

01-001

LIMITATIONS OF EARNED VALUE ANALYSIS WHEN ANTICIPATING DELAYS IN PROJECTS

Ballesteros-Pérez, Pablo⁽¹⁾; Elamrousy, Kamel Mohammed⁽²⁾; González-Cruz, M^a Carmen⁽³⁾

⁽¹⁾Loughborough University, ⁽²⁾University of Reading, ⁽³⁾Universitat Politècnica de València

A significant amount of construction projects miss their originally planned completion dates, being this a frequent topic in the construction management literature. Many causes for late projects have been identified, but among these, hardly any research effort has been made when it comes to analyzing how the Earned Value Management (EVM) technique handles the project duration variability. Particularly, both activity durations and cost might be highly variable in real project contexts, but the most common implementation of the EVM technique neglects this variability. By doing so, project duration estimates result generally being too optimistic. However, EVM has other shortcomings when it comes to assessing whether the actual order of activity execution will result in higher or lower overall project durations.

This paper presents a brief and analytical critique of the EVM technique concerning its most common implementation (assumption of deterministic activity costs and durations). By means of simulating how activities in parallel are executed it will be seen how the 'merge event bias' can inadvertently and negatively impact the construction schedule. A fictitious case study will be proposed and some of its components analysed to identify all the shortcomings previously highlighted.

Keywords: *earned value; monitoring; scheduling; merge event bias; stochastic networks*

LIMITACIONES DEL ANÁLISIS DE VALOR GANADO AL INTENTAR PREDECIR RETRASOS EN PROYECTOS

Gran cantidad de proyectos de construcción suelen finalizar con retraso. Éste es un tema recurrente en la literatura de gestión de la construcción. Entre los múltiples motivos de retrasos sin embargo, apenas se ha dedicado esfuerzo alguno por analizar cómo la técnica de Análisis de Valor Ganado (AVG) considera la variabilidad durante la vida del proyecto. En particular, tanto las duraciones como los costes de las actividades pueden ser altamente variables en proyectos reales, pero la técnica de AVG suele ignorar esta variabilidad. Al hacerlo, las estimaciones de duración del proyecto resultan generalmente muy optimistas. Adicionalmente, el AVG también tiene otros problemas cuando se evalúa si el orden de ejecución real de las actividades conducirá a una duración final del proyecto mayor o menor.

Este artículo presenta una crítica analítica breve del AVG en su implementación más común: duraciones y costes de las actividades como deterministas. Por medio de simular actividades que se ejecutan en paralelo será posible observar cómo el 'sesgo de la confluencia' afecta de forma negativa y desapercibida el cronograma del proyecto. Se propondrá un caso de estudio ficticio con el que se ilustrarán todas las limitaciones comentadas con anterioridad.

Palabras clave: *valor ganado; seguimiento; programación; sesgo de la confluencia; redes estocásticas*

Correspondencia: Pablo Ballesteros-Pérez; School of Architecture, Building and Civil Engineering, Loughborough University; p.ballesteros@lboro.ac.uk



©2018 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El Análisis de Valor Ganado (Earned Value Management EVM, en inglés) es probablemente una de las técnicas más prominentes para el seguimiento y control de proyectos y también una de las que ha recibido mayor atención desde el punto de vista de la investigación (Vanhoucke, 2011, 2012).

El Análisis de Valor Ganado o EVM, en su forma clásica y utilizando la terminología más reciente, consiste en las siguientes métricas: Valor Planificado (Planned Value PV), Coste real (Actual Cost AC) y Valor Ganado (Earned Value EV).

- El PV representa el gasto planeado acumulado a medida que el Proyecto progresa. Ésta métrica se representa en términos monetarios (eje y) y en función del tiempo (eje x). Sus valores son totalmente conocidos una vez el proyecto ha sido planificado y se conocen los costes de todas las actividades.
- El AC representa el gasto acumulado real a medida que el proyecto progresa. Cuando se representa, es una curva que comparte algunas similitudes con la del PV, no obstante, a diferencia de ésta, la AC se calcula con las duraciones y costes que las actividades han realmente tenido durante la ejecución del proyecto. Esta curva se va calculando a medida que avanza el proyecto, ya que requiere de los valores reales de coste y duración de cada actividad.
- El EV corresponde al gasto acumulado del proyecto calculado a partir de actividades cuya duración es igual a la planeada, pero su coste corresponde con el real. En esencia, PV y EV son muy similares, ambos representan el gasto acumulado en función del tiempo y para exactamente el mismo presupuesto (coste del proyecto). Sin embargo, el 'ritmo' en que se produce ese gasto es distinto para ambas métricas, ya que el primero se calcula con las duraciones planeadas y el segundo con las duraciones reales.

Existe una cuarta métrica llamada Programación Ganada (Earned Schedule ES) (Lipke 2003) la cual mide lo mismo que EV pero en unidades de tiempo, en lugar de unidades monetarias. En cualquier caso, estas cuatro métricas permiten el cálculo de una serie de desviaciones, indicadores de rendimiento y predicciones futuras, que (teóricamente) representan cómo el proyecto está evolucionando en términos de tiempo y dinero.

La principal ventaja de esta técnica es su relativa simplicidad y que sólo requiere el tipo de información (porcentajes de avance y costes de cada actividad, principalmente) que es recopilada para otros propósitos durante la ejecución del proyecto. La gran desventaja, la cual aparentemente ha permanecido fuera de la vista para muchos profesionales e investigadores por igual, es que EVM es una técnica que mide 'cantidad de trabajo realizado', NO desviación de tiempo.

Dicho de forma más sencilla, EVM mide las diferencias entre EV y PV (para desviaciones en tiempo) o entre EV y AC (para desviaciones en coste). Si EV es mayor que PV o AC, el proyecto va bien en términos de tiempo o dinero, respectivamente. Pero EV incrementa su valor a medida que más actividades se van completando, independientemente de que el orden de ejecución de dichas tareas sea el más apropiado, es decir, el que conduzca a una duración menor.

Una cuestión razonable por tanto es ¿son las actividades que se están ejecutando hasta el momento aquellas que llevarán a finalizar el proyecto con una duración similar a la que se planeó originalmente? EVM no puede responder a esta pregunta. De hecho, si se sufre una desviación significativa respecto del cronograma planificado del proyecto, índices complementarios como el p-factor (Lipke, 2004), los cuales miden adherencia del

cronograma real respecto del planificado, nos informan del riesgo de re-ejecución del trabajo, pero aún no pueden anticipar qué desviaciones (negativas) en tiempo deben esperarse.

EVM entonces, es una técnica que funciona perfectamente en la dimensión coste. Esto es así porque todas las actividades contribuyen al coste total (planificado o real) en función de sus respectivos presupuestos (costes). Pero éste no es el caso para desviaciones en tiempo. El orden de ejecución importa en la dimensión tiempo, no tan sólo el tamaño (duración o coste) de la actividad. EVM falla en capturar el orden de ejecución apropiado de las actividades. Esta limitación será expuesta, junto con otras, en las siguientes secciones.

En esta comunicación, se mostrará un caso de estudio ficticio simulando la ejecución de un proyecto con varios caminos en paralelo. Se mostrarán cómo se realizan los cálculos convencionales (y también algunas de las propuestas más recientes) de las métricas del EVM. A continuación se evidenciará cómo, a pesar de que el proyecto tiene retraso, ninguna de las métricas parece no detectar el problema hasta que es demasiado tarde, es decir, cuando ya no es posible actuar y corregir el retraso. Las Discusiones mostrarán también cómo más investigación en EVM es aún necesaria para proponer métricas alternativas que atiendan al progreso desequilibrado entre diferentes caminos del cronograma.

2. Caso de estudio

En esta sección se presentará un ejemplo destacando las limitaciones de la técnica del EVM. La Figura 1 representa el cronograma en forma de red (Activity on Node network, o simplemente red AoN) de un proyecto ficticio consistente en 3 caminos con cuatro actividades cada uno. Con fines de simplificar el caso de estudio se asumirá que todas las actividades tienen el mismo coste (100 unidades monetarias) y la misma duración (modelizada con un dado de seis caras). Este ejemplo también podría haberse ilustrado con una sola actividad por camino, pero con el fin de no utilizar cantidades con decimales cuando analicemos duraciones al tirar los dados, se han considerado cuatro actividades en su lugar.

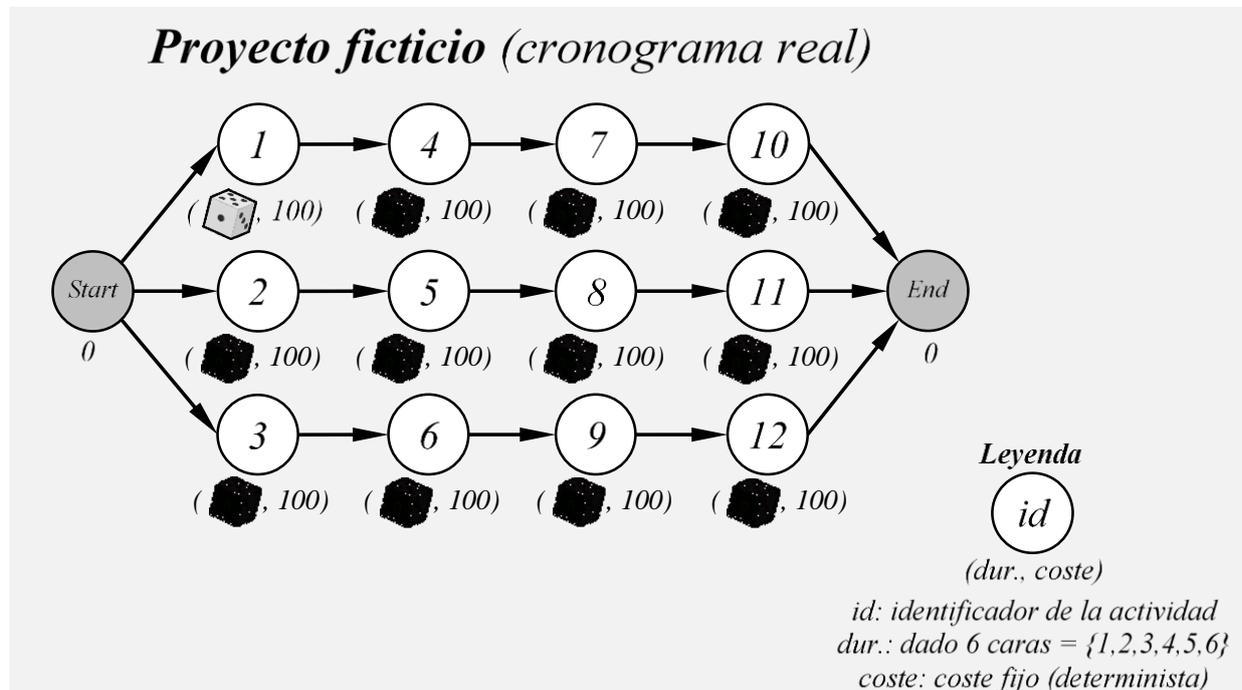


Figura 1: Caso de estudio: red AoN del cronograma original

Por tanto, la Figura 1 representa el modelo 'real' del cronograma: cada actividad es variable en su duración, pero no en cuanto a su coste. Este proyecto ha sido definido de esta manera para permitir su utilización en clase con estudiantes de Dirección y Gestión de Proyectos y con los mínimos recursos (únicamente varios dados).

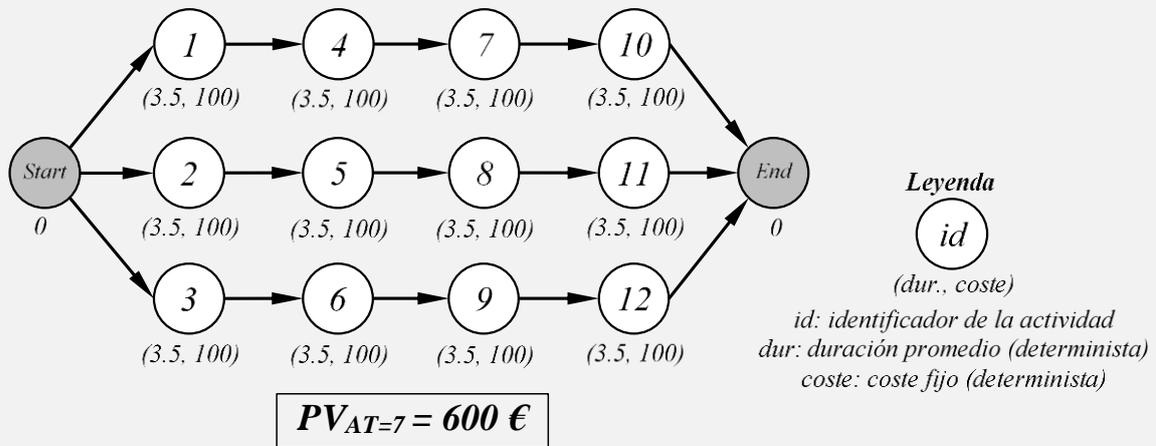
Por otro lado, la red superior en la Figura 2 representa la abstracción (simplificación) comúnmente asumida por la mayoría de Directores de Proyecto cuando modelizan el escenario más representativo (erróneamente considerado como aquel con las duraciones 'promedio'). Éste es, por tanto, el cronograma correspondiente al Valor Planificado PV, el cual podría haberse representado (y de hecho comúnmente lo es) en forma de un Diagrama de Gantt. De acuerdo a toda la información previa, el diagrama del PV representado en la parte superior de la Figura 2 indica que el proyecto de ejemplo debería durar 14 días (o cualquier otra unidad de tiempo) y costar 1200 unidades monetarias.

Las redes a media altura y parte inferior de la Figura 2 por otro lado, representan el Coste Real AC y el Valor Ganado EV, respectivamente, en un momento coincidente con el que se creía sería la mitad de la duración del proyecto, es decir, 7 días (normalmente expresado como $AT=7$).

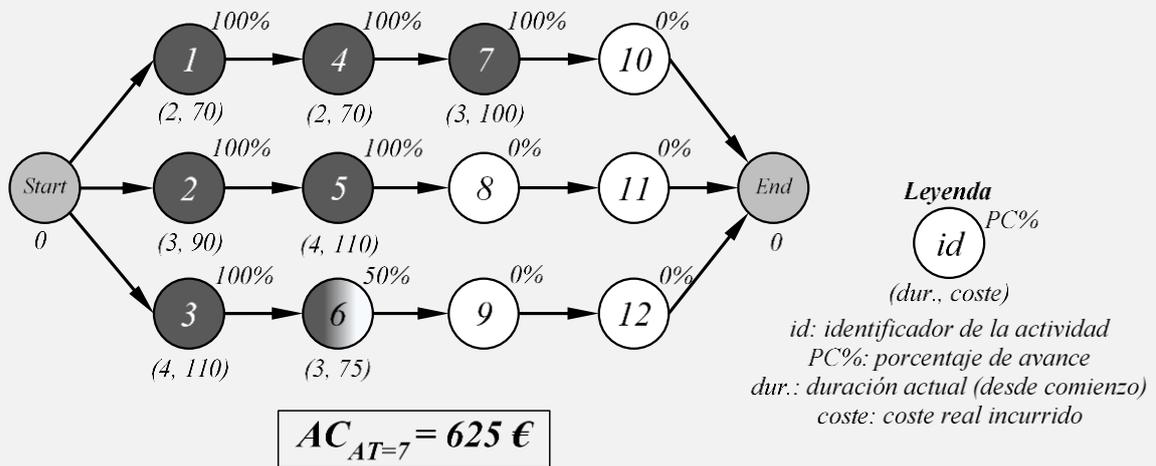
Al observar los porcentajes de avance (en la parte superior derecha de cada nodo de las dos redes inferiores) es sencillo observar que el camino del medio ha avanzado exactamente conforme a lo planeado: dos actividades de las cuatro (actividades 2 y 5) se han completado en el momento del tiempo $AT=7$. El camino superior ha progresado más allá de lo planeado: tres actividades (actividades 1, 4 y 7) se han terminado y sólo queda pendiente el completar la actividad 10. Por el contrario, el camino inferior ha progresado más lento de lo esperado y sólo una actividad y media (100% de la actividad 3 y el 50% de la actividad 6) se han finalizado en $AT=7$.

En este momento ($AT=7$) se esperaba (se había planeado) que el proyecto habría incurrido en un gasto de 600 unidades monetarias ($PV=600$) ya que seis actividades deberían haberse finalizado para entonces. Sin embargo cuáles de entre las seis actividades es algo que la métrica del valor ganado EV no es capaz de diferenciar. De hecho el EV en $AT=7$ es incluso superior a 600 (es de 650 de hecho), pero hay un camino que está retrasado y que tiene altas probabilidades de generar un retraso hacia el final del proyecto. Observemos en la Figura 3 la evolución de los valores de PV, AC y EV desde que el proyecto comenzó.

Planned Value (PV) comunmente asumido



Progreso a mitad de su duración planeada (AT=7) Actual Cost (AC)



Progreso a mitad de su duración planeada (AT=7) Earned Value (EV)

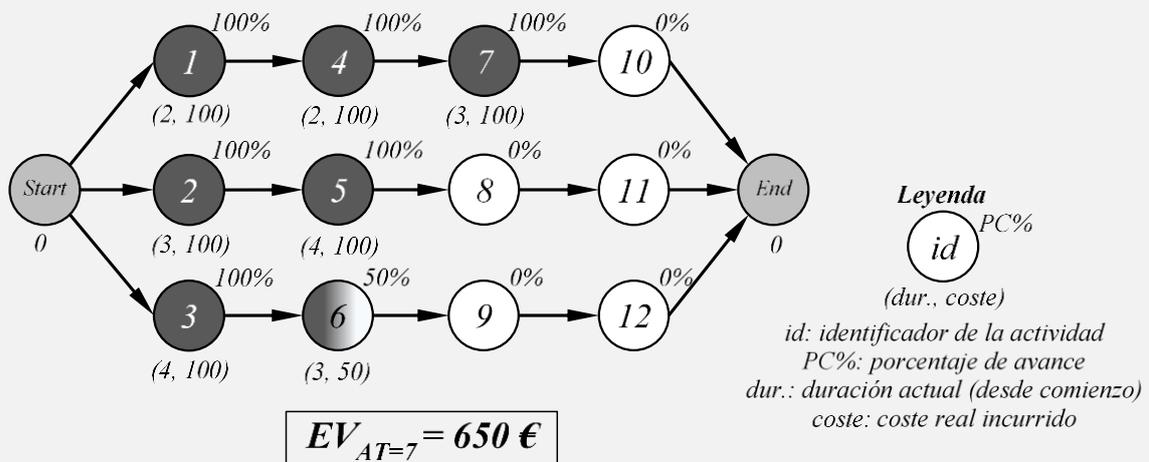


Figura 2: Caso de estudio: red AoN con los cálculos del Análisis de Valor Ganado

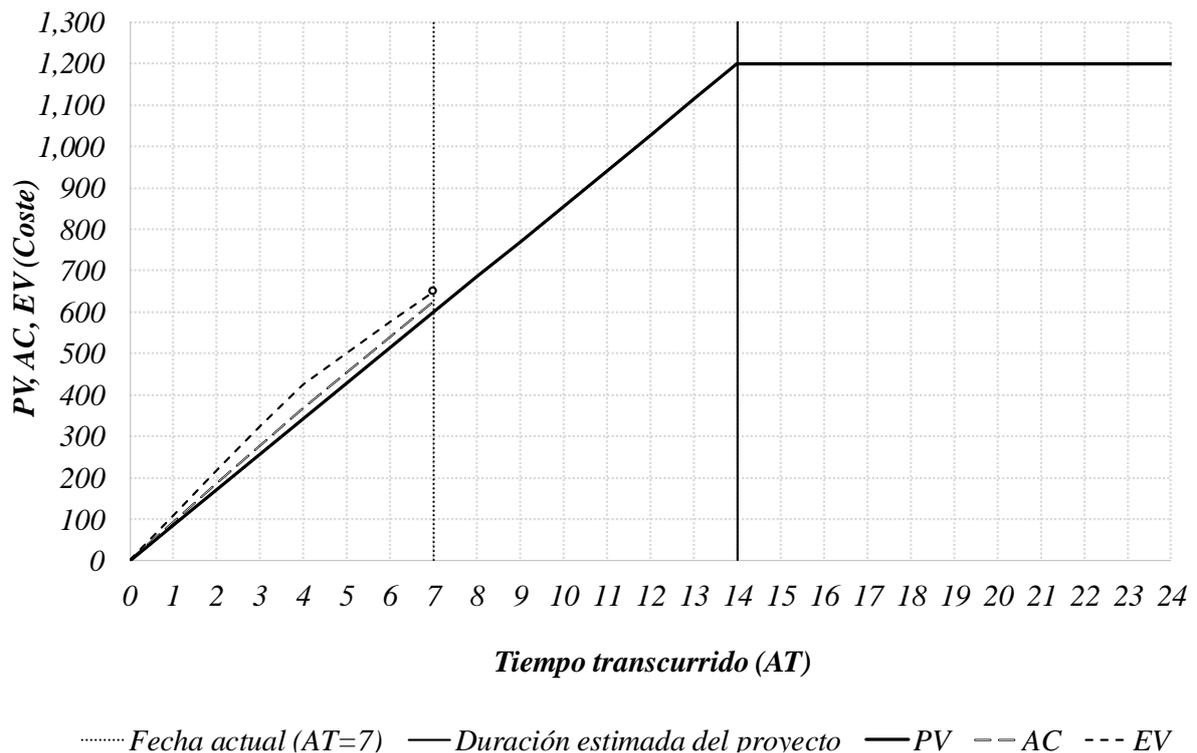


Figura 3: Representación de las métricas del Análisis de Valor Ganado del proyecto en AT=7

Al observar la Figura 3 es innegable que la curva del EV permanece por encima de las curvas de AC y PV. Este proyecto está, en teoría, yendo bien: va adelantado y está ahorrando dinero respecto de lo planificado (detalles de todos los cálculos pueden encontrarse en el Apéndice). Pero la situación real no es tan favorable. Si la duración del proyecto se estima por medio de simulaciones de Monte Carlo es posible obtener la representación de la Figura 4. En particular, la Figura 4 representa la estimación de la duración del proyecto en dos momentos del tiempo: justo al comienzo del mismo (AT=0) y en el momento actual (AT=7). Ambas estimaciones indican que, en promedio, por ejemplo, este proyecto no va a durar 14 días, sino bastante más (alrededor de 17 y 16.5 días, respectivamente) ¿Qué ha ocurrido entonces?

En primer lugar, la red del PV no tuvo en cuenta el efecto del fenómeno de la confluencia (merge event bias) (Ballesteros-Pérez, 2017a). Éste es el fenómeno que se produce cuando dos o más actividades con duraciones variables (virtualmente casi todas las actividades de proyectos reales) confluyen en una actividad (es decir cuando una actividad tiene más de una predecesora) y la duración promedio en conseguir finalizar todas las predecesoras siempre es igual o superior a la máxima duración promedio de cada una de las predecesoras.

Es decir, desde el mismo principio, este proyecto era muy difícil que durara 14 días, más bien duraría alrededor de 17 días (en promedio). En el momento AT=7 el proyecto ha progresado más de lo previsto (motivo por el cual la curva probabilística de la duración en AT=7 está ligeramente a la izquierda de la curva para AT=0), pero, al haber diferentes caminos, sólo se necesita que uno vaya detrás de lo planeado para retrasar el proyecto. El problema es que este retraso sólo será registrado por nuestro proyecto cuando las actividades lleguen al final de sus caminos. Mientras tanto el proyecto parece seguir yendo bien y no existe indicación de que los 14 días de duración vayan a ser transgredidos.

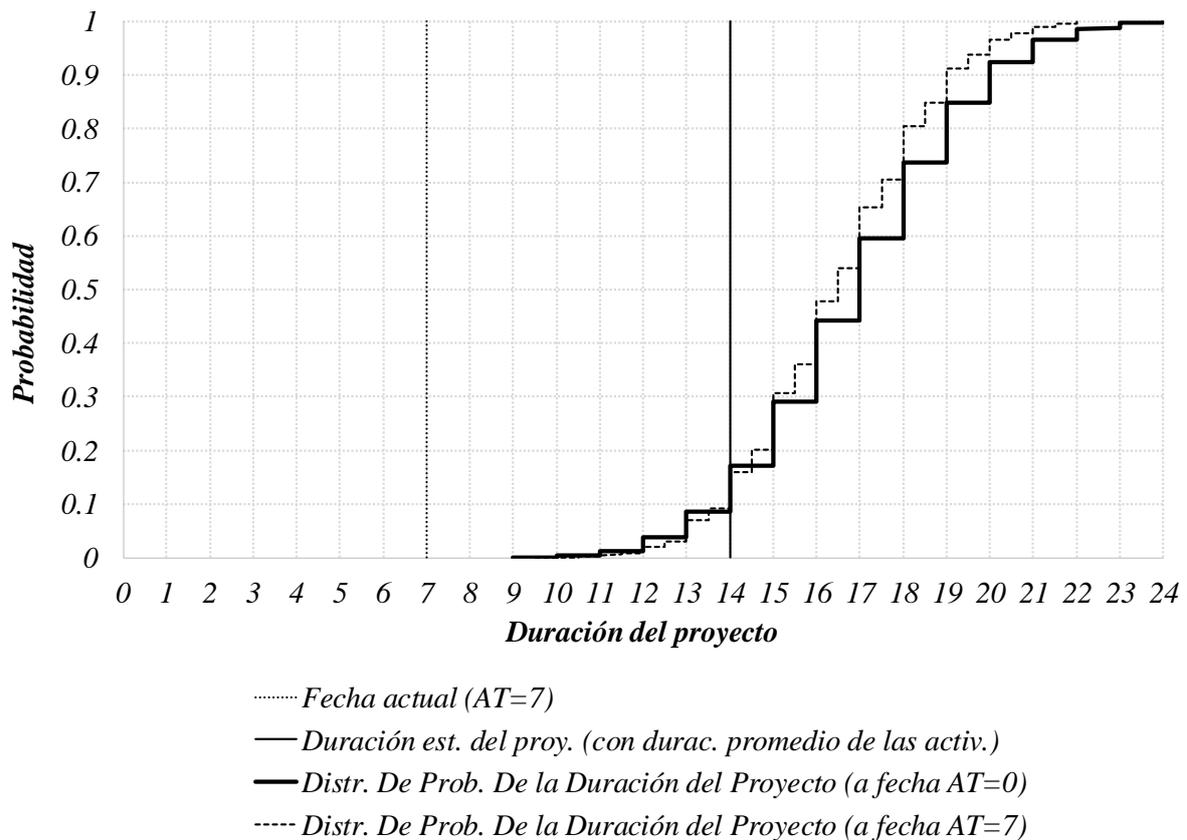


Figura 4: Estimación de la duración del proyecto ficticio en el momento AT=0 (inicio) y AT=7

Inicialmente no parece haber ningún problema: durante los primeros días del proyecto hay muchas actividades que ejecutar. En realidad, generalmente, durante las primeras fases de muchos proyectos sólo existen caminos abriéndose. Si una actividad no puede ejecutarse, muchas veces existen otras actividades en las que los recursos pueden seguir trabajando. Esto es matemáticamente obvio: antes de que una serie de caminos del cronograma converjan, estos caminos tienen que haberse abierto con anterioridad. Pero, posteriormente, a medida que el proyecto progresa, aquellos caminos que se abrieron, deben cerrarse. Y cada vez que dos o más actividades convergen en una, por el fenómeno de la confluencia, se generan retrasos adicionales que únicamente es posible computar si el cronograma se procesa con simulaciones de Monte Carlo o por otras técnicas como el M-PERT (Ballesteros-Pérez, 2017a). Finalmente, todos esos retrasos se acumularán y generarán un retraso probablemente significativo en la duración total del proyecto.

Éste es el motivo por el que muchos proyectos no parecen experimentar un retraso inicialmente (durante las fases en la que los caminos se abren) y, de repente, el Director del Proyecto empieza a perder el control gradualmente y el proyecto suele acabar irremediamente tarde. Efectivamente es casi irremediable, el proyecto tenía muchas probabilidades de acabar tan tarde desde el principio, pero utilizando una simplificación determinista del PV forzó una estimación optimista de su duración que posteriormente casi seguro no se iba a cumplir.

Por tanto, una vez el proyecto ya empieza a mostrar signos de retraso, es probable que ya sea tarde para implementar acciones correctivas. Los recursos entre actividades ya son difícilmente transferibles a estas alturas y/o las actividades ya no son fácilmente compresibles por encima de ciertos límites (Ballesteros-Pérez 2017b).

Por tanto, no hubo ninguna alerta por parte de la técnica del EVM. Al menos no la hubo a tiempo de reaccionar. Pero, curiosamente, este fenómeno no ha ocurrido simplemente por culpa de no haber tenido una curva de PV suficientemente representativa. Existe un fenómeno adicional al fenómeno de la confluencia que será comentado en la siguiente sección.

3. Discusión

Una forma inteligente de acometer esta limitación de la técnica del análisis de valor Ganado habría sido el generar miles de iteraciones (simulaciones) a qué ritmo el presupuesto del Proyecto se habría gastado, es decir, generar múltiples curvas del PV. Entonces, con todas esas curvas, se podría haber tomado, por ejemplo, el promedio en cada momento del tiempo y así haber generado una curva promedio realmente representativa contra la cual, la futura curva del EV podría haberse comparado de forma más representativa (la curva del AC no tiene ningún problema por lo que será dejada de lado de ahora en adelante). Pues bien, esta curva promedio del PV, así como la curva representado los valores 'medianos' (en lugar del promedio) del PV han sido representados en la Figura 5.

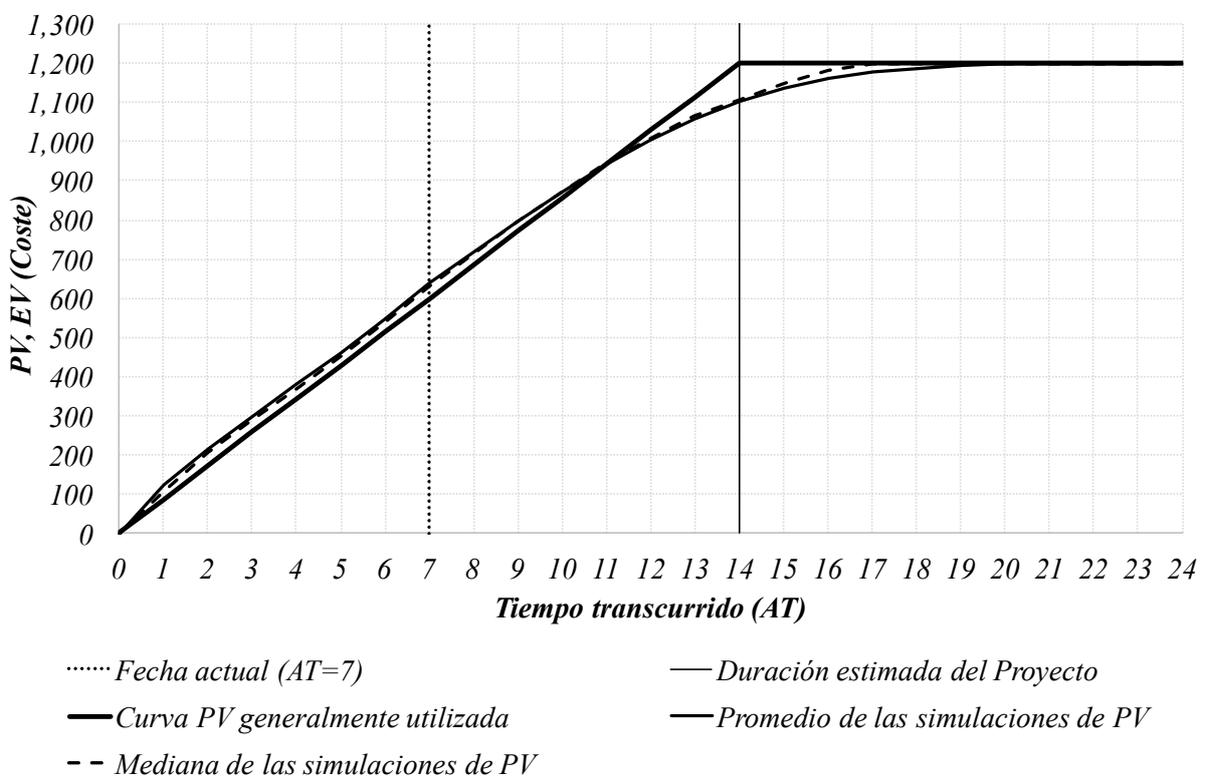


Figura 5: Valor Planificado comúnmente asumido y el Valor Ganado 'real' promedio y mediano

Los resultados son bastante sorprendentes en dos aspectos. Primero, cerca del final, tanto las curvas promedio como la mediana permanecen por debajo de la curva (línea recta) comúnmente asumida como el PV. Esto ocurre por el fenómeno de la confluencia descrito con anterioridad.

Al observar cómo evolucionan la curva promedio y mediana hacia el final del proyecto es sencillo discriminar también que la curva más representativa no es la promedio, sino la mediana. Esto es así porque la curva mediana completa el proyecto (es decir, alcanza el gasto de 1200 unidades monetarias) en el día 17 (aproximadamente). La curva promedio, por el contrario, es asintótica a la finalización del proyecto, es decir, nunca lo acaba de alcanzar. Esto ocurre porque mientras haya una sola simulación, es decir, la más mínima probabilidad de que una iteración del PV no se haya completado en cualquier duración (por largo que sea el tiempo empleado) la curva promedio del PV jamás acabará de adherirse a la línea horizontal de 1200 unidades monetarias.

En resumen, la curva mediana del PV (la que representa cuando la mitad de las simulaciones han completado el proyecto) es mucho más aconsejable como línea de base que el valor promedio de PV, incluso cuando ambas se hayan calculado con simulaciones de Monte Carlo.

En segundo lugar, tanto la curva promedio como la mediana del PV se encuentran inicialmente por 'encima' de la curva comúnmente asumida del PV (la línea recta). Éste fenómeno es la primera vez que se ha descrito en la literatura del valor ganado y será probablemente digno de especial atención. En particular, al simularse cualquier número de actividades en paralelo (mayor o igual que dos), las cuales gastan/consumen dinero en su ejecución (incluso aunque este consumo sea de forma lineal con su duración) la curva PV del gasto es curva y en las primeras etapas se encuentra 'por encima' de la curva que hoy en día se asume como la más representativa. Este inesperado efecto matemático que está, en realidad, representando por dónde transcurre la situación promedio de evolución del gasto de nuestro proyecto, va a 'engañar' al Director del proyecto. Esto es así porque en los primeros días, el director del proyecto creerá que el proyecto va 'mejor' que lo que asumió como curva del PV para cada momento. En realidad, su proyecto no va mejor, va aproximadamente cómo se esperaba, es sólo que el Director de Proyecto no sabía que el promedio de las simulaciones transcurren por un gasto más optimista al principio.

Lamentablemente, al no conocer adecuadamente por dónde transcurre la curva mediana del PV, nuestro Director del Proyecto, tras la fase de optimismo va a pasar a la fase en la que el proyecto se va a retrasar (en nuestro ejemplo alrededor del día 11). Implementar acciones correctivas en ese momento ya va ser muy tarde: el proyecto ya lleva unos días 'cayendo', muy lentamente, pero deteriorándose igualmente. El Director de proyecto llega tarde, y el EVM no le ha ayudado a darse cuenta en absoluto.

Por tanto, la técnica del valor ganado (EVM) es, al menos tal y como se concibe hoy en día, peligrosamente engañosa: frecuentemente hará creer al Director de Proyecto que todo va mejor de lo esperado en fases tempranas del proyecto. No obstante, posteriormente, probabilísticamente hablando, el proyecto comenzará a progresar más lentamente de lo esperado, pero este retraso se hará evidente generalmente

mucho más tarde de cuando realmente empezó y cuando hayan oportunidades muy limitadas para corregirlo. Es más, esta situación no puede ser simplemente solventada con la utilización de la curva ‘mediana’ del PV tal como se representó en la Figura 5. Esto es porque, tal como se demostró al principio, las métricas del EVM miden ‘cantidad de trabajo’ sin diferenciar qué actividades están siendo realmente ejecutadas, es decir, si su orden de ejecución es el más propicio para acortar la duración del proyecto.

4. Conclusiones

Las mayores limitaciones de la técnica del EVM han sido destacadas en esta comunicación. Esta técnica es utilizada por muchos Directores de Proyecto en todo el mundo y también es una de las técnicas más referenciadas a nivel de investigación para el seguimiento y control de proyectos por muchas guías de proyectos (p. ej. El PMBoK, la IPMA competence baseline, el APMBok). Sin embargo, sin excepción, al ignorar la inherente variabilidad de las actividades y el fenómeno de la confluencia, las tareas de monitorizar el avance y duración del proyecto con esta técnica da una visión desafortunadamente optimista cuando el proyecto tiene no solo actividades en serie (el caso de casi todos los proyectos reales, de hecho). Es más, incluso en caso en los que las actividades no tienen variabilidad, la técnica del EVM aún puede proporcionar mediciones de avance engañosas. Esto ocurre porque la ‘cantidad de trabajo ejecutado’ no considera si dicho trabajo fue ejecutado en fases anteriores en el orden oportuno para minimizar la duración del proyecto en fases posteriores.

La influencia de esta variabilidad no contabilizada en la duración de las actividades es diferente, no obstante, para cada industria. En el sector industrial, en general, se tiende a trabajar bajo techo (menor influencia meteorológica, por ejemplo), con productos semi-repetitivos (mayor oportunidad de aprender del pasado) y con equipos de trabajo y clientes relativamente más estables. Esto podría limitar la variabilidad de las duraciones y así causar un impacto menor en los sesgos optimistas descritos aquí. Por otro lado, el sector de la construcción necesita entregar proyectos con condiciones generalmente sujetas a mayor incertidumbre (los proyectos se ejecutan en gran parte expuesto a la intemperie, son productos más diferenciados o incluso únicos, cambios en el equipo de proyecto son la casi la norma, las ubicaciones suelen ser también distintas, etc.). No es tan sorprendente por tanto que el sector de la construcción sea uno de los que sufre mayores retrasos (respecto de lo planificado al menos) comparado con tantos otros. Las actividades de construcción sufren de mayor variabilidad, y los fenómenos descritos aquí serán más extremos que en otros sectores.

Lo que está claro es que aún es necesaria más investigación en EVM y que los investigadores deberían ser capaces de explicarles a los profesionales porqué esto es necesario. Muchos agentes pueden tomar parte en este proceso: las universidades con las técnicas y herramientas de planificación que enseñan y sobre las que hacen investigación; las asociaciones profesionales por medio de formar a sus profesionales y concienciarles de las limitaciones de cada herramienta; los desarrolladores de software por medio de progresivamente ir avanzando hacia productos estocásticos más avanzados (pero mucho más precisos); y finalmente las

empresas públicas y privadas por medio de implementar técnicas de planificación más adecuadas dependiendo del fin y circunstancias de cada proyecto.

En este sentido, hay otras técnicas de planificación alternativas a las que un Director de Proyectos puede recurrir, que son generalmente más precisas, y que generalmente no se suelen enseñar en muchos cursos de dirección de proyectos (p. ej. Análisis de Riesgo en la Planificación, Schedule Risk Analysis SRA (Vanhoucke 2009)). Estas técnicas no son mucho más difíciles de aprender, pero incluso si lo fueran, el esfuerzo valdría la pena.

Apéndice

Resumen de los cálculos de las métricas del EVM en el momento $AT=7$ con $PV=600$, $AC=600$ y $EV=650$:

$SV=EV-PV=50>0$ $SPI=EV/PV=1.08>1$ → Proyecto adelantado (Incorrecto)

$CV=EV-AC=25>0$ $CPI=EV/AC=1.04>1$ → Proyecto con sobrecoste (Correcto)

Cálculos de las métricas con la Programación Ganada ES en el momento $AT=7$ y $ES=7.58$:

$SV(t)=ES-AT=0.58>0$ $SPI(t)=ES/AT=1.08>1$ → Proyecto adelantado (Incorrecto)

Cálculos con el p-factor en el momento $AT=7$ y $p=0.93$, $EV(e)_{min}=EV \cdot p=604.5$ y $ES_{EV(e)}=7.05$:

$SV=EV(e)_{min}-PV=4.5>0$ $SPI=EV(e)_{min}/PV=1.01>1$ → Proj. adelantado (Incorrecto)

$SV(t)=ES_{EV(e)}-AT=0.05>0$ $SPI(t)=ES_{EV(e)}/AT=1.01>1$ → Proj. adelantado (Incorrecto)

Los cálculos de los indicadores de predicción del tiempo (Time Forecasting indicators EAC(t)) independientemente de que utilicen PV, ED ó ES, también arrojarán estimaciones optimistas de la duración del proyecto (duraciones inferiores a 14 días) ya que las desviaciones y los indicadores de rendimiento son superiores a 0 y 1, respectivamente, en todos los casos.

Los cálculos de todos los indicadores de predicción del coste (Cost Forecasting indicators EAC) serán precisos únicamente si el factor de rendimiento (Performance Factor PF) utilizado dependen enteramente del CPI. Si no es el caso ($PF=SPI$, $SPI(t)$, SCI o $SCI(t)$) entonces tampoco lo serán.

Referencias

Ballesteros-Pérez, P. (2017a) M-PERT. A Manual Project Duration Estimation Technique For Teaching Scheduling Basics. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(9), 4017063.

Ballesteros-Pérez, P., (2017b) Modelling The Boundaries Of Project Fast-Tracking. *Automation in Construction*, 84, 231–241.

Lipke, W. (2003) Schedule is different. *The Measurable News, Summer*, 31–34.

Lipke, W. (2004) Connecting Earned Value to the schedule. *The Measurable News*, 1, Winter, 6–16.

Vanhoucke, M. (2009) *Measuring Time - Improving project performance using Earned Value Management*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin: Heidelberg.

Vanhoucke, M. (2011) On The Dynamic Use Of Project Performance And Schedule Risk Information During Project Tracking. *Omega*, 39(4), 416–426.

Vanhoucke, M. (2012) *Project Management With Dynamic Scheduling*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin: Heidelberg.

Agradecimientos

El desarrollo del presente trabajo fue financiado en el Reino Unido por la CIOB bajo el Bowen Jenkins Legacy Research Fund (Grant number BLJ2016/BJL.01).