

## ESTUDIO DEL SCHEDULE CONTROL INDEX PARA EL CONTROL INTEGRADO DE PLAZO EN PROYECTOS

Fernando Acebes

Adolfo López-Paredes

Javier Pajares

*INSISOC. Universidad de Valladolid, Pso del Cauce 59 47011 Valladolid*

### Abstract

In this paper, we extend the cost-schedule monitoring methodologies in order to integrate project risk and variability. First, we define a “risk baseline” as the evolution of the project remaining risk over its project life cycle. Then, we define control indexes that are use together with the performance indexes defined under the monitoring system framework. These indexes allow project managers to detect whether the project overruns exceed the project “normal variability”, computed from the estimated variability of its individual activities. We also propose a graphical control system to monitor the variability buffer the project manager can use without endangering the project success.

**Keywords:** *cost-schedule control systems; project risk management; integrated project monitoring*

### Resumen

En este artículo extendemos las metodologías de monitorización integrada de costes y programación para integrar el riesgo y la variabilidad inherente a todo proyecto. Primeramente, definimos el concepto de “línea base de riesgos” como la evolución del riesgo remanente del proyecto a lo largo de su ciclo de vida. A partir de ahí construimos unos índices de control que complementan a los índices de eficiencia de las metodologías control integrado, y que nos permiten detectar cuándo el proyecto se desvía con respecto a su variabilidad “natural”, deducida de las variabilidades estimadas de cada una de sus actividades. Así mismo, proponemos un sistema gráfico de control que permite al director/a de proyecto saber en todo momento el margen de variabilidad que dispone sin comprometer el éxito del proyecto.

**Palabras clave:** *control integrado de plazos y programación; gestión de riesgos de proyectos; monitorización integrada de proyectos*

### 1. Introducción

De entre las distintas técnicas de monitorización de proyectos que existen, la metodología del Valor Ganado (EVM) integra los aspectos de coste y plazo. Posee indicadores que nos permiten obtener estimaciones de coste y plazo bajo diferentes hipótesis, estando encaminados a la medición y verificación del avance del proyecto, para detectar discrepancias respecto del plan y corregirlas cuanto antes. Pero la técnica EVM también

presenta limitaciones. A este respecto, los artículos presentados por Pajares y López (2007 y 2008) abordan las carencias que el valor ganado presenta en ciertos aspectos. Algunas de las limitaciones descritas son no tener en cuenta ciertos factores como son la morfología de la red o grafo del proyecto, la flexibilidad de la gestión ni el efecto aprendizaje. Aunque la mayor de las limitaciones es dejar de lado los riesgos del proyecto.

Posteriormente, y los mismos autores (Pajares y López, 2008), proponen una primera aproximación metodológica para integrar riesgo y valor ganado, en donde definen la línea base de riesgos y una serie de indicadores de control integrado.

En este trabajo, el objetivo es desarrollar los aspectos prácticos de dicha metodología. Para ello elegiremos un proyecto con una configuración muy concreta, como será la definida por Herroelen (2005) pues consideramos que la red de actividades posee suficiente entidad sin caer en grandes complejidades, al mismo tiempo que pondrá de manifiesto las particularidades de la metodología propuesta.

Para poder poner en práctica todo lo expuesto anteriormente y, sobre todo poder ver el funcionamiento de los nuevos indicadores, realizaremos un estudio mediante EVM a nuestro proyecto elegido. Posteriormente se llevará a cabo un análisis de riesgos. Con los resultados obtenidos tendremos la capacidad de comprobar si nuestro proyecto ejecutado se encuentra en todo momento dentro de los márgenes propios de variabilidad o si por el contrario, el director/a del proyecto debe actuar sobre él para reorientarlo hacia el objetivo previsto.

Finalmente, terminaremos el artículo con una serie de conclusiones acerca de los resultados conseguidos tras la investigación.

## 2. Metodología del Valor Ganado

La metodología del Valor Ganado trata de integrar, bajo un mismo modelo, la gestión del plazo y del coste, indicándonos, en unidades monetarias, el posible retraso o adelanto de las operaciones, así como su infra o sobrecoste.

Se basa en tres variables fundamentales:

- Valor planeado (*Planned Value*), coste presupuestado del trabajo programado (*Budgeted Cost of Work Scheduled*): PV o BCWS, el valor presupuestado en unidades monetarias del trabajo programado hasta la fecha. La representación gráfica de este valor a lo largo de la duración del proyecto determina la llamada línea base de costes.
- Coste real (*Actual Cost*), coste real del trabajo realizado (*Actual Cost of Work Performed*): AC o ACWP, es coste real en términos monetarios del trabajo efectivamente realizado hasta la fecha.
- Valor ganado (*Earned Value*), coste presupuestado del trabajo realizado (*Budgeted Cost of Work Performed*): EV o BCWP, es el coste presupuestado en unidades monetarias del trabajo efectivamente realizado.

Una vez descritas estas tres variables básicas se deducen los índices que nos permitirán monitorizar la marcha del proyecto: *Cost Variance* (CV), *Schedule Variance* (SV), *Cost Performance Index* (CPI) y *Schedule Performance Index* (SPI)

Mediante estos índices es posible monitorizar la marcha del proyecto a lo largo de la vida del mismo. Otorgan a los Project Managers la posibilidad de detectar desviaciones respecto de lo planeado que les llevarían a tomar acciones correctivas o estrategias reactivas (Herroelen, 2006).

Aparecerán otra serie de índices que tratarán de corregir los errores que surgen con esta metodología, dado que, en las últimas fases de todo proyecto, el valor ganado (EV) tiende al valor presupuestado (PV) pues, al haberse concluido casi todas las tareas, el valor presupuestado del trabajo realizado coincide con el presupuesto. Para resolver esta debilidad de la metodología EVM, Lykpe (2005) propone el concepto de Programación Ganada (*Earned Schedule*), ES, donde para un momento dado, es la fecha en la que el valor planeado (PV) alcanzó el valor ganado (EV) del momento actual.

Con todos estos datos obtenidos del análisis del EVM, nuestro propósito es integrar la Gestión del Riesgo junto con el análisis del EVM

### 3. Integración del Riesgo: Risk Baseline y Buffers

La metodología EVM se centra en el pasado del proyecto, mientras que la gestión de riesgos se focaliza en el futuro. Una metodología que integre ambos aspectos podría ayudarnos a controlar el rendimiento futuro del proyecto teniendo en cuenta las lecciones aprendidas del pasado. A medida que el proyecto avanza y con él las actividades, poseeremos información perfecta sobre la ejecución de las mismas, es decir, parte de la variabilidad irá desapareciendo. La metodología EVM desperdicia esta información y todo lo que de ella se puede deducir.

Consideramos que sería muy provechoso para el control del proyecto integrar la metodología EVM y la gestión de riesgos del proyecto en una misma metodología. Con este fin y tal como se desarrolla en Pajares y López (2008) introduciremos y definiremos el concepto de línea base de riesgos (*Project Risk Baseline*) para posteriormente proponer unos nuevos índices de control.

Definiremos la línea base de riesgos del proyecto (*Project Risk Baseline*, RB) como la evolución del valor del riesgo correspondiente a lo que resta de proyecto a lo largo del tiempo. El riesgo del proyecto en un instante determinado es calculado como el riesgo compuesto por las restantes actividades aún no finalizadas, teniendo en cuenta que la eficiencia del proyecto ha sido según lo planeado hasta el instante que estamos considerando.

A lo largo del ciclo de vida se producirán sobrecostos y retrasos que, si todo funciona como nosotros habíamos planeado, se encontrarán dentro de la variabilidad que hemos calculado mediante las recién definidas líneas base de riesgos. Sin embargo en la duración de la ejecución de un proyecto pueden darse coyunturas que hagan que en el proyecto aparezcan sobrecostos o retrasos fuera de lo normal. Estas anomalías nos indican que se están produciendo problemas graves, también llamados fenómenos sistémicos, o que nuestras estimaciones iniciales eran erróneas.

Recurriremos al uso de *buffers* (márgenes o intervalos de valores tolerables) para determinar si la evolución de nuestro proyecto se encuentra dentro de la variabilidad propia del sistema. Los *buffers* son calculados teniendo en cuenta los principales estadísticos de las distribuciones de probabilidad de coste y programación fruto de la simulación mediante el método de Monte Carlo.

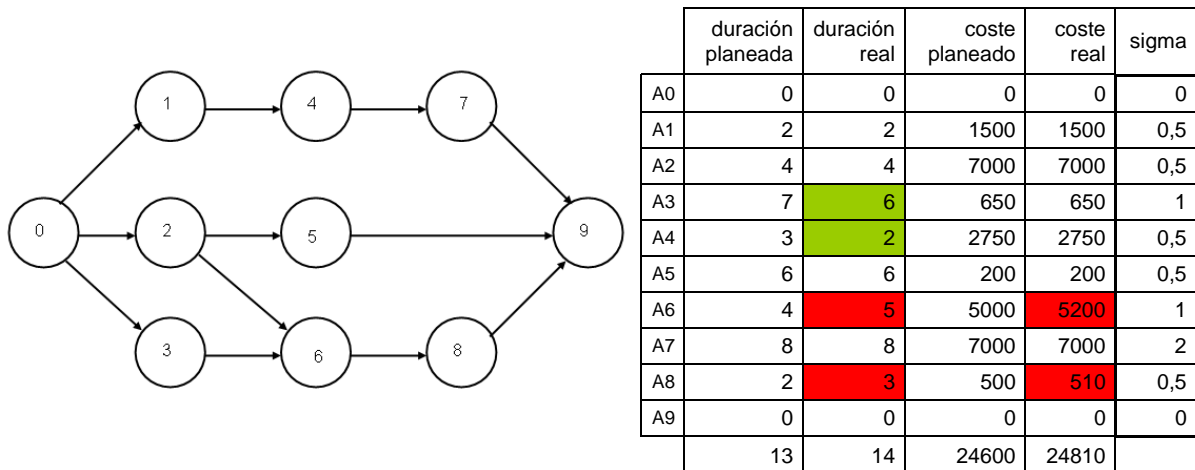
Proponemos que los *buffers* sean calculados como la diferencia entre algún percentil superior de la distribución (por ejemplo, percentil 90) y la media de esa misma distribución. Cuanto mayor sea el percentil, mayor será el *buffer* y, por consiguiente, mayor será el rango de valores en los que los retrasos o sobrecostos se puedan mover sin que el proyecto se considere fuera de control. A mayor percentil trabajaremos de una manera más tosca. Ver Pajares y López (2008) para un análisis detallado y la representación de ecuaciones.

Estos *buffers* deberán ser repartidos a lo largo de todos los periodos del proyecto de manera que podamos conocer o estimar cuánto se puede desviar la ejecución del proyecto de los valores planeados. El reparto de los *buffers* en los periodos será ponderado de forma proporcional a la reducción del riesgo en cada intervalo, recurriendo a los pesos (*weights*, *wc* y *ws*) para realizar la ponderación. Finalmente obtendremos como resultado los Indices de Control de Programación (SCol) y de Costes (CCol) que nos servirán para comprobar la evolución del proyecto respecto a su variabilidad normal.

#### 4. La solución aplicada a un problema

Para poder poner en práctica todo lo expuesto anteriormente y, sobre todo poder ver el funcionamiento de los nuevos indicadores, realizaremos un proyecto ficticio. A este caso práctico se le hará un estudio mediante EVM. Posteriormente se llevará a cabo un análisis de riesgos y finalmente, a través de diversas representaciones gráficas deduciremos, en varias situaciones distintas, cual es la situación del proyecto y cuál debería ser la postura a adoptar por el Director del Proyecto.

Figura 1: Grafo del Proyecto y parámetros característicos de las actividades



El proyecto ficticio que utilizaremos en nuestra investigación fue el utilizado por Herroelen (2005), cuya representación es la representada en la Figura 1 y cuyas actividades vienen definidas por una duración prevista siguiendo una distribución normal, con esperanza el valor planeado y con varianza la indicada por sigma. Las actividades vienen definidas igualmente por un coste planeado.

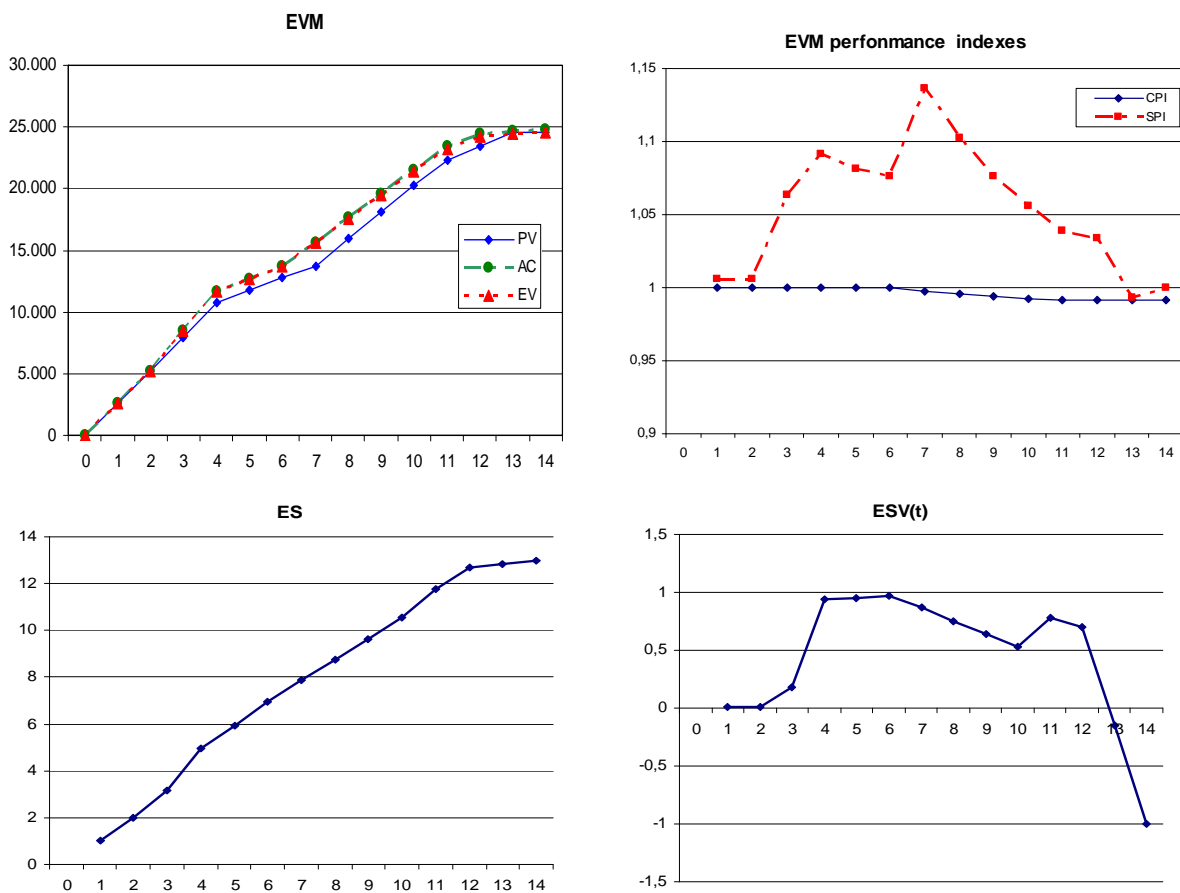
Como podemos ver en el grafo del proyecto, en lo que a paralelismo se refiere, existen tres caminos paralelos. La profundidad es distinta en función del camino que elijamos, en dos de los casos es del orden de cinco tareas mientras que en el restante es de cuatro actividades. Por último podemos destacar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

En la Figura 1, se han mostrado, junto al grafo del proyecto, los valores asignados a las actividades en cuanto a duración y coste que utilizaremos en uno de los ejemplos de simulación. Se puede observar como dos actividades adelantan su ejecución con respecto al periodo de tiempo planeado para ellas, mientras que otras dos actividades retrasan su ejecución.

Utilizando la metodología EVM obtendremos la gráfica correspondiente, representando los valores de *Plan Value* (PV), *Actual Cost* (AC) y *Earned Value* (EV) así como el resto de gráficas relativas a la programación.

Para realizar la simulación, los criterios seguidos en cuanto a programación han sido ejecutar la simulación en cada uno de los periodos de tiempo conforme a la programación planeada inicialmente, teniendo en cuenta, para cada instante de tiempo, la parte ya ejecutada y la parte de actividad que aún queda pendiente de ejecutar. A esta parte aún sin ejecutar, se le asignará una variabilidad, que será proporcional a la variabilidad total de dicha actividad inicial. Una vez cumplido cada periodo de ejecución se comprueba si la actividad ha finalizado. Una actividad que debería haber terminado, según su planificación inicial, y alarga su ejecución, se le asignará una nueva variabilidad proporcional a su nueva duración.

Figura 2: EVM del Proyecto



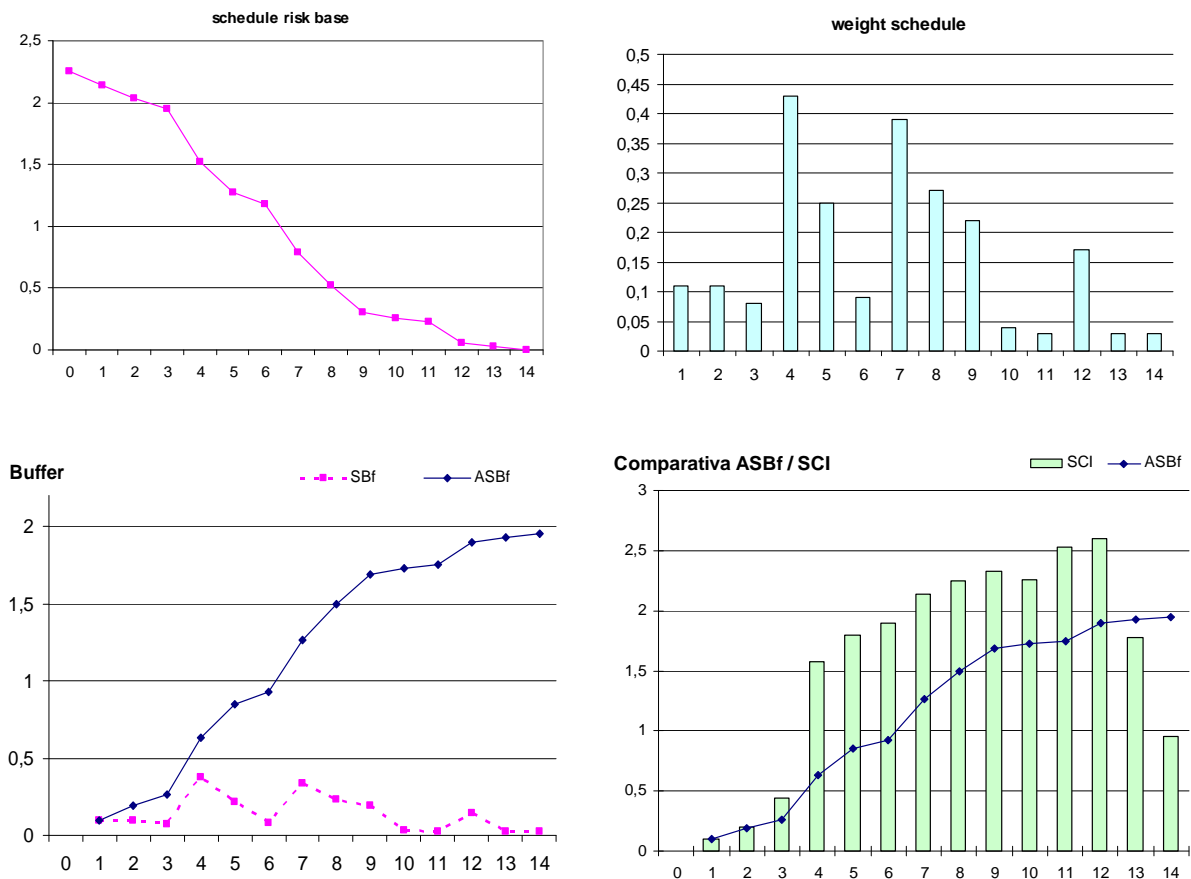
De las posibles gráficas que podemos representar con los datos obtenidos tras aplicar la metodología EVM, resulta interesante observar la gráfica relativa a la programación ganada, ES, que aumenta continuamente hasta llegar al valor correspondiente a la duración total del proyecto planeada. Nos indica que se alcanza el total de la programación (el periodo trece en nuestro ejemplo) en el periodo catorce. La Varianza en la Programación Ganada, ESV(t), refleja, para cada instante de tiempo, el adelanto o retraso que presenta el proyecto donde, en nuestro ejemplo, podemos observar como se produce un adelanto en la ejecución real del proyecto hasta el periodo 12 en el que la ejecución comienza a retrasarse, finalizando en retraso en una unidad temporal en el periodo 14.

También sería interesante observar cómo, y a pesar de que el proyecto del ejemplo de la Figura 2 tiene una duración final de un periodo de tiempo más que lo planificado inicialmente, el valor del SPI (*Schedule Performance Index*) tiene un valor de 1, lo que significa que EV tiende a PV. Siempre que se finalice el proyecto se dará este hecho, por muy grande que sea el retraso o el sobrecoste del proyecto.

Hasta ahora mediante las gráficas generadas con la metodología EVM somos capaces de detectar adelantos y/o retrasos perfectamente. Consideramos muy importante desarrollar mecanismos que nos adviertan cuándo los retrasos dejan de ser tolerables y nos indiquen que ha llegado el momento de tomar medidas para evitar el descontrol del proyecto. Para intentar dar solución a este conflicto realizaremos un análisis de riesgos.

Una vez aplicada la metodología EVM, realizamos la simulación de Monte Carlo a nuestro proyecto, con las variabilidades estimadas de cada una de las actividades. Simularemos un número suficiente de veces y recogeremos el dato de la simulación que nos proporciona la variabilidad del sistema que nos garantiza con un 90% de probabilidad que el proyecto va a terminar con éxito en la fecha fijada.

Figura 3: Análisis de Riesgos



Representamos en la imagen superior izquierda de la Figura 3 la Línea base de Riesgos en Programación, SRB. La curva decrece con el tiempo. A medida que el proyecto avanza existirá menor incertidumbre en la duración del proyecto total puesto que parte de las actividades se van ejecutando. La pendiente de esta curva es la que nos informa de lo rápido que desaparece la incertidumbre.

Se representan también los pesos (imagen superior derecha) que usaremos para repartir el *buffer* a lo largo de cada uno de los periodos del proyecto. El reparto de los *buffers* en los periodos será ponderado de forma proporcional a la reducción del riesgo en cada intervalo.

En la imagen inferior izquierda de la Figura 3 se representan los *buffer* de programación (SBf), repartidos en cada periodo, según la parte del *buffer* que le corresponde haciendo uso de los pesos, y el *Buffer Acumulado* de programación (ASBf). Para el periodo final del proyecto, el *buffer* acumulado se corresponde con la varianza de programación total del proyecto.

Por último, obtendremos los índices de control de programación (SCol), donde:

$$SCol_t = ASBf_t + ESV(t) = ASBf_t + ES - AT \quad (1)$$

Esta ecuación está formulada en términos temporales. Se recurre a la varianza de la programación ganada,  $ESV(t)$ , debido a que también se encuentra en términos temporales y no económicos. Siempre que un proyecto esté retrasado, la varianza en programación será negativa, de modo que en la práctica, este índice compara el *buffer* acumulado en programación con el retraso en el momento considerado. Si el retraso acumulado, medido a través de la varianza en programación ganada ( $ESV(t)$ ), es mayor que el *buffer* acumulado en programación, entonces este índice será negativo alertándonos de la existencia de cambios sistémicos y estructurales en el proyecto.

En la imagen inferior derecha de la Figura 3 se ha comparado la representación del ASBf junto con el SCol. Podemos comprobar gráficamente, en cada instante de tiempo, si nuestro proyecto se encuentra en adelanto con respecto al proyecto planeado o si, por el contrario, se encuentra en retraso respecto del previsto. Pero además, comparando los valores de la gráfica, podremos deducir si ese adelanto o retraso está dentro de la variabilidad lógica del sistema o si, por el contrario, nos encontramos en una situación descontrolada, con retrasos por encima de lo previsto conforme a los parámetros de variabilidad de cada una de las actividades que componen nuestro sistema.

Aún ya sabiendo, después de haber realizado el análisis EVM, que el proyecto se estaba ejecutando en adelanto hasta el periodo 12 y que a partir de este periodo de tiempo el proyecto se retrasaría en una unidad conforme a lo que estaba previsto, en la Figura 3 volvemos a ver esta situación en la gráfica conjunta del ASBf junto con el SCol. Observamos como hasta la semana 12 el valor del SCol es mayor que el valor correspondiente del ASBf y los periodos 13 y 14, observamos la situación contraria. Esto se corresponde con lo ya observado en el análisis del EVM.

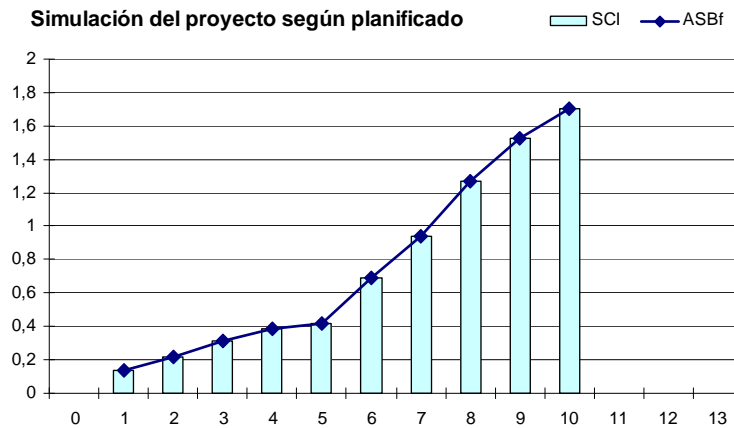
Pero además, comprobamos como en los periodos de tiempo en los que el proyecto se encuentra en adelanto, el valor del SCol es algo mayor que el valor del ASBf, lo que significa que nos encontramos con una situación de adelanto de nuestro proyecto ejecutado con respecto al proyecto planeado, pero dentro de los límites de variabilidad propia del sistema. Igualmente, en los periodos 13 y 14, donde el proyecto se encuentra en retraso, podemos observar cómo este retraso se encuentra dentro de la variabilidad normal de nuestro proyecto.

Podemos concluir que, conforme a la variabilidad de cada una de las actividades independientes que componen el proyecto y del proyecto en su conjunto, para cada instante de tiempo, podríamos encontrarnos en distintas situaciones: con un proyecto ejecutado según lo planteado, con un proyecto en adelanto/retraso dentro de la variabilidad del sistema o con un proyecto en adelanto/retraso muy por encima de la variabilidad del sistema.

Gracias a los índices propuestos de programación, ASBf junto con el SCol, podremos saber en cada instante de tiempo, en qué situación de las mencionadas nos encontramos.

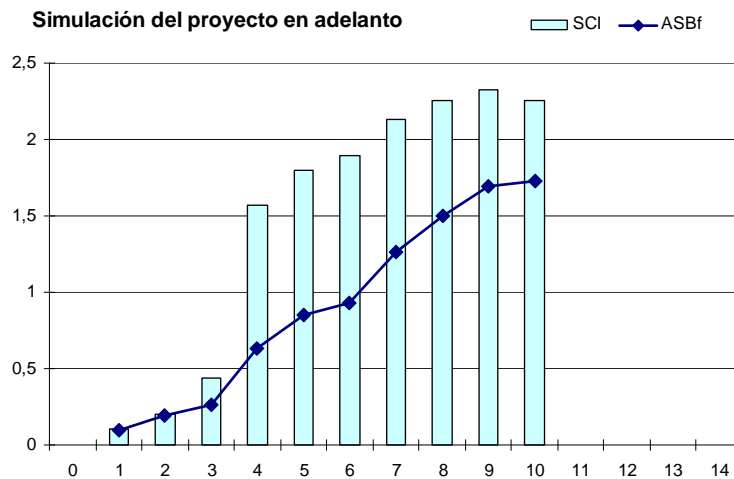
Con el proyecto modelo utilizado en nuestra investigación, hemos realizado distintas simulaciones, variando la duración de alguna de sus actividades. Mostramos varios ejemplos de gráficas donde se representan simultáneamente los valores SCOl y ASBf, con intención de comparar la ejecución real del proyecto con respecto a lo inicialmente planificado.

**Figura 4: Simulación del proyecto ejecutado según lo planificado**



En la Figura 4 representamos la simulación del proyecto cuya ejecución se realiza según estaba previsto inicialmente. Se observa cómo los valores correspondientes al SCOl y ASBf coinciden en cada instante de tiempo, no hay retraso ni adelanto del proyecto ejecutado con respecto al planificado.

**Figura 5: Simulación del proyecto ejecutado en adelanto respecto a lo planificado**



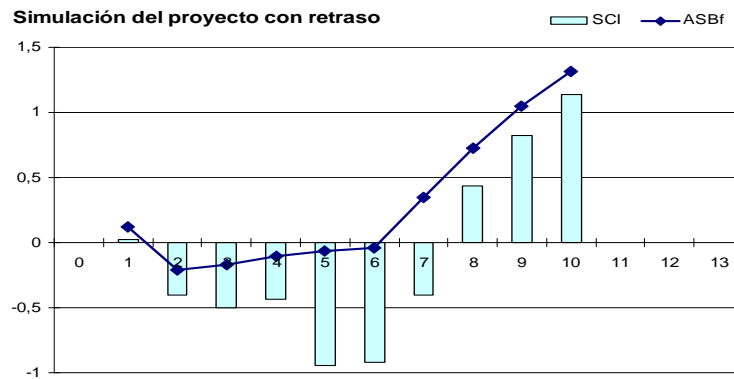
La Figura 5 representa una simulación del proyecto el cual se encuentra en una situación de adelanto respecto a lo planificado y que además, este adelanto se corresponde con lo esperado de acuerdo a la variabilidad de sus actividades. Esto es así porque el valor del SCOl es superior al valor del ASBf, pero no llega a superar este adelanto el valor del *buffer* para ese periodo.

Por último hemos representado en la Figura 6 (instante de tiempo t=10) una simulación del proyecto ejecutado con retraso respecto a lo planeado, pero siendo un retraso esperado



dentro de los márgenes de variabilidad del sistema. Esto es así porque, la diferencia entre el ASBf y el SCol es menor que el *buffer* asignado a ese periodo de tiempo.

**Figura 6: Simulación del proyecto ejecutado en retraso respecto a lo planificado**



En esta última imagen podríamos fijarnos en el instante de tiempo  $t=7$  para comprobar cómo el valor del SCol se hace negativo, siendo mucho menor que el valor del ASBf para ese instante de tiempo. Tendríamos por tanto, un retraso superior a lo que cabría esperarse conforme a la variabilidad del proyecto, con la posibilidad de existencia de problemas graves de planificación (aunque finalmente, el proyecto llega a reconducirse, con retrasos tolerables)

## 5. Conclusiones

Ampliando las investigaciones llevadas a cabo en Pajares y López (2008), hemos elegido un proyecto de cierta entidad y hemos representado los índices relativos a la metodología EVM y al análisis de riesgos en programación, desarrollando los aspectos prácticos de estas metodologías.

Pretendemos con este estudio facilitar a los directores de proyectos la toma de decisiones conforme sea la evolución de sus proyectos, de manera que gráficamente puedan observar si dicho proyecto se encuentra dentro de los márgenes de variabilidad estimados o si se encuentra fuera de estos límites, tanto por retraso como por adelanto.

Para ello hemos definido las posibles situaciones en las que podemos encontrar nuestro proyecto en cada instante de tiempo. Representando en una misma gráfica el índice de control de programación y el *buffer* acumulado de programación, nos ayudará a deducir en cuales de las posibles situaciones nos encontramos y con qué variabilidad, alertándonos de si se han producido cambios profundos que pueden poner en peligro el buen desarrollo del proyecto, para adoptar, si procede, medidas correctivas encaminadas a reconducir el proyecto.

Entre las extensiones del trabajo de investigación, actualmente se trabaja en la aplicación de los indicadores propuestos en proyectos reales.

## Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio Español de Ciencia e Innovación con el proyecto TIN2008-06464-C03-02, "Herramientas Basadas en Agentes para el Modelado y Simulación de Sistemas Sociales Complejos", y por la Junta de Castilla y León, mediante el proyecto de I+D ABACO-GEMA VA009A06: "Métodos Computacionales para la Gestión

de Entornos Multiproyecto"; así como el proyecto GR251/09 de Grupos de Excelencia de Castilla y León.

## Referencias

- Herroelen, W. (2006). Proactive and reactive strategies for resource-constrained Project scheduling with uncertain resource availabilities. Springer Science+Business Media,LLC.
- Herroelen, W. (2005). Generating robust project baseline schedules. Tutorials in operations research. Informs. New Orleans.
- Jorgensen, T. y Wallace, S.W. (2000). Improving Project cost estimation by taking into account managerial flexibility. European Journal of Operational Research, vol 127, pp: 239-251.
- Lipke, W (2005). Earned Schedule, an extension to EVM theory. EVA-10 Conference. London UK. May 2005.
- Pajares, J. y López, A. (2008). Integrating Risk in Project Monitoring. New Performance Indexes for Earned Value Measurement. XII Congreso de Ingeniería de Organización. Burgos. Septiembre 2008.
- Pajares, J. y López, A. (2007). "Gestión Integrada del Coste y Plazo de Proyectos. Más allá del Valor Ganado". XI Congreso de Ingeniería de Organización. Madrid. Septiembre 2007.
- PMBOK (2004). Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos. Tercera Edición en Español. Project Management Institute, Inc. Pensilvania, E.E.U.U.
- PRINCE2 (2007), "PRINCE2 Processes - The PRINCE2 Process Model".
- PRINCE2 (2006), Guía Prince2, Office of Government Commerce.
- Shtub, Avraham (2005). Project Management: processes, methodologies and economics. Upper Saddle River (New Jersey): Pearson Prentice-Hall.
- Vandervoorde, S , y Vanhoucke, M. (2006). A comparison of different project duration forecasting methods. International Journal of Project Management, vol 24, pp: 289-320.
- Vandervoorde, S , y Vanhoucke, M. (2005). A simulation and evaluation of earned value metrics to forecast the Project duration. IDEAS-RePEc, Research Papers in Economics.
- Williams, T.M. (2002). Modelling complex projects. John Willey & Sons, Ltd.
- Williams, T.M. (1993). What is critical?. International Journal of Project Management, vol 11, pp: 197-200.
- Williams, T.M. (1992). Criticality in probabilistic network analysis. Journal of the Operational Research Society, vol 43, pp: 353-357.

## Correspondencia (Para más información contacte con):

Grupo INSISOC. Universidad de Valladolid  
Phone: +34 983 42 33 36  
Fax: +34 983 42 33 10  
E-mail : [adolfo@insisoc.org](mailto:adolfo@insisoc.org); [pajares@insisoc.org](mailto:pajares@insisoc.org); [facebes@yahoo.es](mailto:facebes@yahoo.es)  
URL : <http://www.insisoc.org>