividad durante la gestión del proyecto.

De este modo es necesario indicar unos criterios de realización jerarquizados a la hora de construir la red de un proyecto mediante el método AOA

- Cumplimiento de las relaciones de precedencia establecidas en la planificación del proyecto.
- Orientación de las actividades ficticias hacia la mayor acumulación de tiempo.

El primero de estos criterios es obvio, pues es a su vez objetivo de la realización de la red, que quiere reflejar la planificación diseñada para el proyecto. Sin embargo el segundo no se incluye en los textos sobre estos métodos. Se debe tener en cuenta el orden jerárquico de estos dos criterios, prevaleciendo siempre el primero ya que al realizar la red lo que se quiere es, ante todo, representar gráficamente las relaciones entre actividades establecidas en la planificación del proyecto para su análisis, revisión, aceptación y control.

El criterio de orientación de las actividades ficticias, como se puede ver en la red de la derecha de la Figura 2, evita que se genere un posible error en la construcción de la red, y en todo caso ofrece una información más veraz y completa del desarrollo de los trabajos. Así, en el suceso 3 aparece como fecha más temprana posible la fecha real en la que los trabajos de la actividad B podrían finalizar si se cumplen las duraciones estimadas y de acuerdo a las relaciones de precedencias que le afectan. Esto permite además que se manifieste la holgura existente en su suceso final.

En la red de la izquierda sin embargo la fecha más temprana para que tenga lugar el suceso 3 es la tercera semana, una semana más tarde de lo que realmente podría finalizar la actividad B. Esto crea cierta incorrección en los datos, además de ocultar una holgura y un margen difícilmente identificables en redes con un número mucho mayor de actividades que el ejemplo propuesto, lo que significa la pérdida de información potencialmente útil para la gestión del proyecto. Un ejemplo sería la posibilidad de consumir márgenes de caminos no críticos para recuperar retrasos del camino crítico mediante la redistribución de recursos dedicados a actividades que disponen de un margen que puede consumirse sin implicar retrasos globales.

Este criterio no hace más que aplicar la misma lógica que aplica el método en el cálculo de las fechas de los sucesos. La fecha más temprana en la que puede tener lugar un suceso (T_E) al que se llega desde el suceso inicial del proyecto a través de más de un camino, será igual a la acumulación de tiempo del camino más largo. Es decir, habrá que tomar el valor más alto para que dé tiempo a realizar los trabajos (actividades) de todos los caminos desde el suceso inicial del proyecto al suceso que se está estudiando.

Del mismo modo, al reunir dos actividades en un mismo suceso mediante una actividad ficticia, tiene sentido hacerlo en el suceso final de la actividad que finaliza con mayor acumulación de tiempo, para respetar la fecha más temprana del suceso final de la actividad que finaliza con menor acumulación de tiempo, que de lo contrario quedará descartada y oculta al prevalecer en el cálculo el T_E de mayor valor.

Otra situación similar a la anterior ocurre con actividades que no se reúnen inmediatamente después de su separación, es decir, actividades que se reúnen en un mismo suceso final precediendo a ambas a una nueva actividad pero que no tienen un mismo suceso inicial (como en el caso de la figura 2), sino que son precedidas por ramificaciones previas distintas. En la Figura 3 se representa esta situación con un ejemplo sencillo.

Tabla 2: Ejemplo 2 (actividades, duraciones y relaciones de precedencias)

ACT	DURACIÓN (semanas)	PRECEDE
A	1	-
B	1	A
C	2	A
D	8	C
E	1	B
F	1	D,E

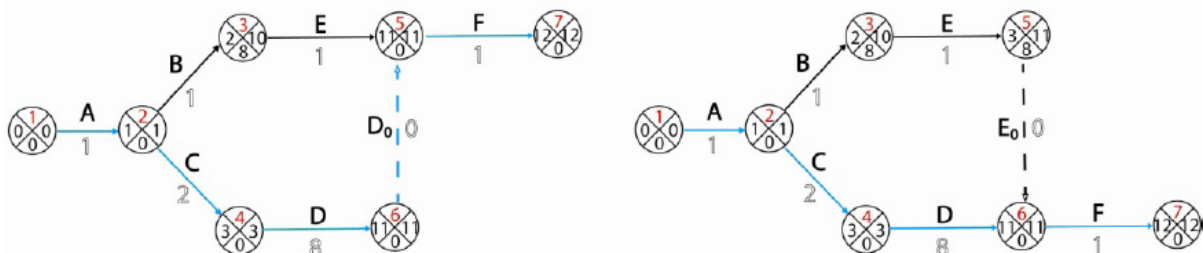


Figura 3: Construcción de redes del ejemplo 2

En la red de la izquierda de la Figura 3 se puede apreciar que al no seguir el criterio de orientación de la actividad ficticia el suceso 5 muestra una fecha más temprana posible para la finalización de la actividad E de valor 11 semanas y un valor para la holgura del suceso igual a cero. Esto supone una información errónea y una traba para el análisis y control de la planificación y la programación del proyecto. Como se ve en la red de la derecha, cuya actividad ficticia está correctamente orientada, la fecha de mayor antelación en la que la actividad E puede finalizar se corresponde con la tercera semana, y su suceso final presenta una holgura de 8 semanas.

La misma problemática que se observa en la red de la izquierda de la Figura 3, puede encontrarse en la Figura 4, que prescinde de la actividad ficticia.

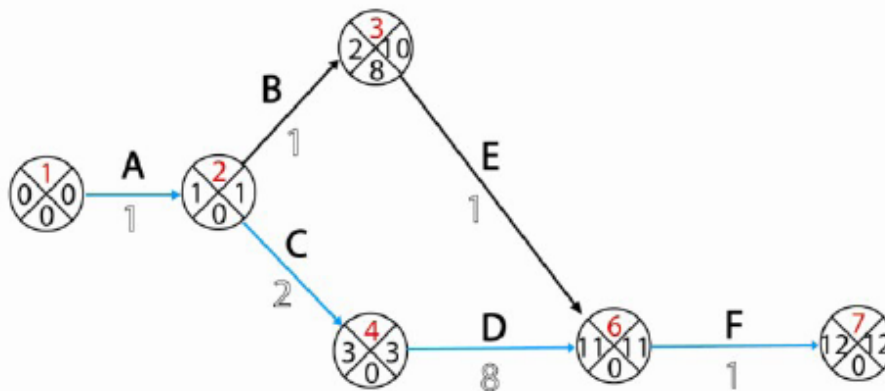


Figura 4: Red alternativa para el ejemplo 2

3. Revisión de la metodología de construcción de las redes AOA

En los textos sobre gestión y dirección de proyectos que abordan los métodos PERT y CPM, la metodología de redes del tipo AOA comprende, en general, las siguientes fases:

- División del proyecto en sucesivos niveles hasta las actividades o trabajos concretos a realizar
- Asignación de recursos y plazos de ejecución (estimaciones)
- Dependencias entre actividades (relaciones de precedencia)
- Representación gráfica mediante un grafo o red
- Estudio matemático de la red (cálculo de las fechas más tempranas y tardías de los sucesos, cálculo de márgenes y holguras, identificación del camino crítico)

Es decir, en la enseñanza tradicional de estos métodos se plantea el modelo básico o red atendiendo únicamente a las relaciones de precedencias fijadas en la planificación del proyecto, para posteriormente efectuar los cálculos de las fechas más tempranas, más tardías y las holguras de los sucesos, generalmente apoyándose en tablas.

En los ejemplos de los apartados anteriores se observa como el criterio de orientación de actividades ficticias hacia la máxima acumulación de tiempo evita errores de construcción de estas redes, siendo para ello necesario efectuar los cálculos correspondientes a las fechas de máxima antelación o más temprana de los sucesos iniciales y finales de cada actividad a lo largo de los distintos caminos de la red.

Por ello se considera que una metodología óptima de resolución de estas redes debe solapar los dos últimos puntos de la metodología tradicional y construir la red de manera simultánea al cálculo de las fechas más tempranas de los distintos sucesos, de cara a apoyar la construcción en el criterio de orientación de las actividades ficticias. Las fechas más tardías y las holguras evidentemente no pueden calcularse hasta estar la ordenación de la red totalmente definida.

Por otro lado, se hace innecesario con este planteamiento el uso de tablas para el cálculo de las fechas y holguras de los sucesos. La metodología simultánea agiliza el cálculo y la construcción y evita errores que son frecuentes al emplear tablas, tanto errores de cálculo como al pasar los datos de la tabla a la red. Además se facilita enormemente la revisión de los resultados, que suele resultar confuso y tedioso.

4. Comparación de los métodos AOA y AON

En la realización de este trabajo se ha considerado interesante comparar los métodos AOA y AON. Se ha expuesto como la construcción de redes mediante el método AOA puede dar lugar a errores por la inadecuada orientación de las actividades ficticias. Para ello se ha propuesto la adopción de un criterio de orientación de estas actividades que en general evita esta situación.

En los ejemplos anteriores, ambos criterios (el de cumplimiento de las relaciones de precedencias dadas y el de la orientación de las actividades ficticias) han sido compatibles, dando opción al cumplimiento de ambos. Sin embargo esto no siempre será así, de ahí que se haya insistido en la jerarquía existente entre ambos criterios. De este modo las relaciones identificadas pueden obligar a orientar una actividad ficticia en sentido opuesto al marcado por el criterio de mayor acumulación de tiempo. Para ilustrar esta situación se incluye un ejemplo con mayor número de actividades que los anteriores y en el que se da este problema. A continuación se incluye la tabla en la que se identifican las actividades identificadas para la realización del proyecto, su duración y las relaciones de precedencias existentes.

Tabla 3: Ejemplo 3 (actividades, duraciones y relaciones de precedencias)

ACTIVIDAD	DURACIÓN (semanas)	PRECEDE
A	6	-
B	3	A
C	4	A
D	7	C,B
E	1	D
F	1	D
G	4	F
H	1	E,G
I	9	H
J	5	C,B
K	3	I
L	0,5	G
M	1	J,K,L

La red resultante del tipo AOA se muestra en la Figura 5.

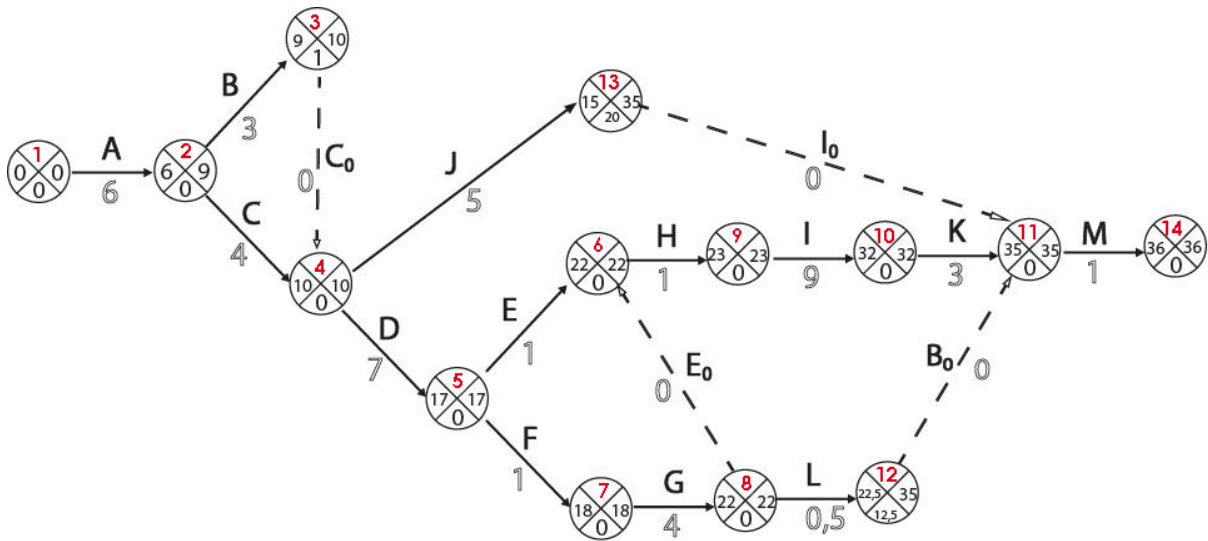


Figura 5: Construcción de la red del ejemplo 3

Nótese que las relaciones de precedencias fuerzan a la orientación de la actividad ficticia E_0 en sentido opuesto al criterio de orientación de actividades ficticias, esto es hacia la máxima acumulación de tiempo. Esto hace que en el suceso final de la actividad E aparezca una fecha de máxima antelación T_E condicionada por la acumulación de tiempos al finalizar los trabajos de la actividad G, pudiendo la actividad E terminar en la semana decimoctava y no en la vigesimosegunda como indica la red.

De este modo, al quedar oculta la holgura del suceso 5 que marca el final de la actividad E se fomenta un posible error en la identificación del camino crítico, como se muestra en la Figura 6.

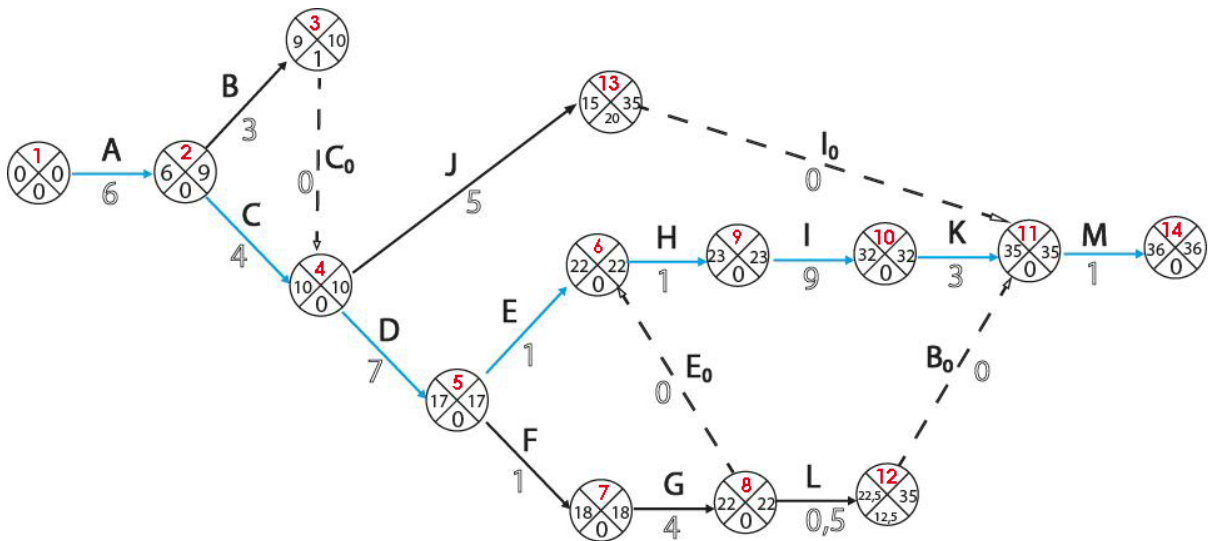


Figura 6: Posible error en la identificación del camino crítico en la red del ejemplo 3

El camino crítico identificado en la figura 6 no es válido ya que la actividad E no es crítica, pues cuenta con un margen de 4 semanas. El camino crítico correcto para esta red se indica en la Figura 7, e incluye todas las actividades críticas del proyecto, dando la suma de sus duraciones la duración total del proyecto.

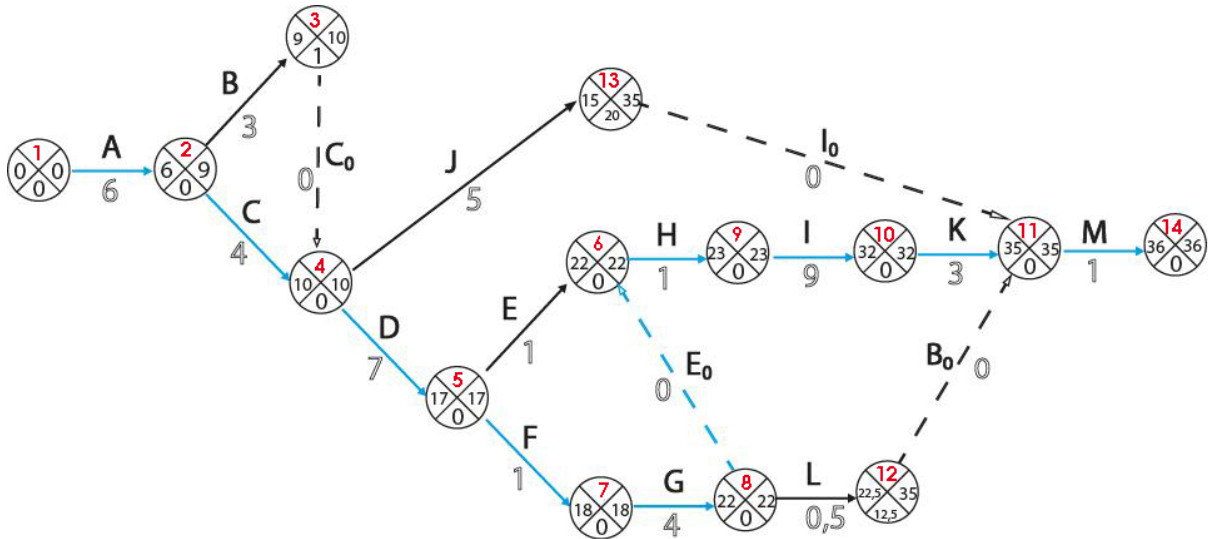


Figura 7: Camino crítico de la red del ejemplo 3

Sin embargo en la Figura 7 el suceso 6 sigue camuflando una holgura, y con ello ofreciendo una información condicionada de los sucesos del proyecto. Para corregir esta carencia de la red debería incluirse una nueva actividad ficticia como se muestra en la Figura 8. De este modo se independiza la información de los sucesos. La metodología propuesta de construcción y cálculo simultáneos posibilita estas reflexiones y la obtención de esta red, lo que sería poco operativo y mucho más complejo entendiendo ambos procesos como fases independientes y basando el cálculo en el uso de tablas.

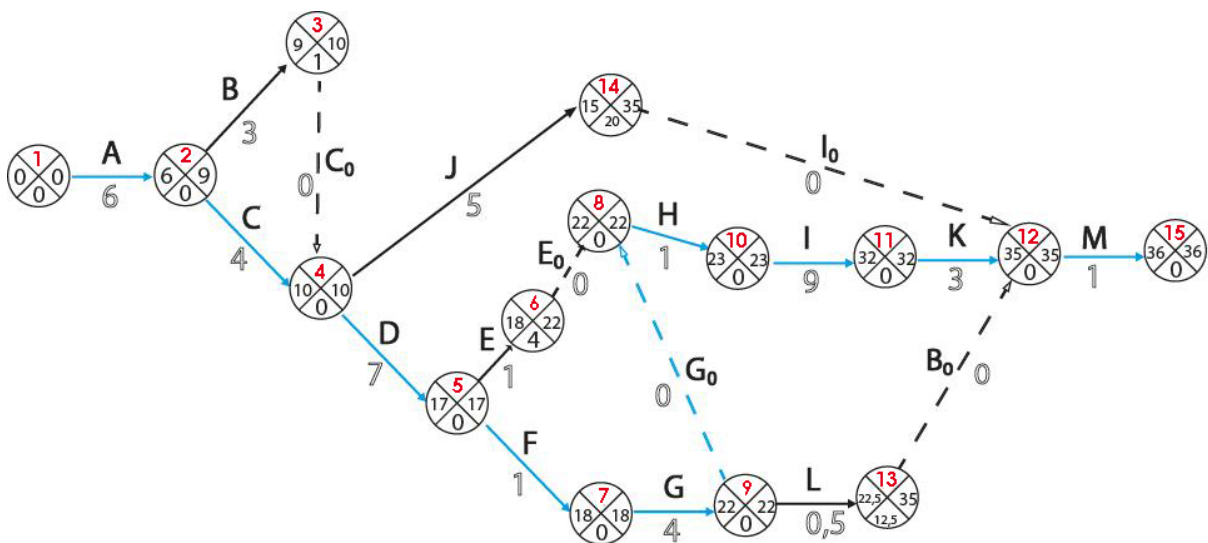


Figura 8: Red alternativa para el ejemplo 3

A continuación se va a resolver la red correspondiente a las actividades de la Tabla 3 mediante el empleo de red AON. En la Figura 9 se muestra la red obtenida.

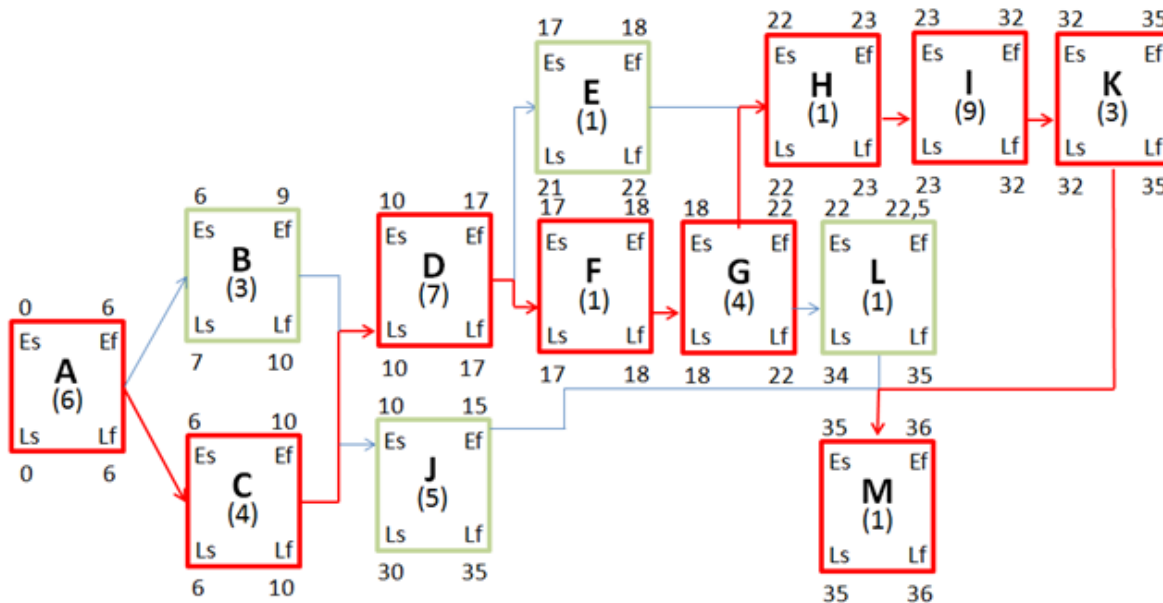


Figura 9: Red AON correspondiente al ejemplo 3

El empleo del método AON elimina los errores identificados en las fechas correspondientes al suceso final de la actividad E en las figuras 6 y 7, así como la incorrecta holgura nula del suceso.

La información contenida en las redes AON es más completa. A una actividad se le asocian cuatro fechas, que se corresponden en general con las fechas de sus sucesos inicial y final en las redes AOA. Estas relaciones se indican en la Tabla 4.

Tabla 4: Correspondencia de fechas entre los métodos AOA y AON

AOA	AON
Fecha más temprana del suceso inicial de la actividad	Earliest Start de la actividad
Fecha más tardía del suceso inicial de la actividad	Latest Start de la actividad
Fecha más temprana del suceso final de la actividad	Earliest Finish de la actividad
Fecha más tardía del suceso final de la actividad	Latest Finish de la actividad

En actividades con un mismo suceso común, como es el caso de las actividades B y C, y de las actividades E y F, se observa (comparando las figuras 8 y 9) que en todo caso la fecha más tardía del suceso inicial de la red AOA queda condicionada al valor inferior en caso de que el comienzo más tardío (Latest Start) de las actividades sea diferente.

Esta diferenciación solo se refleja en la red AON, ya que en este tipo de redes desaparece el concepto de sucesos iniciales y finales de actividades y la posibilidad de serlo para más de una actividad, independizando totalmente las fechas.

5. Conclusiones

Dentro de la enseñanza de las técnicas de planificación y programación de proyectos basadas en redes AOA parece recomendable la introducción de un criterio de dirección de las actividades ficticias que se incluyan. Este criterio se basa en la diferente acumulación de tiempos desde el suceso inicial del proyecto a través de los distintos caminos que han de reunirse a través de dicha actividad ficticia. De este modo se eliminan los problemas expuestos derivados de la mala orientación de estas actividades.

Se hace por tanto necesaria la revisión de las metodologías que separan la construcción de la red y el cálculo de las fechas de sus sucesos, pues se necesita conocer la acumulación de tiempos a través de los distintos caminos (T_E de los sucesos) para tomar las decisiones referentes a la orientación de las actividades ficticias.

De la comparación al resolver redes según métodos AOA y AON, en situaciones en las que el criterio de orientación propuesto no es aplicable por su incompatibilidad con el cumplimiento de las relaciones de precedencias establecidas por la planificación, se deduce que las técnicas AON solventan los principales inconvenientes que pueden ser encontrados al resolver la red representativa del proyecto mediante técnicas AOA. Además ofrecen una información más completa. Al ser las redes AON las empleadas por los principales software de planificación y gestión de proyectos parece apropiado familiarizarse en el manejo de estas técnicas.

Sin embargo la enseñanza de las técnicas AOA plantea una serie de ventajas de cara a la enseñanza de estas técnicas. Quizás las ventajas más significativas de la enseñanza de los métodos AOA sean:

- Mayor claridad visual (identificación ágil de las holguras e información más distribuida)
- Mayor necesidad de comprensión de los conceptos fundamentales. Resulta muy sencillo emplear un método AON con conocimientos previos de técnicas AOA y no al revés.
- Mayor importancia y mejor comprensión de las relaciones de precedencia existentes (distintos tipos de dependencias, como las correspondientes a las actividades ficticias Bo e lo), y mayor análisis de las necesidades de cumplimiento.
- Con todo ello, las técnicas AOA permiten un análisis más profundo de los proyectos, de los trabajos que implican y de las relaciones de precedencias que deben cumplirse.

La construcción de redes AON simplifica la representación gráfica del proyecto ya que elimina los principales problemas de construcción existentes en los métodos AOA. Pero estos problemas surgen en torno a aspectos clave de la planificación del proyecto sobre los que es apropiado reflexionar, al menos en la fase de formación, de cara a entender la complejidad y la importancia de realizar una adecuada planificación.

El trabajo con casos prácticos sencillos con un número de actividades reducido, como podría ser el caso del ejemplo 3, es perfectamente asumible y su tratamiento desde los métodos AOA permite asimilar con mayor claridad los principales conceptos de la planificación así como los aspectos que requieren mayor atención.

El criterio de orientación de las actividades ficticias y el de construcción y cálculo simultáneo marcan pautas que facilitan significativamente el manejo de estas redes. Además el criterio de orientación permite identificar situaciones, como la del ejemplo 3 (figuras 5,7 y 8) en las que la incompatibilidad entre las relaciones de precedencia establecidas y la adecuada orientación de las actividades ficticias oculta información relativa a los sucesos afectados.

Esta situación debe ser un indicador a considerar para la revisión de la planificación, fácilmente identificable aplicando el criterio de orientación por la inclusión de actividades ficticias en el camino crítico (figuras 7 y 8). Estos aspectos que resultan identificables en las

redes AOA, difícilmente lo son en las AON, lo que dado su interés en la fase de formación justifica la enseñanza de estas técnicas.

6. Referencias

- Amendola L.; Depool T. P.; González M. D.; Palacios E. (2005) Análisis comparativo de los métodos Critical Chain Project Management (CCPM) y Camino Crítico (CPM) en la dirección y gestión de proyectos. Actas del IX Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, pp 1397-1405, Málaga.
- González-Cruz, M.C; Asensio-Cuesta, S.; Diego-Más, J.A.; Alcaide-Marzal, J. (2009) Análisis del Método de la Cadena Crítica vs Método del Camino Crítico. Viabilidad y conceptos. Actas del XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, pp 56-67, Badajoz.
- Heizer, J.; Render, B. (2013) Operations Management. 11th Edition, Prentice Hall, ISBN: 978-0-133-13076-8.
- Kerzner, H. (2009) Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. 10th Edition, John Wiley & Sons, ISBN: 978-0-470-27870-3.
- Nicholas, J.M.; Steyn, H. (2009) Project Management for Business, Engineering and Technology. Principles and Practice. Elsevier, Oxford. ISBN: 978-0-7506-8399-9.
- PMI (2008) Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK). 4^a edición, Project Management Institute, Newton Square, PA (EEUU), ISBN: 978-1-933890-72-2.
- Sanz-Lobera, A.; Sebastián, M.A. (2012) Consideraciones en la utilización de elementos estocásticos en técnicas gráficas de planificación de proyectos en la industria aeronáutica. Actas del XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, pp 1997-2009, Valencia.
- Tune, E.; Liang, D.; Tullsen; D. Calder, B. (2001) Dynamic Prediction of Critical Path Instructions. Proceedings of the 7th International Symposium on High-Performance Computer Architecture, pp 185-195, Monterrey (México).