

## **ANÁLISIS DEL MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA VS MÉTODO DEL CAMINO CRÍTICO. VIABILIDAD Y CONCEPTOS**

M<sup>a</sup> Carmen González-Cruz

Sabina Asensio-Cuesta

Jose Antonio Diego-Más

Jorge Alcaide-Marzal

*Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España*

### **Abstract**

The current reality demonstrates that the organizations are orientated for the management of the unique projects, or multiple projects sharing resources, anyone that is the area that those ones include.

A recent approach is the Theory Of Constraints-TOC of Goldratt (1997), which tries to contribute solutions to certain problems of the project management. The bibliography shows studies of his viability, his implementation and his concepts, but it is a topic opened for controversies yet.

The problem that this communication treats is to determine if the CCPM provides really new concepts for the project management and if it appears as an alternative to the technique more commonly used, the Critical Path Method Both methods have been analyzed and compared in relation to his aims, centers of attention, management of the uncertainty, management of the resources, problems of behavior, programming, the execution and rescheduling and the indicators used for the follow-up. All this both in the management of the unique project and in the management of multiple projects, and along the processes of planning and monitoring of the project.

**Keywords:** *Critical Chain; Critical Path; Project management*

### **Resumen**

La realidad actual evidencia que las organizaciones se orientan hacia la gestión de proyectos únicos, o múltiples proyectos compartiendo recursos, cualquiera que sea el área o áreas que abarcan los mismos.

Un enfoque relativamente reciente es el basado en la Teoría de las limitaciones (Theory Of Constraints-TOC) de Goldratt (1997), el cual pretende aportar soluciones a ciertos problemas de la gestión de proyectos. La bibliografía recoge estudios de su viabilidad, su implementación y sus conceptos, pero todavía es un tema abierto a controversias.

La problemática abordada en la presente comunicación es determinar si el CCPM proporciona realmente nuevos conceptos para la gestión de proyectos y si aparece como una alternativa al método más comúnmente utilizado, del Camino Crítico (CPM/PERT). Para ello se han analizado y comparado los dos métodos respecto a los objetivos propios del método, centros de atención, gestión de la incertidumbre, gestión de los recursos, problemas de comportamiento, programación, la ejecución y reprogramación y los indicadores empleados para el seguimiento. Todo ello tanto en la gestión de un proyecto único como en la gestión de múltiples proyectos, y a lo largo de los procesos de planificación y monitorización del mismo.

**Palabras clave:** *Cadena crítica; Camino crítico; gestión de proyectos*

## 1. Introducción

Las empresas desarrollan estrategias para la innovación como respuesta a los rápidos avances tecnológicos, la globalización de los mercados y el aumento de la competencia. La necesaria rapidez para introducir sus productos en el mercado, hace que la capacidad para acelerar los procesos de diseño y las actividades necesarias para su desarrollo e implementación sean factores clave para el éxito del proyecto. En este contexto, una buena gestión de proyectos puede ser una ventaja competitiva importante para las empresas. La realidad actual es que cada vez más organizaciones se orientan hacia la gestión de proyectos, ya sea de proyectos únicos o en el contexto de múltiples proyectos, compartiendo recursos, en áreas diversas, como son el desarrollo de software, la construcción, los proyectos de I&D, los proyectos de servicios, los proyectos de desarrollo de nuevos productos, los proyectos de instalaciones, etc.

El impacto de una buena gestión de proyectos en cualquiera de estas áreas es la capacidad de obtener el éxito y es importante atender a los criterios que condicionan la evaluación del resultado del proyecto. Hoy se trabaja en entornos donde se comparten recursos entre proyectos (entornos multiproyectos), donde existe mucha incertidumbre que garantiza un gran número de imprevistos y donde el cumplimiento de los objetivos iniciales de los proyectos (el plazo, el presupuesto y las especificaciones) se convierte en estratégico para cualquier empresa. En el contexto actual son muchas las partes involucradas en la gestión del proyecto y es necesario contar con herramientas que permitan su correcta integración en el análisis y programación de las actividades a realizar para lograr los objetivos del proyecto.

La gestión de proyectos como se entiende actualmente tiene mucho que ver con los métodos que se pueden considerar como “tradicionales”. Estos son, el PERT (Program Evaluation and Review Technique) y el CPM (Critical Path Method). A partir de ahí los enfoques que se han dado al problema de la gestión de proyectos han sido muy diversos. Mientras algunos estudios se han centrado en la profundización matemática del método, otros, por ejemplo, lo han hecho en su aplicación para definir una gestión concreta y particular adaptada a un tipo determinado de empresa. Las conclusiones obtenidas, también han sido diversas y a veces contradictorias.

A pesar de los estudios realizados y de las aportaciones en torno a la clarificación y mejora de los procesos de la gestión de proyectos, el resultado actual es que la mayoría de las organizaciones utilizan el método del camino crítico basado en las técnicas originales CPM y PERT, que la gestión de proyectos es una disciplina que no ha recorrido mucho camino, en comparación con otras como la gestión de la producción, y que las empresas siguen preocupándose por terminar los proyectos en plazos, en costes y en calidad.

La Teoría de las limitaciones (Theory Of Constraints-TOC) de Goldratt (Goldratt, 1997), aporta un nuevo enfoque que pretende dar soluciones a los problemas encontrados en la gestión de proyectos, lo que ha dado lugar a nuevas investigaciones que favorecen el avance y progreso en esta disciplina, y aunque ha sido y continua siendo objeto de estudio, todavía es un tema abierto a controversias.

En esta comunicación se compara el método de la Cadena Crítica (CCPM-Critical Chain Project Management) con el método, más comúnmente utilizado, del Camino Crítico (CPM/PERT), con objeto de discutir la probable aportación del método al arte de la gestión de proyectos. Se trata de determinar si el método de la Cadena Crítica reúne mejores condiciones desde el punto de vista de su aplicación en la Gestión de Proyectos o si realmente solo es una forma diferente de presentar conceptos ya conocidos en éste ámbito.

## 2. Antecedentes

## 2.1. Método del Camino Crítico

El método actual del camino crítico tiene dos orígenes que son el método PERT (Program Evaluation and Review Technique) y el método CPM (Critical Path Method). Ambos métodos comparten conceptos y metodología, siendo la diferencia principal entre ellos la forma de realizar las estimaciones de las duraciones de las actividades del proyecto. El CPM preconiza tiempos determinísticos para las actividades mientras que PERT usa tiempos probabilísticos o estocásticos.

PERT/CPM proporciona una herramienta para seguir y controlar el desarrollo del proyecto, identifica las actividades de la "ruta crítica", la duración del proyecto y la holgura disponibles en las actividades que no pertenecen a la ruta crítica. El método demostró tanta utilidad que todavía su uso es generalizado en el ámbito de la Gestión de Proyectos, tanto en el ámbito público como en el sector privado y ha sido ampliamente referenciado en publicaciones y de asociaciones internacionales del prestigio como PMI (Project Management Institute), que integra pasos de este método dentro de su guía de procesos para la dirección y gestión de proyectos (PMBOK, 2004).

El Método del Camino Crítico consta de dos ciclos. El primero, de planificación y programación del proyecto, comprende la generación de la lista de actividades, matriz de secuencias, matriz de tiempos, red de actividades, asignación de recursos, costes y nivelación de recursos. El segundo, de seguimiento y control de la ejecución del proyecto, incluye, como procesos principales, el informar del trabajo realizado, controlar el cronograma y controlar los costes y plazos.

Después de décadas desde su desarrollo, se ha hecho balance de su uso a lo largo de estos años encontrándose en la literatura referencias a los problemas que presenta y las causas de los mismos. En relación a los retrasos, problema frecuente en los proyectos, Schonberger concluye que el método del Camino Crítico subestima la realidad (Schonberger, 1981). Otras aportaciones, desde la experiencia en proyectos reales, como los estudios de *Standish Group* y la empresa consultora de proyectos *Teoconconsultors* exponen algunos síntomas frecuentes en la gestión de proyectos: la existencia de gran presión por ofrecer plazos difíciles de cumplir; el desconocimiento con exactitud de cuantos proyectos se pueden asumir sin que unos provoquen retrasos en los otros; la falta de disponibilidad de recursos por parte de los directores de proyectos, que provoca la competencia por los recursos compartidos; la presión que sufren los directores de recursos por parte de los directores de proyectos para que se les asignen los recursos a sus proyectos; la presión que sienten los recursos en la realización de tareas urgentes y simultáneas (multitarea); la corta vida de las planificaciones, que solo se utilizan al comienzo de los proyectos y después hay tantos cambios que actualizarlas consumiría demasiado esfuerzo; etc.

## 2.2. Seis efectos indeseables

A partir del análisis realizado de datos expuestos por *Standish Group* y otras publicaciones de casos reales de gestión de proyectos, y de las reflexiones y observaciones de algunos autores como Schonberger y Goldratt, se destacan algunos efectos indeseables en la utilización del método del Camino Crítico:

1. Las variaciones en las estimaciones de las duraciones

Con objeto de intentar asegurar el término de la tarea en la fecha prevista, normalmente se estiman duraciones de ejecución de actividades altamente probables, dando lugar a que la estimación "segura" de la duración con una probabilidad de realización de la actividad de un 90% puede resultar muy superior a la duración probable a un 50%.

2. El síndrome del estudiante

Existen comportamientos que tienden a consumir los márgenes de seguridad e incitan a realizar la mayor parte del trabajo al final del tiempo programado. Se realiza menos de un tercio del trabajo durante los dos primeros tercios del tiempo asignado y los dos últimos tercios, durante el último tercio del tiempo disponible. La consecuencia final es que ante cualquier incidencia o problema, no queda tiempo para resolverlo sin que afecte a la fecha fin de la tarea.

### 3. La imposibilidad de aprovechar las variaciones positivas

Existe una cultura sugestionada por las fechas y los hitos, de modo que aún terminándose una tarea antes de su fecha fin, el trabajo no se entrega hasta la fecha prevista.

### 4. Los retrasos consecuencia de las dependencias de las tareas

En un proyecto suele haber varios caminos que se unen hacia el fin del proyecto. El retraso en uno de ellos provoca que, aunque el resto termine en plazo, la tarea siguiente se retrase. En definitiva, cuando varios caminos se integran para dar lugar a otro, se pierden las variaciones positivas en tiempo y se transmiten los retrasos.

### 5. La multitarea

En general se piensa que la multitarea es una buena solución para mejorar la eficiencia y aprovechar la capacidad de los recursos, pero esto no implica que el resultado para el proyecto o la organización sea beneficioso. Una mejora local en un sistema no implica siempre la mejora global del sistema.

### 6. La pérdida de atención

Existen diversos aspectos que influyen en la dificultad del director del proyecto para centrarse en los aspectos importantes que permiten alcanzar los objetivos del proyecto. Un exceso en los niveles de actividad y responsabilidad tiene como efecto la pérdida de atención en las actividades críticas del proyecto. Otros factores como por ejemplo, el utilizar únicamente el valor ganado para controlar el proyecto, hace que no se visualice la realidad al no distinguir este método, las tareas que pueden influir en el camino crítico y las que no.

## 2.3. Método de la Cadena Crítica

Se basa en tres herramientas teóricas que se utilizan frente a los seis efectos indeseables anteriormente descritos: la Teoría de las limitaciones, expuesta por primera vez en 1984 (Goldratt, 1984); las Variaciones, debidas a causas ordinarias o a causas especiales y las leyes estadísticas que dirigen las variaciones de las causas ordinarias, como la ley estadística de la agregación (PMBOK, 2004), el teorema del límite central (Moore, D. y McCabe, G. 1993), entre otras.

Al igual que en el método del Camino Crítico, el método de la Cadena Crítica se compone de dos fases: la primera, de planificación y programación del proyecto, implica: listar actividades, establecer la secuencia de actividades, reducir las actividades eliminando márgenes de seguridad (Goldratt, 1997), identificar la cadena crítica, explorar la limitación (Leach, 2005), subordinar las cadenas de actividades a la cadena crítica mediante buffers de alimentación actividades, superar la restricción del sistema, iterar, e insertar buffer de coste (Leach, 2005). La fase de seguimiento y control se apoya los reportes o actualizaciones del estado del proyecto y la gestión de los buffers fundamentalmente. El papel de un buffer es absorber las variaciones de duración de las actividades que lo preceden. Así, el buffer del proyecto absorbe las variaciones en las actividades de la cadena crítica, el buffer de alimentación absorbe las variaciones en las actividades no críticas y el buffer de recurso, las variaciones en las actividades no críticas de un recurso cuando la actividad siguiente de este recurso es una actividad crítica.

La fase de seguimiento y control comprende: el informe del trabajo realizado, el control de los plazos mediante la gestión de del buffer del proyecto y de los buffers de alimentación, y el control de costes, mediante el método del valor ganado.

La Teoría de las limitaciones (TOC) y sus conceptos, anteriormente expuestos, tienen su aplicación en proyecto único, pero el 90% de los proyectos se desarrollan en contextos multiproyecto (Turner, 1993). Aplicar la TOC en un entorno multiproyecto implica considerar la cartera de proyectos o portafolio como un sistema con el objetivo de obtener el mayor rendimiento de este sistema. Se trata de realizar el mayor número de proyectos en el menor tiempo, optimizando la utilización de los recursos disponibles para el conjunto de proyectos. Así introduce el concepto del “throughput” entendido como la velocidad a la que el sistema genera ingresos económicos (Goldrat, 1997). En el sistema existe una limitación que es el recurso que condiciona la duración de los proyectos. Es el recurso que interviene en varios proyectos y que en caso de tener un retraso en una actividad de un determinado proyecto, influye generando retraso en los demás proyectos. Esta limitación se denomina “DRUM” y define la cadencia de funcionamiento de todo el sistema.

En el contexto de la gestión multiproyecto, el método de la Cadena Crítica (CCPM), para la fase de planificación y programación, sigue los siguientes pasos: planificar cada proyecto de la cartera, identificar el recurso que limita el sistema (DRUM), y secuenciar los proyectos a partir del DRUM, insertando los buffers de capacidad (entre proyectos) y los buffers de alimentación del DRUM (entre actividades de un proyecto). Para la fase de seguimiento y control, el objetivo es controlar la cartera de proyectos. Se utiliza la misma representación para reflejar los estados de cada proyecto, lo que permite obtener una visión global del sistema (empresa) y de sus subsistemas (cada proyecto). Estas representaciones permiten visualizar cuales son los proyectos que necesitan una atención particular e intentar recuperar partes de los buffers manipulando los proyectos que disponen de suficiente margen. La atención de los directores de proyectos se focaliza en dar prioridad a las actividades de la cadena crítica frente a las demás, a las actividades de los proyectos con mayor penetración en el buffer del proyecto y a las actividades de los proyectos con mayor penetración en los buffers de alimentación.

### **3. Análisis comparativo de los métodos del Camino Crítico (PERT/CPM) y de la Cadena Crítica (CCPM-Critical Chain Project Management)**

El método de la cadena crítica introducido por Goldratt proporciona un nuevo enfoque a la gestión de los proyectos, bien sea al nivel de la gestión de un proyecto único o al nivel de la gestión de múltiples proyectos. La problemática que se aborda en la presente comunicación es determinar si el CCPM proporciona realmente nuevos conceptos para la gestión de proyectos y si el CCPM aparece como una alternativa al CPM/PERT. Para ello se han comparado los dos métodos en función de algunos puntos importantes. Estos criterios de análisis fueron identificados en la literatura, y son los siguientes:

- los objetivos propios a cada método
- los centros de atención
- la manera con la cual se gestiona la incertidumbre
- la gestión de los recursos
- los problemas de comportamiento
- la programación
- la ejecución y la reprogramación

- los indicadores empleados para el seguimiento

En primer lugar se analizan las diferencias clave que existen entre los dos métodos al nivel de las teorías en que se basan. A continuación se analizan los diferentes enfoques proporcionados por los métodos para gestionar un proyecto único y para gestionar múltiples proyectos. El análisis comparativo se desarrolla para la fase de planificación y programación y para la fase de seguimiento y control.

### 3.1. Fundamentos teóricos

Ambos métodos, CPM/PERT y CCPM, se fundamentan en la Teoría de Sistemas y la Teoría de Grafos, y se apoyan en la utilización de la EDT, Estructura de Descomposición del Trabajo (WBS-Work Breakdown Structure) que interrelaciona las dos teorías, considerando el proyecto bajo un enfoque sistémico, es decir, como un sistema que se puede desglosar en subsistemas, componentes y partes, que son las actividades, subactividades y tareas del proyecto. Todo ello representado en forma de grafo, tipo árbol.

EL CCPM se basa en la teoría de las limitaciones (o de las restricciones) (TOC-Theory Of Constraints), lo que le distingue de los métodos CPM/PERT. La aplicación de la TOC supone que diversos conceptos que pertenecen al ámbito de la gestión de la producción se han adaptado al ámbito de la gestión de proyectos, como por ejemplo, los conceptos *cuello de botella*, *limitación*, y *dependencias de los recursos*. En el método del Camino Crítico se consideran los problemas de capacidad de los recursos, pero la aplicación de la TOC implica considera las dependencias entre los recursos. Otro concepto que le aporta diferencias y está relacionado con las variaciones es el *buffer*. El buffer protege la limitación frente a las variaciones. Por otra parte, basarse en la TOC, tiene por consecuencia utilizar un indicador diferente para evaluar el rendimiento del sistema: el *throughput*.

En definitiva, la aplicación de la TOC al ámbito de la gestión de proyectos implica la adquisición de algunos conceptos, que fundamentalmente no son nuevos pero que tienen un carácter “novedoso” dado que se utilizan por primera vez en el ámbito de la gestión de proyectos.

### 3.2. Etapa de Planificación

#### 3.2.1. Objetivos

Para proyecto único, ambos métodos, CPM/PERT y CCPM tienen como objetivo principal proporcionar una programación factible de duración mínima considerando las dependencias de precedencias y de recursos. A pesar de que proteger la fecha de fin del proyecto es un objetivo común a ambos métodos, en CPM/PERT, la fecha de fin del proyecto es protegida por las márgenes de seguridad en cada actividad y por las holguras en los caminos no críticos que permiten ajustar la programación. En CCPM, los diferentes buffers protegen la fecha de fin del proyecto. Además, CCPM tiene el objetivo de minimizar el trabajo en proceso (Work in Process-WIP). Las actividades se programan con un inicio más tardío con las protecciones adecuadas (buffers) con el objetivo de minimizar el número de actividades realizadas simultáneamente. CCPM pone en evidencia que es más juicioso tener un nivel de actividad más o menos constante que tener variaciones importantes del número de actividades que se realizan simultáneamente.

La gestión en entornos multiproyecto no es explícitamente abordada en CPM/PERT. Para CCPM, los proyectos son subsistemas de la cartera de proyectos, y el objetivo es maximizar el throughput de la cartera, es decir, el número de proyectos completados por unidad de tiempo. Adicionalmente, un segundo objetivo es minimizar el número de proyectos en proceso simultáneamente.

### **3.2.2. Centros de atención**

En CPM/PERT, la atención se centra en terminar las actividades en la fecha prevista con el objetivo general de cumplir con la fecha fin del proyecto. La atención se focaliza, particularmente, en el cumplimiento de las fechas de las actividades del camino crítico. En el método CCPM, la única fecha que requiere atención es la fecha fin del proyecto. Para cumplir con esta fecha, CCPM centra su atención en el progreso de la cadena crítica, con un especial énfasis en las interacciones entre los recursos.

En el contexto multiproyecto el enfoque CCPM hace centrar la atención en la gestión del recurso cuello de botella del sistema, es decir, del recurso que limita el throughput, (DRUM). Para maximizar el rendimiento del sistema global, hay que centrarse en las interacciones entre los diferentes proyectos, gestionando los recursos críticos que intervienen en varios proyectos a la vez, y también en priorizar los proyectos.

En un entorno multiproyecto, la consecuencia de la aplicación del método del Camino Crítico es que existe una tendencia a sobrecargar el sistema aceptando nuevos proyectos aunque no se disponga de los recursos necesarios. Por lo contrario, en CCPM, la capacidad del recurso "cuello de botella", el DRUM, condiciona el número de proyectos que puede soportar el sistema. CPM/PERT se centra en la eficiencia de un solo proyecto y en su optimización al nivel local. En cambio, la aplicación de la metodología CCPM proporciona una visión global del funcionamiento de la organización y busca la optimización del sistema entero.

### **3.2.3. Incertidumbre**

La incertidumbre y el riesgo son inherentes en los proyectos y siempre han ocasionado problemas en la gestión de los mismos. En relación a los métodos analizados, la manera con la que se gestiona la incertidumbre es diferente en un método y en otro. En CPM/PERT, los márgenes de seguridad incluidas en las estimaciones individuales de las actividades protegen las actividades del camino crítico y las demoras en las actividades no críticas del proyecto son las protecciones usadas frente a variaciones en las actividades que no pertenecen al camino crítico (Goberson, 2000). La respuesta a este problema, es intentar determinar la criticidad de las actividades, para insertar más margen de seguridad en las actividades de mayor criticidad.

Identificando diferencias entre los dos métodos, se puede decir en primer lugar, que en CCPM se trata explícitamente la incertidumbre. Algunos autores argumentan que en las estimaciones siempre se tiene en cuenta la incertidumbre, introduciéndose un margen de seguridad que aumente la probabilidad de terminar la tarea en el plazo previsto. Goldratt propone que los márgenes de seguridad de las actividades de la cadena crítica se agrupen en el buffer del proyecto (Goldratt, 1997). Para que las variaciones en las cadenas secundarias no afecten a la cadena crítica, en CCPM se insertan buffers de alimentación que agrupa los márgenes de seguridad de las actividades de la cadena considerada. Este buffer de alimentación se considera suficiente para soportar las variaciones, así las tareas se programan con un inicio más tardío. El efecto que tiene esta situación es que minimiza el trabajo en proceso y, por consiguiente, reduce la incertidumbre, puesto que hay menos trabajos que se están realizando simultáneamente.

En una situación multiproyecto, para hacer frente a la incertidumbre debida a las variaciones en las actividades que preceden la actuación del DRUM, se insertan "buffers del DRUM" con el fin de no retrasar el inicio de una actividad asignada al DRUM dentro de un proyecto. Se introducen también buffers para impedir que un retraso en la actividad del DRUM en un proyecto no retrase el inicio de su actividad en el proyecto siguiente.

### **3.2.4. Gestión de los recursos**

En CCPM, la cadena crítica se define a partir de las dependencias entre las actividades y las de los recursos. Por su parte, en CPM/PERT no se consideran las relaciones de dependencias entre los recursos. Los problemas de sobreasignación deben ser resueltos, pero las relaciones de dependencia son independientes del camino crítico. En CCPM, se insertan buffers de recursos para asegurar la disponibilidad de un recurso cuando se requiere su actuación en una actividad de la cadena crítica. Se trata de una señal para advertir al recurso de su inminente intervención en la cadena crítica y se visualiza en la programación mientras que en CPM/PERT no aparece en el cronograma.

Otro punto a destacar es que el método del Camino Crítico tiende a maximizar todos los recursos, mientras que el de la Cadena Crítica se centra en los recursos críticos (aquellos que intervienen en las actividades de la cadena crítica).

Para el multiproyecto, mediante el uso de CPM/PERT se intenta obtener la máxima utilización de todos los recursos de la organización mientras que la idea en CCPM es que el rendimiento del sistema solo puede ser máximo si la capacidad del recurso limitado se explota al máximo. Los conflictos entre recursos se resuelven priorizando en función del recurso cuello de botella. Así, lo importante no es tanto maximizar el uso de todos los recursos como el del recurso “cuello de botella” que limita el rendimiento del sistema.

### **3.2.5. Programación**

Los problemas de asignación de los recursos (Resource-constrained Scheduling Problem) se suelen resolver mediante software, pero en muchas ocasiones, el resultado de la nivelación de recursos propuesto por los softwares no resulta ser el óptimo teniéndose que resolver manualmente. Algunos autores aconsejan retrasar las actividades que no pertenecen a la cadena crítica hasta que se resuelvan los problemas de sobreasignación (Goldratt, 1997), (Leach, 1999). El método CCPM, propone dimensionar el buffer del proyecto como el 50% de la duración total de la cadena. La línea base obtenida por CCPM se sitúa entre un 10% y un 30% más corta que la de CPM/PERT.

La programación de múltiples proyectos respecto a las limitaciones de recursos es un problema complejo. Para resolver este problema se atiende a dos aspectos fundamentales: el establecimiento de las reglas de prioridad para introducir nuevos proyectos en el sistema y la asignación de los recursos compartidos entre los proyectos.

En CPM/PERT existen varias reglas para priorizar los proyectos, como la fecha de fin más temprana y el First-come-first-served, que se aplican para determinar la prioridad de los proyectos en el sistema e identificar que proyectos deben ser aceptados en el mismo. El problema de elección del método más adecuado fue estudiado por Cohen et al, (2004), los cuales concluyen que el rendimiento del sistema no es realmente sensible a la regla de prioridad elegida. En CCPM, los proyectos, de forma individual, se priorizan en función del recurso cuello de botella. El inicio de los proyectos depende de la disponibilidad del recurso “cuello de botella”. Para sincronizar los proyectos se debe tener en cuenta que no todos los proyectos utilizan los recursos igualmente ya que es necesario proteger a los recursos frente a sobrecargas de trabajo y frente a la multitarea.

### **3.2.6. Problemas de comportamiento**

Actualmente hay un interés emergente en investigar los resultados poco exitosos o de bajo rendimiento en los proyectos desde el punto de vista del carácter humano de la Gestión de Proyectos (Aronson et al, 2004).

CPM/PERT, no trata los aspectos humanos del Project Management. La gestión de los recursos, en la fase de planificación no aborda los problemas de motivación, conflictos, etc.



Sin embargo, el método de la Cadena Crítica intenta evitar algunas de las fuentes de los conflictos humanos que surgen en la Gestión de Proyectos. Así, en el modelo propuesto por Goldratt se mencionan el síndrome del estudiante y la ley de Parkinson, en relación a comportamientos humanos (Goldratt, 1997). En su propuesta, este autor recomienda realizar las estimaciones, considerando que existe una probabilidad del 50% de terminar la actividad a tiempo. Adicionalmente, aconseja no programar las fechas de inicio y de fin de las actividades con el fin de disminuir la presión en los trabajadores en relación al cumplimiento de fechas. El evitar controlar las actividades en lugar de con fecha con duraciones, y reducir las holguras la holgura mediante un inicio más tarde en las actividades que no pertenecen a la cadena crítica, minimiza estos aspectos no deseado en el comportamiento.

Una diferencia clave entre CPM/PERT y CCPM es que este último identifica la multitarea como fuente de ineficiencia (Steyn, 2001, 2002). Para evitar la multitarea, CCPM preconiza priorizar los proyectos, pero para ello es necesario un importante liderazgo de la dirección que permita adoptar una cultura en la cual se acepten las prioridades entre los proyectos.

### **3.3. Etapa de Seguimiento y Control**

#### **3.3.1. Centros de atención**

CPM centra su atención en vigilar que las actividades y los hitos del camino crítico no sufran retraso. En ocasiones, si ocurre un retraso, los objetivos del proyecto se ven comprometidos: se modifican los plazos, los presupuestos o las especificaciones del proyecto. En un entorno multiproyecto, el objetivo es maximizar el rendimiento de cada proyecto. La atención se dirige hacia el éxito local.

En CCPM, las actividades no se programan para empezar o terminar en una fecha específica del calendario. El director se centra en la cadena crítica y en el seguimiento de su buen desarrollo. La atención del responsable del proyecto se centra en la gestión de los buffers del proyecto y de alimentación, con objeto de evitar un cambio de la cadena crítica y disponer de suficiente buffer para alcanzar los objetivos.

CCPM focaliza su atención en maximizar el rendimiento del sistema completo, es decir de la cartera de proyectos o de la empresa. La atención se centra en soportar y programar el trabajo del recurso cuello de botella para maximizar el throughput del sistema y en los niveles de consumo de los buffers de la cartera de proyectos.

#### **3.3.2. Incertidumbre**

La incertidumbre en CPM/PERT se gestiona mediante las holguras disponibles en las actividades que no son críticas. En un entorno multiproyecto, este método no aborda explícitamente la gestión de la incertidumbre. En CCPM, la incertidumbre está directamente gestionada en los buffers. La decisión de reprogramar trabajo solo se requiere si un buffer o más son totalmente consumidos. En CCPM, los buffers del DRUM y los buffers de capacidad afrontan la incertidumbre del sistema que se pueda producir a partir de las interacciones entre varios proyectos.

#### **3.3.3. Gestión de los recursos**

En CPM, los recursos son coordinados siguiendo el camino crítico. Cuando las actividades críticas sufren retraso, se asignan más recursos a estas actividades o a las siguientes del camino crítico, para evitar retrasos en la fecha fin del proyecto. En CCPM, los recursos son coordinados utilizando el estado de los buffers del proyecto. Durante la ejecución, los buffers de recurso se visualizan en la programación y advierten un retraso en la actividad de un recurso cuya siguiente tarea es crítica. Esta señal asegura la disponibilidad del recurso

cuando es necesario. Una diferencia sustancial entre los métodos es que mientras CCPM evita la multitarea, en CPM/PERT se fomenta la utilización máxima de las capacidades de los recursos, dándose lugar a la multitarea. Cuando el entorno es multiproyecto, en CCPM, todos los recursos deben subordinarse al recurso cuello de botella con el objetivo de maximizar su rendimiento. En CPM/PERT, aunque se hace indicación de maximizar la utilización de los recursos en el sistema global (o la cartera de proyectos), no se proporcionan directivas específicas para la gestión de los recursos.

#### **3.3.4. Programación**

En la gestión de proyectos siempre se producen variaciones entre lo programado y lo ejecutado. En ambos métodos se utilizan informes periódicos de avance del proyecto. En CPM/PERT, se controlan prioritariamente las actividades del camino crítico y en CCPM las actividades de la cadena crítica. En los dos métodos, finalmente, el proyecto es implícitamente o explícitamente reprogramado. Por explícitamente, se entiende que un programa "óptimo" se recalcula mientras el proyecto avanza (Herreolen and Leus, 2001, 2002). En teoría, reprogramar periódicamente sería lo óptimo, pero los costes de comunicación, de coordinación y la renegociación con los suministradores en algunos casos pueden ser prohibitivos.

En CCPM, se intenta conservar el programa previsto y mantener las fechas de inicio programadas con inicio más tardío de las primeras actividades de las cadenas distintas de la cadena crítica. Contrariamente, en CPM/PERT, el arranque de las tareas está condicionado por las fechas previstas en la línea base y los retrasos se transmiten a la actividad siguiente.

Otro punto que puede afectar la programación son las interacciones con el exterior. En CCPM, en general no se utilizan hitos.

Cuando se trata de gestionar multiproyectos, dado que se trata de un entorno en el cual los proyectos van finalizando y entran nuevos proyectos de manera continua, es necesario priorizar los proyectos y programar de manera dinámica. Existen diversas reglas que permiten priorizar los proyectos en CPM/PERT, pero los costes y el tiempo asociados a una reprogramación continua son muy altos. En CCPM, la regla básica de prioridad es la del "first-in, first-served" (primero en entrar, primero en salir). Además el flujo de proyectos que puede entrar en el sistema se condiciona a la disponibilidad del recurso cuello de botella, pues solo se acepta un nuevo proyecto en el sistema si el DRUM dispone de la capacidad suficiente para actuar en este nuevo proyecto.

#### **3.3.5. Indicadores de Seguimiento**

En las técnicas CPM/PERT, se reportan y controlan las fechas de inicio y de fin de las actividades acabadas o en proceso frente a las definidas en el calendario de la línea base programada. También se controla el cumplimiento de los hitos y se utiliza el análisis del valor ganado, que proporciona indicadores para seguir el progreso del proyecto. Sin embargo, en el entorno multiproyecto, el método del valor ganado no proporciona información al nivel del rendimiento global de la cartera de proyectos.

Cuando se aplica CCPM no se programan los inicios y fines de las actividades en fechas fijas, por lo que faltan los puntos de referencia para el análisis del valor ganado. En cambio, se controla el consumo del buffer y se compara el buffer disponible con el mínimo requerido para cumplir con la fecha objetivo. El control de los buffers proporciona una vista del trabajo realizado pero también señala las partes que necesitan atención porque cada buffer se relaciona a una cadena de actividad específica.

No obstante, Leach (2005) proporciona una técnica interesante para adaptar el análisis del valor ganado al método de la cadena crítica introduciendo los conceptos de buffer de tiempo del proyecto y de buffer de coste del proyecto.

#### 4. Conclusiones

El método de la Cadena Crítica se basa en tres herramientas teóricas y su objetivo es evitar los seis efectos indeseables previamente expuestos. Las medidas que propone este método frente a los efectos indeseables, se muestran de forma resumida en la tabla 1.

<b>Efectos indeseables</b>	<b>Medidas proporcionadas contra los efectos en CCPM</b>
<b>Las variaciones en las estimaciones de duración de las actividades</b>	Considerar que existen márgenes de seguridad en las estimaciones de duración de las actividades
	Las márgenes de seguridad no son bien colocadas y no protegen realmente las actividades frente a las variaciones, se propone agregarlas en un buffer del proyecto colocado al fin del proyecto
<b>El síndrome del estudiante</b>	Quitar las seguridades locales para que no se puede pensar que se dispone de un margen de tiempo importante y no utilizar la capacidad máxima del recurso en la tarea
<b>La imposibilidad de aprovechar de las variaciones positivas</b>	No utilizar hitos
	No Trabajar con las fechas de fin de las actividades, trabajar con las duraciones
	Durante la ejecución adaptar la estrategia del corredor de relevos
<b>Los retrasos consecuencias de las dependencias de las tareas</b>	Proteger las actividades de la cadena crítica frente a los retrasos en las actividades no críticas mediante los buffers de alimentación
	Evitar la multitarea y minimizar el trabajo en progreso
<b>La pérdida de atención</b>	Programar las tareas con un inicio más tardío
	minimizar el trabajo en progreso

Tabla 1. Medidas frente a los efectos indeseables

En el método de la Cadena Crítica se hace referencia a diversos conceptos, de los cuales, algunos son nuevos, otros existen en otros ámbitos y han sido introducidos en la gestión de proyectos y otros ya son utilizados en la gestión de proyectos, pero los presenta de forma diferente. Así, considerar las variaciones, en la gestión de la incertidumbre no es nuevo, los conceptos de “cuello de botella”, de buffer y throughput, o de limitación, proceden del ámbito de la gestión de la producción, lo novedoso es su adaptación a la gestión de proyectos. Un concepto que introduce CCPM es el de dependencias entre recursos.

Otros aspectos, sin embargo todavía aparecen como temas de controversia en la literatura: las estimaciones de las duraciones de las actividades en CCPM, por ejemplo. Aunque el síndrome del estudiante y la ley de Parkinson son aceptados de manera general, queda por confirmar que son la causa de que las tareas se retrasen en su ejecución y que se consuman los márgenes de seguridad introducidos en las estimaciones. Un aspecto objeto de mayor investigación es el de dimensionar los buffers para que traduzcan un margen de seguridad óptimo.

En relación a su aplicación, y a nivel de un proyecto único, el método de la cadena crítica proporciona otra alternativa a la programación CPM/PERT. Tiene la ventaja de considerar de manera clara la incertidumbre inherente a los proyectos mediante la colocación de diferentes buffers en el cronograma. Hay que constatar también que una ventaja importante en la aplicación del CCPM frente al CPM/PERT, es la posibilidad de aprovechar las variaciones positivas. Así, el CCPM proporciona una técnica de programación de proyectos

simple y "satisfactoria" que es suficiente para tener la base para la ejecución, su seguimiento y control.

Otra particularidad muy interesante en el CCPM es el hecho de considerar el factor humano en la programación y la ejecución del proyecto.

## Referencias

Aronson, Z. Reilly, R., Lynn, G. (2004). "The role of leader personality in new product development team success", Academy of Management Conference, New Orleans, LA

Cohen I., Mandelbaum A., Shtub A. Multi-Project Scheduling and Control: A process-based comparative study of the critical chain methodology and some alternatives. Project Management Journal, Project management Institute, Vol.35, No.2, 2004, pp. 39-50.

Goldratt, E. M., Cox, J. North River Press, 1984

Goldratt, E. M., Critical Chain, 1997. The North River Press.

Herroelen W., Leus R., On the merits and pitfalls of critical chain scheduling, Journal of Operations Management, Elsevier, Vol.19, No.5, 2001. pp. 559-577

Herroelen W., Leus R., Demeulemeester E. Critical Chain Project Scheduling: Do not Oversimplify, Project Management Journal, Project management Institute, Vol.33, No.4, 2002. pp. 46-60

Leach P.L., Critical Chain Project Management improves Project Performance, Project Management Journal, Project management Institute, Vol.30, No.2, 1999. pp. 39-51

Leach P.L., Critical Chain Project Management, Second Edition, Artech house Publishers, 2005.

Moore, D.S.; McCabe, G.P.. Introduction to the practice of statistics. Freeman and Company, 1993

PMI. A Guide to the Project Management Body Of Knowledge, Third edition, 2004.

Schonberger, R.J., Why projects are "always" late: a rationale based on manual simulation of PERT/CPM network, Interfaces, Vol.11, No.5, 1981. pp. 66-70

Steyn, H, *An investigation into the fundamentals of critical chain project scheduling*, International Journal of Project Management, Elsevier Vol.19, N.6, 2001, pp. 363-369

Steyn, H., Project management applications of the theory of constraints beyond critical chain scheduling, International Journal of Project management, Elsevier, Vol.20, No.1, 2002. pp. 75-80

## Correspondencia (Para más información contacte con):

M<sup>a</sup> Carmen González-Cruz

Departamento de Proyectos de Ingeniería

Universidad Politécnica de Valencia

Teléfono: 963877007 ext. 75654

[mcgonzal@dpi.upv.es](mailto:mcgonzal@dpi.upv.es)