

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO
INGENIERIA
GERENCIA DE PROYECTOS

COMPARACIÓN ENTRE LAS TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN
PERT/CPM Y GERT EN LA FASE DE PERSONALIZACIÓN DEL
PROYECTO BANNER 2000.

Trabajo de investigación presentado por:

Miguel José LÓPEZ FERNANDEZ

Como un requisito parcial para obtener el Título de
Especialista en Gerencia de Proyectos

Profesor Guía:

Luis Enrique PALACIOS ALZURUTH

Caracas, Noviembre de 2001

Índice General

Índice General	2
Índice de Ilustraciones	3
Índice de Tablas.....	3
Planteamiento del problema	4
Descripción y Alcance del Proyecto.	4
Plan Maestro Inicial	4
Plan Maestro Ejecutado.....	5
Descripción Detallada de las Actividades del Subproyecto Adaptación del Sistema o Modelado de Prototipo.	7
Recursos Asignados en la Fase de Adaptación o Modelado.	11
Avance Físico del Proyecto	12
Nivel de Retrabajo	13
Justificación del trabajo.	15
Metodología de evaluación.	16
Marco Teórico.....	16
Conceptos Generales de Gerencia de Proyectos.....	16
Conceptos Específicos Aplicados en este Proyecto.....	16
Hipótesis de Trabajo.	18
Metodología a Seguir.	19
Análisis de Resultados.	20
Programación en PERT/CPM.....	20
Asunciones Preliminares	20
Programación en GERT.....	23
Asunciones Preliminares.	23
Simulación Montecarlo.	24
Asunciones Preliminares	24
Análisis Comparativo de Resultados entre la Programación PERT/CPM y GERT.....	26

Lecciones Aprendidas y Conclusiones.....	27
Revisión bibliográfica	29
Anexo A: Documentación Original Adjunta del Proyecto.	30
Anexo B: Detalle de Simulación Montecarlo (Valores y Fórmulas)...	31
Formulas de Cálculo de Duraciones y Toma de Decisiones en Función de la Probabilidad	32

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Curvas de Avance Físico (Planificado y Real)	13
Ilustración 2: Diagrama de Nodos aplicado a PERT/CPM.	21
Ilustración 3: Diagrama de Flechas asociado al método GERT	24

Índice de Tablas

Tabla 1: Actividades de Plan Maestro inicial.....	4
Tabla 2: Diagrama GANTT Plan Maestro Inicial	5
Tabla 3: Diagrama Gantt Plan Maestro Ejecutado	5
Tabla 4: Actividades del Plan Maestro Ejecutado.....	6
Tabla 5: Cronograma de Actividades Subproyecto Adaptación del Sistema .	8
Tabla 6: Descripción de Actividades del Subproyecto Adaptación del Sistema	9
Tabla 7: Recursos Asignados a Subproyecto Adaptación del Sistema	11
Tabla 8 Tabla Comparativa de las Duraciones Planificadas y Realmente Ejecutadas	12
Tabla 9: Nivel de Retrabajo (en repeticiones de modelaje), para cada Pensum	14
Tabla 10: Resumen de Simulación Montecarlo.	25
Tabla 11: Cuadro Comparativo entre CPM, PERT y GERT	26

Planteamiento del problema

Descripción y Alcance del Proyecto.

El proyecto de instalación informática de Banner 2000 surgió ante la necesidad de adaptación y modernización, debido al efecto 2000, del sistema de información académica de la Universidad Católica Andrés Bello. Tras un estudio conducido por la Empresa Consultora Cambridge Technologies, se eligió a Banner 2000 como el nuevo sistema de información a ser instalado.

El alcance del proyecto fue el adecuar los procedimientos académicos existentes (ya sean manuales o automatizados), a los requerimientos del sistema Banner 2000¹, sin hacer modificaciones mayores a dicho sistema. El sistema entraría en producción para septiembre de 1998.

Plan Maestro Inicial

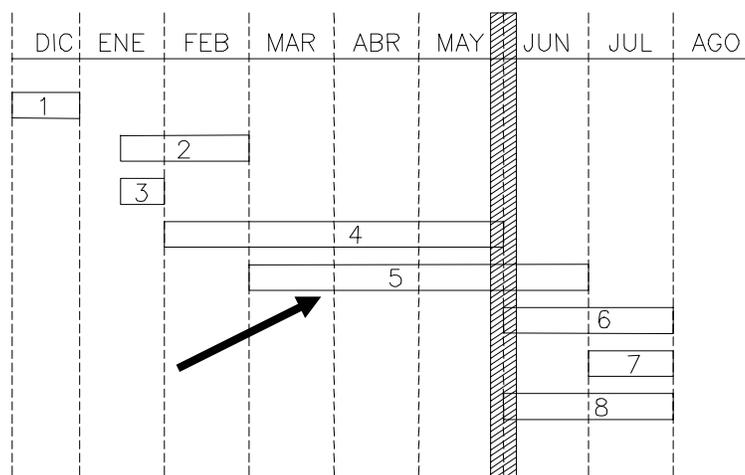
A continuación presentamos el diagrama GANTT con el plan maestro inicial, realizado en septiembre de 1997 para ser ejecutado durante el año 1998 (para más detalles ver anexos). Nótese que se previó ubicar un punto de control, a fin de evaluar la factibilidad de completar el proyecto en el tiempo inicialmente estipulado.

Tabla 1: Actividades de Plan Maestro inicial

No.	Nombre de Actividad
1:	Planificación y organización del Proyecto
2:	Análisis operacional
3:	Instalación del sistema
4:	Adiestramiento a facilitadores
5:	Adaptación del sistema
6:	Pruebas del sistema
7:	Producción, cut-off: inicio del nuevo sistema
8:	Adiestramiento de los usuarios finales

¹ Se asumió que el sistema a instalar incorpora las mejores prácticas en lo referente a los procedimientos de administración educativa. Por ello, muchos procedimientos de la UCAB sufrieron cambios radicales a raíz del arranque de este proyecto.

Tabla 2: Diagrama GANTT Plan Maestro Inicial



Determinación si la fecha de implementación es factible a los efectos de establecer el sistema de inscripciones a llevar a cabo en septiembre de 1998

Plan Maestro Ejecutado

En el informe de cierre se observa el siguiente plan maestro tal como fue ejecutado.

Tabla 3: Diagrama Gantt Plan Maestro Ejecutado

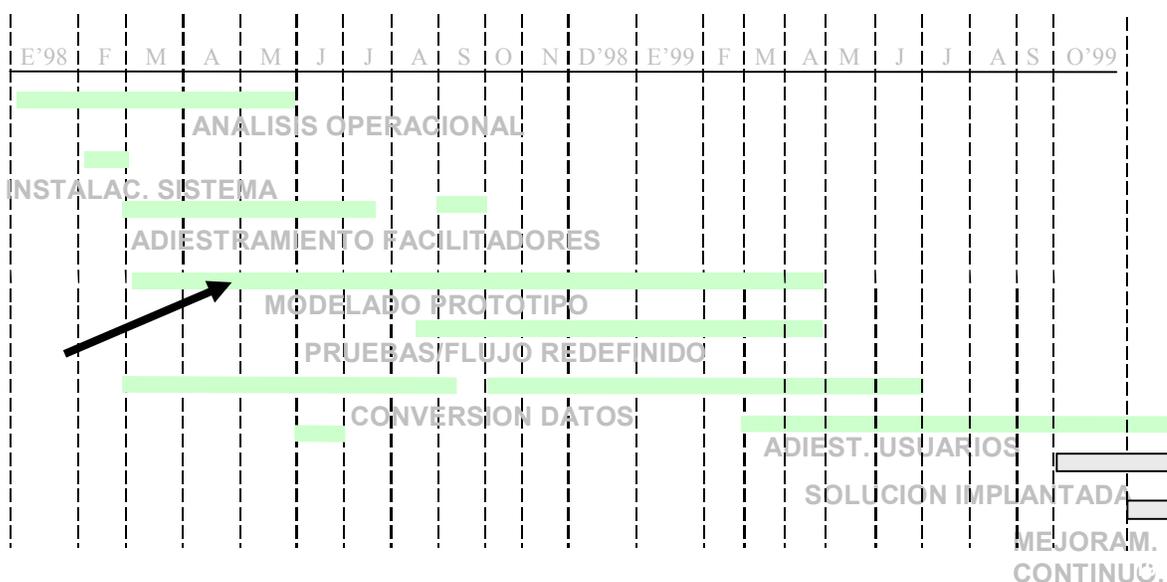


Tabla 4: Actividades del Plan Maestro Ejecutado

Nombre de Actividad
Análisis operacional
Instalación del sistema
Adiestramiento a facilitadores
Modelado Prototipo (Adaptación del sistema)
Pruebas del sistema
Conversión de Datos
Producción, cut-off: inicio del nuevo sistema
Adiestramiento de los usuarios finales

Las dos fases del plan maestro que sufrieron mayor retraso en su duración fueron las actividades de Adiestramiento a Usuarios y la de Modelado del Prototipo. La fase de adiestramiento a usuarios se alargó más de lo planificado debido a una mala estimación del número de usuarios del sistema. La fase de Adaptación o Modelado se alargó debido al **retrabajo** no considerado en la fase de Planificación, pese a las advertencias de diversos consultores de SCT. Nótese que la fase de **Adaptación del Sistema** (originalmente planificada con una duración de 4 meses), duró once meses en el plan maestro ejecutado.

El objeto de estudio del presente trabajo es analizar el comportamiento, al nivel de retraso, de la fase o subproyecto del plan maestro conocida como *Modelado del Prototipo* o *Adaptación del Sistema*. Dicho análisis se realizará mediante la comparación entre dos métodos de planificación: El PERT/CPM y el GERT.

Descripción Detallada de las Actividades del Subproyecto Adaptación del Sistema o Modelado de Prototipo.

La fase de modelado o adaptación del sistema en este proyecto se caracteriza por tener dos tipos de actividades: Actividades **globales** y actividades de **pensum**. Las actividades globales se realizan una sola vez y son comunes a todos los pensa a ser modelados. Las actividades de pensum son actividades que necesariamente deben repetirse para cada uno de los pensa de estudios que se deseen modelar dentro del sistema Banner

Semejante característica de repetición permitiría modelar dichas actividades de pensum como una secuencia de líneas de balance, pero esta aplicabilidad escapa fuera del alcance de este trabajo de grado.

La duración de la fase de modelado puede expresarse entonces como:

$$D = T_G + n \cdot T_P$$

Donde T_G representa la duración de la cadena de actividades globales críticas, n es el número de pensa de estudios a modelar y T_P la cadena de actividades de pensum críticas. Ambas variables T_G y T_P son consideradas variables aleatorias en este trabajo.

La nomenclatura de las actividades será similar tanto para el diagrama PERT como para el GERT, sólo que en el primero las actividades figurarán como nodos y en el segundo diagrama figurarán como flechas.

A continuación presentamos el cronograma de las actividades y la tabla descriptiva de cada una de las tareas asociadas con este subproyecto, objeto de estudio en este trabajo de grado:

Tabla 5: Cronograma de Actividades Subproyecto Adaptación del Sistema

ID	Nombre de Actividad	Predecesor	Tiempo Optimista	Tipo
A	Inicio del Proyecto			
B	Personalización Niveles Estudios	A	2d	Global
C	Personalización Períodos Académicos	B	3d	Global
D	Definición de Códigos de Escuelas	C	2d	Global
E	Definición de Códigos de Notas	C	3d	Global
	Personalización Catálogo de Cursos			Pensum
F	Definición de Códigos de Cursos	E	1d	
G	Asociar Escuelas y Períodos a Catálogo	F	3d	
H	Revisión de Correctitud	G	1d	
	Personalización de Carreras			Pensum
	Personalización de Majors/Minors			
I	Definición Nomenclatura y Tipo de Majors/Minors	H	2d	
J	Asociación Majors/Minors a Catálogo	I	2d	
K	Definir Programas de Estudios	J	1d	Pensum
L	Definición Reglas Base de Programas	K	2d	Pensum
	Elección tipo de Prerrequisitos		1d	Pensum
M	Personalización de Áreas de Prerrequisito	H	1d	
N	Personalización de Prerrequisitos Lineales	H	1d	
O	Revisión de Modelo de Prerrequisitos	M, N	1d	Pensum
P	Asociar Áreas de Prerrequisito /Cumplimiento a Programas	L, O		Pensum
Q	Revisión de Modelo de Pensum	P		Pensum
R	Ajustes de Pensum (sólo para GERT)	Q	5d	Pensum
S	Fin del Proyecto	D, J, R	0d	Pensum

Tabla 6: Descripción de Actividades del Subproyecto Adaptación del Sistema

ID	Nombre de Actividad	Descripción
A	Inicio del Proyecto	
B	Personalización Niveles Estudios	Codificación de los diferentes niveles académicos de estudio. (Por ej. Pregrado, Propedéutico y Postgrado).
C	Personalización Períodos Académicos	Definición y codificación de todos los posibles períodos de tiempo de clases existentes en la Universidad, algunos de los cuales se solapan entre sí. Por ejemplo: Primer año de pregrado, primer semestre de pregrado, primer trimestre de postgrado, etc.
D	Definición de Códigos de Escuelas	Definición y Codificación de las diferentes Escuelas existentes en la Universidad.
E	Definición de Códigos de Notas	Definición y Codificación de las posibles alternativas de puntuación para las diferentes asignaturas a definir del catálogo.
	Personalización Catálogo de Cursos	En este paquete de actividades se definió y codificó todo el conjunto posible de asignaturas que se han dictado o se dictan en la Universidad. A cada curso se le asignó un código alfanumérico y se asoció a una escuela.
F	Definición de Códigos de Cursos	
G	Asociar Escuelas y Períodos a Catálogo	
H	Revisión de Correctitud	
	Personalización de Carreras	Esta fase del subproyecto se caracteriza por ser tareas específicas a cada pensum o carrera. Ello implica que tales actividades se repiten para cada pensum a modelar. En este estudio nos basaremos en la duración promedio.
	Personalización de Majors/Minors	Una vez codificadas todas las asignaturas, se procedió a agruparlas en <i>majors</i> (que en nuestra personalización se interpretaron como grupos de asignaturas que definen una carrera en su parte básica y/o en su parte de especialización) y <i>minors</i> (grupos de asignaturas que definen menciones).
I	Definición Nomenclatura y Tipo de Majors/Minors	
J	Asociación Majors/Minors a Catálogo	

ID	Nombre de Actividad	Descripción
K	Definir Programas de Estudios	Un programa es un conjunto de majors o minors que están interrelacionados mediante reglas de currículum. Dichas reglas se clasifican en prerrequisitos lineales o prerrequisitos por áreas .
L	Definición Reglas Base de Programas	
	Elección tipo de Prerrequisitos	Los prerrequisitos lineales son la precedencia directa de una o varias materia en relación con otra (P. Ej.: Cálculo II tiene como prerrequisito lineal a Cálculo I). Los prerrequisitos por área son más sofisticados y permiten modelar precedencias temporales (P. Ej. No pueden cursarse materias de segundo año si no se aprueban todas las del primer año). En una carrera puede haber ambos tipos de prerrequisito y debe revisarse cada modelo de prerrequisitos que se realice.
M	Personalización de Áreas de Prerrequisito.	
N	Personalización de Prerrequisitos Lineales	
O	Revisión de Modelo de Prerrequisitos	
P	Asociar Áreas de Prerrequisito /Cumplimiento a Programas	Una vez creados los programas, se les asocian las diferentes áreas (en el caso que sea más adecuado que los prerrequisitos lineales).
Q	Revisión de Modelo de Pensum	Se realiza mediante la ejecución de pruebas. Éstas consisten en hacer una evaluación de requisitos de grado con diversos casos de prueba, a fin de verificar globalmente que se cumplan las características deseadas de cada pensum siendo revisado.
R	Ajustes de Pensum	Esta actividad contempla una serie de pequeños ajustes al nivel de las tres áreas fundamentales en el pensum: Catálogo de Cursos, Programas y Prerrequisitos. Corrige los errores detectados durante la revisión. Se incluyó sólo en la programación en GERT.
S	Fin del Proyecto	

Recursos Asignados en la Fase de Adaptación o Modelado.

A continuación se presenta la tabla de recursos asignados y su respectiva carga de trabajo (para más detalles véase documentación anexa del proyecto).

Tabla 7: Recursos Asignados a Subproyecto Adaptación del Sistema

Recurso	# de Carreras Pre-Grado Modeladas	# de Carreras Post-Grado Modeladas	Total
Evelyn	3	4	7
Karyn	2	5	7
Luisa	3	4	7
Marbellis	2	5	7
Marcos	4	3	7
Mario	3	4	7
Zoraida	1	7	8
2 Analistas	0	0	0

Avance Físico del Proyecto

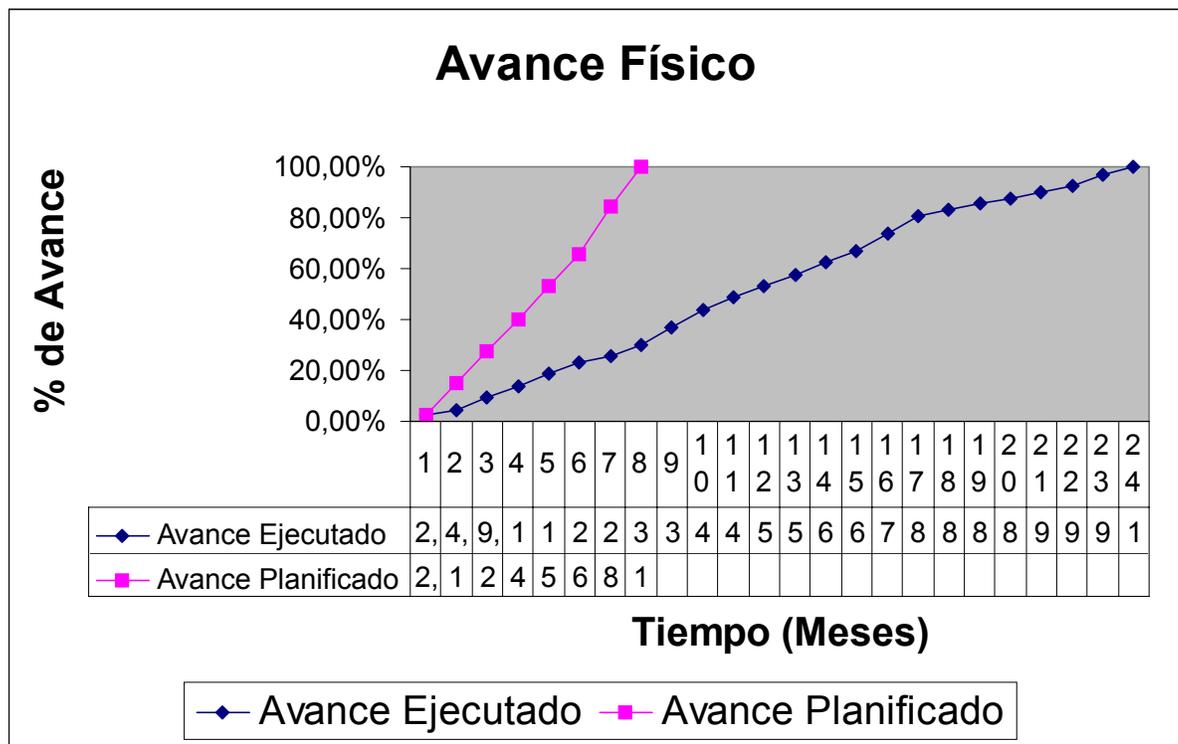
Debido al retraso acaecido en algunas de las actividades del plan maestro, el proyecto sufrió variaciones significativas en tiempo, reflejadas en la siguiente tabla que permite observar dichas diferencias.

Tabla 8 Tabla Comparativa de las Duraciones Planificadas y Realmente Ejecutadas

Actividad	Duración (meses)	Varianza Duración (meses)	Inicio (Planif.)	Fin (Planif.)	Varianza Inicio (días)	Varianza Fin	Inicio (Ejec.)	Fin (Ejec.)
Planificación	1	0	01/12/97	26/12/97	0	0d	01/12/97	26/12/97
Análisis Operacional	5	3,5	15/01/98	25/02/98	-3	67d	12/01/98	20/05/98
Instalación del Sistema	0,33	0	15/01/98	28/01/98	12	12d	02/02/98	13/02/98
Adiestramiento Facilitadores	7,65	3,65	02/02/98	22/05/98	20	93d	02/03/98	30/09/98
Adaptación del Sistema	11	7	02/03/98	19/06/98	85	225d	29/06/98	30/04/99
Pruebas del Sistema	9,3	7,3	01/06/98	24/07/98	54	200d	14/08/98	30/04/99
Producción, Cut-Off	1	0	01/07/98	28/07/98	327d	327d	01/10/99	28/10/99
Entrenamiento Usuarios Finales	8	6	01/06/98	24/07/98	205d	325d	15/03/99	22/10/99

A continuación se presenta la curva de avance físico acumulado para ambas duraciones. El criterio de avance físico empleado fue el de ponderar porcentualmente cada duración de actividad, relacionándola con el número total de días de proyecto (suma de la duración de todas las actividades). Nótese el diferencial de tiempo casi de 15 meses.

Ilustración 1: Curvas de Avance Físico (Planificado y Real)



Nivel de Retrabajo

Durante la fase de modelado de prototipo o adaptación del sistema se observó un importante nivel de retrabajo no planificado. Inclusive, después de la fecha estipulada en el informe de cierre del proyecto, se hicieron modificaciones al esquema de pensa. No obstante, la diferencia que representaron dichas actividades adicionales no se tomó en cuenta a la hora de calcular la duración de la fase de modelado.

A continuación presentamos una tabla con el número de intentos fallidos que permite visualizar el retrabajo presente en esta fase.

Tabla 9: Nivel de Retrabajo (en repeticiones de modelaje), para cada Pensum

PROGRAMAS	Intentos Totales²
Letras	3
Educ. Cs. Sociales	3
Derecho	3
Comunicación Social	3
Filosofía	3
Educ. Filosofía	3
Educ. Biología	3
Educ. Cs. Pedagog.	3
Psicología	3
Economía	3
Ingenierías	4
Educ. Fís. Mat.	3
Admón y Contaduría (D-N)	5
Ciencias Sociales	3
Educ. Int. Y Preescolar	3
Postgrado	2
Intentos Totales Promedio	3

Los dos analistas adicionales modelaron las tareas de tipo global (períodos académicos, niveles de estudios, códigos de notas, etc.), antes de que el resto pudiera iniciar el modelaje de cada una de las carreras que les fueron asignadas.

Basándose en el plan maestro originalmente planificado, y asumiendo paralelismo en la utilización de estos recursos, en promedio el modelaje de cada pensum de estudios se planificó que duraría inicialmente 12 días. También se asume 100% de disponibilidad de recurso y una nivelación uniforme de su tiempo entre la carga de pensa asignadas.

² Se entiende por Intentos Totales a la sumatoria de los intentos fallidos y exitosos.

Justificación del trabajo.

La atención de este trabajo de grado se concentrará en la fase descrita en el Plan Maestro como Adaptación del sistema o Modelado del Prototipo. Su finalidad será tratar de explicar el severo retraso mediante el uso de herramientas de planificación avanzada. Dicho esfuerzo intelectual permitirá estimar con mayor exactitud las actividades propensas al retrabajo de futuros proyectos de instalación de Banner 2000. Además, permitirá extrapolar las conclusiones de este análisis a otros proyectos de instalación de sistemas cuya complejidad de personalización sea similar a la de Banner 2000 (por ej. Sistemas de Información Financiera como SAP y PeopleSoft).

Finalmente, dado que existen pocos trabajos actualizados relativos a las redes GERT y su aplicabilidad en este tipo de proyectos, está plenamente justificado poner a prueba este método y observar tanto su comportamiento como su efectividad.

Metodología de evaluación.

Marco Teórico.

Conceptos Generales de Gerencia de Proyectos.

Proyecto. “Esfuerzo temporal llevado a cabo para crear un servicio o producto únicos” P.M.I. (1996). Un proyecto se distingue por ser: Temporal, Único y Evolutivo, según Palacios (2000). Posee cinco fases: Inicio, Planificación, Ejecución Control y Cierre, según Palacios (2000).

Gerencia de Proyectos. “Aplicación de conocimientos, destrezas, herramientas y técnicas a las actividades de proyecto, en orden de satisfacer o exceder las necesidades y expectativas de un proyecto que poseen los actores del mismo” P.M.I. (1996).

Áreas de Conocimiento de la Gerencia de Proyectos. Describen la práctica y el conocimiento de la gerencia de proyectos en función de los procesos que la integran, organizados actualmente en nueve áreas:

1. Manejo de Integración.
2. Manejo del Alcance.
3. Manejo del Tiempo.
4. Manejo de Costo.
5. Manejo de Calidad.
6. Manejo de Recursos Humanos.
7. Manejo de Comunicaciones.
8. Manejo del Riesgo.
9. Manejo de Procura.

Conceptos Específicos Aplicados en este Proyecto.

Actividades. Una serie de tareas realizadas sobre un período de tiempo.

Diagramas de Redes. Diagramas que permiten visualizar gráficamente las interrelaciones existentes entre las distintas actividades de un proyecto. Existen tres tipos de diagramas:

- **Diagramas de Precedencia de Nodos.** Diagrama en donde las flechas indican las restricciones existentes entre las actividades, representadas en nodos.
- **Diagramas de Flechas.** Diagrama en el cual las flechas representan las actividades y los nodos son sólo puntos de unión para interconectar las relaciones.
- **Diagramas Condicionantes.** Diagramas de flechas que incorporan nodos de decisión y, por tanto, el hacer ciclos; lo que conlleva volver a puntos anteriores para corregir cambios.

Metodología CPM. El CRITICAL PATH METHOD es un método de programación determinístico que, usando la programación por redes, busca conocer la secuencia de actividades que dictan el comportamiento del proyecto.

Metodología PERT. El PROJECT EVALUATION REVIEW TECHNIQUE es un método de programación probabilística que se basa en los diagramas de redes, y considera que la duración de las actividades no es un dato discreto, sino un rango de tiempo, basado en la adaptación de la duración de cada actividad a una distribución estadística.

Metodología GERT. Método basado en los diagramas condicionantes, que buscan programar el proyecto con la ayuda de técnicas gráficas apoyadas en la estadística y los árboles de decisión.

Según Neuman y Steinhardt (1979), las redes GERT constan de actividades (las flechas), y eventos (los nodos). El evento más común es el tipo STEOR (*stochastic EOR node*), que se caracteriza por tener dos propiedades:

1. Le llegan dos o más actividades, de forma tal que el tiempo de ocurrencia del evento es el tiempo más temprano de culminación de tales actividades.
2. Le salen dos o más actividades, de forma tal que sólo una de dichas actividades salientes se ejecuta con probabilidad P , y que la suma de las probabilidades de dichas actividades debe ser igual a 1.

Simulación. Es una variante que se puede emplear en la programación ya sea a partir del PERT o del GERT, en donde se plantean múltiples escenarios con duraciones y secuencias o asumiendo distintas condiciones, y se calculan para cada una de ellas, las variables del proyecto.

El más común de este tipo de análisis es el MonteCarlo, en el cual le asigna una distribución probabilística particular a cada actividad, a fin de obtener la distribución resultante de un proyecto.

En el caso particular de las redes GERT, Neuman y Steinhardt (1979), mencionan que, como regla general, a mayor porcentaje de actividades pertenecientes a un ciclo, mayor deberá ser el número de corridas de simulaciones requerido (denominado J). Además, si existen actividades, dentro de ciclos, con probabilidades muy pequeñas de ejecución, entonces el número J deberá ser muy grande.

Riesgo del Proyecto: Efecto acumulado de las probabilidades de ocurrencias inciertas que pueden afectar de forma adversa los objetivos del proyecto. Es el grado de exposición a eventos negativos y sus probables consecuencias. Se caracteriza por tres factores de riesgo: evento de riesgo, probabilidad de riesgo y monto de apuesta (*amount at stake*). Riesgo es lo opuesto a oportunidad (Tomado de Wideman (1992)).

Gerencia de Riesgo del Proyecto. Es el arte y la ciencia de identificar, evaluar y responder al riesgo del proyecto durante la vida del proyecto y en pro de los objetivos del mismo. Consiste esencialmente de cuatro fases:

- Identificación.
- Evaluación.
- Respuesta
- Documentación. (Wideman (1992)).

Dentro del campo de la Gerencia del riesgo en proyectos se ubican herramientas como la simulación (en especial la simulación Montecarlo), la metodología PERT, la metodología GERT, entre otras.

Hipótesis de Trabajo.

Se espera que con el método GERT se puedan demostrar dos cosas:

1. Si el nivel de retrabajo fue determinante en el retraso del proyecto bajo estudio.
2. Si el GERT resulta más efectivo que el PERT/CPM (variantes tanto determinística como probabilística) en función de precisión de la estimación del tiempo.

Metodología a Seguir.

La metodología a seguir para el desarrollo del trabajo de grado será la siguiente:

Actividad (en orden secuencial)	Descripción y Notas
Preparación Diagrama CPM original	A partir del diagrama Gantt original del proyecto.
Investigación Sucesos Históricos del Proyecto.	Con esta investigación se busca realizar un estudio retrospectivo tanto de las duraciones como del nivel de retrabajo, éste último presente durante la etapa de personalización o modelaje de prototipo del proyecto Banner. Con esto obtendremos las variables porcentuales a ser colocadas en el diagrama GERT posteriormente.
Preparación Diagrama GERT	En este diagrama se volcarán los resultados de la investigación, relativos a las duraciones y al nivel de retrabajo.
Preparación de Simulación Montecarlo	Con los datos obtenidos con el diagrama GERT, se procederá a simular un número significativo de escenarios (aún por definir), con la finalidad de detectar las posibles rutas críticas y las diferentes probabilidades de retrabajo o ciclos dentro del citado diagrama..
Realización de Análisis Comparativo entre CPM y GERT	Con los resultados de la simulación, se compararán los resultados de la programación usando el GERT vs. La programación inicial usando CPM y Gantt. El punto de referencia será el plan maestro tal como fue ejecutado, de este modo se comparará la exactitud de ambos métodos dentro del proyecto analizado.
Preparación de Informe de Proyecto de Grado	Transcripción del informe.

Análisis de Resultados.

Programación en PERT/CPM

Asunciones Preliminares

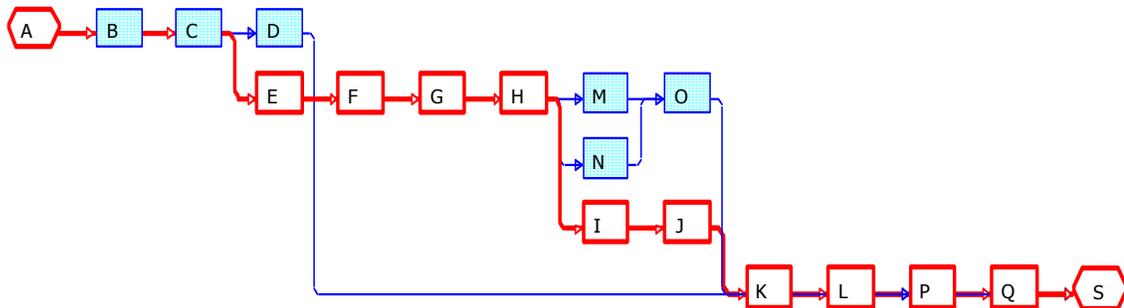
- Para establecer las duraciones de las actividades, se aplicaron los siguientes criterios:
 1. La duración **optimista** se basó en la duración planificada originalmente para la fase de modelaje o adaptación del proyecto (véase documentación anexa). Se deduce de la duración global de esta fase que el modelaje de cada pensum duraba, en promedio, 12 días, por lo menos al nivel de la fase de personalización de carrera.
 2. La duración **esperada** se basó en la duración registrada durante la ejecución del proyecto, que fue de 45 días promedio para cada pensum modelado.
 3. La duración **pesimista** se calculó duplicando la duración optimista de las actividades (si la duración era mayor a un día), y triplicándola si era igual a un día.
- Para el cálculo de las duraciones de la ruta crítica y el análisis PERT se usó el programa MS Project.
- Se adoptó la clásica ponderación, que, según Wideman (1992), busca simplificar la distribución normal, de relacionar el tiempo optimista (o), el tiempo pesimista (p), y el tiempo más probable (m):

$$\text{Duración esperada} = \frac{o + 4 \cdot m + p}{6}$$

- Se calculó la varianza tomando en cuenta el Teorema del Límite Central, el cual establece que una suma de variables aleatorias es una variable aleatoria con distribución normal cuya varianza, por su parte, es la suma de las varianzas de las actividades críticas. La varianza de cada actividad se calculó basándose en la siguiente fórmula:

$$\text{Varianza} = \left(\frac{p - o}{6} \right)^2$$

Ilustración 2: Diagrama de Nodos aplicado a PERT/CPM.



Ruta Crítica: A-E-F-G-H-I-J-K-L-P-Q-S

Por lo tanto, la varianza total del proyecto es igual a

$$\text{Var}(A) + \text{Var}(E) + \text{Var}(F) + \text{Var}(G) + \text{Var}(H) + \text{Var}(I) + \text{Var}(J) + \text{Var}(K) + \text{Var}(L) + \text{Var}(P) + \text{Var}(Q) + \text{Var}(S) =$$

$$0 + 0,25 + 0,11 + 0,25 + 0,11 + 0,44 + 0,25 + 0,44 + 0,11 + 0,11 + 0,11 + 0 =$$

Varianza Total = 2,18 días.

Desviación Estándar = 1,48 días.

Basándonos en el análisis propuesto por Lewis (1995), podemos establecer lo siguiente, teniendo como precondition el Teorema del Límite Central:

1. Existe un 68% aproximadamente de culminar este subproyecto entre el intervalo comprendido entre más o menos una desviación estándar, es decir, entre los $(41,33 - 1,48 = 39,85)$ días y $(41,33 + 1,48 = 42,81)$ días, donde 41,33 es la **media** de la distribución normal aplicada a este caso.
2. Existe un 95% de culminar este subproyecto entre el intervalo comprendido entre más o menos dos desviaciones estándar, es decir, entre $(41,33 - 2,96 = 38,37)$ días y $(41,33 + 2,96 = 44,29)$ días.

Según Lewis (1995), estos rangos representan **intervalos de confianza** para esta ruta crítica bajo las probabilidades dadas de 68% y 95%.

Actividad	Duración Ponderada	Duración Optim.	Duración Esp.	Duración Pesim.	Varianza (%)
Fase de Personalización de Banner (Parcial)	41,33d	23d	43d	53d	108,70%
Inicio del Proyecto	0d	0d	0d	0d	0,00%
Personalización de Niveles de Estudio	3d	2d	3d	4d	5,50%
Personalización de Períodos Académicos	4,83d	3d	5d	6d	8,33%
Definición de Códigos de Escuela	3d	2d	3d	4d	5,50%
Definición de Codificación de Notas	4,83d	3d	5d	6d	8,33%
Fase de Personalización de Banner (Por Carrera)	28,67d	15d	30d	37d	89,60%
Personalización del Catálogo de Cursos	8,83d	5d	9d	12d	27,20%
Definición de Códigos de Cursos	2d	1d	2d	3d	11,00%
Asociar Escuelas y Períodos Académicos a Catálogo	4,83d	3d	5d	6d	8,33%
Revisión de Correctitud	2d	1d	2d	3d	11,00%
Personalización de Majors/Minors/Concentrations	9,5d	5d	10d	12d	27,20%
Definición de Nomenclatura y tipo	4,67d	2d	5d	6d	22,00%
Asociación de Majors/Minors/Concentrations al Catálogo	4,83d	3d	5d	6d	8,33%
Definición de Programa de Estudios	5d	3d	5d	7d	14,67%
Definición de Códigos de Programas de Estudios	2d	1d	2d	3d	11,00%
Definición y Asociación de Reglas Base de Programa	3d	2d	3d	4d	5,50%
Elección de Tipo de Prerrequisito	6d	3d	6d	9d	33,33%
Personalización de Prerrequisitos Lineales	2,67d	1d	3d	3d	11,00%
Personalización de Áreas de Prerrequisito/Cumplimiento	2,67d	1d	3d	3d	11,00%
Revisión de Modelo de Prerrequisitos	3,33d	2d	3d	6d	22,00%
Asociar Áreas de Prerrequisito/Cumplimiento a Programas	2,67d	1d	3d	3d	11,00%
Revisión de Modelo de Pensum	2,67d	1d	3d	3d	11,00%
Fin del Proyecto	0d	0d	0d	0d	

Programación en GERT.

Asunciones Preliminares.

- Para el cálculo del **retrabajo** ocasionado por el ciclo de la revisión de pensum, se consideró una actividad denominada **ajustes de pensum**, la cual engloba el retrabajo ocasionado por cambios globales de pensum (entiéndase por cambios globales aquellos que afectan tanto al catálogo como al esquema de prerrequisitos).
- Para el cálculo de la probabilidad de tomar prerrequisitos lineales o por área se tomó en cuenta la proporción de pensa en la UCAB que requirieron los prerrequisitos lineales (las 4 ingenierías), vs. los que requirieron prerrequisitos por áreas (las 16 escuelas restantes). Ello da una proporción aproximada de un 25% para prerrequisitos lineales y 75% para prerrequisitos por área.
- El cálculo de la probabilidad de retrabajo se basó en la investigación histórica, resumida en la tabla siguiente:

Decisión	Intentos Exitosos	Intentos Totales (Promedio)	Probabilidad de Éxito	Probabilidad de Retrabajo
¿Catalogo Correcto?	1	3	0.33	0.67
¿Prerrequisitos Correctos?	1	3	0.33	0.67
¿Pensum Correcto?	1	2	0.50	0.50

Diagrama GERT

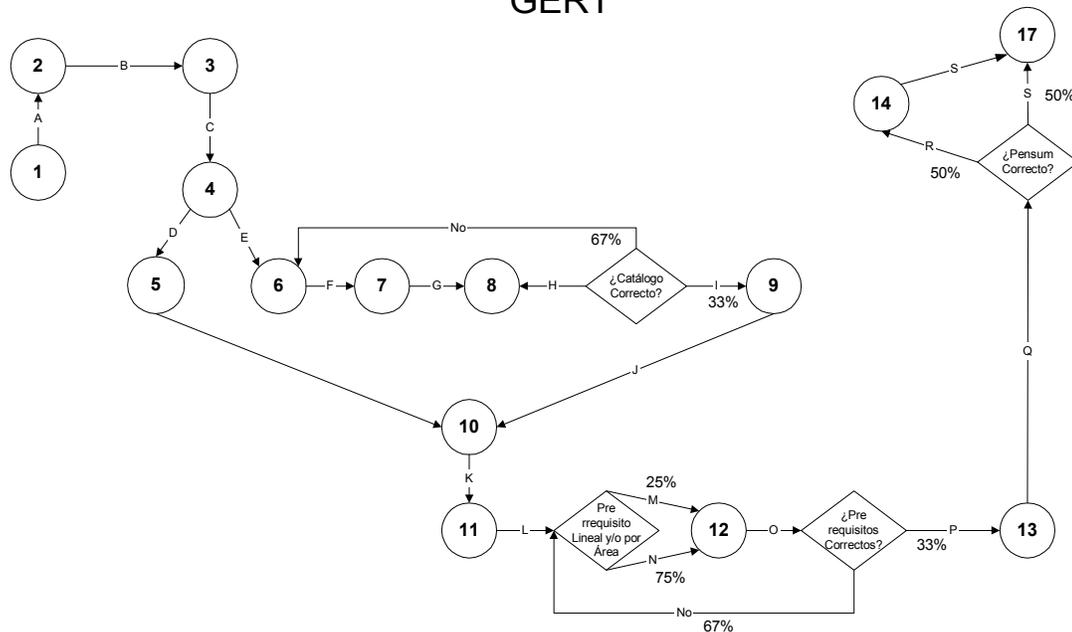


Ilustración 3: Diagrama de Flechas asociado al método GERT

Simulación Montecarlo.

Asunciones Preliminares

- Para la simulación, se asumió que las actividades se comportaban como una distribución Beta con Alfa = 2 y Beta = 3. Dicha distribución se aproxima a una distribución normal sesgada hacia la derecha, que permite modelar la costumbre humana de terminar las cosas a tiempo o después de tiempo, no antes, según Palacios (2000).
- Se generaron trescientos conjuntos de números aleatorios que representaron la probabilidad de tiempo de ejecución asociada a cada actividad, realizando asimismo trescientas corridas.
- CP1 refiere la ruta crítica: A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-N-O-P-Q-R-S.
- CP2 refiere la ruta crítica: A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-N-O- P-Q-S.
- CP3 refiere la ruta crítica: A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-M-O-P-Q-R-S.
- CP4 refiere la ruta crítica: A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-M-O-P-Q-S.
- A partir de los datos generados durante las trescientas corridas (véase anexo para ver el detalle de los datos), se generó un cuadro resumen (tabla 10 de este informe), donde se engloban tanto las duraciones promedio como las ocurrencias de cada uno de los caminos críticos.

Corridas	Duraciones				No. De Ocurrencias			
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP1	CP2	CP3	CP4
10	210,33	0,00	212,48	192,61	3	0	4	3
20	130,10	0,00	260,30	258,14	2	0	4	4
30	66,13	182,05	192,72	184,42	1	3	3	3
40	0,00	119,17	112,08	410,78	0	2	2	6
50	58,05	116,70	221,35	205,66	1	2	4	3
60	142,07	49,56	162,91	255,73	2	1	3	4
70	131,85	0,00	307,26	180,69	2	0	5	3
80	63,75	0,00	237,64	329,61	1	0	4	5
90	48,85	218,70	131,27	204,40	1	4	2	3
100	58,12	120,33	126,03	325,99	1	2	2	5
110	60,47	109,48	231,85	215,38	1	2	4	3
120	55,84	0,00	370,76	117,48	1	0	7	2
130	130,10	60,66	118,20	301,94	2	1	2	5
140	108,48	53,51	272,27	139,82	2	1	5	2
150	63,51	54,42	185,18	344,50	1	1	3	5
160	73,67	120,46	112,05	314,41	1	2	2	5
170	61,15	0,00	415,34	117,78	1	0	7	2
180	80,96	108,43	223,38	205,93	1	2	4	3
190	79,16	74,37	108,48	354,32	1	1	2	6
200	0,00	69,43	200,01	379,63	0	1	3	6
210	0,00	0,00	348,99	275,58	0	0	6	4
220	0,00	62,12	0,00	606,38	0	1	0	9
230	70,16	0,00	64,73	489,31	1	0	1	8
240	0,00	49,37	181,76	400,56	0	1	3	6
250	295,85	0,00	207,98	205,60	4	0	3	3
260	77,83	61,47	174,18	305,11	1	1	3	5
270	0,00	0,00	385,29	233,20	0	0	6	4
280	59,74	111,19	163,62	278,27	1	2	3	4
290	0,00	63,16	169,26	396,03	0	1	3	6
300	0,00	63,37	157,06	415,25	0	1	3	6
Totales	2126,18	1867,96	6054,40	8644,49	32	32	103	133
Dur. Promedio	66,44	58,37	58,78	65,00				
Prob. de Ocurrencia	11%	11%	34%	44%				

Tabla 10:
Resumen de Simulación Montecarlo.

Cada fila del cuadro (exceptuando la de totales y la de rótulos), se refiere a una tanda de 10 simulaciones.

Análisis Comparativo de Resultados entre la Programación PERT/CPM y GERT.

A continuación un cuadro resumen que permite comparar la aplicación de las dos técnicas estudiadas aquí:

Tabla 11: Cuadro Comparativo entre CPM, PERT y GERT

PARÁMETROS	CPM	PERT	GERT / Simulación
Duración del Subproyecto más probable (días)	23	41,33 ±2,18	CP1: 66 CP2: 58 CP3: 59 CP4: 65
Distribución de Probabilidad en las actividades	Determinística	Normal Simplificada	Beta (2,3), que permite modelar síndrome del estudiante.
Diferencia con lo planificado (Desviación Estándar), en días	0	22	CP1: 43 CP2: 35 CP3: 36 CP4: 42
Diferencia con lo Ejecutado (días)	22	2	CP1: 21 CP2: 13 CP3: 14 CP4: 20
Ruta(s) Crítica(s) observadas	A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-P-Q-S.	A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-P-Q-S.	CP1: A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-N-O-P-Q-R-S. CP2: A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-N-O-P-Q-S. CP3: A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-M-O-P-Q-R-S. CP4: A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-M-O-P-Q-S.
Probabilidad de Ocurrencia de Ruta(s) Crítica(s)	N/A	68%	CP1: 11% CP2: 11% CP3: 34% CP4: 44%

Lecciones Aprendidas y Conclusiones.

- El método PERT/CPM ofreció el mejor estimado del tiempo de ejecución del subproyecto bajo estudio. La razón de ello se debió a que las duraciones más probables de las actividades se basaron en los datos históricos del proyecto.
- El método GERT generó cuatro posibles rutas críticas, de las cuales sobresalió la ruta con las actividades A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-M-O-P-Q-S, denominada ruta CP4, con un 44% de probabilidad de ocurrencia. Su nivel de precisión en modelar el retrabajo no fue tan preciso como se esperaba, pues arrojó una diferencia de 22 días promedio con lo realmente ejecutado. Ello implica que una parte de la hipótesis de trabajo inicial no se cumplió. Se detectaron cuatro factores que pudieron influir en mayor o menor medida en el resultado:
 1. Posible sobreestimación de las probabilidades de retrabajo en los nodos de decisión GERT.
 2. No se tomó en cuenta el efecto de la curva de aprendizaje en la duración de las actividades al repetirse más de una vez. Es decir, a medida que se desarrollan las destrezas en la realización de las actividades, tanto su duración como su holgura³ se acortan; hasta llegar a una duración mínima asociada con un aprendizaje óptimo.
 3. Es posible que las actividades bajo análisis no se comporten todas como la distribución beta (2,3) asumida en la simulación Montecarlo.
 4. Según lo descubierto en la investigación histórica del proyecto, se realizaron varias actividades asociadas a la fase del proyecto analizada (modelaje de prototipo o adaptación del sistema), tiempo **después** de declarado finalizado el proyecto. Ello representa un nivel de retrabajo adicional no contemplado oficialmente en el proyecto, pero sí contemplado al utilizarse la metodología GERT.
- La hipótesis de trabajo se cumplió parcialmente, en el sentido de poder demostrar claramente la incidencia del nivel de retrabajo en el retraso del proyecto analizado. No obstante, quedaron algunas interrogantes derivadas de la aparente “imprecisión” evidenciada por el método GERT. ¿Cuál de los cuatro factores mencionados en el punto anterior contribuyó más a dicha “imprecisión”? ¿Podrá modelarse matemáticamente el efecto

³ Asociada con el síndrome del estudiante, referido por Palacios (2000).

de la curva de aprendizaje de forma tal de hacer más preciso el método de planificación GERT?

- Se concluye de este trabajo que, realizando las correcciones estadísticas pertinentes, el método GERT podrá ser aplicado con gran precisión en los proyectos de implantación de sistemas que requieran personalización. Además, el utilizar este método permitirá estimar, durante la fase de planificación, el nivel de retrabajo esperado de un proyecto, permitiendo:
 1. Ajustar la duración del proyecto, llegando a un umbral estadísticamente confiable para negociar y cumplir exitosamente.
 2. Advertir tempranamente la posible disposición de recursos adicionales o de capacitar más a los recursos ya existentes.
 3. Habilitar por ende los recursos adicionales que sean necesarios para cumplir con los dos puntos anteriores.

Revisión bibliográfica

- Lewis, J. (1995). *Project Planning, Scheduling & Control*. Chicago: Irwin Professional Publishing.
- Neuman, K.. y Steinhardt, U. (1979). *GERT networks and the time-oriented evaluation of projects*. Berlin: Springer-Verlag.
- Palacios, L. E. (2000). *Principios esenciales para realizar proyectos*. 2^a ed. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello.
- P.M.I Standards Committee. (1996). *A guide to the project management body of knowledge*. Pennsylvania: P.M.I. Publications.
- Wideman, R. (Ed.). (1992). *Project and program risk management: a guide to managing project risk and opportunities*. Pennsylvania: P.M.I. Publishing Division.

Anexo A: Documentación Original Adjunta del Proyecto.

**Anexo B: Detalle de Simulación Montecarlo
(Valores y Fórmulas).**

Formulas de Cálculo de Duraciones y Toma de Decisiones en Función de la Probabilidad

Fórmula	Explicación										
$=DISTR.BETA.INV(D10;2;3;M10;N10)$	<p>Aplicación de la Función Inversa de la Beta (2,3), a partir del valor de la probabilidad generado aleatoriamente y el rango de variabilidad de cada actividad. El resultado es la duración de la actividad sobre la base de la probabilidad dada.</p>										
$=SI(Y(D11>0;D11<=Prob_030);3;SI(Y(D11>Prob_030;D11<=Prob_033);0;SI(Y(D11>Prob_033;D11<=Prob_045);2;SI(D11>Prob_045;1))))$	<p>Cálculo del punto de Decisión 1. Se basó en la siguiente distribución de frecuencias, la cual representa cada probabilidad y el número de intentos representados por ésta, hasta llegar a una probabilidad de retrabajo mayor a la probabilidad de no-repetición:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">No de veces</th> <th style="text-align: center;">Probabilidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">$0,67= (0,75)^1$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">$0,45= (0,75)^2$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">$0,30= (0,75)^3$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cero</td> <td style="text-align: center;">0,33</td> </tr> </tbody> </table>	No de veces	Probabilidad	1	$0,67= (0,75)^1$	2	$0,45= (0,75)^2$	3	$0,30= (0,75)^3$	Cero	0,33
No de veces	Probabilidad										
1	$0,67= (0,75)^1$										
2	$0,45= (0,75)^2$										
3	$0,30= (0,75)^3$										
Cero	0,33										
$=SI(D16>=Prob_075;1;0)$	<p>Cálculo del punto de Decisión 2</p>										
$=SI(Y(D20>0;D20<=Prob_030);3;SI(Y(D20>Prob_030;D20<=Prob_033);0;SI(Y(D20>Prob_033;D20<=Prob_045);2;SI(D20>Prob_045;1))))$	<p>Cálculo del punto de decisión 3. Con el razonamiento similar al punto de decisión 1.</p>										
$=SI(Y(D23>0;D23<=Prob_050);1;0)$	<p>Cálculo del punto de decisión 4.</p>										
$=SUMA(Q3;Q10;Q11*SUMA(Q8;Q10);Q12;Q15;SI(Q16=1;Q18;Q17);Q19;Q20*(SI(Q16=1;Q18;Q17)));Q21;Q22;SI(Q23=1;Q25;Q24))$	<p>Suma condicional que representa la duración del proyecto en función de los valores arrojados previamente en los puntos de decisión. Toma en cuenta el retrabajo.</p>										
$=SI(Q16=1;SI(Q23=1;"CP1";SI(Q16=0;SI(Q23=1;"CP3";"CP4")))$	<p>Determinación del camino crítico basándose en preguntar por la activación de ciertas actividades clave.</p>										

Fórmulas de Totalización y Discernimiento de Camino Crítico.

Fórmula	Explicación
$=SI(\$Q27="CP1";\$Q26;0)+SI(\$R27="CP1";\$R26;0)+SI(\$S27="CP1";\$S26;0)+SI(\$T27="CP1";\$T26;0)+SI(\$U27="CP1";\$U26;0)+SI(\$V27="CP1";\$V26;0)+SI(\$W27="CP1";\$W26;0)+SI(\$X27="CP1";\$X26;0)+SI(\$Y27="CP1";\$Y26;0)+SI(\$Z27="CP1";\$Z26;0)$	<p>Permite acumular la duración de cada camino crítico en cada una de las tandas de 10 corridas de la simulación Montecarlo. El valor resultante tiene carácter temporal. En este caso particular, se acumulan todas las duraciones del camino crítico CP1.</p>
$=SI(\$Q27="CP1";1;0)+SI(\$R27="CP1";1;0)+SI(\$S27="CP1";1;0)+SI(\$T27="CP1";1;0)+SI(\$U27="CP1";1;0)+SI(\$V27="CP1";1;0)+SI(\$W27="CP1";1;0)+SI(\$X27="CP1";1;0)+SI(\$Y27="CP1";1;0)+SI(\$Z27="CP1";1;0)$	<p>Permite calcular el número de incidencias de cada camino crítico en cada una de las tandas de 10 corridas de la simulación Montecarlo. Junto al valor acumulado de las duraciones, puede calcularse el promedio de duración de cada camino crítico en cada tanda de la simulación. En este caso particular, se calculan todas las incidencias del camino crítico CP1.</p>