

NUEVA METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE LA DURACIÓN DEL PROYECTO EN BASE A MÉTRICA DE VALOR GANADO

Pio Grande Agromayor

Universidad de León

Francisco Javier de Cos Juez

Silvia Barroso Alonso

Fernando Rodriguez Perez

Universidad de Oviedo

Abstract

Earned value project management is a well-known management system that integrates cost, schedule and technical performance. It allows the calculation of cost and schedule variances and performance indices and forecasts of project cost and schedule duration. The earned value method provides early indications of project performance to highlight the need for eventual corrective action.

Earned value management was originally developed for cost management and has not widely been used for forecasting project duration. However, recent research trends show an increase of interest to use performance indicators for predicting total project duration. In this paper, we give a new approximation to forecast total project duration and illustrate the use of the method on a simple example project.

Keywords: *Earned value; Earned duration; Earned schedule; Project duration forecasting*

Resumen

La metodología del valor ganado es una métrica de gestión de proyectos bien conocida que integra tanto herramientas de gestión y programación, como índices de rendimiento funcional. Asimismo, su correcta aplicación permite realizar predicciones, tanto de la duración como del coste final del proyecto. El método del valor ganado, por tanto, permite resaltar la necesidad de actividades correctivas en la gestión del proyecto, a partir de indicadores de rendimiento que deben ser calculados a lo largo del mismo en momentos claves para su control.

El método del valor ganado fue originalmente diseñado como una herramienta de gestión de costes, mientras que su uso como instrumento predictivo en lo referente a la duración del proyecto no ha sido ampliamente aplicado en la gestión de plazos. Sin embargo, trabajos recientes muestran un creciente interés en el diseño y uso de indicadores basados en esta metodología con gran capacidad de predicción de la duración del proyecto. El presente artículo plantea un nuevo método basado en la aplicación de técnicas estadísticas al concepto de programación ganada, ilustrando su funcionalidad por medio de un ejemplo de aplicación.

Palabras clave: *duración del proyecto; valor ganado; programación ganada; técnicas estadísticas*

1. Indicadores del avance de la programación

El método del valor ganado EVM (*Earned Value Management*) es una metodología empleada para medir y controlar el avance real del proyecto, integrando a los tres elementos críticos del *project management*, es decir alcance, plazo y coste. Asimismo, permite evaluar y controlar los riesgos del proyecto midiendo el progreso del mismo en unidades monetarias.

Aunque, en principio, el EVM fue creado para hacer un seguimiento tanto del plazo como del coste del proyecto, la mayor parte de la investigación se ha centrado en este último apartado. No obstante, el método del valor ganado proporciona en su formato original dos índices válidos para medir el progreso del proyecto:

$SV = EV - PV$ → Variación de la programación: representa la diferencia entre el avance real del proyecto (valor ganado EV) y el avance programado (valor planificado PV), ambos valores medidos en unidades monetarias, y en consecuencia también su variación. Por tanto, variaciones negativas implicarán un retraso en la ejecución del proyecto.

- $SPI = EV / PV$ → Índice de rendimiento de la programación: indicador adimensional para medir la eficiencia del trabajo realizado. En consecuencia, demoras en la planificación irán asociadas a valores inferiores a la unidad para este índice.

Aunque, como ya hemos dicho, estos índices permiten medir el avance del proyecto, también presentan dos claros inconvenientes que han penalizado su uso. En primer lugar, SV es medido en unidades monetarias y no de tiempo, lo cual complica su interpretación. Y en segundo lugar, por definición $SV = 0$ ($SPI = 1$) siempre al final del proyecto. Es decir, según nos vayamos aproximando al final, SV irá convergiendo a cero (SPI a la unidad) indicando una ejecución perfecta del proyecto (100% eficiencia de la programación), aunque éste vaya retrasado. Por consiguiente, habrá un instante de tiempo a partir del cual estos índices dejan de ser fiables, y según se establece (Vandervoorde y Vanhoucke, 2006), el intervalo de tiempo donde estos indicadores pierden su capacidad predictiva coincide aproximadamente con el último tercio del proyecto, periodo crítico donde las previsiones deben ser muy precisas para que la dirección del proyecto vaya planificando las siguientes fases.

2. Métodos de estimación de la duración del proyecto basados en la métrica del EVM

Antes de nada, indicaremos la nomenclatura de algunos términos adicionales que emplearemos en los métodos que vamos a exponer:

- AD: duración actual del proyecto a fecha de control
- PDWR: duración estimada para el trabajo pendiente a fecha de control
- PD: duración planificada para el proyecto
- BAC: presupuesto original del proyecto
- EAC(t): estimación de la duración final del proyecto
- PF: factor de rendimiento

Vandervoorde y Vanhoucke (2006) proponen una fórmula genérica aplicable para estimar la duración final del proyecto mediante diferentes métodos:

$$EAC(t) = AD + PDWR \quad (1)$$

2.1 Técnicas originales del EVM

Estas técnicas han sido ampliamente utilizadas en los últimos 40 años para predecir la duración final de los proyectos, y se recogen en el artículo (Lipke, 2008).

En todas ellas podemos estimar la duración del trabajo pendiente de la siguiente forma:

$$PDWR = (BAC - EV) / PF \quad (2)$$

Donde PF es un factor de rendimiento que puede venir dado por varios indicadores y que tiene por objeto convertir el trabajo pendiente de unidades monetarias a unidades de tiempo.

Los factores de rendimiento empleados en estas técnicas presentaban ciertas indeterminaciones matemáticas que afectaban a su función, y además estos métodos estaban basados en indicadores de coste. Todo esto unido a los resultados del trabajo de investigación realizado sobre una muestra de dieciséis proyectos y recogidos en el mencionado artículo de Lipke (2008), hace que se pueda concluir que estas técnicas de estimación de la duración del proyecto, han quedado obsoletas frente a otras que exponemos más adelante.

2.2 Método del valor planificado

Este método es descrito por (Anbari, 2003) y se basa en la definición de la denominada *tarifa del valor planificado* que es igual al promedio del valor planificado por unidad de tiempo:

$$PV_{rate} = BAC / PD \quad (3)$$

Este método asume que SV puede ser convertida en unidades de tiempo dividiéndola entre la referida PV_{rate} , resultando TV (variación de tiempo):

$$TV = SV / PV_{rate} = (SV * PD) / BAC = (EV - PV) * PD / BAC \quad (4)$$

A continuación, como aplicación de los métodos expuestos, haremos uso de los tres escenarios habituales en el desarrollo de los proyectos que proponen Vandervoorde y Vanhoucke [14]:

- Duración del trabajo pendiente según lo previsto, es decir las incidencias ocurridas hasta la fecha de control no afectarán al desarrollo futuro del proyecto:

$$EAC(t) = PD - TV \quad (5)$$

- Duración del trabajo pendiente sigue la tendencia marcada por SPI, es decir las incidencias pasadas determinan el comportamiento futuro del proyecto según el citado índice:

$$EAC(t) = PD / SPI \quad (6)$$

- Duración del trabajo pendiente sigue la tendencia marcada por el índice plazo-coste (SCI = SPI * CPI), es decir las incidencias pasadas determinan el comportamiento futuro del proyecto según el citado índice:

$$EAC(t) = PD / SCI \quad (7)$$

2.3 Método de la duración ganada

Método descrito por (Jacob, 2003) y posteriormente revisado por el propio Jacob y Kane, (2004), en el cual definen la duración ganada como el producto de la duración planificada por el índice de rendimiento de la programación calculado en una fecha de control

determinada ($ED = AD * SPI$). Por tanto, la fórmula genérica referida anteriormente se expresa de la siguiente forma:

$$EAC(t) = AD + (PD - ED) / PF \quad (8)$$

Aplicando la fórmula anterior sobre las tres situaciones habituales en el desarrollo del proyecto:

- Duración del trabajo pendiente según lo previsto: $PF = 1$

$$EAC(t) = AD + (PD - ED) / 1 = PD + AD * (1 - SPI) \quad (9)$$

- Duración del trabajo pendiente siguiendo la tendencia marcada por SPI: $PF = SPI$

$$EAC(t) = AD + (PD - ED) / SPI = PD / SPI \quad (10)$$

- Duración del trabajo pendiente siguiendo la tendencia marcada por SCI: $PF = SCI$

$$EAC(t) = AD + (PD - ED) / SCI = PD / SCI + AD * (1 - 1 / CPI) \quad (11)$$

Cuando el análisis del estado del proyecto se realice una vez excedida la duración programada para el mismo (lógicamente sin haberse completado la totalidad de los trabajos), sustituiremos PD por AD en las fórmulas anteriores.

Adicionalmente, Jacob (2003) define un nuevo indicador que cuantifica el esfuerzo necesario para finalizar el proyecto en un plazo determinado. Este índice se designa por TCSPi(t) y se calcula con la siguiente expresión donde el numerador representa el trabajo pendiente en unidades de tiempo y el denominador el tiempo disponible para realizarlo.

$$TCSPi(t) = (PD - ED) / (LRS - AD) \quad (12)$$

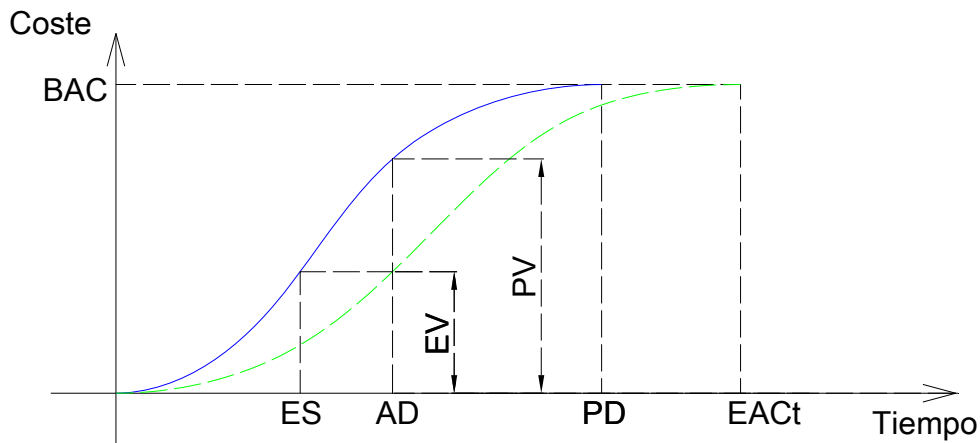
Siendo LRS la estimación de duración que pretendemos evaluar.

3. Método de la programación ganada

El método de la programación ganada fue desarrollado por (Henderson, 2003) a partir del concepto introducido por Lipke (2003). Henderson (2004) ha demostrado la validez del concepto de programación ganada (ES) aplicando el método sobre sendas muestras de proyectos. Asimismo, Lipke (2008) concluye que el método de la programación ganada supera ampliamente las prestaciones de los métodos de previsión de la duración del proyecto basados en la métrica original del valor ganado, postulándose hoy en día como el mejor método para la previsión de la duración del proyecto.

El concepto de ES surge para superar los inconvenientes de los indicadores de rendimiento de la programación del EVM, es decir SV y SPI, y se basa en la determinación del hipotético avance del proyecto al cual correspondería el progreso actual si el referido proyecto se hubiese ejecutado según lo previsto. Por tanto, ES se obtendría gráficamente trazando en una determinada fecha de control una horizontal por EV hasta intersectar a la línea base de la programación vigente para el proyecto, siendo ES la abscisa correspondiente a dicho punto de intersección, tal como se muestra en gráfica 1.

Gráfica 1: Concepto de programación ganada (ES)

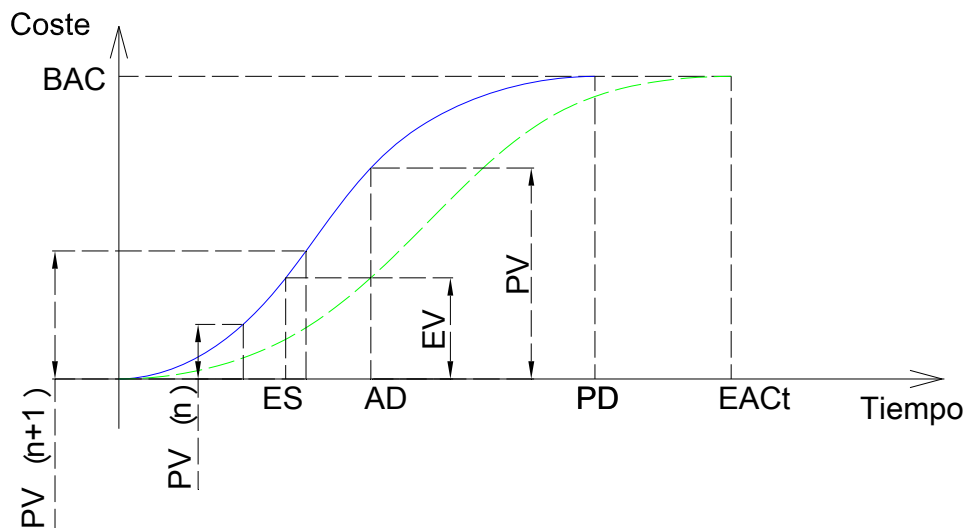


Analíticamente se puede determinar ES mediante una sencilla interpolación lineal:

$$ES = N + 1 * (EV - PV_N) / (PV_{N+1} - PV_N) \quad (13)$$

Donde "N" es el instante de tiempo para una determinada fecha de control, y PV_N y PV_{N+1} los valores planificados en los instantes N y N+1 con el requisito de que PV_N sea menor que el valor actual de PV, según se representa en la gráfica 2.

Gráfica 2: Determinación de la programación ganada



Una vez obtenido ES (valor expresado en unidades de tiempo) se pueden definir, por analogía con SV y SPI, unos nuevos índices de rendimiento de la programación:

$$SV(t) = ES - AD \quad (14)$$

$$SPI(t) = ES / AD \quad (15)$$

En contraposición con SV, $SV(t)$ se expresa en unidades de tiempo, lo cual facilita enormemente su interpretación. Asimismo, representa durante todo el desarrollo del proyecto la variación entre el avance planificado y el realmente ejecutado, a diferencia de SV que perdía fiabilidad en las últimas fases del proyecto al converger a cero por definición.

Lo anteriormente expuesto se puede hacer extensivo a $SPI(t)$ y SPI.

Análogamente a lo que sucedía con SV y SPI, valores negativos de $SV(t)$ e inferiores a la unidad de $SPI(t)$, indicarán un retraso en el avance del proyecto.

En definitiva, la fórmula genérica referida anteriormente expresada con los indicadores del método de la programación ganada quedaría como sigue:

$$EAC(t) = AD + (PD - ES) / PF \quad (16)$$

Dependiendo el factor de rendimiento de la situación del proyecto:

- Duración del trabajo pendiente según lo previsto: $PF = 1$

$$EAC(t) = AD + (PD - ES) = PD - SV(t) \quad (17)$$

- Duración del trabajo pendiente siguiendo la tendencia marcada por $SPI(t)$: $PF = SPI(t)$

$$EAC(t) = AD + (PD - ES) / SPI(t) = PD / SPI(t) \quad (18)$$

- Duración del trabajo pendiente siguiendo la tendencia marcada por $SCI(t) = CPI * SPI(t)$: $PF = SCI(t)$

$$EAC(t) = AD + (PD - ES) / SCI(t) \quad (19)$$

Finalmente, también podemos expresar con la métrica de la programación ganada, el rendimiento que tendremos que conseguir en términos de avance para que la duración total del proyecto sea una determinada, esto es, evaluar la "bondad" de la estimación realizada LRS.

$$TCSPI(t) = (PD - ES) / (LRS - AD) \quad (20)$$

4. Estimación de la duración del proyecto mediante métodos estadísticos

Una vez obtenido mediante el concepto de programación ganada, un indicador fiable para la estimación de la duración de los proyectos como es el $SPI(t)$, la aplicación de métodos estadísticos puede proporcionar información adicional relevante para la gestión de proyectos.

Según establece Lipke (2006), la estadística puede ayudar a compensar la falta de datos necesarios para los trabajos de investigación, así como precisar los pronósticos, obteniendo intervalos de confianza asociados a una probabilidad o nivel de confianza establecido de antemano. También se podrá hacer uso del planteamiento inverso, es decir, dado un intervalo de confianza podremos determinar la probabilidad de que la duración final del proyecto se encuadre dentro de dicho intervalo (probabilidad de éxito).

La aplicación de métodos estadísticos precisa justificar previamente una serie de hipótesis de partida:

- La consideración de que el indicador $SPI(t)$ sigue una distribución normal no es cierta debido a su falta de simetría respecto al valor medio, la probabilidad de ocurrencia es mayor en valores bajos del mencionado índice de rendimiento. No obstante, podremos asumir una distribución normal si operamos con $\ln SPI(t)$.

- No obstante, cuando el número de observaciones sea inferior a 30, la consideración de la distribución t-Student, en lugar de la distribución normal, es una práctica contrastada y extendida.
- Los métodos estadísticos van asociados a poblaciones infinitas. Sin embargo, los proyectos son finitos ya que tienen un comienzo y un final. Por tanto, los cálculos estadísticos deberán ser ajustados para poblaciones finitas. En el caso que nos ocupa el factor de ajuste vendrá dado por la siguiente expresión:

$$AF_C = \sqrt{(BAC - EV) / (BAC - EV / n)} \quad (21)$$

$$AF_S = \sqrt{(PD - ES) / (PD - ES / n)} \quad (22)$$

Donde "n" es el número de observaciones efectuadas hasta la fecha de control.

- La estadística asume que todas las observaciones son de igual tamaño. En nuestra situación, cada observación de SPI(t) es realizada para sucesivos avances de la programación, y por tanto no se verifica el mencionado postulado. No obstante, la experiencia ha demostrado que la variación de resultados considerando muestras de igual tamaño es muy similar a la que hace uso de los valores periódicos de SPI(t) obtenidos en las sucesivas fechas de control.
- La siguiente cuestión que se plantea es la gestión de los valores anómalos obtenidos para el índice en cuestión. Pues bien, Lipke recomienda en [9] identificar dichos valores anómalos mediante la regla de Shewhart y eliminarlos del análisis. De esta forma se consigue una mejor aproximación de los resultados a la realidad que si consideramos todos los valores del índice.
- Por último, las investigaciones realizadas sobre el comportamiento del índice SPI(t) han puesto de manifiesto que su valor disminuye a medida que nos aproximamos al final del proyecto, es decir la eficiencia de la programación se va reduciendo según avanza el proyecto. Para tener en cuenta esta conducta, se aplica una compensación al índice correspondiente. De esta forma, el SPI(t) estimado se aproximará más al valor real obtenido al final del proyecto.

En definitiva, tener en cuenta las consideraciones anteriores implicará una mayor precisión en la estimación de la duración del proyecto, así como una mayor probabilidad de éxito del mismo, tal como demuestran las investigaciones realizadas en este campo.

A continuación, pasamos a exponer los pasos a seguir para la aplicación de métodos estadísticos a las métricas del valor ganado y del la programación ganada, en concreto a los índices CPI y SPI(t).

En primer lugar indicamos la ecuación que define los límites del intervalo de confianza:

$$CL_C = \ln CPI_{cum} \pm Z * \sigma / \sqrt{n} * AF_C \quad (23)$$

$$CL_S = \ln SPI(t)_{cum} \pm Z * \sigma / \sqrt{n} * AF_S \quad (24)$$

Siendo:

Z: valor obtenido de la distribución estadística (Normal o t-Student) que rige el comportamiento de CPI y SPI(t), representando el nivel de confianza del intervalo correspondiente. Es decir, la probabilidad de que el valor final del índice correspondiente caiga dentro de dicho intervalo. Dicho nivel de confianza se suele establecer entre el 90 y el 95%.

σ : desviación típica de la distribución estadística que rige las variables aleatorias CPI y SPI(t).

$$\sigma = \sqrt{(\sum (In Index_i - In Index_{cum})^2 / (n - 1))} \quad (25)$$

n: número de observaciones hasta la fecha de control.

Por consiguiente obtendremos dos valores CL(+) y CL(-) para los límites del intervalo de confianza del índice correspondiente, superior e inferior respectivamente. Dichos valores son logarítmicos, y por tanto tendremos que aplicarles una conversión por medio de la función exponencial.

Una vez convertidos ya podremos utilizarlos en la formulación expuesta en el apartado anterior para el método de la programación ganada, obteniendo unos valores máximo y mínimo para la estimación de la duración del proyecto, EAC(t)_H y EAC(t)_L respectivamente.

Por último, si analizamos los resultados de la aplicación de métodos estadísticos a la métrica de la programación ganada, podemos concluir que:

- La diferencia entre los límites superior e inferior del indicador en cuestión va disminuyendo según progresa el proyecto, coincidiendo en el mismo valor al final del proyecto. El postulado anterior es lógico, ya que a medida que avanza el proyecto se va reduciendo la incertidumbre.
- SPI(t) va disminuyendo según avanza el proyecto, y por tanto las estimaciones EAC(t) irán aumentando.
- La amplitud del intervalo de confianza aumenta con el nivel de confianza.

5. Método propuesto

Teniendo en cuenta el estado del arte actual relativo a la metodología de estimación de la duración del proyecto basada en la métrica de la programación ganada, planteamos una alternativa consistente en la aplicación de técnicas estadísticas sobre un nuevo escenario. Lipke et al. (2009) considera que la evolución del trabajo pendiente sigue la tendencia marcada por el índice SPI(t). No obstante, según establecen Vandervoorde y Vanhoucke, (2006), esta tendencia también puede venir dada por el coeficiente SCI(t) = CPI * SPI(t).

Por tanto, se plantea una combinación de lo expuesto en los apartados anteriores, consistente en la aplicación técnicas estadísticas de forma simultánea a los índices CPI y SPI(t). De esta forma se tiene en cuenta, a la hora de predecir la duración final del proyecto, no sólo el rendimiento del avance de la programación, sino también el rendimiento de la inversión realizada hasta la fecha de control. También resultaría factible plantear nuevos escenarios en los que el progreso del proyecto siguiese la tendencia marcada por una combinación lineal de los mencionados índices CPI y SPI(t), a los cuales se podría aplicar también la metodología propuesta.

5.1 Ejemplo de aplicación: Reforma de edificio industrial

Tabla 1. Valores indicadores

Fecha de control	PV (u.m.)	EV (u.m.)	AC (u.m.)	ES _{cum} (meses)	CPI	SPI(t)
Julio	70	70	70	1.00	1.00	1.00
Agosto	160	141	152	1.79	0.93	0.90

Septiembre	251	202	218	2.46	0.93	0.82
Octubre	340	275	296	3.27	0.93	0.82
Noviembre	426	346	380	4.07	0.91	0.81
Diciembre	511	412	470	4.84	0.88	0.80
Enero	584	480	557	5.63	0.86	0.80
Febrero	710	557	643	6.63	0.87	0.83
Marzo	826	623	715	7.31	0.87	0.81
Abril	913	688	789	7.82	0.87	0.78

BAC = 3981 unidades monetarias

PD = 44 meses

A partir de los valores de los indicadores PV, EV y AC en las sucesivas fechas de control, calculamos los valores correspondientes a la programación ganada, así como los coeficientes de rendimiento CPI y SPI(t).

A estos coeficientes le aplicaremos las técnicas estadísticas expuestas en nuestro artículo con objeto de obtener los correspondientes intervalos de confianza.

En primer lugar, siguiendo las indicaciones de Lipke (2006), vamos a descartar aquellos valores anómalos. En nuestro caso omitiremos los datos correspondientes al control efectuado en el mes de julio. Por tanto, consideraremos un número de observaciones $n = 9 < 30$, lo cual determina que debemos emplear la distribución t-Student con un número de grados de libertad $r = n - 1 = 8$.

En consecuencia, para un nivel de confianza del 95%, tendremos un valor de $t = 2.306$ en la tabla de la mencionada distribución estadística.

Los factores de ajuste para poblaciones finitas a aplicar en los intervalos de confianza vendrán dados por las expresiones (21) y (22):

$$AF_C = 0.92$$

$$AF_S = 0.92$$

Calculando las desviaciones típicas de los valores obtenidos para los índices considerados según la expresión (25):

$$\sigma_C = 0.0020$$

$$\sigma_S = 0.0044$$

Los intervalos de confianza para los índices CPI y SPI(t) serán respectivamente:

$$CL_C = -0.139 \pm 0.0014 = (-0.1404, -0.1376)$$

$$CL_S = -0.248 \pm 0.0031 = (-0.2511, -0.2449)$$

En consecuencia, el intervalo de confianza para la estimación de la duración del proyecto, suponiendo que el trabajo pendiente sigue la tendencia marcada por los siguientes índices de rendimiento de la ejecución pasada:

$$PF = SPI(t) \rightarrow EAC(t) = (56.20, 56.56)$$

$$PF = SCI(t) \rightarrow EAC(t) = (63.04, 63.52)$$

Como podemos observar, cuando la tendencia en el avance de la programación se ve influenciada también por el índice de rendimiento de coste, se obtienen estimaciones más pesimistas (valores mayores para la estimación).

En definitiva se plantea la necesidad de elegir el índice de rendimiento que mejor se adapte al desarrollo de nuestro proyecto, pudiendo optarse por cualquiera de los dos anteriores o bien una combinación lineal de ambos.

6. Conclusiones

Con el presente artículo hemos pretendido proporcionar una visión de conjunto del estado del arte existente hoy en día, relativo a las metodologías de estimación de la duración del proyecto basadas en las métricas del valor ganado y la programación ganada.

Hemos comprobado que diferentes trabajos de investigación realizados en este campo, concluyen que el método de la programación ganada supera ampliamente las prestaciones del EVM en lo referente a estimación de la duración del proyecto. En consecuencia, este último se reservará para la previsión del coste final del proyecto. Además, estos resultados pueden ser precisados con la ayuda de métodos estadísticos, obteniendo intervalos de confianza para los mismos asociados a una probabilidad o nivel de confianza establecido de antemano. Asimismo, consideramos que la aplicación de técnicas estadísticas en la metodología de estimación de la duración del proyecto, presenta un gran potencial de desarrollo, lo cual puede animar a los investigadores a profundizar en el tema, con el fin de obtener estimaciones más precisas y mayores probabilidades de éxito. De hecho, Lipke (2006), que puede ser considerado como el precursor de estas técnicas estadísticas, las califica como la "próxima frontera" a superar.

Finalmente, hemos propuesto un nuevo método para la estimación de la duración del proyecto, en el cual se aplican técnicas estadísticas al método de la programación ganada. Esta metodología presenta la ventaja de poder establecer intervalos de confianza para la duración final del proyecto asociados a unas probabilidades de ocurrencia fijadas de antemano. Asimismo, la metodología propuesta considera una situación en la cual el desarrollo futuro del proyecto vendría marcado por el índice $SCI(t) = CPI * SPI(t)$. De esta forma se tiene en cuenta el rendimiento de la ejecución pasada tanto en coste como en plazo, lo cual se asemeja más al comportamiento de los proyectos reales, habiéndose comprobado su eficacia en una aplicación sobre un proyecto de reforma de edificio industrial.

Referencias

- Anbari F. Earned value methods and extensions. *Project Manage J* 2003; 34(4): 12-23.
- Cioffi Denis F. Designing project management: A scientific notation and an improved formalism for earned value calculations. *International Journal of Project Management* 24 (2006) 136-144.
- Henderson K. Earned schedule: A breakthrough extension to earned value theory. A retrospective analysis of real project data. *The Measurable News* 2003 (Summer): 13-7. 21-
- Henderson K. Further developments in earned schedule. *The Measurable News* 2004 (Spring): 15-6. 20-2.
- Henderson K. Earned schedule in action. *The Measurable News* 2005: 23-8. 30.
- Jacob D. Forecasting project schedule completion with earned value metrics. *The Measurable News* 2003 (March): 1. 7-9.

- Jacob D, Kane M. Forecasting project schedule completion with earned value metrics revised. *The Measurable News*. 2004 (Summer): 1. 7-11.
- Lipke W. Schedule is different. *The Measurable News* 2003 (March): 31-4.
- Lipke W. Statistical methods applied to EVM: The next frontier. *Cross Talk* 2006 (June).
- Lipke W. Project duration forecasting: comparing earned value management methods to earned schedule. *Cross Talk* 2008 (December).
- Lipke W, Zwikael O, Henderson K, Anbari F. Prediction of project income: The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes. *International Journal of Project Management* 27 (2009) 400-407.
- Navarro, D. Seguimiento de proyectos con el análisis del valor ganado. <http://direccion-proyectos.blogspot.com/>
- Plaza M, Turetken O. A model-based DSS for integrating the impact of learning in project control. *Decision Support Systems* 47 (2009) 488-499.
- Vandervoorde S, Vanhoucke M. A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics. *International Journal of Project Manage*

Correspondencia (Para más información contacte con):

Francisco Javier de Cos Juez

Phone: +34985104272

Fax: + 34985104256

E-mail : decos@api.uniovi.es

URL : www.api.uniovi.es