



Recepción: 14/ 07 / 2018

Aceptación: 25 / 09 / 2018

Publicación: 01 / 11 / 2018

Modelación matemática para la estimación del tiempo de la ruta crítica de un proyecto utilizando el método PERT

Mathematical modeling for estimating the time of the critical path of a project using the PERT method

Modelagem matemática para estimar o tempo do caminho crítico de um projeto usando o método PERT

Elvis Enrique-Arguello ^I

e_arguello@esPOCH.edu.ec

Marco Altamirano-Balseca ^{VI}

marco.altamirano@esPOCH.edu.ec

Wilson J. Villagrán-Cáceres ^{II}

wvillagran@esPOCH.edu.ec

Eder L. Cruz-Siguenza ^V

eder.cruz@esPOCH.edu.ec

Luis F. Buenaño-Moyano ^{III}

lfbuenanio@esPOCH.edu.ec

Correspondencia: e_arguello@esPOCH.edu.ec

^I Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

^{II} Magister en Matemática Básica, Ingeniero en Electrónica y Computación, Tecnólogo en Informática Aplicada, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

^{III} Magister en Gestión del Mantenimiento Industrial, Ingeniero Automotriz, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

^{IV} Magister en Gerencia de la Educación Abierta, Licenciado en Ciencias de la Educación, Profesor de Enseñanza Media en la Especialización de Educación Física, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

^V Magister en Gestión de la Calidad y Productividad, Ingeniero Industrial Mención Gestión de Procesos, Docente De La Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

Existe dentro del área de la administración y la gerencia un sin número de metodologías técnicas, herramientas que sirven para poder tomar la decisión idónea para una organización determinada, la cual puede conllevar a lograr el alcance de los objetivos o simplemente la derrota, por lo cual es muy interesante realizar un análisis en el cual podamos evidenciar o poder contrastar metodologías para determinar la ruta crítica de un proyecto, como los diagramas PERT, y la estimación de tiempos, al aplicar las dos evidenciamos cuál de ellas tiene mayor eficacia al lograr estimar la duración de un proyecto, obteniendo los resultados en el primer caso como se puede apreciar en las gráficas que nos proporciona el método PERT, se utilizó los tiempos pesimista, más probable y optimista en ese orden, obteniéndose como resultado la Ruta D con un tiempo total de 28.33 horas, y de acuerdo al analizar el segundo método el cual es la estimación de tiempos se determinó que la ruta crítica continua siendo D, con un total de 28.53 horas siendo esta la de mayor precisión con una diferencia de 0,2 el cual en una decisión dependiendo del proyecto puede ser de vital importancia, los dos métodos son válidos y muy aplicables dentro de las organizaciones el factor decisivo será el enfoque y tipo de proyecto se quiere desarrollar.

Palabras clave: eficaz; estimación de tiempos; moderación matemática; proyecto; PERT.

Abstract

There is a number of technical methodologies within the administration and management area, tools that can be used to make the right decision for a specific organization, which can lead to the achievement of objectives or simply defeat, which is why it is very interesting to carry out an analysis in which we can prove or be able to contrast methodologies to determine the critical route of a project, such as PERT diagrams, and the estimation of times, when applying both we prove which of them is more effective when estimating the duration of a project, obtaining the results in the first case as can be seen in the graphs provided by the PERT method, we used the pessimistic, most probable and optimistic times in that order, obtaining as a result Route D with a total time of 28.33 hours, and according to the analysis of the second method which is the estimation of times it was determined that the route criticism continues being D, with a total of 28.53 hours being this the one of greater precision with a difference of 0.2 which in a decision depending on the project can be of vital importance, the two methods are valid and very

applicable within the organizations The decisive factor will be the approach and type of project you want to develop.

Key words: effective; estimation of times; mathematical moderation; draft; PERT.

Resumo

Existe dentro da área de administração e gestão uma série de metodologias técnicas, ferramentas usadas para fazer a escolha ideal para uma organização particular, que pode levar a alcançar o alcance das metas ou apenas a derrota, por isso, é muito interessante a realização de uma análise em que podemos demonstrar ou para contrastar metodologias para determinar o caminho crítico de um projeto, tais como diagramas PERT, e estimativa de vezes, ao aplicar os dois vamos mostrar qual deles é mais eficaz na obtenção de estimativa duração de um projeto, obtendo os resultados no primeiro caso, como visto no gráfico que fornece o método PERT, pessimista, mais provável e otimista em que os tempos de ordem foi usado, resultando em Route D com um tempo total de 28,33 horas, e de acordo com a análise do segundo método, que é a estimativa dos tempos, foi determinado que a rota crítica contínua sendo D, com um total de 28,53 horas, sendo o mais preciso com uma diferença de 0,2 que uma decisão em função do projecto pode ser vital, ambos os métodos são válidos e muito aplicável dentro das organizações O fator decisivo será a abordagem e o tipo de projeto que você deseja desenvolver.

Palavras chave: eficaz; estimativa de tempos; moderação matemática; projeto PERT.

Introducción

Cuando un gerente asume la administración de un proyecto, usualmente se le es dado, o impuesto sobre si, una fecha de finalización del trabajo. Una pregunta siempre sale a flote con respecto a sus probabilidades de completar el proyecto en el tiempo antes dado. Si sus posibilidades de completar el trabajo son buenas, el gerente destinará el mínimo necesario de recursos para mantener el presupuesto de gastos lo más bajo posible. Pero si sus probabilidades son muy bajas, deberá sacrificar costos a favor del cronograma.

Por este motivo es importante para el gerente conocer de antemano sus opciones de completar el trabajo a tiempo de modo que pueda destinar la cantidad justa de recursos, por tal razón es muy

importante estimar los tiempos de cada actividad que hay que completar para lograr el objetivo del proyecto.

Metodología

Estimar la duración de las actividades es el proceso de realizar una estimación de la cantidad de períodos de trabajo necesarios para finalizar las actividades individuales con los recursos estimados. el beneficio clave de este proceso es que establece la cantidad de tiempo necesario para finalizar cada una de las actividades. (PMBOK, 2013).

Las herramientas y técnicas que se utilizan para estimar la duración de las actividades tenemos:

JUICIO DE EXPERTOS:

Varias personas con el pasar del tiempo han generado cierto tipo de experticia en proyectos similares, información valiosa que puede ser utilizada para poder realizar una estimación de los tiempos que conllevan concluir una actividad. (GLADYS GBEGNEDJI, 2018).

ESTIMACIÓN ANALÓGICA:

Es una estimación que se lo realiza cuando no existe mucha información del proyecto de modo que realizar una estimación más adecuada resulta complejo. Existe poca información en cuanto a procesos, presupuesto y complejidad, lo que limita la estimación a utilizar información de antecedentes históricos, incluyendo también un juicio de expertos. A pesar de tratarse de una estimación poco costosa y que emplea poco tiempo, resulta también ser la más inexacta. Se la denomina también como “Estimación Descendente” (GLADYS GBEGNEDJI, 2018).

ESTIMACIÓN PERT:

Método PERT, o técnica de evaluación y revisión de programas (Program Evaluation and Review Technique), determina la probabilidad de completar un proyecto en una fecha establecida (A. R. Klinge, 1966).

Asumiendo que todos los elementos en una red son variables aleatorias independientes, una determinará el tiempo estimado para los elementos. Usando los tiempos estimados. El tiempo estimado para completar el proyecto se obtendrá al asumir los valores estimados de los elementos a lo largo de la ruta crítica. Esto es justificado por el teorema de algebra de expectativa, el valor

estimado será la suma de n variables aleatorias, siendo esto igual a la suma de los valores esperados de las variables (A. R. Klinge, 1966).

Las varianzas para todos los elementos son determinado y después añadida a lo largo de la ruta crítica para determinar la varianza del tiempo de conclusión del proyecto. Del mismo modo, esto es similarmente justificado, con la suma de n variables aleatorias independientes es igual a la suma de sus varianzas. Solo así, es cuando se asume que la distribución para completar el proyecto es normal, y que la media y varianza conocida, y la probabilidad de completar el trabajo puede determinarse mediante tablas de probabilidad. Bajo varias circunstancias los cálculos obtenidos darán estimaciones satisfactorias (A. R. Klinge, 1966).

Las siguientes fórmulas PERT aparte de ser las más básicas, también son las más usadas a nivel mundial:

$$\mu_e = (a + 4m + b)/6 \quad (1a)$$

$$\sigma_e = (b - a)/6 \quad (1b)$$

Donde, μ_e y σ_e son, respectivamente, la media estimada y la desviación estándar estimada de una tarea con tiempo T , y a , m y b son, respectivamente, la estimación de un experto para “optimista”, “más probable”, y “pesimista”, en cuanto a conclusión del trabajo se refiere.

Sin embargo, las aplicaciones de (1a) y (1b) no están limitadas a proyectos de red PERT, debido a su relevancia para estimar cantidades inciertas en cualquier modelo estocástico ha sido reconocida desde hace tiempo; por ejemplo, DeCoster (1964) en su trabajo de contabilidad de gestión, Ostwald (1974) en su escrito de estimación de costos en ingeniería, y Van Horne (1980) en presupuestando capital y administración financiera.

Desventajas del método PERT:

Cambiar la definición de las tareas

El método PERT obliga a definir las actividades, como acciones independientes una de otra. Estas deben ser autónomas desde el inicio, con una duración, y costo definido, indicando también los otros recursos necesarios. En el mundo real, las situaciones pueden cambiar conforme el proyecto avanza. Si bien puede revisar PERT para tener en cuenta dichos cambios, la preparación

de la tabla PERT inicial para un proyecto requiere mucho tiempo y requiere mucha mano de obra. Hacer modificaciones importantes en el cuadro a mitad de proyecto suele ser difícil. Como resultado, se suele trabajar con un gráfico PERT que ya no retrata con precisión el proyecto (Markgraf, 2018).

Estimación subjetiva de tiempo

La tabla PERT acepta estimaciones subjetivas del gerente del proyecto enfocada en estimar la duración de las actividades. Su precisión está limitada por la fiabilidad de cada una de las estimaciones de la duración de la tarea. El gráfico sigue siendo razonablemente preciso si algunas tareas llevan más tiempo y algo menos de tiempo, de acuerdo con una distribución de probabilidad. En proyectos reales tal distribución puede no aplicarse, si una parte particular del trabajo enfrenta problemas y todas las tareas en esa área de actividad son tardías. Cuando la duración de estas tareas aumenta, las tareas para las que son prerrequisitos se retrasan, y es posible que tenga que realizar revisiones importantes en el diagrama PERT para que vuelva a ser relevante (Markgraf, 2018).

Actividades cercanas a la ruta crítica

Una de las características clave de los gráficos PERT es la capacidad de mostrar una ruta crítica. La ruta crítica es la secuencia de las tareas del proyecto que tiene la duración más larga, y la duración total determina la fecha de finalización del proyecto. El sistema PERT pretende que se concentre en estas tareas críticas para asegurarse de que la fecha de finalización del proyecto no se modifique. El gráfico puede contener secuencias de tareas similares, cuya duración total es un poco menor, y las tareas, por lo tanto, no son críticas. Si una de estas tareas lleva más tiempo de lo estimado, la ruta crítica puede cambiar a medida que la nueva secuencia se convierte en la que tiene la duración más larga. En este caso, el gerente se ha centrado en las tareas incorrectas (Markgraf, 2018).

Estimación de Tiempo Subjetivas

Método de fractiles

Estimar a , m y b en PERT es el paso inicial para obtener la “distribución subjetiva de probabilidad” del tiempo T . Existe una amplia literatura sobre tanteo de distribuciones subjetivas

de probabilidades (por ejemplo, Hampton et al., 1973; Chesley, 1975; Spetzler y Stael von Holstein, 1975). De estos escritos, demuestra que la forma más sencilla y común de tanto para la distribución subjetiva de probabilidad T es la del método de los fractiles (también es conocido como método de cuantiles).

Se define T_{α} como un fractile de T. Por ejemplo, $T_{0.1}$ es el fractil 0.1, en otras palabras, $\text{Prob}(T < T_{0.1}) = 0.1$. En el método fractil, un número de niveles de fractiles requeridos α_i , es especificado, y a los expertos se le es consultado un estimado de estos fractiles. Por ejemplo, si se define a α_i como 0.05; 0.5; 0.95, entonces el experto es preguntado para estimar $T_{0.05}$, $T_{0.5}$, $T_{0.95}$.

Además, y con referencia a la literatura recientemente mencionada, el procedimiento PERT para estimar a, m y b tiene los siguientes pasos.

Ambigüedad de A y B

Para el desarrollador original del PERT (Malcolm et al., 1959), a y b son “los fines absolutos”. Reconfirmado por Littlefield y Randolph (1987) y Gallaguer (1987), (1a) y (1b) son válidas únicamente para una pequeña porción de distribuciones, si y solo si, a=al inicio y b=al final. Sin embargo, literatura referente al tanteo de posibilidades (Alpert y Raiffa, 1960) así como el sentido común indica que es difícil para una persona estimar precisamente los puntos absolutos del inicio y final en una cantidad estocástica.

Estimación de M

Preguntar a una persona en estimar m no es lo mismo que preguntarle por un cuartil, debido a que corresponden a cuantiles en diferentes distribuciones. Sin embargo, parece que no hay evidencia que un experto pueda estimar un fractil central (por ejemplo, la mediana) más precisamente que un valor modal, una larga cantidad de conocimiento empírico se ha ido acumulando en la literatura de la probabilidad de tanteo en estimación de fractiles; en contras, es muy poco conocida la estimación modal.

En adición, Trout (1989) y su trabajo menciona una muy curiosa suposición: la mayoría de los gerentes no están totalmente seguros acerca de la diferencia entre la moda y la mediana. Por lo tanto, cuando a un gerente se le pregunta que haga tres estimaciones (a, b, m) donde 2 (a, b) son

fractiles, pero uno no lo es, el gerente terminará dando la mediana (un cuantil) en vez de la moda para m . Desafortunadamente, la diferencia entre la media y la moda puede ser muy sustancial para el tipo de distribución asimétrica que el PERT está explícitamente diseñado a sobrellevar.

Especificaciones de un método fractil “limpio”

Los argumentos presentados anteriormente sugieren que uno debería usar un método de los fractiles “limpio”. En otras palabras, solo los fractiles que están por ser usados y sus niveles de cuantiles (α_i) deben ser claramente especificados. La siguiente pregunta es: ¿cuáles y cuantos fractiles deben ser estimados?

La estandarizada variable aleatoria “s” tiene un rango (0,1). su densidad de función tiene solo dos parámetros (p, q), es:

$$f_{s\beta}(s) = \frac{s^{p-1}(1-s)^{q-1}}{B(p,q)}, (0 \leq s \leq 1, p > 0, q > 0) \quad (2a)$$

Donde $B(p, q)$ es la función evaluada en (p, q) .

Sin embargo, la generalización de la variable “x” en el modelo clásico PERT puede tener cualquier rango (U, V), por lo tanto, la densidad de la función es:

$$f_{\beta}(x) = \frac{(x-U)^{p-1}(V-x)^{q-1}}{B(p,q)(V-U)^{p+q-1}}, (U \leq x \leq V, p > 0, q > 0) \quad (2b)$$

Las variables x y s en (2a) y (2b) son relacionadas por la transformación lineal $s=(x-U)/(V-U)$. $f_{\beta}(x)$ tiene cuatro parámetros (U, V, p, q). Debido a los fractiles que van a ser usados para encajar en esta distribución de 4 parámetros, resulta de cierto modo ilógico utilizar menos de al menos 4 estimaciones.

Después de comparar empíricamente varios esquemas de estimación de fractiles, Selvidge (1980) mostró que el siguiente procedimiento de estimación de fractiles era el mejor:

Evaluar siete fractiles. Es decir, los tres fractiles centrales: los fractiles 0.25, 0.50 y 0.75; y los cuatro fractiles extremos: el 0.01, 0.10, 0.90 y 0.99 fractiles.

Evalúa primero los fractiles centrales.

Media y desviación estándar para estimación de tiempos

Propiedades básicas de la distribución

Para $f_{\beta}(x)$ dada en (2b), la media y desviación estándar de x es:

$$\mu = U + \frac{(V - U)p}{p + q} \quad (3a)$$

$$\sigma = (V - U)\sqrt{pq[(p + q + 1)(p + q)^2]} \quad (3b)$$

Los parámetros (U, V) en $f_{\beta}(x)$ son los puntos finales de la distribución, mientras que los parámetros (p, q) controlan la forma de la distribución. La distribución es simétrica si $p/q=1$; sus variaciones se ven directamente afectadas cuando la proporción p/q cambia.

Fórmulas alternativas para μ y σ

Se define en primera instancia las siguientes “inter fractiles sumas y diferencias simétricas”:

$$S01 = T_{0.99} + T_{0.01}; \quad D01 = T_{0.99} - T_{0.01}$$

$$S10 = T_{0.90} + T_{0.10}; \quad D10 = T_{0.90} - T_{0.10}$$

$$S25 = T_{0.75} + T_{0.25}; \quad D25 = T_{0.75} - T_{0.25}$$

Pearson y Turkey's (1965) sugieren que una distribución μ y σ puede ser aproximada por una función linear de distribuciones fractiles, de la siguiente forma:

Para 7 fractiles:

$$\mu = k_1(S01) + k_2(S10) + k_3(S25) + k_4(T_{0.5}) \quad (4a)$$

$$\sigma = k_5(D01) + k_6(D10) + k_7(D25) \quad (4b)$$

Para 5 fractiles:

$$\mu = c_1(S10) + c_2(S25) + c_3(T_{0.5}) \quad (5a)$$

$$\sigma = c_4(D10) + c_5(D25) \quad (5b)$$

Donde las constantes k_i y c_i deben ser determinadas

Estimación de las constantes k_i y c_i para (5) y (6)

El objetivo es determinar los valores de k_i y c_i , en (4) y (5) que estimarán μ y σ con precisión para todas las distribuciones (es decir, para todas las combinaciones de parámetros p y q). Los valores de k_i y c_i ; aplicable a un conjunto de parámetros (U, V) también debería ser aplicable a todos los demás conjuntos de (U, V) ; por lo tanto, solo necesitamos considerar distribuciones beta 'estandarizadas' con $U = 0$ y $V = 1$.

Generando un sinfín de valores aleatorios para (p, q) , se pudo generalizar lo siguiente:

Para 7 fractiles:

$$\mu_e = 0.04 \cdot S01 + 0.11 \cdot S10 + 0.23 \cdot S25 + 0.24 \cdot T_{0.5} \quad (7a)$$

$$\sigma_e = 0.2 \cdot D01 - 0.6 \cdot D10 + 1.2 \cdot D25 \quad (7b)$$

Para 5 fractiles:

$$\mu_e = 0.04 \cdot (S01 - S25) + T_{0.5} \quad (8a)$$

$$\sigma_e = 0.7 \cdot D10 - 0.59 \cdot D25 \quad (8b)$$

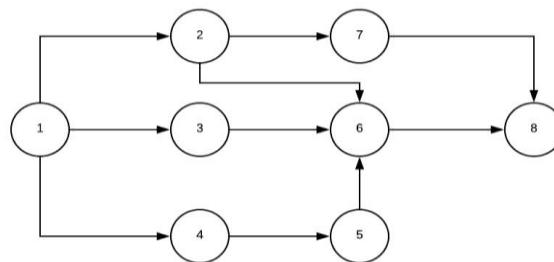
Esta sección ha desarrollado fórmulas para μ_e y σ_e usando fractiles a niveles de 0.01, 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 0.90 y 0.99.

Ejemplo

La siguiente red para cierto proyecto es mostrada en la figura a continuación, se solicita determinar la estimación de tiempo para la ruta crítica:

Se debe considerar que la actividad 1 es el inicio del proyecto, mientras que la 8 es el fin de este.

Grafica 1: Grafica de RED del proyecto



Fuente: Autor

Se debe considerar 4 rutas:

Ruta A: 1-2-7-8

Ruta B: 1-2-6-8

Ruta C: 1-3-6-8

Ruta D: 1-4-5-6-8

Se comienza aplicando el método PERT clásico para determinar la ruta crítica y para poder contrastarlo con las fórmulas planteadas.

Tabla 1: Análisis de datos por el método clásico PERT

Ruta	Actividad	$T_{0,99}$	$T_{0,5}$	$T_{0,01}$	μ	μ_e
A	1 a 2	11	8	6	8,17	26,34
	2 a 7	12	10	8	10	
	7 a 8	12	8	5	8,17	
B	1 a 2	11	8	6	8,17	26,83
	2 a 6	14	8	4	8,33	
	6 a 8	15	10	7	10,33	
C	1 a 3	9	7	3	6,67	27
	3 a 6	12	10	8	10	
	6 a 8	15	10	7	10,33	
D	1 a 4	10	7	5	7,117	28,33
	4 a 5	8	6	4	6	
	5 a 6	6	5	3	4,83	
	6 a 8	15	10	7	10,33	

Fuente: Autores

Como se puede apreciar, se está utilizando los tiempos pesimista, más probable y optimista en ese orden, obteniéndose como resultado la Ruta D con un tiempo total de 28.33 horas.

A continuación, se aplicará la estimación de tiempo para 7 fractiles:

Tabla 2: Estimación de tiempos por Fractiles

Ruta	Actividad	$T_{0.99}$	$T_{0.90}$	$T_{0.75}$	$T_{0.5}$	$T_{0.25}$	$T_{0.10}$	$T_{0.01}$	S01	S10	S25	μ	μ_e
A	1a2	11	10,95	9,5	8	7	6,05	6	17	17	16,5	8,265	
	2a7	12	11,96	11	10	9	8,04	8	20	20	20	10	26,53
	7a8	12	11,93	10	8	6,5	5,07	5	17	17	16,5	8,265	
B	1a2	11	10,95	9,5	8	7	6,05	6	17	17	16,5	8,265	
	2a6	14	13,9	11	8	6	4,1	4	18	18	17	8,53	27,325
	6a8	15	14,92	12,5	10	8,5	7,08	7	22	22	21	10,53	
C	1a3	9	8,94	8	7	5	3,06	3	12	12	13	6,47	
	3a6	12	11,96	11	10	9	8,04	8	20	20	20	10	27
	6a8	15	14,92	12,5	10	8,5	7,08	7	22	22	21	10,53	
D	1a4	10	9,95	8,5	7	6	5,05	5	15	15	14,5	7,265	
	4a5	8	7,96	7	6	5	4,04	4	12	12	12	6	28,53
	5a6	6	5,97	5,5	5	4	3,03	3	9	9	9,5	4,735	
	6a8	15	14,92	12,5	10	8,5	7,08	7	22	22	21	10,53	

Fuente: Autor

Se determinó que la ruta crítica continúa siendo D, con un total de 28.53 horas

Resultados

Al contrastar los resultados obtenidos entre el método clásico PERT, y el modelado, se pudo apreciar que las estimaciones son los mismos, considerándose el nuestro como un poco más exacto debido a la mayor cantidad de fractiles tomados en cuenta.

La ruta crítica tampoco varía notablemente

Conclusiones

A pesar de que están bien establecido los defectos lógicos de la formula PERT, varios de los estándares lo siguen utilizando sin mencionar ninguna de sus falencias. La justificación brindada es:

Son buenas aproximaciones

No existe una alternativa más simple

En este trabajo se ha demostrado:

La fórmula (1) no brinda buenas aproximaciones en varios escenarios

Se desarrolló una fórmula relativamente simple de aplicar (7 y 8)

Estas fórmulas son lógicas y considerablemente más precisas que (1a) y (1b). Pero en contraste con estas últimas no son tan sencillas de aplicar, si tomamos en cuenta que estas fórmulas son utilizadas a diario por varias personas con distintos niveles de preparación académica, estas no cumplen con el principio de simplicidad.

Además, se debe tener en cuenta que ya no solo se necesitan 3 estimaciones subjetivas (a, b y m), sino que ahora se necesitan cinco o siete valores (fractiles). En la otra mano, existe una amplia evidencia en que la estimación de 5 o 7 valores puede ser implementado paulatinamente, y la diferencia de costos que presume la aplicación entre 3 y 5 (siete) estimaciones subjetivas tienden a ser triviales comparadas con los costos implicados directamente en los proyectos en cuestión, monetariamente hablando.

Del mismo modo, se trató de mantener lo más intacta posible la ecuación original del PERT.

Referencias Bibliográficas

A. R. Klinge, J. (1966). Bias in Pert Project Completion Time Calculations for a Real Network. *Management Science*, B194-B201.

Alpert, M., & Raiffa, H. (1969). A progress report on the training of probability Assessorts. Harvard University.

Buffa, E., & Miller, J. (1979). *Production-Inventory Systems*. Illinois: Irwin.

Chase, R., & Aquilano, N. (1989). *Production and Operation Management*. Illinois: Irwin.

Chesley, R. (1969). Elicitation of subjective probabilities. *The accounting Review*, 325-337.

Decoster, D. (1974). *The budget director and PERT*. California: Melville Publishing Company.

Donaldson, W. (1965). Estimation of the mean and variance of a PERT activity time. *Operation Research*, 382-385.

Fogarty, D., & Hoffmann, T. (1990). *Production and Inventory Management*. Ohio: South-western Publishing Company.

GUÍA DE LOS FUNDAMENTOS PARA LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS (Guía del PMBOK®) — Quinta edición

GLADYS GBEGNEDJI. (18 de Agosto de 2018). Estimar la Duración de las Actividades. Obtenido de <https://www.gladysgbegnedji.com/estimar-la-duracion/>

Littlefield, T., & Randolph, P. (1987). An answer to Sasieni's question. *Management Science*. 3, 1357-1359.

Malcolm, D., Roseboom, J., Clark, C., & Fazar, W. (1959). Application of a technique for research and development program evaluation. *Operations Research*. 7, 646-669.

Markgraf, B. (18 de 08 de 2018). Subscribe. Obtenido de <https://yourbusiness.azcentral.com/disadvantages-pert-project-management-17044.html>

Pearson, E., & Turkey's, J. (*Biometrika*). Approximate means and standard deviations based on distances between percentage points of frequency curves. 1965, 533-546.

Selvidge, J. (1980). Assessing the extremes of probability distributions by fractile method. *Decision Sciences*. 11, 493-502.

Trout, M. (1989). On the generality of PERT average time formula. *Decision Sciences*. 20, 410-412.

Winkler, R. (1967). The assessment of prior distributions in Bayesian analysis. *Journal of the American Statistical Association*. 62, 776-800.

Winterfieldt, D. (1986). *Decision analysis and Behavioral Research*. Cambridge: Cambridge University Press.