

Apéndice 7.1

PERT y simulación PERT

TÉCNICA DE REVISIÓN DE LA EVALUACIÓN DE PROGRAMAS: PERT

En 1958, la oficina especial de la Armada de Estados Unidos y la empresa de consultoría Booze, Allen y Hamilton desarrollaron la PERT (es decir, técnica de revisión de evaluación de programas) para programar a los más de 3 300 contratistas del proyecto de submarino Polaris y para cubrir la incertidumbre de los estimados de tiempo de las actividades.

La PERT es casi idéntica a la técnica del método de la ruta crítica (MRC) con la diferencia de que supone que la duración de cada actividad tiene un alcance que sigue una distribución estadística. La PERT utiliza tres estimados de tiempo para cada actividad. En esencia, esto significa que cada actividad puede durar desde un tiempo pesimista hasta uno optimista y que es posible calcular un promedio valorado para cada actividad. Como en general las actividades del proyecto representan trabajo, y como el trabajo tiende a estancarse una vez que empieza a retrasarse, los desarrolladores de la PERT escogieron una aproximación de la *distribución beta* para que representara la duración de las actividades. Esta distribución es conocida por su flexibilidad y puede acomodar datos empíricos que no siguen una distribución normal. Las duraciones de las actividades pueden inclinarse más hacia el extremo superior o inferior del rango de datos. En la figura A7.1a se muestra una *distribución beta* de las duraciones de actividades con tendencia a la derecha que representa el trabajo que tiende a estar rezagado una vez que se retrasa. La distribución para la duración del proyecto se representa por una distribución normal (simétrica), la cual se muestra en la figura A7.1b. La distribución del proyecto representa la suma de los promedios valorados de las actividades en la(s) ruta(s) crítica(s).

Si se conocen el promedio valorado y las varianzas de cada actividad, el planeador del proyecto podrá calcular la probabilidad de que se cumplan las distintas duraciones del proyecto. Siganse los pasos que se describen en el ejemplo hipotético que aparece a continuación. (La jerga es difícil para quienes no están familiarizados con la estadística, pero el proceso es muy sencillo una vez que se trabaja con un par de ejemplos.)

El tiempo de la actividad promedio valorada se calcula con la fórmula siguiente:

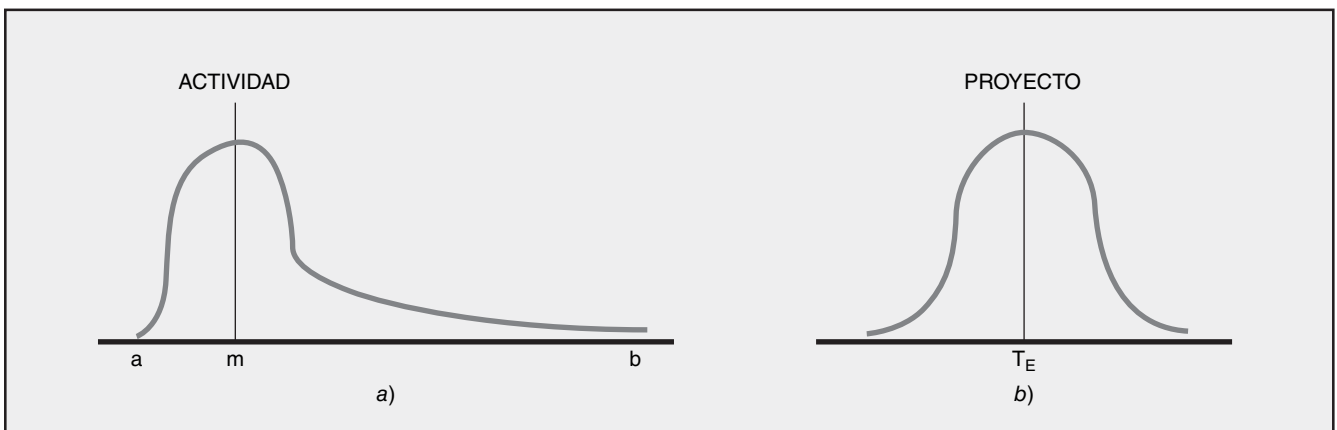
$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (7.1)$$

donde t_e = tiempo valorado de actividad promedio
 a = tiempo optimista de la actividad (probabilidad de 1 en 100 de terminar antes la actividad en condiciones *normales*)
 b = tiempo pesimista de la actividad (probabilidad de 1 en 100 de terminar después la actividad en condiciones *normales*)
 m = tiempo más probable de la actividad

Cuando se han especificado los tres estimados, se utiliza la ecuación para calcular la duración valorada promedio de cada actividad. El valor promedio (determinista) se ubica en la red del proyecto como en el método MRC y los tiempos temprano, tardío, de inactividad y de terminación del proyecto se calculan como están en el método MRC.

La variabilidad en los estimados de tiempo de actividad se aproxima con las siguientes ecuaciones: la ecuación 7.2 representa la desviación estándar para la *actividad*. La ecuación 7.3 representa la desviación estándar para el *proyecto*. Observe que la desviación estándar de la actividad se ha

FIGURA A7.1 Distribuciones de frecuencia del proyecto y de la actividad



elevado al cuadrado en esta ecuación; a esto también se le denomina varianza. Esta suma incluye sólo las actividades en la ruta crítica o en la ruta que se está revisando.

$$\sigma_{t_e} = \left(\frac{b - a}{6} \right) \quad (7.2)$$

$$\sigma_{T_E} = \sqrt{\sum \sigma_{t_e}^2} \quad (7.3)$$

Por último, la duración promedio del proyecto (T_E) es la suma de todos los tiempos promedio de actividad en la ruta crítica (suma de t_e) y sigue una distribución normal.

Si se conocen la duración promedio del proyecto y las varianzas de las actividades, se tiene la probabilidad de terminar el proyecto (o un segmento) en un tiempo específico que se calcula con tablas estadísticas estándar. La ecuación de abajo (7.4) se utiliza para calcular el valor “Z” que se encuentra en las tablas estadísticas (Z = número de desviaciones estándar de la media) que, a su vez, indica la probabilidad de completar el proyecto en el tiempo especificado.

$$Z = \frac{T_S - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{t_e}^2}} \quad (7.4)$$

donde T_E = duración de la ruta crítica
 T_S = duración programada del proyecto
 Z = probabilidad (de cumplir la duración programada) que se encuentra en la tabla estadística A7.2.

UN EJEMPLO HIPOTÉTICO EN EL QUE SE UTILIZA LA TÉCNICA PERT

Los tiempos de las actividades y las varianzas se dan en la tabla A7.1. La red del proyecto se presenta en la figura A7.2. Esta figura muestra la red del proyecto como AEF y AEN. La red AEN se presenta como recordatorio de que en la PERT es posible utilizar ambas.

La duración esperada del proyecto (T_E) tiene 64 unidades de tiempo; la ruta crítica es 1, 2, 3, 5, 6. Con esta información puede calcularse fácilmente la probabilidad de terminar el proyecto en una fecha específica con los métodos estadísticos estándar. Por ejemplo, ¿cuál es la probabilidad de que el proyecto se termine antes de un tiempo programado (T_S) de 67? La curva normal para el proyecto sería como se muestra en la figura A7.3.

TABLA A7.1
Tiempos y varianzas de las actividades

Actividad	<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>	<i>t_e</i>	$[(b - a)/6]^2$
1-2	17	29	47	30	25
2-3	6	12	24	13	9
2-4	16	19	28	20	4
3-5	13	16	19	16	1
4-5	2	5	14	6	4
5-6	2	5	8	5	1

Al utilizar la fórmula para el valor de Z, la probabilidad se puede calcular como sigue:

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{T_S - T_E}{\sqrt{\sum \sigma t_c^2}} \\
 &= \frac{67 - 64}{\sqrt{25 + 9 + 1 + 1}} \\
 &= \frac{+3}{\sqrt{36}} \\
 &= +0.50 \\
 P &= 0.69
 \end{aligned}$$

FIGURA A7.2
Red hipotética

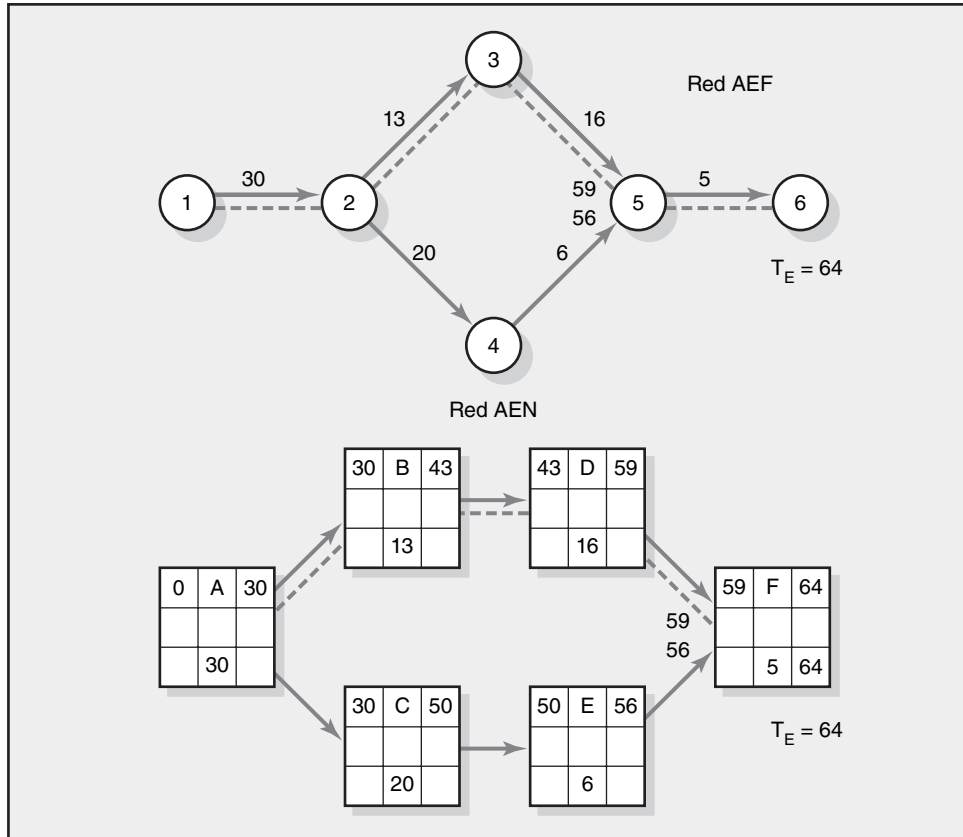


FIGURA A7.3
Duraciones posibles del proyecto

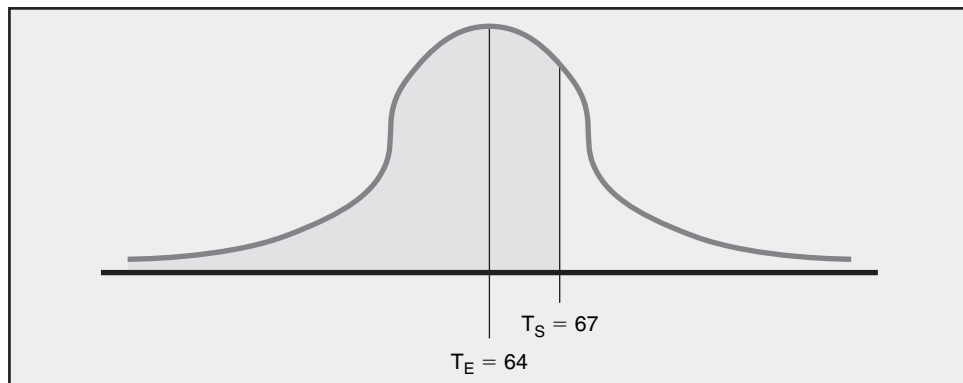


TABLA A7.2

Valor z	Probabilidad	Valor z	Probabilidad
-2.0	0.02	+2.0	0.98
-1.5	0.07	+1.5	0.93
-1.0	0.16	+1.0	0.84
-0.7	0.24	+0.7	0.76
-0.5	0.31	+0.5	0.69
-0.3	0.38	+0.3	0.62
-0.1	0.36	+0.1	0.54

Al leer la tabla A7.2, un valor de Z de +0.5 da una probabilidad de 0.69, la cual se interpreta para significar una probabilidad de 69 por ciento de terminar el proyecto en 67 unidades o antes.

A la inversa, la probabilidad de terminar el proyecto para el periodo 60 se calcula como sigue:

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{60 - 64}{\sqrt{25 + 9 + 1 + 1}} \\
 &= \frac{-4}{\sqrt{36}} \\
 &= -0.67 \\
 P &\approx 0.26
 \end{aligned}$$

A partir de la tabla A7.2 el valor de Z de -0.67 da una probabilidad aproximada de 0.26, lo cual se interpreta para significar que existe una probabilidad de 26 por ciento de terminar el proyecto en 60 unidades de tiempo o antes. Observe que este mismo tipo de cálculo puede hacerse para cualquier ruta o segmento de ruta en la red.

Cuando tales probabilidades están disponibles para la administración, es posible tomar decisiones de compensación para aceptar o reducir los riesgos que se derivan de la duración específica de un proyecto. Por ejemplo, si el administrador de proyecto desea mejorar las posibilidades de terminar el proyecto en 64 unidades de tiempo, al menos están disponibles dos opciones. En primer lugar, la administración puede gastar dinero de inmediato para modificar las condiciones que reducirán la duración de una o más actividades en la ruta crítica. Una segunda alternativa, más prudente, sería asignar dinero a un fondo de contingencias y observar cómo avanza el proyecto a medida que se le pone en marcha.

Actividad	Descripción	Predecesora inmediata
A	Comenzar el borrador de la historia con plantilla	—
B	Investigar la firma del cliente	—
C	Crear un borrador aproximado de “diligencia debida”	A, B
D	Coordinar la propuesta de necesidades con el cliente	C
E	Calcular la demanda futura y los flujos de efectivo	C
F	Elaborar un borrador para los planes futuros para la empresa cliente	E
G	Crear y aprobar documentos legales	C
H	Integrar todos los borradores en la propuesta del primer borrador	D, F, G
I	Alinear las fuentes potenciales de capital	G, F
J	Verificar, aprobar e imprimir la propuesta legal final	H
K	Firmar los contratos y los fondos de transferencia	I, J

Actividad	Tiempo en días hábiles		
	Optimista	Más probable	Pesimista
A	4	7	10
B	2	4	8
C	2	5	8
D	16	19	28
E	6	9	24
F	1	7	13
G	4	10	28
H	2	5	14
I	5	8	17
J	2	5	8
K	17	29	45

INFORME ADMINISTRATIVO

Brown y otros socios corredores tienen una política de pasar su plan a la revisión de un comité de colegas. Por lo general, este comité verifica que se cubran todos los detalles, que los tiempos sean realistas y que los recursos estén disponibles. Brown desea que usted desarrolle un reporte donde presente un programa planeado y el tiempo esperado para la terminación del proyecto en días hábiles. Incluya una red de proyecto en su reporte. La duración promedio para canalizar un proyecto de capital es de 70 días hábiles. Los socios de IC han acordado que es un buen negocio tener proyectos que tengan una probabilidad de 95 por ciento de que el plan se cumple. ¿Cómo se añade este proyecto al proyecto promedio? ¿Cuál tendría que ser el promedio para garantizar una probabilidad de 95 por ciento de que el proyecto se termine en 70 días hábiles?