

4 TEORÍA DE LAS RESTRICCIONES APLICADO A LA GESTIÓN DE PROYECTOS: METODOLOGÍA DE LA CADENA CRÍTICA.

4.1 Implementación de TOC al proyecto.

La teoría de las restricciones comenzó en el año 1982 cuando el autor Eliyahu Goldratt junto a Jeff Cox publicó su novela “La meta”, con el fin de mostrar de una forma práctica su experiencia al utilizar el sentido común en la producción de una compañía como una “mejora continua” en el proceso de producción, esto ha desatado un sin número de investigaciones científicas, que aunque se alejan ya de la forma de aplicar dicha teoría, esta novela sigue siendo la base de toda investigación; y adicionalmente, las investigaciones del Dr Goldratt siguen teniendo validez actualmente (Goldratt 1986).

La teoría de las restricciones se refiere enfáticamente a que en todo sistema debe existir un “cuello de botella”, ya que sin este, la producción del sistema sería imparable tendiendo al infinito o simplemente no existiría tal producción, por lo cual Goldratt especificó cierto tipo de reglas con las cuales podría identificarse la restricción, explotarla y así buscar nuevas restricciones generadas.

La aplicación de la teoría de las restricciones a la gestión de proyectos se empieza a usar en el año 1997 con el libro que da nombre a la metodología en cuestión, este nombre es “cadena crítica” (Goldratt 2001).

Según este autor, la mayoría de los proyectos, o mejor, la inmensa mayoría de los proyectos ejecutados (99%) no se realizan a tiempo debido a la falta de recursos, el ideal de un proyecto para que se cumpla en la fecha planificada es que no tenga limitación de recursos, un ideal difícil de cumplir y difícil de sostener, pero adicional a esta limitación de recursos, también es viable que un proyecto no se ejecute en el tiempo previsto, por el comportamiento humano o por la falta de equipos de trabajo, ultimadamente se ha llegado también a la conclusión de que la simultaneidad de proyectos, también es una limitación para la terminación al tiempo de los proyectos, según Goldratt el propio ciclo de

vida del proyecto es la restricción de la cadena crítica, es decir, de la metodología.

Una solución muy acertada para tener en cuenta en el concepto de la cadena crítica, fue publicada por Pittman (1995) quien dio crédito a lo dicho por Goldratt, lo cual consistía en que el mayor tiempo de ejecución del proyecto estaba dado por el recurso que debido a su limitada capacidad, debe realizar tareas de forma secuencial, es decir, el tiempo que tarde este recurso en hacer dichas tareas de forma secuencial con un rendimiento conocido, es el tiempo de duración del proyecto, siempre y cuando este sea el recurso más limitado.

La aplicación de este método en la gestión de proyectos, trajo consigo grandes mejoras en comparación con los métodos tradicionales ya antes mencionados (Apaolaza y Oyarbide 2005), estas mejoras son:

1. Los avances tecnológicos, que hicieron que las variables aumentaran y no se podían controlar con los métodos tradicionales.
2. Se empieza a contemplar la limitación de recursos y no solo las relaciones de precedencia como lo hacían los métodos tradicionales.
3. No se considera el impacto en la vulnerabilidad respecto a los tiempos calculados, ya que las actividades son interdependientes, cualquier cálculo realizado en cuanto al inicio y final de cada tarea, no debe ser una realidad asumida, ya que existe total dependencia de las tareas precedentes.
4. Ahora se tienen en cuenta parámetros de comportamiento humano, lo cual no hacían las metodologías tradicionales, comportamientos tales como la ley de Parkinson y el síndrome del estudiante, las cuales explican o se basan en el que las actividades se dilatan indefinidamente hasta ocupar la totalidad de tiempo disponible y la tendencia es siempre a esperar a última hora.
5. Los métodos tradicionales no tienen en cuenta el ámbito multiproyecto, lo cual exige una mejor gestión o una gestión diferente, más global a la hora de tomar decisiones.

Sin embargo, aunque son positivas las modificaciones realizadas en el tiempo, pueden existir efectos no deseados en la gestión de proyectos, más específicamente en la metodología de la cadena crítica, algunos de estos efectos negativos fueron publicados por Leach (1997):

| Teorías | Efectos indeseables |
|--|--|
| Teoría 1: teoría de las restricciones Teoría 2: variación de causa común ¹ Teoría 3: ley estadística de agregación ² | Efecto 1: estimaciones excesivas de duración de actividades. Efecto 2: pocas variaciones positivas en la tarea Efecto 3: desaprobación de variaciones positivas. Efecto 4: retraso del proyecto debido a la gran dependencia de las actividades Efecto 5: multitarea para un recurso Efecto 6: pérdida de concentración |

Tabla 1. Efectos no deseados en la cadena crítica según Leach (1997).

Muchos análisis se han generado a partir de esta teoría, por ejemplo, según Herroelen y Leus (2001) enunciaron que los objetivos de la cadena crítica son:

1. La duración del proyecto es una medida de desempeño, así que el principal objetivo es conocer el tiempo de la secuencia de las tareas (*makespan*³).
2. Otro objetivo es la minimización del trabajo en proceso (*work in progress* *WIP*).

Sin embargo estos objetivos se quedan cortos ya que no contemplan también el objetivo de maximizar el valor actual neto del proyecto así como minimizar el

¹Variación de Causa Común (*Common Cause Variation*), concepto definido por William E. Deming como variación común es predecible y no puede ser rastreada a una sola causa, frente a la Variación de Causa Especial (*Special Cause Variation*), que causa un cambio fundamental en un proceso.

²Ley estadística de la agregación: la varianza de un proyecto es la suma de las varianzas de las actividades individuales (Guía PMBOK®).

³*Makespan* en Gestión de la Producción, la diferencia de tiempo entre el inicio y el final de una secuencia de trabajos o tareas.

número de tareas con retraso, aunque este sería una medida de control mas no un objetivo inicial del proyecto.

La cadena crítica argumenta que el hecho de tener incertidumbre en los proyectos, es algo inherente a estos, así que el valor de la duración de una actividad es un valor netamente estadístico, por lo cual es muy realista asumir una distribución de probabilidad en la duración de las tareas de forma más sesgada a la derecha, lo cual quiere decir que las tareas tienen la tendencia a ser ejecutadas al final del tiempo provisto para las mismas. Sin embargo Goldratt siempre sugiere el uso de la mediana.

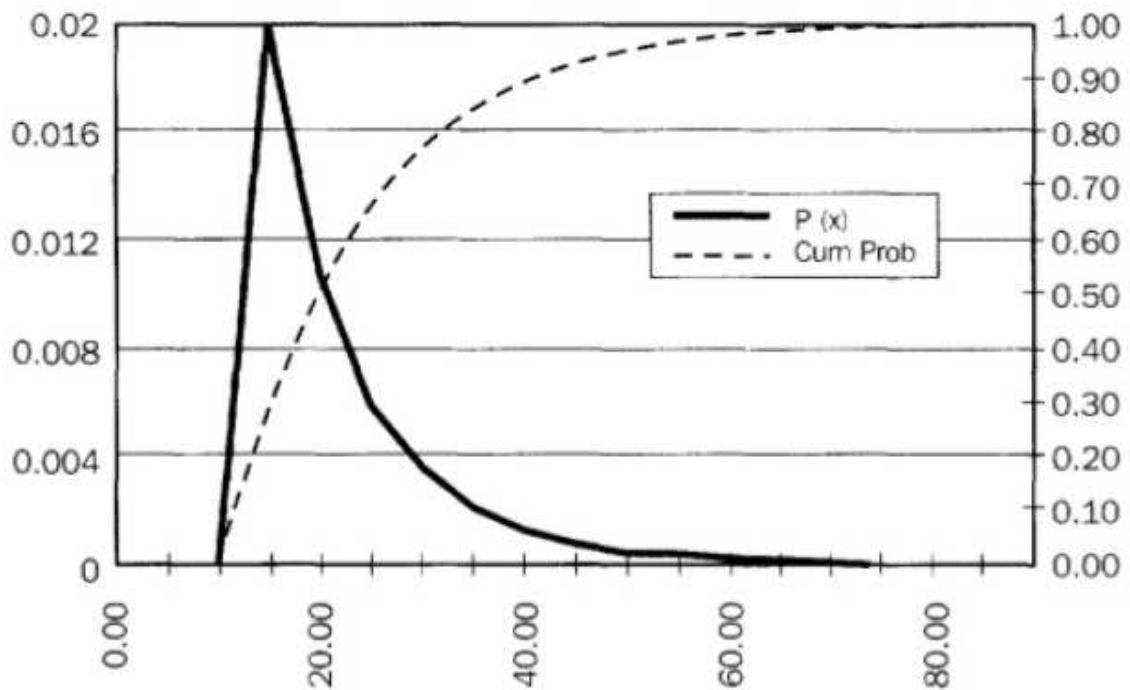


Figura n° 9: Distribución de probabilidad típica en la evolución de un proyecto (Leach 1997).

Estas y muchas otras controversias fueron suscitadas por las publicaciones de Goldratt, apreciaciones tales como que era una metodología revolucionaria que podría llevar a la mejora de la ejecución de los proyectos en los tiempos esperados (Globerson 2000, Steyn 2000), pero también se mencionaba el echo que eran metodologías que los directores de proyecto ya conocían desde el principio de los años y que lo realmente nuevo era la terminología creada y no el concepto.

Sin embargo la metodología fue probada y usada con éxito por Dee Jacob, socio de Goldratt en las principales empresas de la revista Fortune 500 lo cual provocó la inclusión de la metodología en el PMBOOK (Leach 1997).

La teoría de las limitaciones contempla como la mayor restricción del proyecto, el camino crítico del mismo, ya que este abarca todas las tareas que, según se secuenciación, conforman la duración del proyecto, además, la dependencia de los recursos establece la criticidad de las mismas tareas, en conclusión, la dependencia de las tareas tanto en duración como en recursos, determinan la duración de un proyecto.

Existe un aspecto importante y es la inclusión de los recursos limitados, es decir, programar los proyectos con actividades que se ejecutan con recursos limitados, esto se resuelve por métodos heurísticos donde no se puede reducir más los retrasos debido a esta limitación (Wei et al. 2002).

En resumen, Goldratt contempla un punto de partida para la aplicación de dicha metodología usando los siguientes procesos:

1. Identificar las limitaciones del sistema.
2. Decidir cómo explotar dichas limitaciones.
3. Subordinar todas las decisiones adoptadas en el paso anterior
4. Elevar la limitación, es decir, superarla.
5. Si se ha eliminado la restricción, volver al paso 1.

Además la medición de estos resultados deben hacerse con la utilidad neta o beneficio neto, que se logra simplemente restando a los ingresos los gastos de operación, también se debe evaluar la liquidez y adicionalmente la rentabilidad ROI, sobre la inversión.

También se considera que la toma de decisiones debe hacerse fundamentada en el *throughput* o el dinero que entra en el sistema, el inventario que se refiere

al dinero que se encuentra retenido en el sistema y los gastos de operación, que es el dinero que sale del sistema.

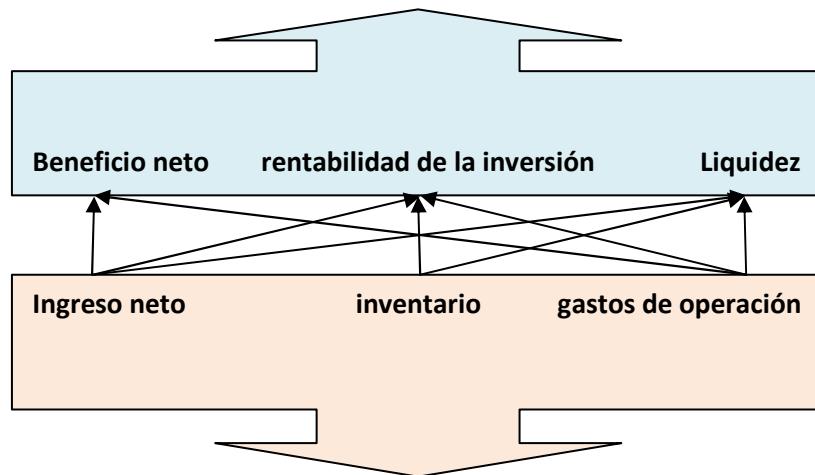


Figura nº10. Relación entre las medidas operativas y financieras

Los aspectos más relevantes de esta metodología según Herroelen et al (2002) como alternativa al concepto de ruta crítica son:

1. Se desarrolla un plan de línea base usando estimaciones de duración de las tareas basadas en un nivel de confianza del 50%.
2. Son eliminadas las fechas de entrega y los hitos de ejecución del proyecto.
3. Se intenta nunca usar la multitarea.
4. Para minimizar el trabajo en curso se estiman las duraciones con base en los cálculos de ruta crítica.
5. Si se encuentran conflictos debido a los recursos disponibles, esto se resuelve moviendo las tareas anteriores y no ejecutando tareas no críticas que tengan holguras.
6. Siempre se debe seleccionar una sola cadena crítica
7. El *buffer* del proyecto o tiempo de seguridad que se ha eliminado de las tareas críticas, se desplaza al final del proyecto (amortiguador del proyecto PB).
8. Se insertan amortiguadores de alimentación en las tareas con holgura no críticas al final de cada tarea, esto cada vez que una actividad de estas se une a la tarea crítica, esto con el fin de proteger la cadena

crítica de las posibles actividades no críticas que puedan involucrarse en el camino crítico.

9. Durante la ejecución del proyecto se debe mantener fija la ruta crítica y la línea base.
10. Se deben realizar las tareas críticas sin amortiguadores (no confundir con el amortiguador del proyecto) iniciando dichas tareas lo antes posible y usando las alertas tempranas o *flagtimes*.
11. Los amortiguadores son un mecanismo proactivo de alerta, y se les debe hacer el seguimiento de su consumo.

Normalmente el amortiguador del proyecto se calcula como el 50% de la duración de la cadena crítica del proyecto, actualmente este amortiguador se calcula como un valor entre el 30%-50% de la duración de dicha cadena (Kendall et al. 2002)

Para explicar de forma concreta como aplicar dicha metodología, veremos paso a paso como se sería la ejecución de ésta a la duración de las actividades y por consiguiente, a la duración del proyecto, nos basaremos principalmente en documentos presentados por los autores Chiu-Chi Wei, Ping-Hung Liu, Ying-Chin Tsai, (Wei 2000) más exactamente en el artículo “gestión de proyectos con restricción de recursos usando la teoría de las restricciones mejorado”.

En este caso, veremos como una de esas investigaciones, puede ser aplicada a proyectos de gran magnitud y que no tienen como fundamento, una cadena de suministros y producción, sino que tiene un comienzo y un fin en una sola ubicación donde los recursos van al proyecto, sin tener una producción en serie.

4.1.1 El comportamiento humano en las actividades a ejecutar.

Antes de mirar con detenimiento las ideas expresadas por Wei en su documento de aplicación de TOC mejorado, veremos cómo el comportamiento humano en las actividades de producción, con uno de los principales motivos del porqué plantearse una programación o planificación del proyecto, esto se debe a que anteponerse a la posible duración de la actividad basado en la información proporcionada por el principal protagonista de la ejecución de la misma, puede ser precisamente el camino menos recomendado a la hora de obtener la duración de cada actividad.

Se pueden analizar algunos supuestos con respecto al comportamiento humano durante la planificación de un proyecto, en artículo publicado por el autor Herman Steyn (Steyn 2002), se muestran algunos de estos, que son importantes para el estudio del comportamiento humano en la gestión de proyectos, y más aún en la programación de proyectos por cadena crítica.

Estos comportamientos humanos son tan comunes y recurrentes, que obligan a que sean tenidos en cuenta a la hora de planificar un proyecto, y de conocer su duración real, tarea que aún es casi un ideal y no existe una solución óptima.

1. Las personas hacen grandes provisiones en los cálculos de la duración de alguna actividad a ejecutar: a la hora de hacer un compromiso al ejecutar una tarea, las persona tienen la tendencia a dejar un amplio margen como holgura, para tener la seguridad de que la tarea será entregada a tiempo y así minimizar el riesgo de una entrega tardía, teniendo en cuenta que es peor el riesgo de hacer estas apreciaciones, ya que en realidad lo que genera es una acumulación de tiempos perdidos, esto debido a que la persona ve la actividad como su único objetivo, y no la duración del proyecto entero, que al fin ya al cabo es el objetivo común.
2. Aunque la gestión de recursos humanos se ha evaluado y estudiado independientemente de la gestión de proyectos, existe una alta

integración entre los aspectos humanos y la duración del proyecto, es más, desde el punto de vista financiero se debe tener en cuenta que si se comienza muy temprano se incurren a gastos financieros innecesarios así como gastos de contratación y de pólizas y sus tiempo de cobertura.

Al igual que las reservas de tiempo en la ejecución de tareas, las reservas de presupuesto no deben hacerse a nivel de tarea si no a nivel de proyecto, algo que podría llamarse amortiguador monetario del proyecto, que también podría resultar de la agregación de contingencias de todas las actividades.

El comportamiento humano en este sentido tiene mucho que ver con la ejecución de la tarea de aquí salen comportamientos como la ley de Parkinson y el síndrome del estudiante antes mencionados.

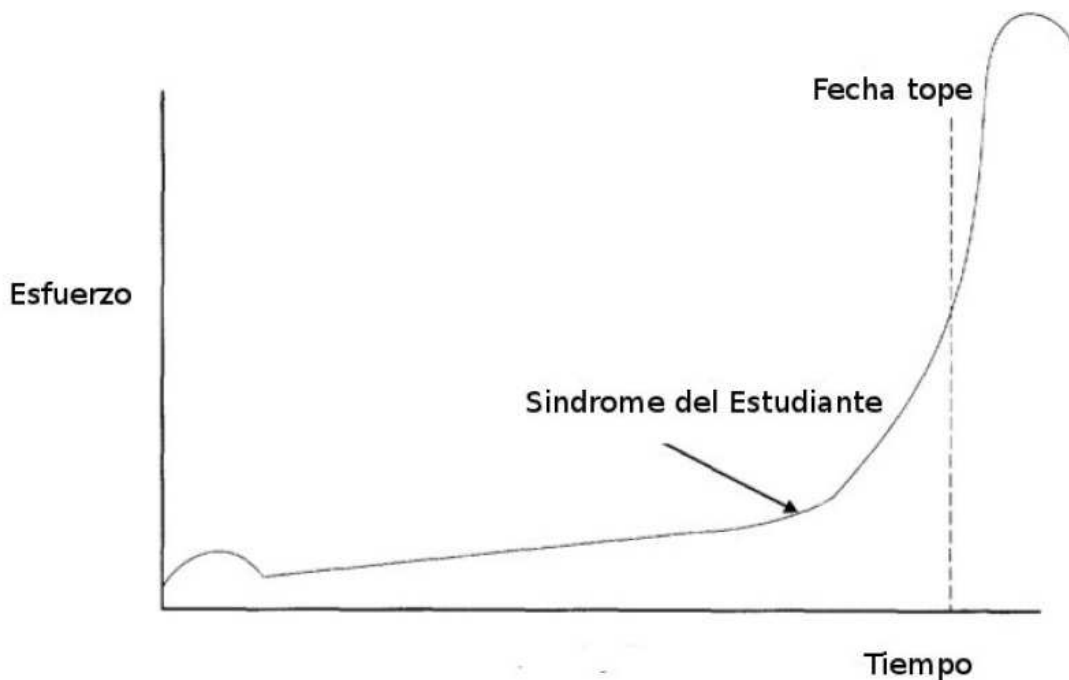


Figura n°11. Representación gráfica del síndrome del estudiante (Goldratt 1997).

3. Ampliación de la duración del proyecto por cada nivel de jerarquía: cada gerente de cada nivel jerárquico agrega a su propia contingencia alrededor de un 10% de duración adicional, de este modo el

“amortiguador” (buffer) del proyecto sería de 1.1^n siendo “n” el número total de jerarquías, lo cual va totalmente contrario a las previsiones hechas con PERT, ya que las actividades no contemplan estas variaciones, lo realmente importante, es que por lo regular, estas adiciones son aceptadas y no se ven como causantes de gran impacto en la duración del proyecto.

Aunque en muchos casos la apreciación de este comportamiento se vea exactamente de forma contraria por los gerentes de proyectos, la conclusión es que TOC funciona bien desde el plano pesimista del comportamiento humano a la hora de cuantificar la duración de las actividades.

4.1.2 Reducción del riesgo general según el riesgo de cada actividad.

La reducción del riesgo general disminuye cuando se agregan más riesgos, esta es una visión del proyecto desde el punto de vista del riesgo asociado a la entrega antes de tiempo de cada actividad, es decir, si en cada actividad nos arriesgamos a dar un tiempo de entrega demasiado optimista, esto conllevará a una disminución del riesgo en el proyecto completo.

Como lo menciona el autor Steyn (2002), este caso es comparable con la forma de apreciar el riesgo en las entidades de seguros, en las cuales aumentar la cantidad de sujetos en riesgo, genera una disminución del riesgo general, esto significa, que como las personas no pueden tener una contingencia de dinero para reemplazar la pérdida de sus bienes, acuden a una empresa aseguradora, pero sin embargo, la empresa aseguradora es más fiable en cuanto más “personas en riesgo” tenga en su portafolio.

Si un número de distribuciones de probabilidad independientes es sumado la varianza de la suma es igual a la suma de la varianza de cada distribución, de esta manera si tenemos “n” distribuciones independientes con igual varianza, entonces la sumatoria de V:

$$V_{\Sigma} = n V (1)$$

La desviación estándar σ puede ser usada con un índice de riesgo y si $\sigma^2 = V$ entonces obtenemos:

$$\begin{aligned}\sigma_{\Sigma}^2 &= n \sigma^2 \\ \sigma_{\Sigma} &= n^{1/2} \sigma (2)\end{aligned}$$

Y si σ_{Σ} es la desviación estándar de la suma entonces

$$\sigma_{\Sigma} < n \cdot \sigma (3)$$

De esta forma se demuestra la reducción del riesgo general cuando se agregan más riesgos particulares, aplicado a la gestión de proyectos podemos concluir que cuanto mayor sea el número de tareas críticas de un proyecto, menor es la duración del mismo.

Esto nos lleva directamente a definir el cómo se puede gestionar la posible demora de las actividades en las cuales se reducen sus reservas y se convirtieron en más reales y desafiantes, con el fin de que la duración del proyecto sea menor, a esto lo llamaremos los amortiguadores o buffers del proyecto.

4.1.3 Amortiguadores o buffers del proyecto:

Antes que nada veremos cómo se implementó el uso de los amortiguadores a la cadena crítica, los amortiguadores de las actividades FB se contemplaban al final de cada actividad basándose en la holgura de las mismas, es decir, es un tiempo disponible al final de cada actividad el cual podría usarse o no al finalizar o acercarse al final cada tarea.

En experimento realizado por Herroelen et al. (2002) se observó que adicionar amortiguadores a cada tarea, conlleva hacer grandes sobreestimaciones del

tamaño del amortiguador del proyecto y por obvias razones, la duración del proyecto en sí.

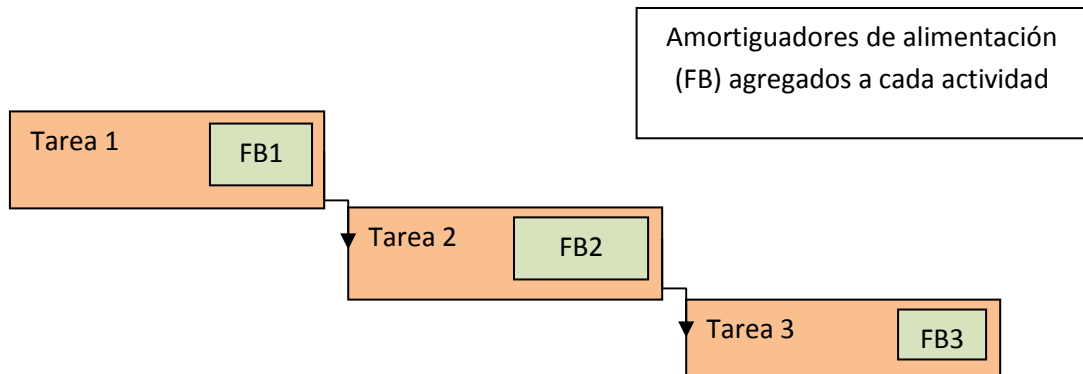


Figura n°12. Amortiguadores de alimentación enfoque clásico.

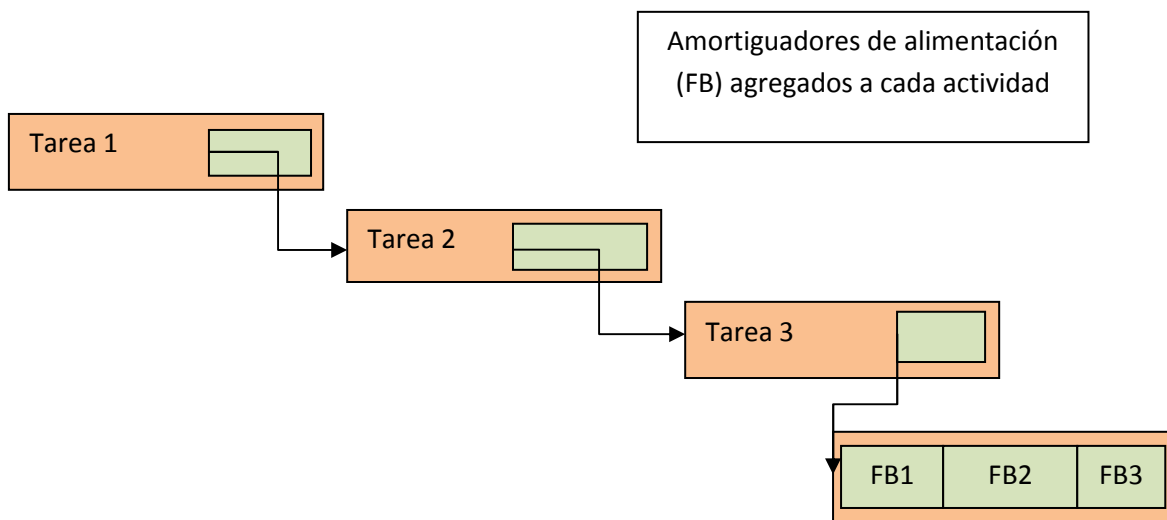


Figura n°13. Amortiguador del proyecto según el enfoque de la cadena crítica.

Todas las apreciaciones vistas por los comportamientos humanos, que se manifiestan en el aumento de la duración de cada actividad, serán reemplazadas por un amortiguador del proyecto solo con los tiempos adicionales no asumidos en las actividades del camino crítico, pero el tiempo agregado a este amortiguador es mucho menor que la suma de todos los de las actividades, así volvemos a la conclusión antes tomada, en cuanto mayor sea la cantidad de tareas en el camino crítico, menor será la duración del proyecto.

Este amortiguador se visualiza como una actividad ficticia, donde su ideal es que el tiempo contemplado para esta, no sea gastado, es decir, es una actividad ficticia que su ideal es que no se ejecute.

Esta actividad se instala al final del proyecto y tiene consecuencias, la principal es que todas las fechas de terminación de actividades y subactividades deben ser eliminadas y que solo se tenga en cuenta la fecha de terminación del proyecto, esto con el fin de no generar, en los realizadores de las actividades, fechas de compromiso, que puedan llevar a crear contingencias, cuando TOC se implementa, solo el gerente del proyecto se compromete con fechas de entrega, en sí, con la fecha final del proyecto, las demás fechas por debajo de esta, solo deben ser tiempos esperados de entrega, se debe hacer diferencia entre OBJETIVOS-EXPECTATIVAS-COMPROMISOS, en el caso de los subcontratos con terceros, la entrega temprana de sus trabajos debe ser negociada.

No solo tendremos en amortiguadores para las actividades críticas como lo vimos anteriormente (amortiguador del proyecto), las actividades que tienen holgura, son tradicionalmente ejecutadas lo más pronto posible y se piensa en ejecutarlas, precisamente cuando las actividades críticas presentan algún tipo de retraso o escases de recursos, este tipo de gestión de las actividades, que precisamente no tienen restricción, va en contra de la filosofía primaria de TOC, donde el acometer en primera medida las restricciones, es el objetivo principal, acometer una actividad no crítica, implica dejar de enfocar recursos a las críticas, y se puede considerar como repetir el trabajo.

La idea es hacer las tareas lo más tarde posible, siempre y cuando se estén considerando los amortiguadores necesarios, lo cual nos lleva a considerar los amortiguadores de alimentación (feeding buffers), el fin principal de los amortiguadores de alimentación, es prevenir, que cuando se ejecuten las tareas no críticas, lo más tarde posible como es el enfoque de TOC, estas no retrasen el proyecto o se conviertan en actividades críticas.

Todos estos amortiguadores, obviamente dependen directamente de las actividades y su tipo, sean actividades críticas o no, pero también se deben involucrar los recursos necesarios para la ejecución de estas actividades, en TOC es muy importante tener en cuenta “los golpes de suerte” que llevan a que una tarea se cumpla antes del tiempo estipulado, cuando esto ocurre, normalmente los recursos para la actividad sucesora no suelen estar disponibles, si no que están programados para estarlo en las fechas inicialmente pactadas, adicional a esto, este tipo de aceleraciones del proyecto normalmente no es documentada ya que tanto los gerentes de proyecto como sus trabajadores, dedican este tiempo a revisar sus tareas y planificar “mejor” las siguientes, notándose también que en el caso de los trabajadores, este tiempo adicional no es anunciado por temor a que se asuma que esto mismo debe ocurrir en las actividades sucesoras.

La solución a este fenómeno es relativamente sencilla y suelen llamarse banderas de alarma o ALARMAS TEMPRANAS y se pueden considerar como amortiguadores, que en este caso llamaremos amortiguadores de recursos el cual consiste en que las personas responsables de las actividades hagan una alerta de la posible terminación de la actividad de forma temprana con un tiempo considerable y con un día de anticipación a su terminación, esta alerta debe hacerse directamente al administrador del proyecto, que es el encargado de adquirir o cuantificar los recursos.

En resumen tenemos tres tipos de amortiguadores que deben ser implantados en la programación del proyecto antes de empezar a ejecutar las actividades y que deben cuantificarse según las necesidades del proyecto, estos son:

1. Amortiguador del proyecto.
2. Amortiguadores de alimentación.
3. Amortiguadores de recursos.

Las cuestiones ahora a realizarse es como cuantificar dichos amortiguadores, como se controlan y como obtener la programación ideal, ahora bien, la programación ideal es un mito debido a la precisión de los datos antes de

ejecución del proyecto, el control de los amortiguadores debe ser constantes teniendo en cuenta que TOC pretende es no modificar la duración del camino crítico y que el agilizar las actividades de esta lleva obviamente a la reducción de los amortiguadores de alimentación.

Para ver claramente cómo administrar estos amortiguadores, veremos más claramente lo expuesto por Wei en su documento de la "*international journal of Project managment*" en el cual, primero que todo, se identifican algunos inconvenientes de aplicar el TOC actual antes expuesto, estos inconvenientes son precisamente los cuestionamientos que resultan luego de conocer cómo funciona TOC en proyectos y son los siguientes:

1. Es difícil conocer el momento adecuado para aplicar el amortiguador del proyecto y los amortiguadores de alimentación, ya que si estos se aplican en la fase de planificación del proyecto, puede obtenerse un sobre dimensionamiento de la programación del proyecto, lo cual conlleva a la filosofía contraria de TOC.
2. El recorte a la duración de las actividades no puede aplicarse a todas ellas que se encuentran en el camino crítico del proyecto, por ejemplo, hacer un recorte igual a todas haría que algunas actividades se conviertan en actividades absurdamente cortas, esto se ve más reflejado en las actividades de corta duración, pero de gran importancia para el proyecto, así como en actividades en las que la duración está perfectamente calculada, ya que dependen de algún tipo de recurso en el cual su tiempo esta medido por algún fenómeno natural o alguna circunstancia similar, en conclusión se deben usar diferentes tasas de recorte para las diferentes actividades.

4.2 Proceso de implementación de TOC mejorado.

Según Wei et al. (2002) la metodología de la cadena crítica presenta una serie de inconvenientes que hacen necesario la aplicación de una metodología mejorada la cual ellos presentan, estos inconvenientes son:

- El tiempo correcto que se le designa al amortiguador del proyecto y el de alimentación de las tareas, no está completamente claro.
 - El recorte de duración no es aplicable a todas las actividades ya que su duración y dificultad no son iguales, así el recorte no puede ser el mismo.
 - No existe una regla clara para establecer el los amortiguadores de recurso.
1. Determinación del camino crítico, como ya vimos anteriormente la determinación del camino crítico y la duración del proyecto, es absolutamente necesario, para la implementación de TOC mejorado es una primicia, para este paso debemos obtener el tiempo de duración T_1 que es el tiempo de duración del proyecto sin limitación de recursos y T_2 teniendo en cuenta que los recursos sean limitados, este últimos deberá hacerse por métodos heurísticos.

Para el proyecto analizado, veremos su diagrama de GANTT en cuanto a las actividades en su proceso constructivo, y hallaremos su duración teniendo en cuenta recursos limitados en actividades más relevantes.

2. Encontrar la tasa de duración del proyecto; luego de conocer estos dos tiempos debemos hallar una tasa de duración del proyecto, que es simplemente la división de dichos tiempos así.

$$C.R. = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{donde} \quad \frac{T_1}{T_2} \leq 1 \quad (4)$$

Y donde:

C.R: "Cut ratio" tasa de duración o tasa de corte del proyecto.

T_1 : Duración del proyecto sin considerar restricciones por recursos.

T_2 : Duración del proyecto con recursos limitados.

3. Coeficiente estratégico de flexibilidad del proyecto (K_p) y coeficiente de actividad práctica flexible (K_A^m). El coeficiente K_p es usado a nivel de decisión estratégica, este permite rectificar la duración de la cadena crítica considerando factores relevantes a nivel estratégico, como la posibilidad de incorporar más cantidad de mano de obra o equipos, así como mejora de rendimientos por adquisición de equipos con mayor tecnología y capacidad.

El coeficiente K_A^m ; por otra parte, permite a líder del proyecto controlar las actividades basándose en sus únicas características, siendo moderado y evitando las pérdidas.

- a. Como ya dijimos si la restricción de los recursos se debe a decisiones estratégicas, como la adquisición de mejores equipos o adición de recursos primarios, entonces el coeficiente K_p puede ser usado para revisar la cadena crítica del proyecto teniendo en cuenta los siguientes parámetros.

$$R.C.C = T_{FIN} + K_p \quad (5)$$

Dónde:

R.C.C: (revise the critical chain) revisión de la cadena crítica.

T_{FIN} : tiempo de terminación del proyecto según su cadena crítica.

De este modo, si $K_p > 0$, esto implica un aumento del tiempo de ejecución del proyecto, lo cual refleja una decisión estratégica en donde se decidió disminuir recursos, es decir, se decide prolongar el proyecto, por lo tanto:

$$\text{si } K_p > 0 \rightarrow T_1 < T_{FIN} + K_p \leq T_2 \quad (6)$$

Por el contrario, si $K_p < 0$, quiere decir que se ha decidido recortar el tiempo de duración del proyecto adquiriendo equipo adicional o contratando más mano de obra por ejemplo, en este caso la desigualdad sería:

$$\text{si } K_p < 0 \rightarrow 0 < T_{FIN} + K_p \leq T_1 \quad (7)$$

- b. La duración de cada actividad puede ser modificada por el líder del proyecto basándose en las características de esta misma, es decir, sin modificar el uso de recursos que implique un coste adicional.

En este punto usaremos el coeficiente de actividad práctica flexible (K_A^m), el cual permite comparar las duraciones de cada actividad teniendo en cuenta la limitación de recursos, este coeficiente solo puede ser aplicado a las actividades con restricción de recursos en la cadena crítica, considerándolo R.C.C. puede expresarse de la siguiente manera.

$$R.C.C. = T_{FIN} + \sum_{m \in u} \{(t_2^m - t_1^m) * K_A^m\} \leq T_{FIN} + K_p \quad (8)$$

Dónde:

u = conjunto de recursos que poseen alguna restricción.

t_2^m = duración de la actividad sin considerar restricción de recursos

t_1^m = duración de la actividad considerando la restricción de recursos

m = Indica las actividades con restricción de recursos en la cadena crítica.

4. Ahora debemos determinar el amortiguador de recursos conociendo de antemano, que actividades de la cadena crítica comparten recursos o dependen de la resolución de actividades anteriores, es decir, establecer las alarmas tempranas del proyecto, para esto se deben cumplir algunas condiciones.

- a. Las alertas tempranas deben o amortiguadores de recursos, deben ser menor que la diferencia de los tiempos de ejecución de la actividad con y sin restricción de recursos, es decir.

$$0 \leq FT^m \leq (t_2^m - t_1^m) \quad (9)$$

Dónde:

FT^m = (flag time), amortiguador de recursos.

Por consiguiente, el sumatorio de todos los amortiguadores de recursos o “flag times”, los tiempos de todas las actividades para poder anunciar su terminación tempranamente, debe ser menor que el sumatorio de la diferencia de los tiempos con y sin restricciones de recursos de las actividades, es decir.

$$0 \leq \sum_{m \in u} FT^m \leq \sum_{m \in u} (t_2^m - t_1^m) \quad (10)$$

5. Establecimiento de hitos para monitoreo: es importante hacer un monitoreo continuo de las actividades, pero más aun de puntos importantes del proyecto, más exactamente de finalización de actividades importantes en la cadena crítica, en este caso los hitos, o actividades puntuales sin duración, nos pueden servir para hacer puntos de control del proyecto, estos hitos tienen una fecha establecida dentro del proyecto y se pueden establecer a criterio del gerente del proyecto.