

INDICATORS OF COST SENSITIVITY FOR PROJECT ACTIVITIES

Acebes Senovilla, Fernando; Pajares Gutiérrez, Javier; López Paredes, Adolfo
INSISOC – Universidad de Valladolid

An effective process of risk management must include a strong focus for the prioritization of activities that recognize the challenges of dealing with the uncertainty associated with each one of the risks.

Different indicators of programming that are used to prioritize the activities of the project depending of the activity duration (like Criticality Index, Cruciality Index or SSI), are sufficiently known, but they do not take into account the costs of the activities.

In this article we propose some innovative indices that will be used to classify the project activities in accordance with the cost assigned to each one of them. Using Monte Carlo simulation we will make a sensitivity analysis, by modifying the parameters characteristic of a model project and we will contrast the evolution of each of the proposed indicators.

Keywords: cost sensitivity index; Monte Carlo simulation; uncertainty; risk management

INDICADORES DE SENSIBILIDAD DE COSTES PARA LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO

Un proceso efectivo de gestión de riesgos debe incluir un enfoque sólido para la priorización de actividades que reconozca los desafíos de tratar con la incertidumbre asociada a cada uno de los riesgos.

Son suficientemente conocidos los distintos indicadores de programación que se utilizan para priorizar las actividades del proyecto (Crucialidad, Crucialidad, SSI), en función de la duración de las actividades, pero no tienen en cuenta los costes de las mismas.

En este artículo proponemos unos novedosos indicadores que se utilizarán para poder clasificar las actividades del proyecto en función del coste asignado a cada una de ellas. Utilizando simulación de Monte Carlo realizaremos un análisis de sensibilidad, modificando los parámetros característicos de un proyecto modelo y contrastaremos la evolución, en cada caso, de cada uno de los indicadores propuestos.

Palabras clave: gestión de riesgos; incertidumbre; simulación de Monte Carlo; indicadores coste

1. Introducción

Todo el mundo está de acuerdo en que los proyectos tienen riesgos, por lo que la gestión del riesgo se ha convertido en una parte integral de la Gestión de Proyectos. Sin embargo, los proyectos no son todos iguales de arriesgados, y no todos los riesgos merecen la misma atención. Los gerentes de todos los niveles deben centrar sus esfuerzos en la gestión de los riesgos más importantes y en los proyectos más arriesgados.

Un proceso de gestión de riesgos efectivo debe incluir un enfoque sólido para la priorización de los riesgos que reconozca los desafíos de tratar con la incertidumbre asociada a todos los riesgos. En algunas organizaciones la gestión de riesgos es simplista, usando técnicas que no proporcionan suficiente entendimiento de la exposición al riesgo.

La priorización de los riesgos es una parte importante de cualquier proceso de gestión de riesgos porque focaliza la atención en los problemas más importantes (Hopkinson et al., 2008). Sin embargo, "lo más importante" es variable en el sentido de que depende del contexto. Varía desde el punto de vista de un *stakeholder* a otro y puede cambiar durante el curso del proyecto, desde un estado a otro.

El proceso de priorización de riesgos está comúnmente asociado con la evaluación de la probabilidad y el impacto del riesgo, calculando en una matriz probabilidad/impacto el resultado del nivel de riesgo de la actividad con respecto al resto, pero pueden priorizarse las actividades en función de factores de sensibilidad, que hacen que una actividad sea más importante que otras en determinadas condiciones o en determinados periodos del proyecto.

Tradicionalmente, la importancia de la actividad del proyecto se ha medido en relación a la duración de las mismas, principalmente, utilizando el "Índice de Criticidad".

Este concepto fue introducido por Martin (1965), y se define como la probabilidad de que una actividad pertenezca al camino crítico. Williams (1992) cuestiona la consistencia del Índice de Criticidad como único indicador de la importancia de cada actividad en la duración del proyecto. Señala que el Índice de Criticidad clásica no siempre ofrece información completa acerca de la importancia de las actividades y propone utilizarlo conjuntamente con el "Índice de Crucialidad". Este índice se define como la correlación entre la duración de la actividad y la duración total del proyecto.

En Elmaghraby (2000), se realiza un breve resumen sobre las ventajas y desventajas de estas medidas de sensibilidad discutidas en Williams (1992). Opina que se debe dar la importancia relativa a las actividades del proyecto considerando una versión combinada de estas medidas de sensibilidad. Por otra parte, revisa los esfuerzos de investigación relacionados con la sensibilidad de la media y la varianza de la duración total de un proyecto debido a los cambios en la media y la varianza de las actividades individuales.

Vanhoucke (2010) ha validado cuatro medidas conocidas de sensibilidad de las actividades en un gran conjunto de proyectos ficticios: el Índice de Criticidad (CI), el índice de Importancia (SI), el índice Crucialidad (CI) y el índice de Sensibilidad de Programación (SSI), y ha llegado a la conclusión de que el SSI tiene el mayor potencial para discriminar la sensibilidad entre las actividades del proyecto. Por otra parte, el estudio concluye que el potencial de las medidas de sensibilidad basados en la actividad aumenta cuando las redes del proyecto contiene más actividades paralelas.

En el trabajo presentado por Acebes et al. (2013), continuando con el análisis de la priorización de las actividades del proyecto, se buscó relacionar la influencia de la duración de cada una de las actividades (tanto la duración media esperada como la variabilidad de la duración de las actividades) con la criticidad y crucialidad de todas las actividades, y a partir de ahí se buscó la influencia de esas variables en la duración del proyecto completo (tanto la

duración esperada como la variabilidad de la duración del proyecto), así como conocer qué actividades eran las más importantes para el proyecto y qué características tenían en términos de criticidad y crucialidad.

Otros autores han analizado la sensibilidad de las actividades del proyecto y su influencia sobre los parámetros característicos de la duración de las mismas.

Cho & Yum (1997) proponen una medida de la importancia de la incertidumbre para medir el efecto de la variabilidad en la duración de la actividad sobre la variabilidad de la duración global del proyecto. Elmaghraby et al. (1999) investigan el impacto del cambio en la duración media de una actividad en la variabilidad de la duración del proyecto.

Elmaghraby et al. (1999) y Elmaghraby (2000) analizan la incertidumbre del proyecto completo, medida como la variabilidad en la duración del proyecto (varianza de la duración), en función de la duración esperada de las actividades (media de la duración).

Gutiérrez & Paul (2000) presentan un tratamiento analítico del efecto de la varianza de la actividad sobre la duración esperada del proyecto.

Pero en la bibliografía revisada, no se hace ninguna observación relativa a la priorización de las actividades del proyecto en función del coste del mismo.

Mediante simulación de Monte Carlo se pueden crear modelos de simulación de proyectos que permiten obtener como resultado una distribución de probabilidad de la duración total del proyecto a partir de las duraciones de las actividades, que han sido previamente modeladas mediante una distribución de probabilidad. Pero también se puede obtener la función de distribución del coste total del proyecto.

El objetivo de este artículo es definir unos indicadores relativos al coste del proyecto que nos permitirán priorizar las actividades en función del valor que adquieran dichos indicadores. A su vez, se pretende analizar la evolución de los indicadores propuestos al modificar los parámetros principales de las actividades del proyecto.

Estructuramos el artículo comenzando por definir los nuevos indicadores propuestos. A continuación realizamos un ejemplo de simulación para comprobar el comportamiento de dichos índices ante la modificación de las actividades. En el siguiente punto, se describe la red de proyecto utilizada en nuestra investigación. A continuación expondremos los resultados obtenidos, organizándolos por subapartados en función de la variable que se modifica y de la magnitud que se ve modificada por la primera. Finalizaremos exponiendo las conclusiones extraídas tras el trabajo de investigación.

2. Indicadores de sensibilidad de costes

Para la definición de los nuevos indicadores de sensibilidad relativos al coste del proyecto tomamos como orientación los relativos a la duración del proyecto y realizaremos un estudio análogo entre ellos para su definición.

Conviene, por tanto, recordar la definición de los indicadores habitualmente utilizados para programación, tal como recogen estudios anteriores ((Acebes, 2015; Acebes et al., 2013a, 2013b, 2012; Vanhoucke, 2012, 2010; Williams, 1993, 1992a, 1992b).

Índice de Criticidad (*Criticality Index*, CI): mide la probabilidad que una actividad pertenezca al camino crítico. Es una simple medida obtenida de la simulación de Monte Carlo y se expresa como porcentaje que representa la probabilidad de que dicha actividad sea crítica. El Índice de Criticidad a menudo no ofrece una medición aceptable del riesgo del proyecto. La principal debilidad del Índice de Criticidad es que el foco de atención está restringido a la medida de la probabilidad, lo cual no significa necesariamente que actividades que tengan alto Índice de Criticidad traigan consigo un alto impacto en la duración total del proyecto.

Índice de Crucialidad (*Cruciality Index*, CRI); está basado en el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson ente la duración de la actividad y la duración del proyecto completo. Esta medida de la correlación es una medida del grado de relación lineal entre dos variables. Sin embargo, la relación existente entre la duración de la actividad y de la duración total del proyecto a menudo sigue una relación no lineal. Mide la porción de incertidumbre de la duración total del proyecto que puede ser explicada por la incertidumbre de la actividad.

Índice de Sensibilidad de Programación (*Schedule Sensitivity Index*, SSI): el PMBoK (Project Management Institute, 2013) propone combinar las desviaciones estándar de la duración de la actividad y la duración total del proyecto con el Índice de Criticidad. El cálculo del índice se obtiene con la Ecuación 1:

$$SSI = \left[\frac{Var(d_i)}{Var(C_{max})} \right] \cdot CI \quad (1)$$

Todos estos indicadores priorizan las actividades del proyecto en función de la duración de las actividades, pero no tienen en cuenta los costes de las actividades.

En el estudio del análisis de sensibilidad, modificamos los parámetros de cada actividad (duración media estimada, varianza) y recogemos los datos resultantes relativos a costes de las actividades y del proyecto, que nos servirán para definir unos nuevos indicadores de priorización de actividades en función del coste.

Los indicadores que vamos a definir son:

- **Coste Relativo de la actividad (*Relative Cost - RC*):**

RC= Coste actividad / Coste total del Proyecto.

- **Índice de Crucialidad de Coste (*Cost Cruciality Index - CCI*):**

CCI=correlación entre coste de la actividad y coste total del proyecto.

- **Índice de Sensibilidad de Coste (*Cost Sensitivity Index - CSI*):**

CSI = (Desviación estándar actividad / Desviación estándar del proyecto) x Coste Relativo de la actividad.

Los nuevos indicadores relativos a los costes son análogos a los tradicionales indicadores de programación (Criticidad, Crucialidad, SSI). No obstante, existen diferencias ya que, por definición, el coste total del proyecto es la suma de los costes de todas las actividades, independientemente del camino en el que se encuentren dentro del proyecto, dejando de existir el concepto de camino crítico relativo a costes.

Si pretendemos priorizar las actividades de un proyecto en función de los costes de las actividades, la primera opción que se nos presenta es utilizar el indicador Coste Relativo (RC). Este indicador nos muestra la importancia de cada una de las actividades, en cuanto a su contribución en coste de cada una de ellas al total del proyecto.

Una actividad con alto coste relativo significa que supone una gran inversión en esta actividad dentro del proyecto y, por consiguiente, habrá que tenerla muy en cuenta en cuanto a su elevado coste respecto de las otras actividades.

Pero puede ocurrir que dentro del proyecto encontremos actividades que tienen un menor valor esperado medio de coste de la actividad y presentan a la vez una alta varianza, es decir, una gran variabilidad de coste final de dicha actividad.

Esta actividad presentará, por tanto, un alto índice de crucialidad de coste (CCI), frente a la anterior actividad que presentaba un elevado coste relativo, con un nivel bajo de incertidumbre.

Es por esto que, en determinadas situaciones, puede ser interesante tener en cuenta otro tipo de actividades que pueden hacer que el coste total del proyecto se aleje del coste presupuestado debido a su variabilidad. Este tipo de actividades no las hubiéramos tenido en cuenta si sólo nos centramos en el indicador Coste Relativo e ignoramos el nuevo indicador propuesto Índice de Crucialidad de Coste.

De forma análoga a los indicadores de programación, podemos definir el indicador *Cost Sensitivity Index* (CSI), donde se integra tanto el coste relativo de la actividad como la variabilidad de dicha actividad, ya que se pondera el coste relativo con la razón entre las desviaciones típicas del coste de la actividad y del coste total del proyecto.

3. Modelo de Proyecto simulado

Para valorar la robustez de los indicadores propuestos, se ha utilizado simulación de Monte Carlo.

A partir de la simulación podremos analizar cómo se comporta el proyecto en las condiciones que queramos. En concreto, nosotros haremos un análisis para la red de la Figura 1, propuesta por Elmaghraby et al. (1999). La duración de las actividades se modela mediante distribuciones de probabilidad normal, y sus parámetros se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Secuencia de actividades del Proyecto

Actividad precedente	Actividad	μ	σ^2	Coste fijo	Coste variable
//	Ai	0	0	0	0
Ai	A1	5,5	1,18	600	100
Ai	A2	13	3	80	40
A1	A3	7	1	350	120
A1	A4	16,5	2,5	40	70
A2,A3	A5	10	1,34	300	60
A4, A5	Af	0	0	0	0

La red que vamos a estudiar presenta la ventaja de combinar caminos en serie y en paralelo a través de la actividad 3, lo que nos permitirá sacar conclusiones interesantes.

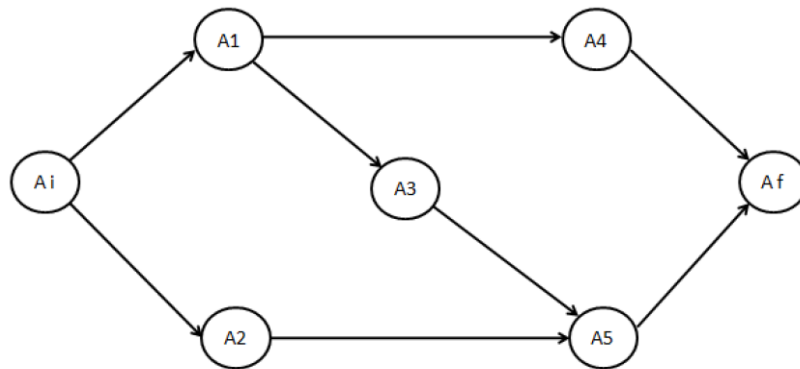
Las actividades inicial (Ai) y final (Af) son actividades ficticias que no tienen duración, y que representan el inicio y el final del proyecto.

La variabilidad de las actividades queda incluida a través de la varianza en la duración de las actividades. El coste de cada actividad está compuesto por una parte fija y por un coste variable, dependiente de la duración de la actividad.

Por tanto, la incertidumbre asociada al coste de la actividad viene determinado indirectamente a través de la incertidumbre de la duración del proyecto.

Podría darse el caso de que el proyecto estuviese compuesto por algún tipo de actividad cuyo coste estuviese determinado directamente por su función de distribución, independientemente de la duración del proyecto; o por una mezcla de ambos. De esta manera, la incertidumbre del coste del proyecto no dependería únicamente de la duración de las actividades que lo componen.

Figura 1: Diagrama de red del proyecto simulado. Elaboración propia



4. Análisis de Resultados

Para el análisis de los resultados, teniendo presente la incertidumbre de las actividades, utilizaremos simulación de Monte Carlo. Partiremos de la situación de proyecto planificado, considerando la duración estimada y varianzas planificadas para cada una de las actividades. Modificamos de forma individual y progresivamente los parámetros valor esperado medio y varianza de cada actividad, tanto en pequeños incrementos positivos como negativos. Recogemos los datos que nos proporciona la simulación para su posterior representación y análisis.

Los casos de estudio, están resumidos en los siguientes apartados:

- A. Sensibilidad de los parámetros de coste del proyecto en función de la duración esperada de las actividades.
- B. Sensibilidad de los parámetros de coste del proyecto en función de la variabilidad de las actividades.

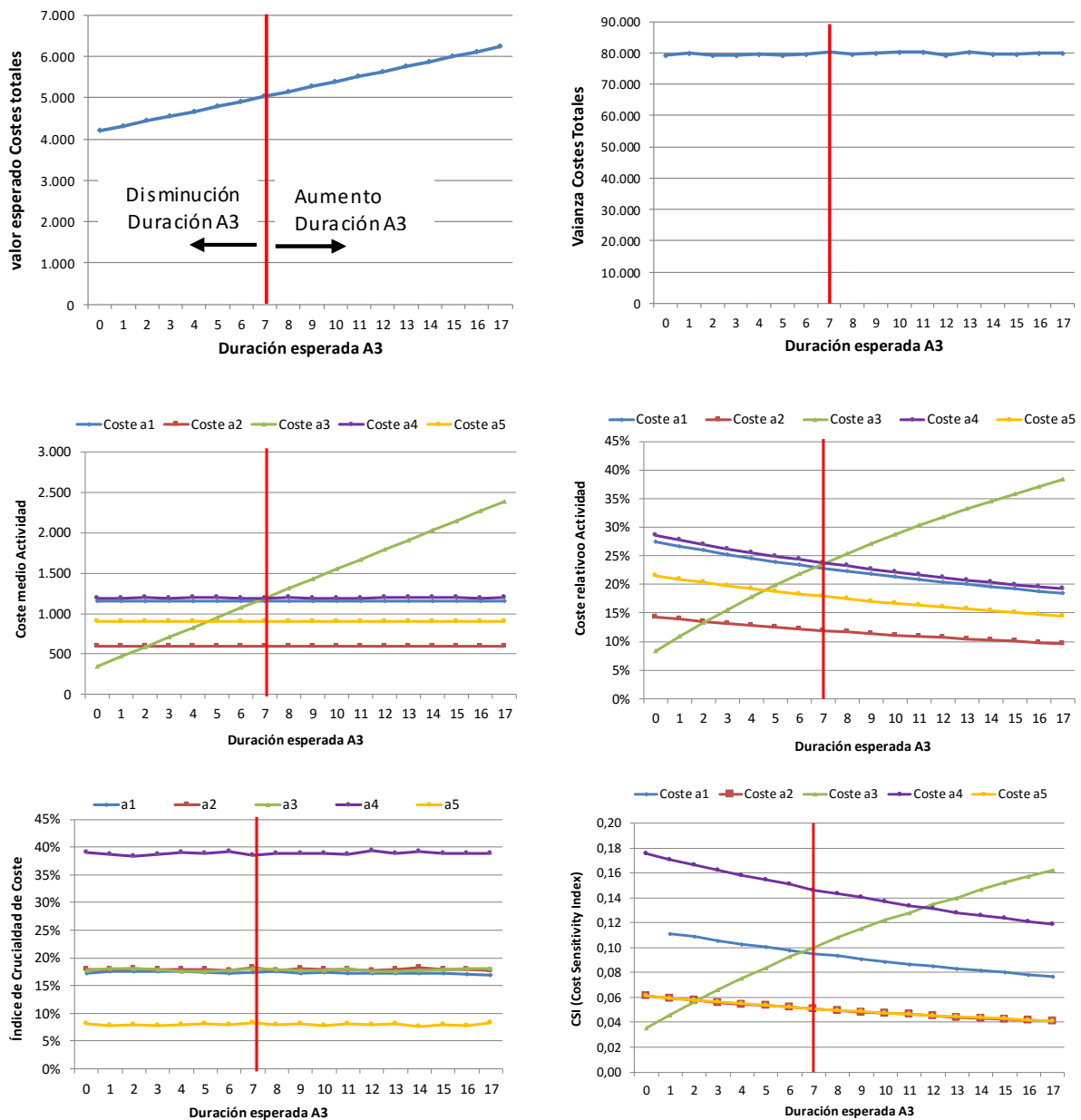
Para cada uno de los dos casos, y para cada una de las actividades, obtenemos las siguientes gráficas:

- Valor esperado medio de los Costes totales del Proyecto.
- Varianza de los Costes totales del Proyecto.
- Coste medio por actividad.
- Coste relativo por actividad (RC).
- Índice de Crucialidad de Coste (CCI).
- Índice de Sensibilidad de Coste (CSI).

4.1 Sensibilidad de los parámetros de coste del proyecto en función de la duración esperada de las actividades

En la Figura 2 representamos cada una de las gráficas obtenidas para las modificaciones realizadas sobre la duración de la actividad A3.

Figura 2: Modificación de los parámetros e Índices característicos de Coste en función de la duración de la actividad A3



En este caso, el valor esperado medio de la actividad A3 es de 7 Uds. temporales. Realizamos modificaciones al proyecto aumentando y disminuyendo la duración de esta actividad, para observar la evolución de los indicadores.

- Valor esperado medio de los Costes totales del Proyecto.

El coste total del proyecto para el valor planificado de A3, de 7 Uds. temporales, es de 5035 Uds. monetarias. Cualquier incremento en la duración de la actividad conducirá a un incremento de los costes totales del proyecto, al ser el coste de la actividad directamente proporcional a la duración de la actividad y al ser el coste total del proyecto la suma de los costes de las actividades. Por el contrario, si se reduce la duración de la actividad, se reducirá el coste total del proyecto.

- Varianza de los Costes totales del Proyecto.

Por el contrario, el aumento de la duración de la actividad no conduce a un aumento de la varianza del proyecto, permaneciendo prácticamente constante para variaciones tanto en aumento como en decremento de la duración de la actividad. En la Figura 2, tras aplicar simulación de Monte Carlo, la varianza de los costes del proyecto oscila ligeramente en torno a los 80.000 uds.

Es completamente lógico ya que la modificación únicamente del valor esperado medio de la duración de la actividad no influye en la incertidumbre de dicha actividad ni, por tanto, en la del proyecto. La incertidumbre del coste total del proyecto es aportada por la varianza propia de cada actividad y no por su valor esperado.

- Coste medio por actividad.

Consecuencia de lo anterior podemos concluir que el coste medio de la actividad modificada se ve alterado en el mismo sentido en el que varía la actividad mientras que el coste medio del resto de actividades permanece constante.

Si el coste medio de la actividad resulta de dividir el coste de dicha actividad entre el coste total, el coste medio de las actividades que no se modifican, no variará. En cambio, el coste medio de la actividad A3 aumentará en la misma proporción que lo haga el coste total de dicha actividad o disminuirá si lo hace esta, permaneciendo el resto constantes.

- Coste relativo por actividad (RC).

En este caso, el coste relativo de la actividad se modifica en el mismo sentido que la variación de la duración de la actividad, aumentando el coste relativo al aumentar la duración (y por tanto, su coste). Mientras tanto, para el resto de actividades, su coste relativo (RC) disminuye.

Es una conclusión lógica ya que el coste total del proyecto es suma de los costes de todas las actividades y, al aumentar el coste de una de ellas, el coste relativo del resto de actividades (cuyo coste no ha cambiado), debe disminuir.

- Índice de Crucialidad de Coste (CCI).

En cuanto al indicador Índice de Crucialidad de Coste (CCI), permanece constante en todo momento para cualquier actividad, ya que lo que estamos modificando en este apartado es la duración estimada media y no se ve alterada la variabilidad de las actividades, por lo que el índice de crucialidad, que mide la relación entre la variabilidad del coste de cada actividad con respecto al coste total del proyecto, permanece constante.

- Índice de Sensibilidad de Coste (CSI).

Por último, representamos el Índice de Sensibilidad de Coste (CSI), que es una ponderación del índice de Coste Relativo con el Índice de Crucialidad. En este caso la evolución del índice CSI, para cada actividad, es similar al índice de Coste Relativo, con distinta prioridad de importancia de actividades según sea el valor del índice CCI correspondiente (ver definición de índice de sensibilidad de coste).

Según la interpretación de este índice, llega un momento en el que la actividad representada A3 es la más importante del proyecto respecto a los costes, a partir de una duración de 12 uds de tiempo para esta actividad.

En este apartado, donde la variación se ha realizado en el valor esperado medio de cada una de las actividades, las representaciones de los índices y las gráficas pueden considerarse más o menos lógicas y entran dentro de nuestro pronóstico ya que, por definición del problema de estudio (coste de la actividad proporcional a la duración de dicha actividad) y por definición de coste total del proyecto (suma de los costes individuales de las

actividades), al aumentar la duración de una actividad, inexcusablemente nos conduce a un aumento del coste total del proyecto.

Es habitual priorizar las actividades del proyecto aplicando distintos índices relacionados con la duración de las mismas, teniendo claro que un desvío en la duración de alguna de ellas ocasionará un retraso en el proyecto total.

A pesar de que somos conscientes de que ese retraso conllevará inexcusablemente un sobrecoste, hasta ahora no habíamos analizado cuál de todas las actividades del proyecto podría ser la más importante en cuanto al coste que supone un posible desvío en la duración de las actividades.

En el ejemplo analizado podemos observar como la importancia de las actividades se varía simplemente modificando la duración de alguna de ellas.

Para aquellos proyectos en los que no sólo sea importante controlar el plazo, sino controlar el coste del proyecto, conviene conocer, incluso antes de que comience, cuáles son las actividades importantes en relación al coste y cómo puede verse modificada su importancia al variar par

4.2 Sensibilidad de los parámetros de coste del proyecto en función de la variabilidad de las actividades

En la Figura 3 realizamos variaciones en la varianza de la duración de la actividad A3, cuyo valor planificado es 1 ud.

- Valor esperado medio de los Costes totales del Proyecto.

Tal como observamos en la primera de las gráficas, el hecho de aumentar o disminuir la varianza de la duración de la actividad A3, el coste total del proyecto no se ve modificado. El coste de la actividad, resultado de aplicar simulación de Monte Carlo, es constante, independientemente del valor de la varianza de la actividad.

- Varianza de los Costes totales del Proyecto.

En cambio, la varianza total de los costes del proyecto aumenta al aumentar la correspondiente a la actividad, y viceversa. A mayor varianza en la duración de la actividad, mayor es la varianza en los costes totales del proyecto, con independencia de la posición en la que se encuentre la actividad en la red del proyecto.

- Coste medio por actividad.

El valor esperado del coste de las actividades no se modifica, independientemente del valor de la varianza de la duración de las mismas. Por lo tanto, el coste medio de cada una de las actividades es constante.

- Coste relativo por actividad (RC).

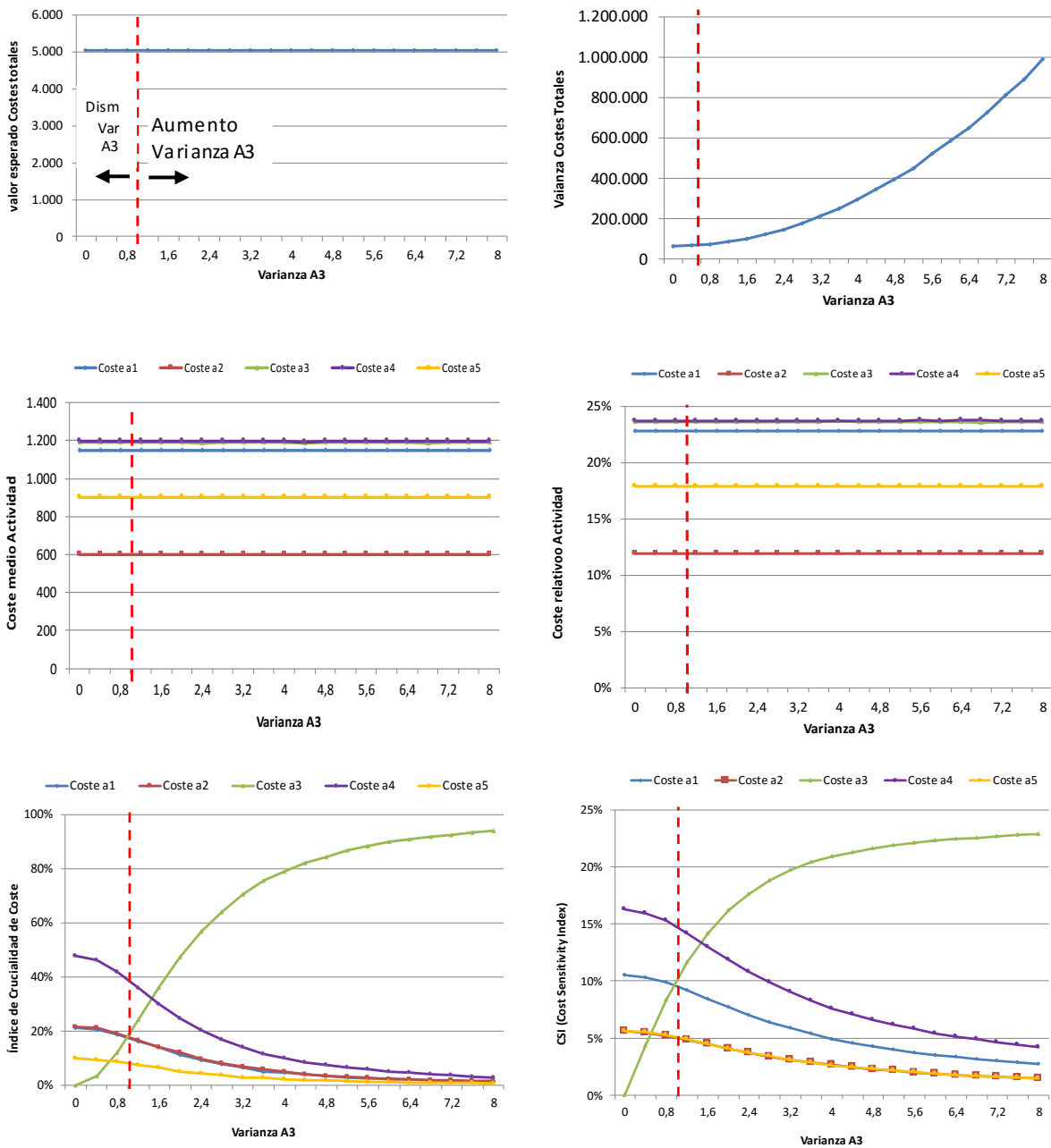
Por la misma razón que en el punto anterior, el coste relativo de cada actividad no se ve afectado. Las variaciones en la varianza no implican variaciones en el valor esperado del coste de la actividad, ni por ello, en el coste relativo.

Analizando este último indicador, el Coste Relativo del coste de las actividades (RC), puede ser uno de los posibles criterios con los que priorizar las actividades del proyecto. A mayor coste relativo, más importante será la actividad por su contribución a los costes totales del proyecto.

Al contrario que pasaba al modificar la duración de las actividades, al variar la varianza, el índice RC no se modifica.

Son más llamativas las dos gráficas siguientes, donde representamos los índices CCI y SCI.

Figura 3: Modificación de los parámetros e Índices característicos de Coste en función de la varianza de la actividad A3



• Índice de Crucialidad de Coste (CCI).

En el primero de los casos (CCI) medimos la contribución a la varianza del coste total del proyecto de cada una de las actividades que lo componen. Al aumentar la varianza de la actividad A3 sin modificar el resto de actividades, aumenta la relación entre la varianza de esta actividad con respecto al resto del proyecto, es decir, aumenta su índice de crucialidad. En este caso, podemos comprobar como la importancia de la actividad aumenta considerablemente al aumentar la varianza de la duración de dicha actividad, disminuyendo progresivamente el índice relativo al resto de actividades.

No solo se modifica la importancia de la actividad en relación al coste variando su duración (recordamos que el coste de la actividad está programado para ser proporcional a la duración de dicha actividad), sino que también modificando la varianza de las actividades se puede conseguir alterar el orden de prioridad.

- Índice de Sensibilidad de Coste (CSI).

Una gráfica similar la obtenemos al representar el índice CSI, solo que con diferente prioridad de actividades. En este caso, la actividad A3 que en condiciones planificadas no es la más importante de las actividades en relación al coste, al aumentar ligeramente la varianza de la duración de esta actividad, rápidamente logra ser la más prioritaria.

Estos dos índices son importantes pues queda reflejada la sensibilidad del coste de cada una de las actividades a las variaciones de variabilidad de la duración de las actividades que componen el proyecto.

Esto nos obliga a tener en cuenta la variación de la variabilidad de la duración, no sólo en cuanto al posible aumento o retraso en la duración del proyecto sino también en cuanto a los costes finales del proyecto.

No debemos dejar de prestar atención a la variabilidad de la duración del proyecto por cuanto, como queda demostrado, afecta de manera importante al coste de las actividades y, por consiguiente, a los costes totales del proyecto.

En aquellos proyecto en los que el criterio coste sea determinante, deberíamos analizarlo previo a su puesta en marcha, identificando cuáles son las actividades más importantes que pueden hacer que el proyecto se desvíe respecto de lo planificado.

Tenemos que tener presente que desviaciones del proyecto respecto de la duración de las actividades van a modificar el coste de estas y, al final, el coste del proyecto. Pero no sólo tenemos que estar pendientes del valor esperado de la duración, sino también de la variabilidad de las actividades, individualmente y en conjunto dentro de la red del proyecto ya que, como hemos podido analizar a lo largo de este artículo, modificaciones en la varianza de la duración de las actividades producen cambios en la variabilidad de los costes del proyecto.

5. Conclusiones

Utilizando Simulación de Monte Carlo hemos planteado diferentes escenarios en los que ponemos a prueba nuestro modelo de proyecto, para poder extraer la información necesaria en cuanto a sensibilidad del coste del proyecto y sus actividades, que pueda servir al Director de Proyecto en su toma de decisiones.

Hemos definido unos novedosos indicadores relativos al coste del proyecto que nos indican la importancia de las actividades del mismo, en cada uno de los casos simulados.

Para disponer de información completa del proyecto, estos nuevos indicadores propuestos deben cumplimentar a los tradicionales Índices utilizados para la duración de las actividades, teniendo en cuenta no sólo la incertidumbre asociada a la duración del proyecto sino también a los costes de las actividades que lo componen.

La utilización de estos índices puede estar indicada para priorizar actividades o paquetes de trabajo que básicamente consistan en la aportación de un bien material, que pueda implicar un alto porcentaje del presupuesto del proyecto. O también para aquellas otras actividades cuya evolución del coste de las mismas no vaya en relación directa con su duración y dependa de otros parámetros externos al proyecto, con sus propias funciones de distribución. Utilizando los indicadores de coste, podremos priorizar y prestar la atención necesaria a cada actividad en función de sus características.

6. Referencias

- Acebes, F., 2015. Integración de la Incertidumbre y Riesgos en la Gestión y Control del Proyecto. Universidad de Valladolid.
- Acebes, F., Pajares, J., Galán, J.M., López-Paredes, A., 2013a. Exploring the Relations between Project Duration and Activity Duration, in: Project Management and Engineering. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering. Springer, pp. 19–30.
- Acebes, F., Pajares, J., López-Paredes, A., 2013b. Explorando la relación existente entre duración del proyecto y duración de las actividades, in: XVII International Congress on Project Management and Engineering. Logroño.
- Acebes, F., Paz, M., Pajares, J., López-Paredes, A., 2012. Duración del Proyecto e Incertidumbre, in: XVI International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. Vigo - España.
- Cho, J.G., Yum, B.J., 1997. An Uncertainty Importance Measure of Activities in PERT Networks. *International Journal of Production Research* 35, 2737–2758.
- Elmaghraby, S.E., 2000. On criticality and sensitivity in activity networks. *European Journal of Operational Research* 127, 220–238.
- Elmaghraby, S.E., Fathi, Y., Taner, M.R., 1999. On the sensitivity of project variability to activity mean duration. *Int. J. Production Economics* 62, 219–232.
- Gutierrez, G., Paul, A., 2000. Analysis of the effects of uncertainty, risk-pooling, and subcontracting mechanisms on project performance. *Operations Research* 48, 927 – 938.
- Hopkinson, M., Close, P., Hillson, D., Ward, S. (Eds.), 2008. *Prioritising Project Risk*. Association for Project Management.
- Martin, J., 1965. Distribution of the time through a directed, acyclic network. *Operations Research* 13, 46–66.
- Project Management Institute, 2013. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBoK(R) Guide*. Fifth Edition. Project Management Institute Inc.
- Vanhoucke, M., 2010. Using activity sensitivity and network topology information to monitor project time performance. *Omega* 38, 359–370.
- Vanhoucke, M., 2012. Measuring the efficiency of project control using fictitious and empirical project data. *International Journal of Project Management* 30, 252–263.
- Williams, T.M., 1992a. Criticality in Stochastic Networks. *Journal of the Operational Research Society* 43, 353–357.
- Williams, T.M., 1992b. Practical Use of Distributions in Network Analysis. *The Journal of the Operational Research Society* 43, 265–270.
- Williams, T.M., 1993. What is critical? *Risk Management* 11, 197–200.