

# **ESTRATEGIA DE CONTROL DE PROYECTOS ORIENTADA A REDUCIR LA INCERTIDUMBRE ACUMULADA COMO CONSECUENCIA DE SU DESARROLLO**

C. Barreto Cabrera<sup>1</sup>; S. Capuz Rizo<sup>2</sup>; J. Ordieres Meré<sup>3</sup>

1- Instituto Tecnológico de Zacatepec (México).

2- Universidad Politécnica de Valencia.

3- Universidad de La Rioja.

## **RESUMEN.**

En este trabajo se analiza la relación entre la variabilidad temporal de las tareas y los mecanismos de control del proyecto. Se parte de la hipótesis de que la consideración de la duración de las diferentes tareas de un proyecto como variables aleatorias, permite pensar en una distribución temporal de las tareas de control del proyecto con una estrategia diferente a las de fin de las tareas o de los paquetes de trabajo tradicionales.

En este caso se tratará de estimar la “incertidumbre” acumulada a lo largo del proyecto, y en la forma en que estas tareas de control establecen una medida del avance, tienden a reducir esta incertidumbre. En consecuencia, se propone un método para disponer estos puntos de control de manera que se pueda reducir la incertidumbre acumulada del proyecto.

Para evaluar los resultados se realizarán varias simulaciones con herramientas estadísticas, con el fin de analizar el impacto que puede alcanzarse mediante la introducción de las mencionadas estrategias.

## **ABSTRACT**

In this paper, the relation between the tasks' time variability and the project control mechanisms are analysed. Basing on the idea that the duration of the different tasks of a project may be considered as random variables, we can infer a distribution -based on time- of the project control tasks, with a strategy different from the traditional work packages or from those defined by the tasks' ending.

In this case, we will try to estimate the accumulated uncertainty all along the project, and the way in which these control tasks establish a progression measure. Therefore, they usually reduce this uncertainty. As a consequence, we propose a method to provide these control points so that the project accumulated uncertainty could be reduced.

To evaluate the results, we will practice with a wide range of simulations with statistical tools, in order to analyse the influence of the introduction of such strategies.

## 1. INTRODUCCION.

Si bien los proyectos se programan, durante su desarrollo raramente estos siguen el plan inicial, por lo cual se hace necesario plantear actividades de control que no agregan valor al producto, más bien significan un coste por lo cual es preciso optimizar el uso de estas.

Se puede observar en la literatura múltiples aproximaciones a nuevas o mejoradas técnicas de programación (Patterson [3], Demeulemeester y Herroelen [1 y 2], Cotrell [8], Herroelen y Leus [9]), pero no se percibe el mismo grado de profusión en cuanto a la ubicación de estas actividades de control. Son bien conocidas las técnicas basadas en **control periódico** [4] (que consiste en el establecimiento de actividades de control en periodos regulares de acuerdo a la duración del proyecto y basado en la experiencia y juicio del planificador); esta técnica es empleada con profusión por los administradores de las empresas desde hace muchos años y aún en la actualidad es utilizada muy continuamente. Asimismo se identifica otra técnica de control de un proyecto llamada **monitoreo financiero** la que es utilizada, principalmente, en proyectos dentro del área económica, en ésta la curva de costos "S", puede ser usada como una estrategia sensible para el análisis y monitoreo de un proyecto. En una técnica descrita por Cowell [6], el valor ganado es relacionado con lo gastado, por lo cual se comparan para detectar desviaciones en el proyecto. Más recientemente, en 1998, De Falco y Macchiaroli [5] en un artículo titulado "Timing of control activities in project planning", proponen una estrategia de **control por una función de esfuerzo** donde el problema es definido como una función que exprese el esfuerzo requerido en cada marco de tiempo y así asignar las actividades de monitoreo y control de la función de densidad, cuya forma es asumida siguiendo una curva normal. Un año más tarde, en 1999, Bushuyev y Sochnev [9], en su

artículo “Entropy measurement as a project control tool”, proponen una técnica de **control del proyecto en términos de entropía**, entendiéndose ésta como el número de eventos desfavorables, es decir el retraso de cualquier actividad, entonces las actividades de control se establecen en función de la entropía.

En este trabajo se describe un nuevo método de control realizando una combinación de la estrategia de Control periódico y del Control del proyecto en términos de entropía; el método fue validado, para lo cual se realizó un programa computacional utilizando el paquete estadístico “R” [10].

## 2. MÉTODO PROPUESTO:

El concepto de entropía se define a nivel de tarea y por agregación a nivel de proyecto, como la suma de las entropías de cada tarea del mismo. A nivel de tarea esta entropía considera la incertidumbre de finalización más allá del valor determinista empleado para valorar la duración de la tarea, teniendo en cuenta asimismo la probabilidad de tal finalización, es decir:

$$H = - \int_{T_{det}}^{\infty} \ln(p(t)) \cdot p(t) \cdot dt$$

Esta medida viene a considerar pues los eventos desfavorables que se presentan en un determinado tiempo del proyecto y es por tanto una medida de la incertidumbre temporal en la finalización del mismo. Su consideración temporal permite estudiar la variación en cada instante y de ahí considerar el momento óptimo de localizar las mencionadas actividades de control.

La metodología consiste de los siguientes pasos:

1. Calcular la duración total del proyecto considerando tiempos **deterministas**.
2. Calcular duración total del proyecto considerando tiempos **probabilistas** con diferentes distribuciones de probabilidad (uniforme, normal, beta).
3. Realizar simulaciones utilizando el Método de Montecarlo.
4. Determinar el consumo de **recursos** (media, máximos, mínimos) en cada período del ciclo de vida del proyecto.
5. Determinar los **costos acumulados** asociados a cada paso de tiempo (media, máximos, mínimos).
6. Determinar la incertidumbre en cada unidad de tiempo.
7. Calcular la probabilidad de la entropía asociada a la incertidumbre en cada unidad de tiempo.

8. Por último, establecer la frecuencia o el momento en que se ubicarían a las actividades de control considerando a la entropía.

### 3. APLICACIÓN:

Con la finalidad de validar la metodología propuesta se consideró un proyecto de 14 actividades (ver **Figura 1**), que utiliza tres recursos diferentes. Se ha realizado un programa utilizando el paquete estadístico "R", y se llevaron a cabo simulaciones variando los parámetros siguientes:

- a. Holgura en lanzamiento (de 0%-100%).
- b. Seguridad sobre determinista (de 0%-20%).
- c. Holguras (iniciando con un camino crítico).
- d. Distribución de probabilidad de tareas (uniforme, normal, beta).

Tomando como base la red y la metodología antes mencionados:

1. Se realizaron las simulaciones con las duraciones deterministas (variando la holgura de 0% a 20%), así como probabilísticas (distribución uniforme, normal y beta) empleando simulación de Montecarlo (con uno, dos y tres caminos críticos) y una holgura en lanzamiento de 0% hasta 100%. Cabe aclarar, que 0% se considera con una holgura máxima y 100% sin holgura.

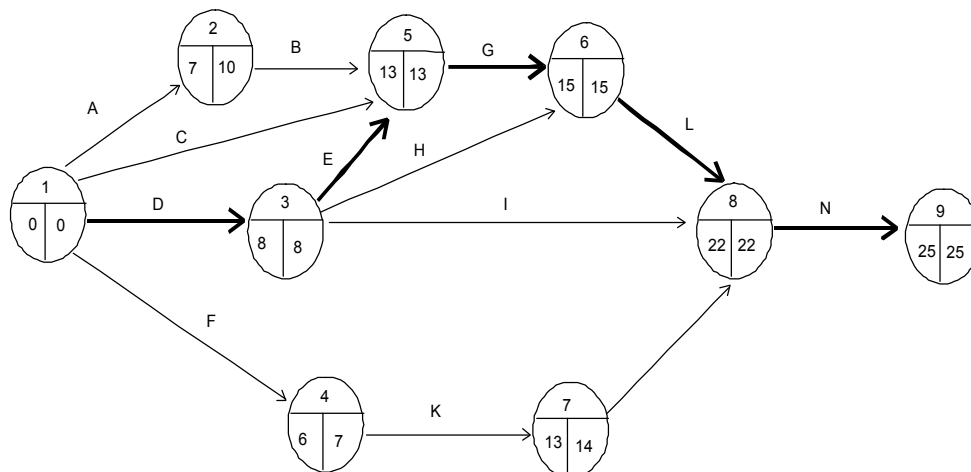


Figura 1: Red PERT del proyecto ejemplo.

2. Se determinó el **consumo de recursos** (consumo máximo, consumo medio y consumo mínimo), en este caso para cada uno de los tres recursos utilizados en el proyecto.

3. Se calcularon los **costos acumulados** al igual que el consumo de recursos, mostrándose de la misma manera que se ha explicado anteriormente.
4. Se realizó el cálculo de la **incertidumbre** y la probabilidad de la **entropía**.
5. Se estableció la ubicación de las actividades de control (cinco para todo el ciclo del proyecto) considerando a la entropía acumulada.

Una vez realizadas las simulaciones y llevado a cabo un análisis de los resultados se observó lo siguiente:

La técnica habitual de la **media** como mejor estimador de la demanda de recursos puede significar una infraestimación importante de los mismos. Ver Figura 2.

La elección de la función de densidad de probabilidad de duración de una tarea no modifica la “forma” de las curvas de la demanda de recursos (y costes) en el tiempo, alterando solamente la “agudeza” de las formas.

La utilización de valores de margen de seguridad sobre duración PERT determinista tiende a reducir en valor absoluto la entropía remanente (Figura 3, Figura 4 y Figura 5).

También se constata que es más acusado el efecto de la estrategia de lanzamiento de tareas desde el punto de vista de la entropía cuanto mayor es el margen de seguridad. Ver las mismas figuras anteriores.

Se constata que la estrategia de lanzamiento As Soon As Possible (ASAP) genera mayor entropía que estrategia As Late As Possible (ALAP), *lo que es consistente con las recomendaciones de técnicas de planificación orientadas a recursos, como es el caso de Cadena Crítica* [9].

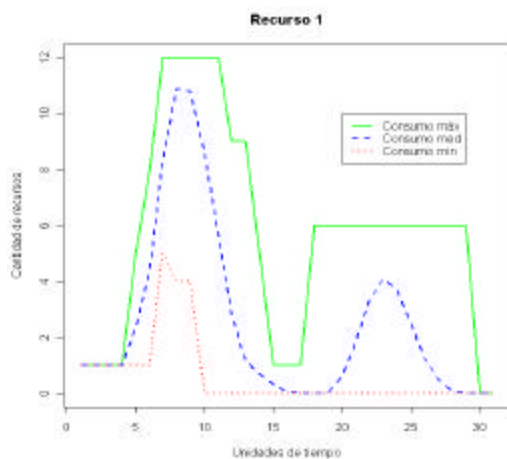


Figura 2: Gráfico del consumo del recurso 1.

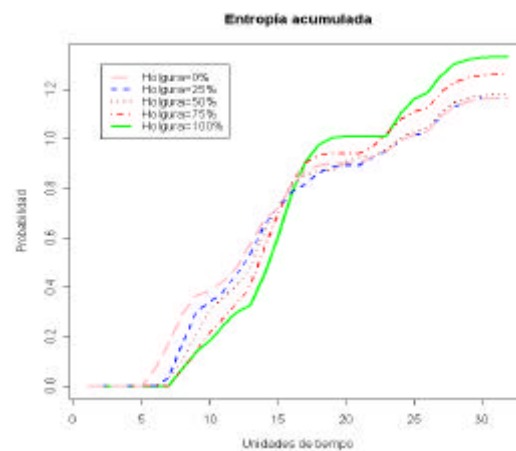


Figura 3: Gráfico de la Entropía acumulada con 0% de seguridad sobre determinista.

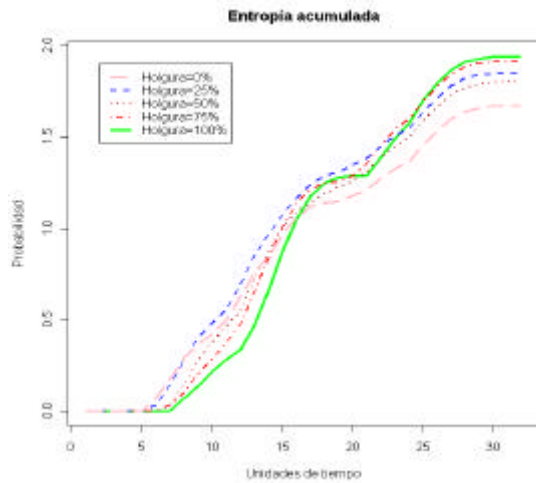


Figura 4: Gráfico de la Entropía acumulada con 10% de seguridad sobre determinista.

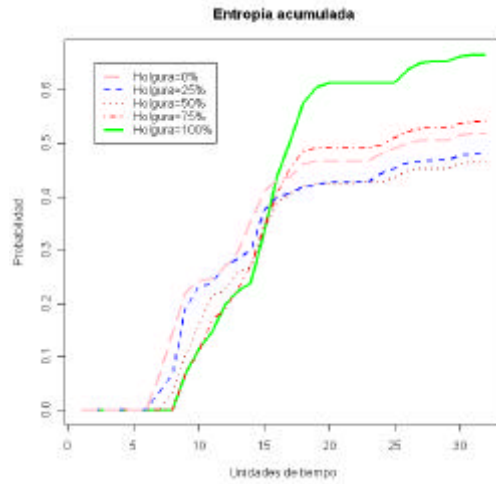


Figura 5: Gráfico de la Entropía acumulada con 20% de seguridad sobre determinista.

La medida de incertidumbre (o riesgo, entendido en esos términos) a través de la entropía llevada de la probabilidad en exceso de la duración determinista aportada por cada tarea resulta una métrica no lineal en relación a la estrategia de lanzamiento, siendo la variación más suave para la estrategia “ALAP” y más brusca para estrategia “ASAP”. Ver Figura 6.

La mayor presencia de caminos críticos no altera la entropía de la estrategia “ASAP” pero si reduce la entropía de estrategia tendente a emplear “ALAP” como consecuencia del menor número de tareas con holgura cuanto más caminos críticos existen. Ver Figura 7, Figura 8 y Figura 9.

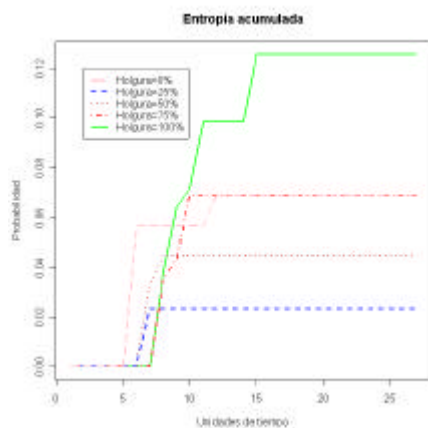


Figura 6: Gráfico de la Entropía acumulada para 10% de seguridad sobre determinista (distribución beta y un camino crítico).

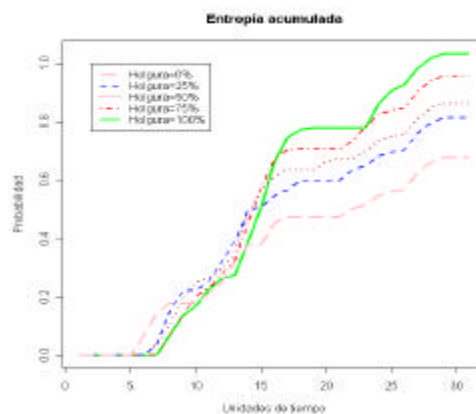


Figura 7: Gráfico de la Entropía acumulada con un camino crítico (distribución uniforme).

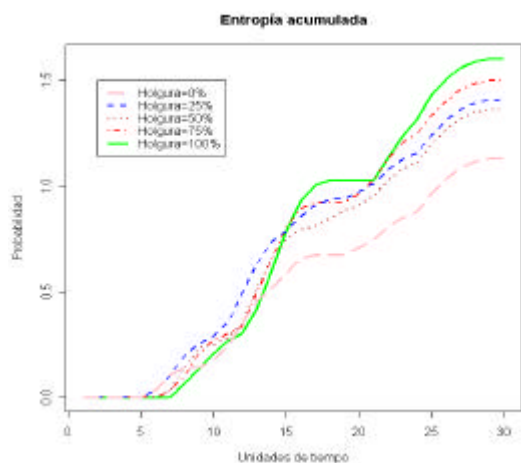


Figura 8: Gráfico de la Entropía acumulada con dos caminos críticos (distribución uniforme).

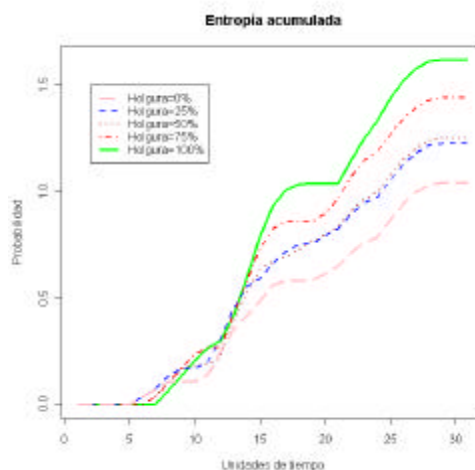


Figura 9: Gráfico de la Entropía acumulada con tres caminos críticos (distribución uniforme).

Desde el punto de vista de ubicación de las actividades de control se observa un comportamiento consistente tanto si se varía la holgura de lanzamiento como si lo hace el porcentaje de holgura sobre estimador determinista. Asimismo se constata la consistencia en función del número de caminos críticos observando que:

- La interdistancia entre actividades de control se reduce al aumentar el número de caminos críticos.
- La interdistancia entre actividades de control depende de modo **no lineal** del porcentaje de seguridad que sobre el estimador determinista se adopte.
- Respecto de la holgura se comprueba la mayor pendiente entrópica que presentan los sistemas con menor holgura de lanzamiento.

La ubicación de las actividades de control permiten un equilibrio entre la cantidad de la incertidumbre en las tareas implicadas por un lado, y la reducción de incertidumbre asociada al incremento de seguridad sobre estimador determinista. Esto supone la base para el comportamiento no lineal identificado.

#### 4. CONCLUSIONES:

En conjunto, y como fruto del equilibrio indicado se puede concluir que se trata de una metodología consistente para este fin.

La entropía parece una medida coherente de la incertidumbre en la duración del proyecto y puede ser empleada como criterio de localización de actividades de control.

## 5. BIBLIOGRAFIA:

1. Erick Demeulemeester-Willy Herroelen. 1992. "A branch-and-bound procedure for the multiple resource-constrained project scheduling problem". Management Science. Tomo 38, No. 12, pp. 1803-1818.
2. Erick Demeulemeester-Willy Herroelen. 1996. "An efficient optimal solution procedure for the preemptive resource-constrained project scheduling problem". European Journal of Operational Research, pp. 334-348 .
3. James H. Patterson. 1984. "A comparison of exact procedures for solving the multiple constrained resource, project scheduling problem". The Institute of Management Sciences, Tomo 30, pp. 854-867.
4. Manuel de Cos Castillo. "Dirección de proyectos". Universidad Politécnica de Madrid.
5. Massimo de Falco y Roberto Macchiaroli. 1998. "Timing of control activities in project planning". International Journal of Project Management. Vol. 16, No. 1, pp. 51-58.
6. Richard Stone (editor). 1998. "Management of Engineering projects". Editorial McMillan Education, 1ª. Edición,.
7. Sergey D. Bushuyev y Sergey V. Sochnev. 1999. "Entropy measurement as a project control tool". International Journal of Project Management, Vol. 17, No. 6, pp. 343-350.
8. Wayne D. Cotrell. 1999. "Simplified Program Evaluation and Review Technique (PERT)". Journal of Construction Engineering and Management, pp. 16-22.
9. Willy Herroelen, Roel Leus. "On the merits and pitfalls of critical chain scheduling". Journal of operations management, No. 19, pp. 559-577.
10. <http://www.r-project.org>

## AGRADECIMIENTOS:

Este trabajo esta parcialmente financiado por SUPERA (Institución del Gobierno Mexicano), por el MCYT a través del proyecto DPI2001-1408 y por la Universidad Politécnica de Valencia.

Los autores desean expresar el máximo reconocimiento a las Instituciones por el apoyo recibido.



**CORRESPONDENCIA:**

Capuz Rizo Salvador.

Departamento de Proyectos de Ingeniería. E.T.S.. Ing. Industriales

Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n 466022

Valencia, España.

Teléfono: 96-3879010 Fax: 96-3879869 E-mail: [scapuz@dpi.upv.es](mailto:scapuz@dpi.upv.es)