

Influencia del Riesgo Estacional en la Línea Base de Riesgos del Proyecto

**Fernando Acebes¹, Javier Pajares¹, Adolfo López-Paredes¹,
Cesáreo Hernández¹**

¹ Grupo INSISOC. Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid.
Universidad de Valladolid. Paseo del Cauce s/n, 47011 Valladolid
facebes@yahoo.es, pajares@insisoc.org, adolfo@insisoc.org, cesareo@eis.uva.es

Palabras clave: Incertidumbre y variabilidad, Gestión del Riesgo, Control integrado de plazos y programación

1. Resumen

Ampliando el trabajo de investigación que los autores desarrollan sobre la incertidumbre en los proyectos, en este artículo analizaremos como influye la presencia de un riesgo estacional sobre la programación del Proyecto, en función de la fecha de comienzo del mismo. Representaremos la Línea Base de Riesgos del Proyecto para cada una de las distintas simulaciones. Observando las distintas simulaciones realizadas podremos determinar cual sería la fecha idónea de comienzo del proyecto, en función de la presencia del riesgo estacional.

Finalmente, representando en nuestro gráfico de control los indicadores que surgen de la investigación (SCoI / CCoI), podremos comprobar la evolución del Proyecto en cada uno de los periodos simulados. Dependiendo del resultado obtenido en cada instante, la Dirección del Proyecto decidirá si es necesaria una acción correctiva para mantener el proyecto dentro de su variabilidad esperada o si, por el contrario, la evolución del proyecto es la prevista inicialmente.

2. Introducción

Durante los últimos años se han llevado a cabo numerosos trabajos de investigación sobre programación de proyectos, centrándose en el desarrollo de procedimientos y soluciones óptimas para la generación de la Línea Base de Programación, suponiendo un entorno determinista y con información completa. Durante la ejecución del proyecto, sin embargo, este puede estar sujeto a una incertidumbre considerable, que puede conducir a numerosos trastornos de la programación.

La incertidumbre es una materia central en todo proyecto. El reconocimiento de que la incertidumbre en los proyectos puede afectar a la programación, ha provocado una serie de investigaciones dentro de este ámbito.

En este sentido y teniendo en cuenta la incertidumbre que presentan las actividades que forman parte del proyecto, Pajares y López-Paredes (2011) proponen una primera aproximación metodológica para integrar la incertidumbre junto con la metodología del Valor Ganado. Para ello, definen el concepto de Línea Base de Riesgos y dos nuevos índices de control integrado: SCoI – Índice de Control de Programación (Schedule Control Index) y CCoI – Índice de Control de Costes (Cost Control Index).

La Línea Base de Riesgos se define como la evolución del valor del riesgo del proyecto a lo largo de la ejecución del ciclo de vida de este. Los índices de control integrado (SCoI y CCoI) se utilizarán para controlar y monitorizar la evolución del proyecto en relación con su variabilidad normal.

En este artículo analizaremos como influye la presencia de un riesgo “estacional” sobre la programación del proyecto, en función de la fecha de ejecución de sus actividades. Para ello, disponemos de datos estadísticos relativos a temperaturas inferiores a 0 °C en la ciudad de Valladolid. Consideramos que en nuestro proyecto una de las actividades que forman parte del camino crítico está afectada por este riesgo y, en caso de producirse el evento, tendrá un impacto negativo en la duración de dicha actividad. Comprobaremos como el retraso producido por el impacto del riesgo estacional provoca variación en la Línea Base de Riesgos del proyecto.

Para conseguir los resultados utilizaremos como herramienta de análisis la simulación de Monte Carlo, que nos mostrará a través de datos estadísticos las consecuencias lógicas del riesgo supuesto, teniendo en cuenta la incertidumbre establecida en la duración de las actividades del proyecto.

Se ha definido un sistema gráfico de control donde representaremos los índices de control. Esta representación gráfica será utilizada para determinar si existen retrasos/sobrecostes en el proyecto y si estos exceden de la variabilidad esperada del proyecto.

Representaremos la Línea Base de Riesgos del Proyecto de cada una de las simulaciones y realizaremos la comparación gráfica para determinar cual sería la fecha idónea de comienzo del proyecto.

3. Análisis del Riesgo Estacional

Realizaremos simulaciones sobre un proyecto con una configuración muy concreta, como será la utilizada por Herroelen (2005) en sus trabajos de investigación, pues consideramos que la red posee suficiente entidad sin caer en grandes complejidades.

Como podemos ver en el grafo del proyecto mostrado en la Figura 1, en lo que a paralelismo se refiere, existen tres caminos paralelos. La profundidad es distinta en función del camino que elijamos, en dos de los casos es del orden de cinco tareas (representadas por los nodos) mientras que en el restante es de cuatro actividades. Por último podemos destacar el hecho de que tras la tarea número dos existe una bifurcación que aporta disparidad en la profundidad.

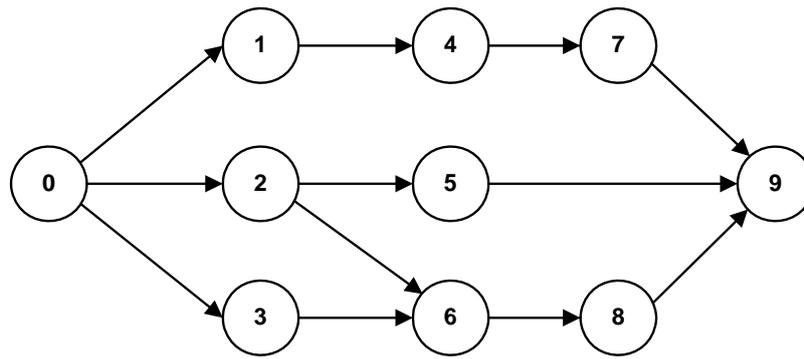


Figura 1. Grafo del proyecto modelo elegido

Este modelo de proyecto tiene un camino crítico formado por las actividades A1, A4 y A7. Las duraciones medias estimadas para estas actividades, sin considerar incertidumbre en las mismas, es de 2, 3 y 8 unidades de tiempo respectivamente, por lo que la duración estimada del proyecto es de 13 unidades de tiempo.

Para analizar la incertidumbre del proyecto, consideramos que las actividades están definidas por una cantidad de actividad a ejecutar, por una tasa o cantidad de actividad que realiza una unidad de recurso en la unidad de tiempo y por una unidad de recurso o unidad de mano de obra. La incertidumbre en la actividad es modelada por medio de la tasa, que se define según una función de distribución de probabilidad, con valor medio y varianza fijadas.

De esta manera, calcularemos la duración de la actividad según la ecuación (1):

$$\text{Duración } A_i = (\text{Act a ejecutar}) / (\text{Uds de Recurso} * \text{Tasa por Ud de Recurso}) \quad (1)$$

El cálculo del coste de la actividad viene dado por la ecuación (2):

$$\text{Coste } A_i = \text{Duración } A_i * (\text{C. Mano de Obra} + \text{C. fijo}) + \text{Act a ejecutar} * \text{C. Mat Prima} \quad (2)$$

Al ser la duración A_i una variable aleatoria, también lo será el Coste A_i .

Para analizar la influencia del riesgo estacional en la ejecución del proyecto incluimos un término adicional (Retraso Estacional) que ocasionará un retraso en la duración de la actividad afectada por el riesgo (A7), en el caso de que el riesgo llegue a producirse (ecuación 3).

$$\text{Duración } A_7 = (\text{Act a ejecutar}) / (\text{Uds de Recurso} * \text{Tasa por Ud de Recurso}) + \text{RE} \quad (3)$$

Para integrar el riesgo junto con la incertidumbre de las actividades en la Línea Base de Riesgos, vamos a considerar un riesgo estacional, un riesgo que sólo se producirá en ciertos periodos del año y que, además, la probabilidad de ocurrencia de dicho riesgo será distinta unos meses de otros. En nuestra simulación consideraremos el riesgo por heladas.

Disponemos de datos estadísticos de días con temperaturas igual o inferior a 0 °C, clasificados por meses y años en la localidad de Valladolid (tabla 1). En base a dichos datos estadísticos, suponemos una función de probabilidad de distribución normal que se ajusta a las muestras de partida para cada uno de los meses del año.

Tabla 1. Días con temperatura igual o inferior a 0°C por años y meses. Observatorio de Valladolid.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1997	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
1998	8	7	3	2	0	0	0	0	0	0	11	22
1999	19	19	4	2	0	0	0	0	0	0	9	16
2000	28	5	5	3	0	0	0	0	0	0	5	2
2001	7	10	0	3	0	0	0	0	0	0	13	25
2002	9	11	2	3	0	0	0	0	0	0	1	2
2003	16	15	1	1	0	0	0	0	0	0	1	8
2004	14	17	10	2	0	0	0	0	0	0	9	10
2005	22	24	13	2	0	0	0	0	0	0	6	18
2006	17	20	4	1	0	0	0	0	0	0	1	19
2007	13	2	7	2	0	0	0	0	0	0	10	16
2008	12	5	8	0	0	0	0	0	0	1	6	18
valores medios del periodo 1997/2008	15	12	5	2	0	0	0	0	0	0	6	14

Fuente: Instituto Nacional de Estadística. Elaboración Ayuntamiento de Valladolid

Representamos en la gráfica (Figura 2) el valor medio de los días registrados con heladas en la ciudad de Valladolid por meses, según la tabla anterior (Tabla 1).

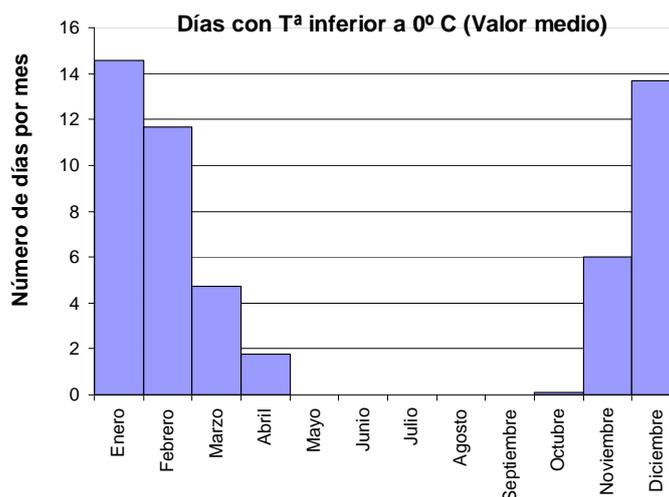


Figura 2. Valor medio de días con T³ inferior a 0 °C por meses

Por otra parte suponemos la actividad A7 (Figura 1), que pertenece al camino crítico, se encuentra sometida a la influencia de este riesgo estacional.

En caso de que se produzca el riesgo, es decir, de que las temperaturas sean inferiores a 0 °C y coincida con el periodo de ejecución de la actividad A7, esta se verá afectada por el riesgo con un impacto negativo sobre la programación de la actividad. En concreto, suponemos que dicha actividad verá retrasada su ejecución un 25% sobre el previsto para ese periodo.

4. Integración de la Incertidumbre del Proyecto y del Riesgo Estacional

La Línea Base de Riesgos del Proyecto se define como la evolución del valor del riesgo del proyecto a lo largo de la ejecución del ciclo de vida de este. El riesgo del proyecto para cualquier periodo de tiempo es calculado como el riesgo de las tareas pendientes de ejecutar el proyecto (aquellas no completadas).

Las actividades del proyecto están caracterizadas por la incertidumbre y variabilidad en su ejecución. Si el proyecto se ejecuta dentro de la variabilidad esperada, los retrasos y/o sobrecostos estarán dentro de los márgenes estimados según la Línea Base de Riesgos. Por el contrario, pueden existir errores sistémicos o estructurales durante la ejecución del proyecto que condujesen la ejecución del proyecto fuera de los límites de confianza.

Al análisis de la incertidumbre de las actividades, vamos a integrar el riesgo, en este caso, el riesgo estacional que afecta a una de las actividades críticas del proyecto (A7). Si el riesgo estacional llega a ejecutarse, es decir, si en nuestra suposición, se producen heladas durante la ejecución de la actividad A7, esta actividad verá retrasada su ejecución un 25% a consecuencia de dicho riesgo.

Vamos a considerar como Unidad Temporal del proyecto las semanas. Así pues, estocásticamente, el proyecto durará 13 semanas y la actividad A7 durará 8 semanas (probabilísticamente dependerá de la incertidumbre asociada a cada actividad del proyecto).

Hemos realizado simulaciones variando el inicio del proyecto para comprobar como afecta el riesgo, duración y costes del proyecto, según la fecha de comienzo, sabiendo que existe un riesgo estacional que afecta a una de las actividades críticas.

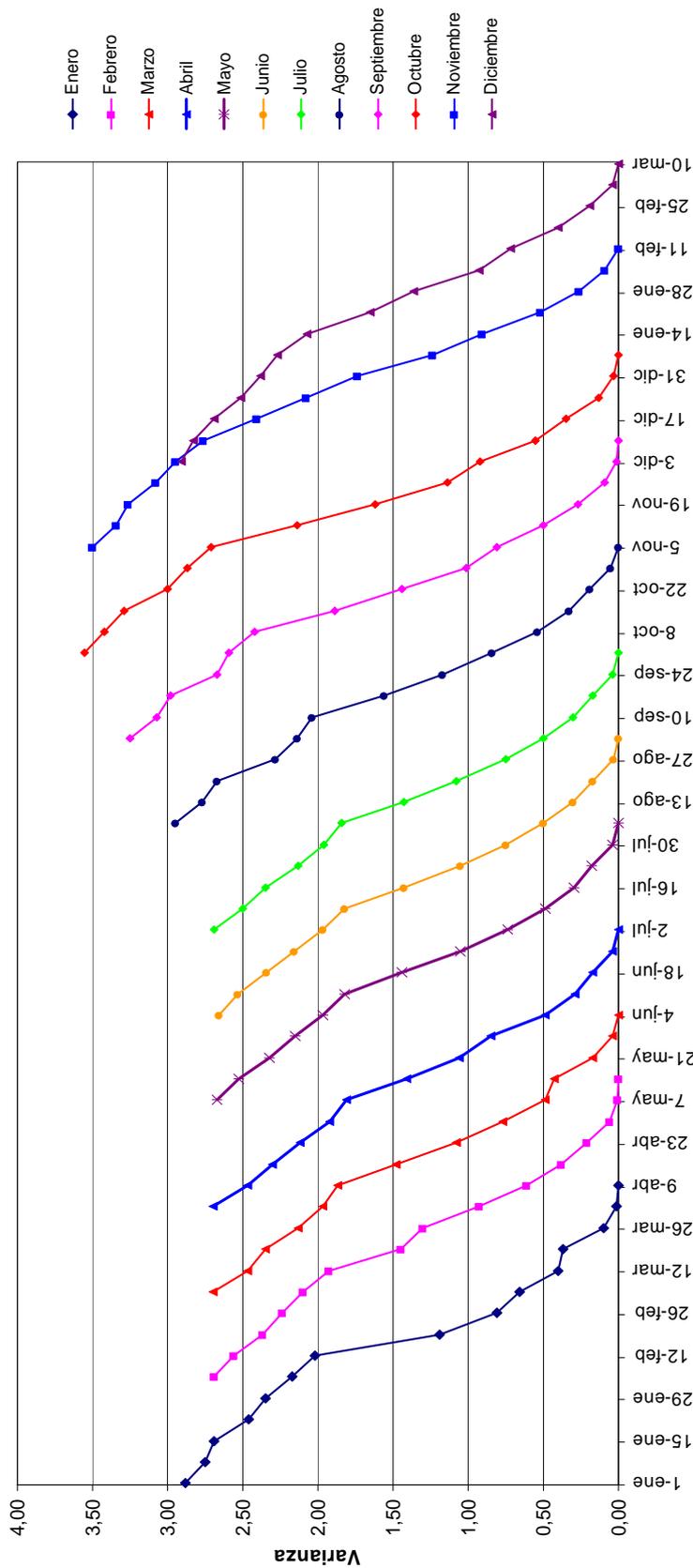
La Línea Base de Riesgos, que representa la evolución del valor del riesgo del proyecto a lo largo de la ejecución del ciclo de vida de este, está formada por un componente de riesgo que aporta la variabilidad del proyecto y por otra componente de riesgo que aporta el riesgo estacional. Para el cálculo de este indicador emplearemos la simulación de Monte Carlo. Tras realizar la simulación obtenemos una función de distribución de duración del proyecto y extraemos el dato relativo a la varianza de dicha función. La representación de este valor en cada uno de los periodos de tiempo forma la Línea Base de Riesgos.

En la Figura 3 se han representado las Líneas Base de Riesgo de las simulaciones realizadas, donde se ha modificado la fecha de comienzo del proyecto y se ha considerado la existencia de un riesgo estacional que afecta a la duración de una de las actividades del proyecto (A7). Comprobamos como el riesgo total del proyecto es distinto en función del mes en el que comience la ejecución del proyecto.

En todos los casos, la Línea Base de Riesgos va disminuyendo a medida que avanza la ejecución del proyecto. Por una parte, al irse ejecutando actividades va desapareciendo incertidumbre ya que la parte de actividad ejecutada pasa a tener unos parámetros conocidos y carece de incertidumbre. Por otra parte, al avanzar la ejecución de la actividad afectada por el riesgo, este va igualmente desapareciendo proporcionalmente por la misma razón, una actividad (o parte de ella) ya ejecutada, deja de tener riesgo.

Podemos observar como la Línea Base de Riesgos tiene un valor superior en aquellas simulaciones con un mayor componente de riesgo estacional, aquellas donde la actividad A7, que es la actividad afectada por el riesgo, se ejecuta en una zona con posibilidad de riesgo estacional. En el caso contrario, en simulaciones donde la ejecución de A7 coincide con meses con probabilidad nula de riesgo estacional (simulaciones de mayo, junio y julio), el valor de la Línea Base de Riesgos será el aportado únicamente por la incertidumbre de las actividades del proyecto, sin intervenir la componente estacional.

Si en la Fig. 10-10 se muestran los resultados de las simulaciones correspondientes a la función del periodo de ejecución, teniendo como variable en el eje de abscisas el periodo de ejecución. De esta manera podemos



Línea Base de Riesgos en función del inicio del Proyecto

intan
ción
s en
ones

comparar las distintas simulaciones realizadas. Por una parte comparamos el valor total del riesgo en cada uno de los periodos, en función del mes de comienzo del proyecto, y por otro lado, podemos comparar la duración final de cada uno de los proyectos simulados.

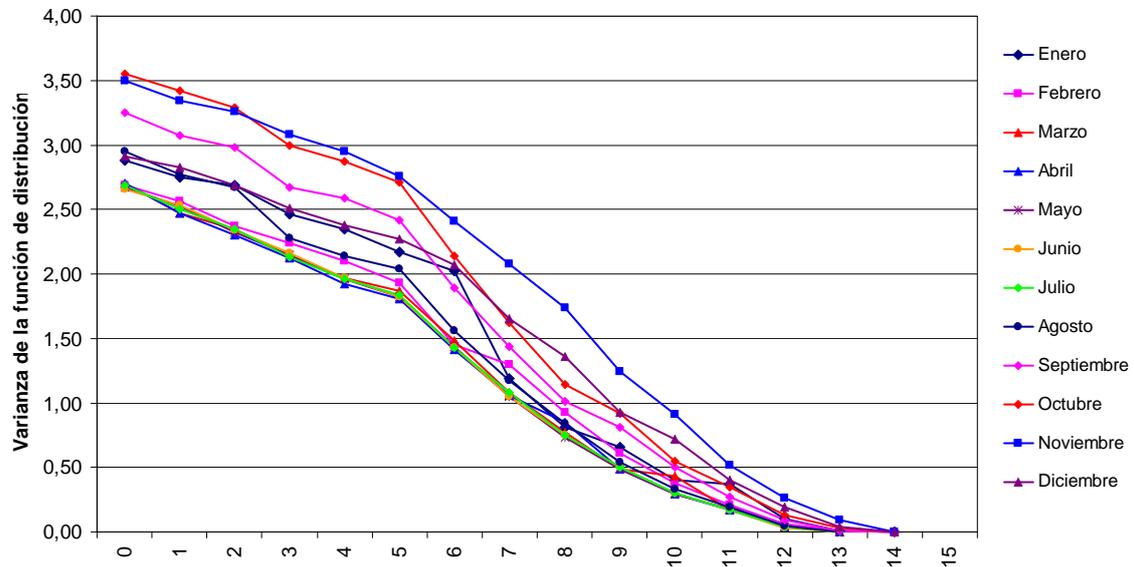


Figura 4. Línea Base de Riesgos en función del periodo de tiempo de ejecución.

En este gráfico comprobamos más claramente cómo ciertas simulaciones tienen un valor de riesgo mayor que otras. Las simulaciones que mayor nivel de riesgo presentan serán aquellas donde la actividad A7 se ejecuta dentro de periodos de tiempo donde exista riesgo de heladas.

El hecho de que ciertas simulaciones alarguen su duración viene determinado porque la actividad A7 se está ejecutando dentro de meses con alta probabilidad de que se produzcan heladas y, por lo tanto, alta probabilidad de que se retrase el proyecto, como así ocurre en dichas simulaciones. Sería el caso de la simulación correspondiente a los meses, por ejemplo, de noviembre, diciembre o enero, entre otros, que retrasan en un periodo de tiempo su duración.

Va a existir riesgo estacional en aquellas simulaciones en las que la actividad A7 (que es la actividad sometida al riesgo de heladas), o parte de ella, se ejecute en mes con existencia de riesgo. Por el contrario, si ninguno de los periodos de ejecución de la actividad A7 se ejecuta dentro de un mes con riesgo, el valor del riesgo estacional será nulo.

5. Representación de los Índices de Control

Realizado el análisis del riesgo, integrando en la Línea Base de Riesgos el valor correspondiente al riesgo estacional, procedemos a representar los índices de control tanto para el coste (CCoI) como para la programación (SCoI). Estos índices de control integrado los utilizaremos para controlar y monitorizar la evolución del proyecto en relación con su variabilidad normal, una vez hemos introducido la componente de riesgo estacional.

Gracias a la simulación de Monte Carlo, podemos extraer, en cada periodo de tiempo los parámetros estadísticos de las funciones de distribución de costes y duración del proyecto. Estos datos los utilizaremos para realizar el cálculo de los índices de control según se explica en Pajares y López-Paredes (2011).

En el gráfico que proponemos en nuestra investigación representaremos, en cada periodo de tiempo, los valores calculados de los Índices de Control (SCoI / CCoI). En el mismo gráfico incluiremos la representación de los Buffer Acumulados (ASBf / ACBf) y la representación del valor doble del Buffer Acumulado ($2 \times ASBf / 2 \times ACBf$) que utilizaremos como líneas de control para delimitar las zonas de referencia.

Utilizamos buffers, considerados como márgenes o rangos de valores aceptables, para determinar cuando la evolución de nuestro proyecto está dentro de la variabilidad inherente del sistema. Los buffers son calculados teniendo en cuenta las características estadísticas de distribución de coste y programación tras realizar la simulación de Monte Carlo. La distribución de los buffers en cada periodo será proporcional a la reducción del riesgo en cada intervalo. El buffer Acumulado (ASBf / ACBf) será el resultado de la suma acumulada de los respectivos buffers puntuales de cada intervalo.

La representación gráfica de estos valores nos servirá para delimitar los distintos escenarios donde se podrá situar el proyecto. En nuestro gráfico definiremos 5 áreas que permitirán al Project Manager identificar de forma clara y rápida cual es la situación del Proyecto respecto a su planificación inicial.

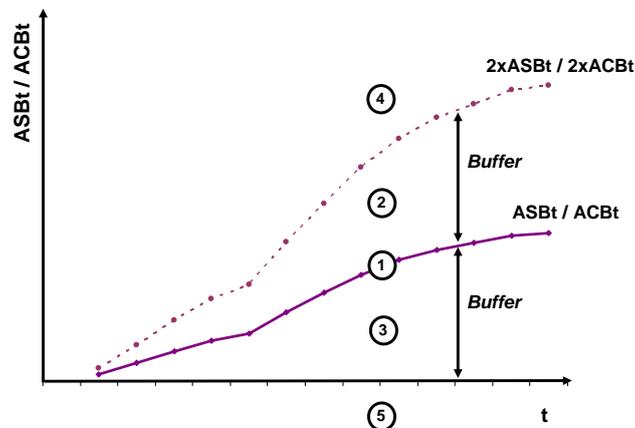


Figura 5. Representación gráfica para la toma de decisiones

El área denominado como 1, en la Figura 5, se corresponde con valores iguales para el Buffer Acumulado y para el Índice de Control ($SCoIt = ASBft / CCoIt = ACBft$). En esta situación, el Proyecto se está ejecutando según lo planificado (en programación o costes respectivamente). No existe por tanto, ni adelantos ni retrasos en programación con respecto a la planificación inicial (lo mismo para costes).

El área denominado como 2, se corresponde con valores tales que $ASBft \leq SCoI < 2 \times ASBft$ ($ACBft \leq CCoI < 2 \times ACBft$). En esta situación el Proyecto se encuentra adelantado (o con infracostes) dentro de la variabilidad que aportan las actividades que componen el Proyecto.

El valor del índice de control se encontrará dentro del margen de tolerancia establecido. En este caso el proyecto se encuentra en una situación de adelanto con respecto a lo programado hasta ese periodo (lo mismo para costes). El adelanto resultante es tal que se considera dentro de lo esperado teniendo en cuenta las incertidumbres que aportan las actividades al proyecto.

El área denominado como 3, se corresponde con valores tales que $0 \leq SCoI < ASBft$ ($0 \leq CCoI < ACBft$). En esta situación el Proyecto se encuentra retrasado (o con sobrecostes) dentro de la variabilidad que aportan las actividades que componen el Proyecto. Este caso representa una situación de retraso (o sobrecoste) del proyecto con respecto a lo planificado para esa fecha. No obstante, el proyecto se encuentra dentro del margen de tolerancia para ese periodo, calculado en función de la incertidumbre del proyecto.

Las zonas 3 y 4 de esta Figura 1 son zonas donde se puede situar el proyecto y no requieren acción correctiva por parte de la Dirección del Proyecto ya que son situaciones esperables, en adelanto o en retraso (infracoste / sobrecoste), debido a la incertidumbre que aportan las actividades del proyecto.

El área denominado como 4, se corresponde con valores tales que $2 \times ASBft < SCoI$ ($2 \times ACBft < CCoI$). En esta situación el Proyecto se encuentra adelantado (o con infracostes) superiores a lo esperado al inicio del proyecto. Esta situación es interesante analizarla por parte de la Dirección del Proyecto para extraer conclusiones positivas que podría extrapolar y aplicar al resto del desarrollo del proyecto.

Por último, el área denominado como 5, se corresponde con valores tales que $SCoI < 0$ ($CCoI < 0$). En esta situación nos encontramos con el retraso/sobrecoste en el proyecto superior a lo esperado inicialmente. Estamos en una situación de existencia de posibles errores sistémicos o estructurales o de error de planificación en el Proyecto que tendrán que ser corregidos por el Project Manager mediante la aplicación de medidas correctoras.

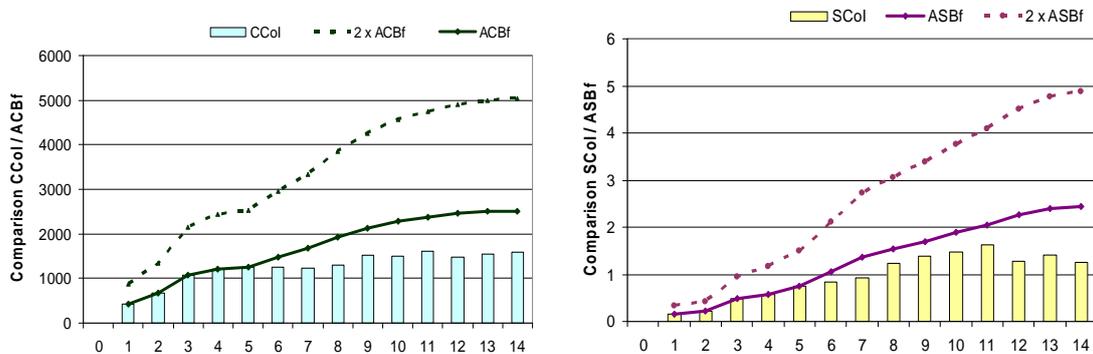


Figura 6. Índices de control de costes y programación. Mes de noviembre.

Posteriormente y tras realizar los cálculos correspondientes a los índices de control en cada periodo de tiempo, representaremos las gráficas relativas a costes y programación (Figura 6). Se observa cómo el proyecto alarga su duración dos periodos de tiempo por encima de lo previsto, llegando a concluir el proyecto en el periodo 15.

En ambas gráficas (costes y programación), el índice de control se encuentra situado entre el eje de abscisas y la línea correspondiente del buffer acumulado (ACBf y ASBf respectivamente), es decir, en la zona 3 de nuestro gráfico de control (Figura 1). Esta zona

indica que el proyecto se encuentra con un retraso tanto en costes como en programación respecto a lo planificado, pero este retraso está dentro de los límites esperados que determinan la incertidumbre de las actividades y ahora también el riesgo del proyecto.

6. Conclusión

En este trabajo, ampliamos la investigación llevada a cabo por Pajares y López-Paredes (2011) y posteriormente en Acebes et al. (2010), hemos integrado el estudio de un riesgo estacional en nuestro análisis de incertidumbre. Con las simulaciones efectuadas y con la representación de la Línea Base de Riesgos, hemos determinado el riesgo existente del proyecto en función de la fecha de comienzo del mismo.

Una vez analizado un riesgo estacional en una actividad crítica del proyecto, se puede ampliar la investigación incluyendo otros tipos de riesgos (no sólo estacionales) y además, riesgos que afecten a varias actividades. De esta manera se obtendría una Línea Base de Riesgos completa y se podría realizar el seguimiento del proyecto considerando dichos riesgos y la incertidumbre de las actividades aplicando el gráfico de control propuesto y utilizado en esta investigación.

Agradecimientos

(1) "Computational Methods for Managing Multi-project Environments", supported by the Regional Government of Castile and Leon, with grant "ABACO:GEMA VA006A09"; (2) "Agentbased Modelling and Simulation of Complex Social Systems (SiCoSSys)", supported by the Spanish Council for Science and Innovation, with grant TIN2008-06464-C03-02; and (3) GR251/09 supported by "Junta de Castilla y Leon Excellence Research Groups".

Referencias

Acebes, F., Pajares, J., López-Paredes, A., Estudio del Schedule Control Index para el control integrado de plazo en Proyectos. 4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management/XIV Congreso Ingeniería de Organización. San Sebastián. Septiembre 2010

Cagno, E.; Caron, F.; Mancini, M. (2007) A multidimensional analysis of major risks in complex projects. *Risk Management*, 9, 1, pp. 1-18.

Herroelen. W. (2005) Generating robust project baseline schedules. *Tutorials in operations research*. Informs. New Orleans.

Pajares, J.; Lopez-Paredes, A. (2011). An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index. *International Journal of Project Management*, 29 (5), pp: 615–621

Vanhoucke M. (2010) On the dynamic use of project performance and schedule risk information during project tracking. *Omega*, doi:10.1016/j.omega.2010.09.006