

01-014

## **APPROACH TO THE APPLICATION OF THE CRITICAL CHAIN METHOD TO THE CONSTRUCTION PROJECTS**

Vázquez García, Elena; Amiama Ares, Carlos; Barrasa Rioja, Martín  
Universidad de Santiago de Compostela

A constant in the performance of civil works projects is the appearance of delays in relation to the planned baseline. This delays resulting in many cases by a poor planning of the activities to develop. Currently, the market pressures force to compress schedules in an effort to reduce deadlines, without an increase in costs and maintaining quality requirements of the project. Application of Critical Chain method could be presented as a solution to improve the planning, monitoring and control of construction projects, allowing to eliminate some undesirable effects of management methods used so far, such as variations in the duration estimates, Student Syndrome, multitasking ... However will need to make an effort to adapt this methodology, with a proven efficacy in the industrial field, to the construction projects. In this study, we want to review and to develop a subsequent abstract of the work done in this area, as a first approach to the development of a procedure for adapting the methodology of critical chain to construction projects.

**Keywords:** *Critical chain; Planning; Project management*

## **APROXIMACIÓN A LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA A PROYECTOS DE OBRA CIVIL**

Una constante en la ejecución de los proyectos de obra civil es la aparición de retrasos respecto a la línea base prevista, derivados en muchos casos de una deficiente planificación de las actividades a desarrollar. En la actualidad las presiones de los mercados obligan a comprimir los cronogramas, en un afán de reducir plazos, sin un incremento de los costes y manteniendo las exigencias de calidad del proyecto. La aplicación del método de la Cadena Crítica podría presentarse como una solución en la mejora de la planificación y del seguimiento y control de las obras de construcción, permitiendo eliminar algunos efectos indeseables de los métodos de gestión empleados hasta ahora, tales como las variaciones en las estimaciones de las duraciones, el Síndrome del Estudiante, .... No obstante será necesario realizar un esfuerzo para adecuar esta metodología, de contrastada eficacia en el ámbito industrial, al ámbito de la construcción, concretamente a los proyectos de obra civil. En este trabajo, se pretende establecer realizar una revisión y posterior compendio de los trabajos realizados en este ámbito, como primera aproximación a la elaboración de una propuesta metodológica de adecuación de la metodología de la cadena crítica a los proyectos de obra civil.

**Palabras clave:** *Cadena crítica; planificación; gestión de proyectos*

Correspondencia: Carlos Amiama Ares [carlos.amiama@usc.es](mailto:carlos.amiama@usc.es)

## 1. Introducción

Critical Chain Project Management (CCPM) o Cadena Crítica es un método analítico de planificación y gestión de proyectos desarrollado por el Dr. Eliyahu M. Goldratt y definido como tal en su libro *Critical Chain* de 1997.

El origen de esta metodología se basa en la teoría de las limitaciones (TOC) surgida a principios de los años 80 bajo la idea básica de que todo sistema cuenta con al menos una limitación o cuello de botella y que, aplicando una serie de reglas centradas en los mismos, es posible optimizar el resultado del sistema mediante un proceso de mejora continua (Goldratt & Cox, 1993). Esta teoría nació en un entorno productivo y, a pesar de que en sus inicios quedó circunscrita al mismo, con el paso del tiempo ha ido desarrollándose, extendiéndose y adaptándose a otros ámbitos como la distribución, el marketing o la gestión de proyectos entre otros, siendo la metodología concreta para esta última la denominada Cadena Crítica.

A diferencia de otras técnicas empleadas en la administración de proyectos, como Gantt o Pert / CPM, que llevan utilizándose desde la década de los sesenta, esta técnica relativamente joven centra sus esfuerzos en identificar y gestionar adecuadamente aquellos elementos que permiten acelerar la consecución de los proyectos de forma sostenida y completarlos dentro del plazo y presupuesto inicialmente establecidos mediante algunas propuestas que se apartan de la praxis habitual.

Dentro del sector de la construcción, donde los sobrecostes y los retrasos se han convertido en una práctica común, la inusual aplicación de actuaciones o técnicas adecuadas de gestión de proyectos que permitan manejar los riesgos de calendario y de desviación de costes es un tema actual que origina cierta controversia.

Las presiones generadas por los mercados en los últimos años empujan a los responsables de los proyectos a trabajar más, comprimir los cronogramas y disponer de menos recursos, en detrimento de acuerdos contractuales, calidades, plazos o costes.

En este camino, la aplicación del método de la Cadena Crítica podría presentarse como una solución en el avance y en la mejora de la planificación y del seguimiento y control de las obras de construcción, evitando la tendencia actual de las mismas y permitiendo eliminar algunos efectos indeseables de los métodos de gestión empleados hasta ahora, tales como: las variaciones en las estimaciones de las duraciones, la Ley de Parkinson, el Síndrome del Estudiante, la imposibilidad de aprovechar las variaciones positivas, los retrasos como consecuencia de las dependencias de las tareas, la multitarea o la pérdida de atención.

## 2. Objetivos

El método de la Cadena Crítica ha sido utilizado y probado en distintos sectores, demostrando su capacidad de adecuación y de mejora con respecto a otros sistemas de planificación y seguimiento empleados hasta el momento, permitiendo la obtención de resultados fiables y competitivos en un mundo marcado por los tiempos y costes.

El objetivo de este estudio es realizar una revisión y posterior compendio de los trabajos desarrollados en este ámbito, como una primera aproximación a la elaboración de un procedimiento de adecuación de la metodología de la cadena crítica al sector de la construcción, donde el vacío actual existente en este campo hace necesaria la búsqueda de soluciones más efectivas en la planificación y el control de las obras con el propósito de completarlas dentro de los plazos y presupuestos establecidos.

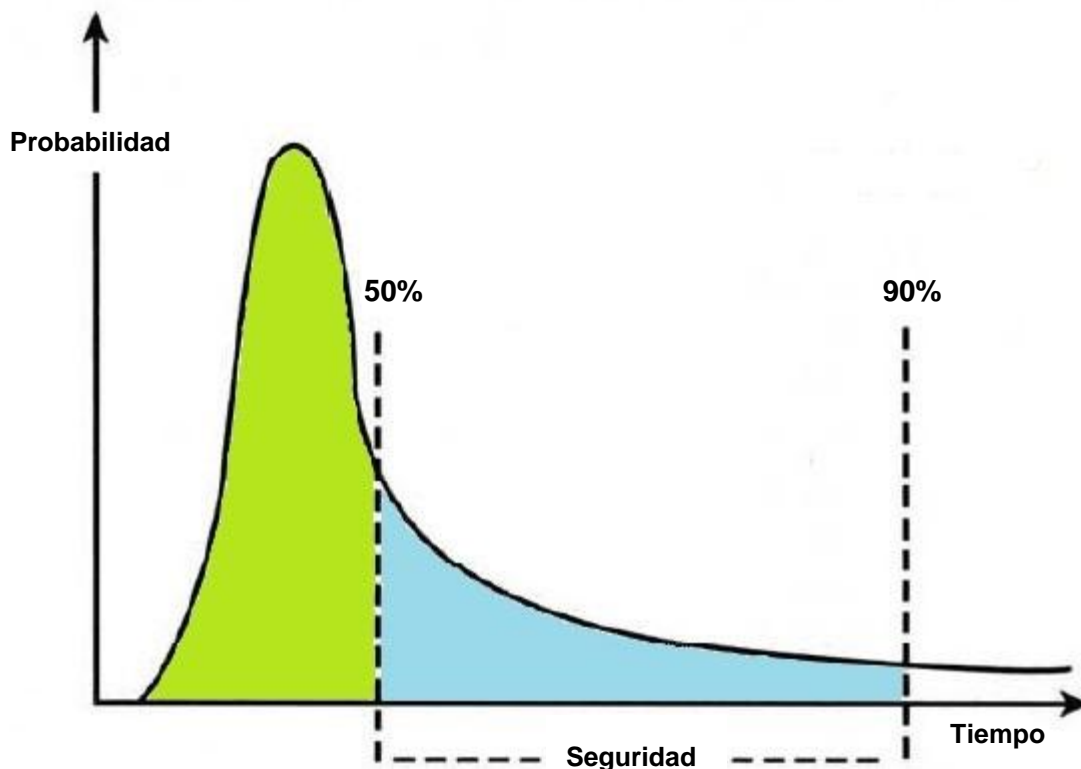
Por todo ello, se pretende ofrecer unas claves para un uso correcto del CCPM en el sector de la construcción, eliminando los fenómenos que se producen como consecuencia de la aplicación de los métodos actuales e identificando el proceso como una herramienta que permita proteger la fecha de finalización de las obras, la consecución de las mismas según lo proyectado y la limitación de los recursos.

No obstante, será necesario realizar un esfuerzo y muchos estudios para poder adecuar esta metodología, de contrastada eficacia en el ámbito industrial, al ámbito de la construcción, y concretamente a los proyectos de obra civil, ya que implica una transformación en el modo de entender las obras, además de un aprendizaje y empeño añadido por parte de las personas implicadas.

### 3. Protección de las estimaciones

A la hora de planificar un proyecto es indispensable estimar el tiempo de duración de las diferentes tareas y definir la fecha prevista de su conclusión. Goldratt afirma que la distribución de la probabilidad de duración de una tarea en entornos donde interacciona la naturaleza humana y los mecanismos de evaluación del personal que puede llevar a errores de gestión es asimétrica (Rivera & Durán, 2003).

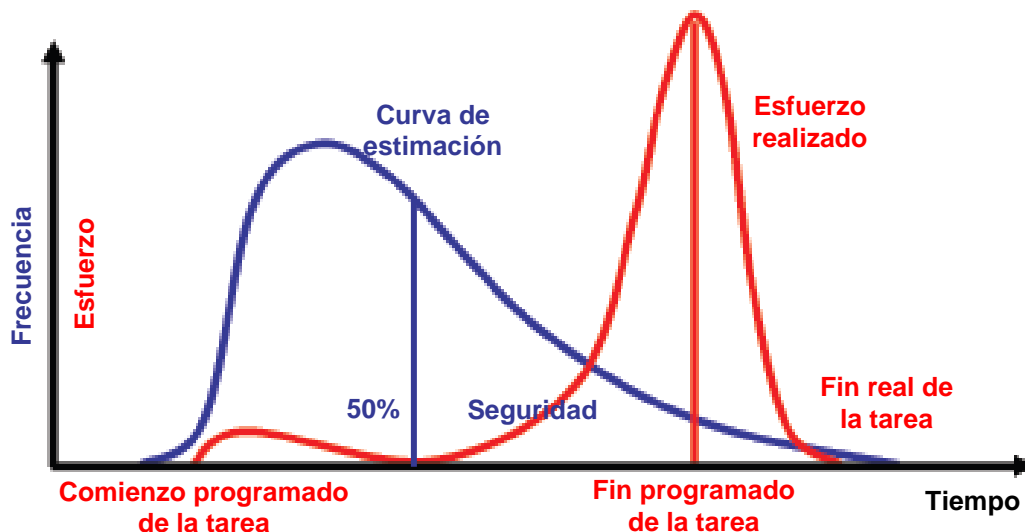
Figura 1. Curva de distribución de probabilidades



El ser humano tiende a basar estas estimaciones en experiencias anteriores y en el deseo de protegerse de la incertidumbre ante posibles imprevistos que puedan surgir. Por esta razón, evitamos las evaluaciones de duración probable de un 50% acogiéndonos a probabilidades de realización de la actividad de un 90% para cada una de las tareas del proyecto.

Esta diferencia de tiempo es denominada en la terminología de la Cadena Crítica como “protección” y corresponde al colchón de seguridad que el trabajador considera necesario en caso de que surja algún problema en la ejecución de dicha actividad. Sin embargo, la contradicción aparece cuando, a pesar de esta aparente armadura en muchas de sus tareas y que puede llegar a ser normalmente del orden del doble de lo que sería la duración media de las actividades (Navarro, 2006), el proyecto finaliza fuera de plazo.

Figura 2. Trabajo invertido en una tarea a lo largo del tiempo comparado con su estimación



En la Figura 2 se muestra la distribución de la cantidad de trabajo invertido a la hora de desempeñar una tarea en comparación con su estimación inicial, donde se puede observar que la protección se acaba desperdiciando. Goldratt opina que esto es provocado por la confluencia de una serie de fenómenos indeseables:

- La Ley de Parkinson
- El Síndrome del Estudiante
- La Ley de Murphy

### 3.1. La Ley de Parkinson

La primera Ley de Parkinson, enunciada por Cyril Northcote Parkinson en 1957, afirma que el trabajo se expande hasta llenar el tiempo disponible para que se termine (Gómez & Jiménez, 2009).

Si aplicamos esto en términos de la gestión de proyectos se puede expresar que cuanto más tiempo se disponga para la realización de una tarea, más tiempo se tardará en completarla, ya que la duración de cada una de las actividades de un proyecto será la estimada, ocupando todo el espacio disponible para su realización, incluido el tiempo de protección.

### 3.2. El Síndrome del Estudiante

El Síndrome del Estudiante toma su nombre del comportamiento observado en los estudiantes cuando están preparando un examen. Este concepto, introducido por Goldratt en su libro *Critical Chain*, se define como el fenómeno por el cual las personas comienzan a

dedicarse seriamente a una tarea que les fue asignada, solamente cuando la fecha de entrega se acerca. De esta forma se realiza un tercio del trabajo durante los dos primeros tercios del tiempo asignado, acelerando y finalizando los dos tercios restantes en el último tercio disponible.

### **3.3. La Ley de Murphy**

Siguiendo la Ley de Murphy “si algo puede salir mal, saldrá mal”, cuando la persona que debe ejecutar una tarea del proyecto se pone por fin a trabajar duramente en la misma, descubrirá aspectos que no tenía previstos (Rivera & Durán, 2003), lo que provocará que la fecha real de fin de la tarea sea posterior a la programada.

Las formas en las que Murphy puede aparecer en nuestro proyecto son diversas, sin embargo, si comenzamos a trabajar en momentos cercanos a la fecha programada de fin de la actividad no dispondremos del tiempo adecuado para poder gestionar los problemas que puedan surgir.

## **4. Método de la Cadena Crítica**

La cadena crítica ha sido identificada como la restricción del proyecto y definida como: “La secuencia más larga de actividades dependientes. La dependencia de recursos determina la criticidad de la misma forma que lo hace la dependencia de actividades” (Leach, 2014).

Teniendo en cuenta la descripción anterior, el método del CCPM intenta eliminar los problemas que surgen de la realización de programaciones que no se ajustan a la realidad. Para ello Goldratt propone 4 pasos sobre los que se deben trabajar para enfocar los esfuerzos de mejora:

1. IDENTIFICAR las restricciones del proyecto.
2. EXPLOTAR al máximo las restricciones del sistema.
3. SUBORDINAR todo lo demás a la decisión anterior.
4. ELEVAR la capacidad de las limitaciones del sistema.

La metodología propuesta busca la utilización de mecanismos que permitan gestionar la incertidumbre de un proyecto reduciendo su duración, con una mayor confianza en la fecha de terminación, menor caos y una replanificación de los plazos.

Una de las principales características del CCPM es la eliminación de las protecciones o colchones de seguridad de cada actividad tal y como se realiza en la práctica habitual, sin embargo las tareas de los proyectos quedarán protegidas mediante la aparición de amortiguadores que permitan defender la cadena crítica.

## **5. Protecciones de la cadena crítica**

Se ha demostrado que añadir protecciones a cada una de las tareas de un proyecto, para poder prevenirlas de posibles problemas que puedan surgir durante la ejecución del mismo, es una pérdida de tiempo y un derroche de esfuerzo.

La suma de óptimos locales no da como resultado el óptimo global debido, precisamente, a la incertidumbre y a las interdependencias (Iglesias, 2005). Todas las personas implicadas en el proyecto deben de enfocar sus empeños en lo que realmente importa “finalizar el proyecto según el plazo y coste previsto”.

El método de la cadena crítica establece que las tareas individualmente deben ser despojadas de su protección para concentrar esta seguridad en determinados puntos clave del proyecto y que son identificados como buffers (PMI, 2014).

Los buffers correctamente dimensionados son amortiguadores de tiempo que se contraen automáticamente cuando son empleados por tareas que demandan más tiempo del previsto, y absorben estas demoras sin afectar la fecha de terminación prevista.

### 5.1. Tipos de buffers

Existen distintos tipos de buffers en función de su objetivo, lo que determinará la ubicación de los mismos dentro de la cadena crítica.

- Buffer de proyecto

Está situado al final del proyecto, después de la última tarea, marcando la fecha final del mismo.

Su principal objetivo es proteger el plazo del proyecto frente a las desviaciones que se pueden producir en las actividades pertenecientes a la cadena crítica. También se utilizan cuando las tareas de las subcadenas absorben todo el buffer de alimentación correspondiente.

- Buffer de alimentación

Este amortiguador se coloca al final de cada subcadena (no crítica) que alimenta o desemboca en la cadena crítica.

Su misión es absorber las desviaciones producidas en las subcadenas que deben ejecutarse antes del inicio de una tarea de la cadena crítica, protegiendo a esta última de dichas alteraciones.

- Buffer de recurso

Se coloca cuando un recurso tiene trabajo en una tarea concreta de la cadena crítica y la tarea que le precede la realiza un recurso diferente.

El objetivo de este amortiguador es servir como llamada de atención a los recursos para garantizar que estarán disponibles cuando la cadena crítica lo requiera.

Este tipo de buffer actúa como un aviso, por lo que no cambia la duración del proyecto.

### 5.2. Tamaño de los buffers

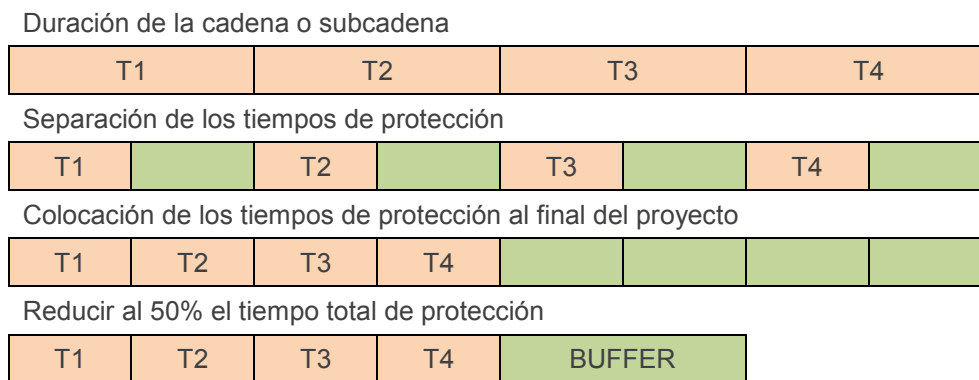
Ante la importancia de insertar buffers dentro del cronograma del proyecto para protegerlo ante las desviaciones que puedan surgir, la determinación de la longitud de estos amortiguadores constituye uno de los principales desafíos de la utilización del método.

Entre los procedimientos de cálculo del tamaño de los buffers destacan el de “cortar y pegar” y el basado en la estadística mediante el Teorema Central del Límite (Turkel, Rom & Duni, 2006). Para una primera aproximación y aplicación del CCPM al sector de la construcción nos centraremos en el primer método, defendido por Goldratt (2001), debido a su facilidad y comodidad práctica que consta de cuatro etapas:

1. Estimación del tiempo de protección de las tareas.
2. Separar los tiempos de protección de las tareas.
3. Colocar los tiempos de protección al final del proyecto.
4. Reducir al 50% la longitud de la suma de dichos trozos.

El procedimiento de cálculo propuesto podrá irse rectificando en base a la experiencia de la aplicación del método en el mundo de la ingeniería.

**Figura 3. Ejemplo de cálculo de tamaño de buffers**



Con este método, los tiempos obtenidos para las tareas de la cadena crítica son los tiempos promedios, sin tener en cuenta ningún tipo de protección, lo que permite reducir el plazo de proyecto al considerar el 50% del tiempo ahorrado para incorporarlo al buffer del proyecto.

Dentro de las subcadenas, que alimentan a la cadena crítica, se realiza el mismo procedimiento, aunque en este caso el tiempo de protección que se coloca en el buffer de alimentación es el resultante del 50% de los tiempos acumulados a lo largo de las rutas no críticas fruto de la eliminación de las protecciones de las tareas.

Para los buffers de recursos, donde no se consume tiempo de proyecto, los avisos que se darán a los recursos para que se incorporen a la ejecución de las tareas asignadas dentro de la obra en el momento adecuado se deberán escalonar en el tiempo según los acuerdos pactados y la complejidad de las actividades y del proyecto.

### 5.3. Seguimiento del proyecto mediante el consumo de los buffers

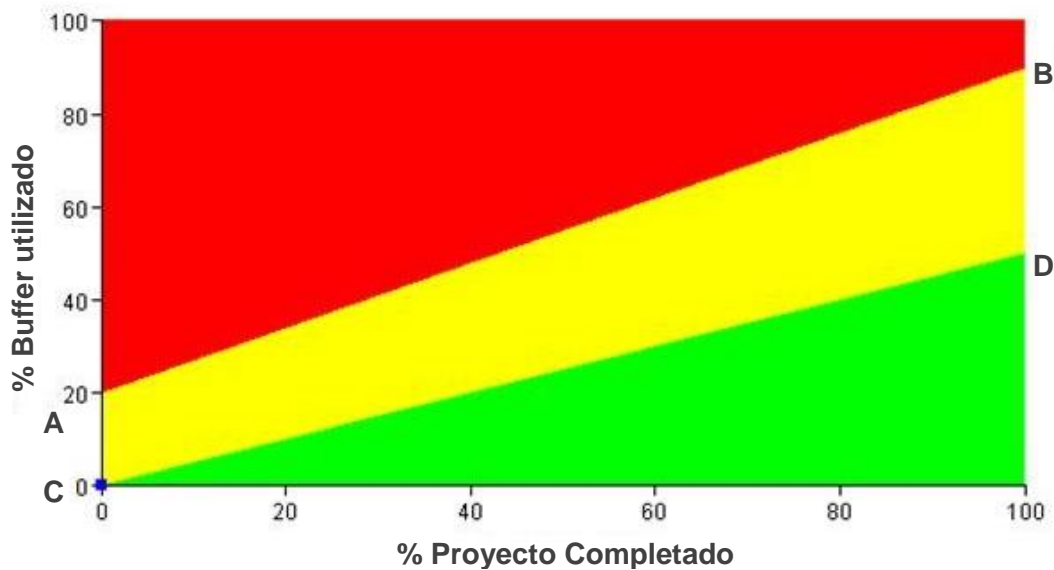
El seguimiento y control del proyecto con el método de la cadena crítica se realiza a partir de la relación entre el grado de consumo de los buffers y el grado de avance de las cadenas que amortiguan.

Hay que tener en cuenta que los buffers no son holguras del proyecto, sino elementos básicos de la programación, por lo que su función es gastarlos. La principal característica en el uso de los amortiguadores es que la realización de las actividades de la cadena o subcadenas avancen a un ritmo mayor que el del consumo de los buffers.

Para el seguimiento y gestión del proyecto se recomienda el uso de hojas de control (Fever Chart) basadas en una escala de colores (López, 2009) que nos indican de la necesidad de actuación en cada región:

- Región roja → Actuar
- Región amarilla → Planificar
- Región verde → Mirar

Figura 4. Fever Chart



Dentro de estas “tablas de temperatura” existen cuatro puntos que son precisos definir con el objetivo de delimitar las regiones de control (ProChain, 2011):

- Punto A y B

La unión de ambos puntos delimita el inicio y final del área amarillo / rojo. Son las marcas más importantes, ya que la zona roja implica la necesidad de actuación sobre la programación del proyecto.

‘A’ debe de estar lo suficientemente por encima del punto 0% para dar cabida a los retrasos razonables de puesta en marcha de la obra, sin ser tan elevados que los problemas ocasionados en el inicio carezcan de vigilancia.

‘B’ debe de estar lo suficientemente por debajo del punto 100 % para permitir una oportunidad sensata para concluir el proyecto en tiempo.

- Punto C y D

La línea generada entre los puntos C y D definen el inicio y el final del área amarillo / verde. Desde el punto de vista del seguimiento del proyecto, es necesario conocer esta región amarilla, ya que cuando nos encontremos sobre esta zona debemos activar nuestra atención sobre el proyecto.

‘C’ estará generalmente sobre el origen, ya que cualquier demora de inicio debería provocar cierta preocupación.

‘D’ es la señal más difícil de fijar y su colocación dependerá de qué tipo de atención y acciones se desean tomar en la región amarilla.

El control basado en este tipo de tablas potencia que el equipo de proyecto enfoque sus esfuerzos en los casos en los que exista un peligro real de no terminar a tiempo, evitando reaccionar ante falsas alarmas ocasionadas por pequeñas variaciones en las estimaciones del calendario.



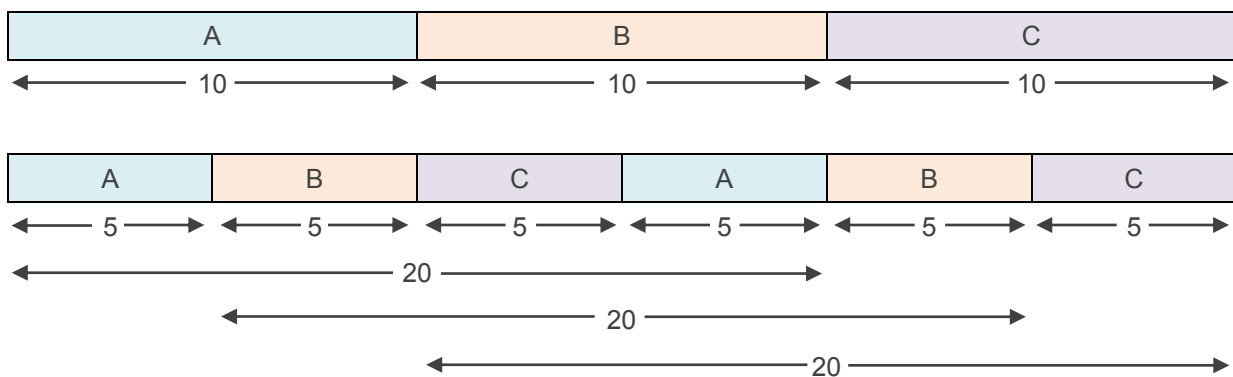
## 6. Amenazas a la cadena crítica

Durante la aplicación, programación y seguimiento de la cadena crítica hay que tener en cuenta una serie de características a la hora de proceder con esta metodología para evitar ciertos efectos peligrosos que pueden afectar al buen término de cualquier tipo de proyecto.

### 6.1. La multitarea

El pensamiento común de que la multitarea permite mejorar y aprovechar la eficiencia y capacidad de los recursos es un error, ya que en la realidad esto implica cambios continuos en el trabajo provocando constantes conflictos de prioridades de tareas, lo que se traduce en una amenaza para la mejora global del proyecto.

Figura 5. Ejemplo de multitarea de Goldratt

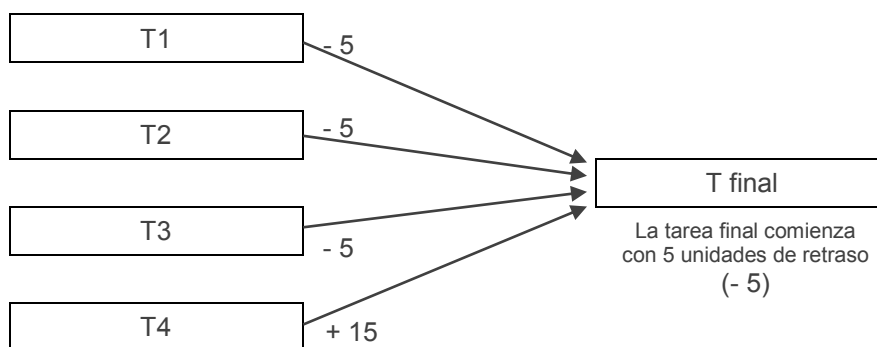


En la Figura 5 se expone un ejemplo de multitarea, explicado por Goldratt en su libro *Critical Chain*. De él se deduce que si la persona responsable de realizar las tres tareas las va intercalando para ejecutarlas de forma simultánea, el tiempo de conclusión de cada una de ellas aumenta el doble con respecto a la manera de proceder de empezar una tarea y no pasar a la siguiente hasta que no se haya terminado la anterior.

### 6.2. Dependencia de las tareas

En un proyecto suele haber varios caminos que se juntan hacia el final del proyecto, por lo que cualquier retraso en alguno de ellos provoca que la tarea siguiente se retrase (Apaolaza & Uyarbide, 2007), a pesar de que el resto de procesos se terminen en plazo o incluso antes de lo establecido.

Figura 6. Ejemplo de dependencia de tareas de Goldratt



De esta premisa se puede concluir que:

- Los retrasos se transmiten.
- Las variaciones positivas se pierden.

### 6.3. Pérdida de atención

Los métodos tradicionales de gestión de proyectos planifican las tareas lo antes posible. Esta manera de proceder viene sujeta a la idea de que: cuanto antes se empiece, más tiempo tendremos para reaccionar ante cualquier problema.

Los excesos en los niveles de actividad, lejos de ofrecer un mayor margen de seguridad, provocan pérdidas de atención de los directores del proyecto para centrarse en los aspectos y tareas importantes de las obras, además de causar interferencias entre los diferentes trabajadores implicados.

La cadena crítica trata de lidiar con este problema programando las tareas lo más tarde posible (González, et al, 2009), sin convertirlas en críticas gracias a la existencia de los buffers correspondientes al final de las mismas. De esta forma, se reduce el trabajo en curso aumentando considerablemente la atención en las actividades programadas.

## 7. Conclusiones

Hoy en día la Cadena Crítica es la metodología más completa y avanzada que las empresas pueden implementar a su gestión de proyectos y procesos productivos en los diferentes sectores en los que se ha probado, permitiéndoles conseguir resultados directos, visibles y efectivos.

La aplicación de este método al sector de la construcción podría contribuir a la mejora de las probabilidades de éxito de los proyectos, evitando las muy frecuentes variaciones de los cronogramas y reduciendo sustancialmente el plazo de tiempo para llevarlos a cabo. Esto permitiría no sólo cumplir con los tiempos proyectados sino que también brinda la posibilidad de ofrecer plazos más cortos, proporcionando grandes ahorros de tiempos y, consecuentemente de costes, lo que provocaría una importante mejora de la productividad y competitividad de las empresas del sector en un entorno de internacionalización y relaciones globalizadas donde la oferta económica es fundamental para conseguir contratos.

Además el CCPM facilitaría dirigir las obras con suficientes herramientas de control y seguimiento para conocer el estado actual de las actividades críticas y lograr la finalización de las mismas en los tiempos planeados, con la maximización de los recursos necesarios. Esto proporcionaría grandes posibilidades para conocer las fechas exactas de conclusión así como la capacidad de las empresas del sector para afrontar nuevos proyectos.

La implementación del método propuesto no sólo supondría grandes avances en la planificación y el seguimiento y control de las obras, sino que también implicaría un cambio en el modo de ejecutar las mismas mediante una mejora de la información, la comunicación y la toma de decisiones.

Actualmente, la mayor complejidad para la aplicación de este método está en la real participación de los agentes intervinientes, que deben romper con los hábitos e inercias de los métodos tradicionales. Este proceso no siempre es fácil, sobre todo en el sector de la construcción característico por ser tradicional y conservador, ya que supone un cambio en la filosofía de trabajo ya adquirida. Por este motivo se debe de trabajar en la capacidad de

estimulación y motivación de los mayores niveles de responsabilidad de la obra para lograr una correcta implementación del método de la cadena crítica.

## 8. Bibliografía

- Apaolaza, U., & Oyarbide, A. (2007). Aplicación de la “cadena crítica” al sector de la construcción: un caso particular. *XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, Lugo, 26-28 de septiembre de 2007, pp 2233 – 2244.
- Goldratt, E. M., & Cox, J. (1993). *La meta: un proceso de mejora continua*. Madrid: Díaz de Santos, D.L.
- Goldratt, E. M. (2001). *Cadena crítica. Una novela empresarial sobre la gestión de proyectos*. Madrid: Díaz de Santos, D.L.
- Gómez, L. F., & Jiménez, J. B. (2009). Gestión de Proyectos con Teoría de Restricciones aplicada al área técnica de la Compañía Construcciones y Servicios S.A. *Revista Soluciones de Postgrado EIA*, 4, pp. 195-208.
- González, M. C., Asensio, S., Diego, J. A., & Alcaide, J. (2009). Análisis del método de la cadena crítica vs método del camino crítico. *Viabilidad y Conceptos. XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, Badajoz, 8-10 de julio 2009, pp 0056-0067.
- Iglesias, J. L. (2005). Gestión de proyectos (III): Los buffer del proyecto. *Partida Doble*, 167, pp 76-85. ISSN 1133-7869.
- Leach, P. L. (2014). *Critical Chain Project Management*. (3ª edición). Boston: Artech House.
- López, M. (2009). *Critical Chain ‘in a nutshell’*. Blog Nodos en la Red. Publicado en <http://nodos.typepad.com/>
- Navarro, D. (2006, 10 de Mayo). *Cómo gestionar la incertidumbre en los proyectos*. Publicado en <http://direccion-proyectos.blogspot.com.es/>
- PMI. (2014). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos: Guía del PMBOK* (5ª edición). Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.
- ProChain Solutions, INC (2011). *Fever Chart Regions*. Blog ProChain. Publicado en [http://prochain.com/prochain\\_blog/](http://prochain.com/prochain_blog/)
- Rivera, F. A., & Durán, A. (2003). Una reflexión sobre los fundamentos y la aplicabilidad de cadena crítica en proyectos de ingeniería. *Dyna*, 78 (9), pp 10-13. ISSN 0012-7361.
- Tukel, O. I., Rom, W. O., & Duni, S. (2006). An investigation of buffer sizing techniques in critical chain scheduling. *European Journal of Operational Research* 172 (2), pp 401-416, Elsevier B.V. DOI:10.1016/j.ejor.2004.10.019

