

Universidad Autónoma de Madrid

Escuela Politécnica Superior



PROYECTO FIN DE CARRERA

Metodología para la gestión del riesgo en proyectos

Ingeniería de Telecomunicación

Sergio Sebastián Rodríguez

Septiembre 2012

Metodología para la gestión del riesgo en proyectos

AUTOR: Sergio Sebastián Rodríguez

TUTOR: Antonio Aguilar Morales

PONENTE: Luis de Pedro Sánchez

Dpto. de Tecnología Electrónica y de las Comunicaciones

Escuela Politécnica Superior

Universidad Autónoma de Madrid

Septiembre 2012

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mi tutor, Antonio Aguilar, el haberme brindado la oportunidad de realizar este Proyecto Fin de Carrera sobre un tema de tan alto interés académico y profesional, y por haber confiando en mis criterios y propuestas. Este trabajo me ha permitido introducirme en un entorno laboral apasionante y me ha ayudado a tomar la dirección en mi “vuelo” profesional. También a todo personal docente de UAM, siempre dispuesto a ayudar.

El enfoque de este proyecto tiene mucho que ver con la actividad del departamento de *Gestión de Proyectos de Red Central* de Vodafone. A su personal le agradezco el haberme enseñado tanto con sus consejos, opiniones y ayuda.

Agradecérselo a todos los compañeros, muchos de ellos ahora buenos amigos, de la universidad. No voy a tener la valentía de poner la lista de nombres, ¡pero vosotros sabéis perfectamente quienes sois! Sin vuestra ayuda y apoyo, y también buenos momentos, habría sido una montaña infinitamente más difícil de escalar.

A la *troop* de amigos de fuera de la universidad, por tantos años juntos, llenos de momentos inolvidables, y los que quedan...

A Irene, por ser mi punto de apoyo en todo momento, estando siempre ahí, a pesar de mi *déficit en la balanza de pagos*. Gracias rubia!

El mayor agradecimiento va a las personas más importantes, mi familia. A mis padres, hermanos, abuelos y tíos por ese cariño y apoyo que, cada uno a su manera, no ha parado de darme aire para conseguir este reto tan importante para mí.

Por último acordarme de manera muy especial de la persona que más orgulloso estaría de este momento, mi abuelo Antonio. Agradecerle su gran sentido de unidad familiar, su gusto por el sacrificio y el trabajo bien hecho, y su inconfundible actitud soñadora, ha sido todo un legado para mí y una fuente de motivación inagotable.

Aquí va mi ensaladilla jefe!

Resumen

La gestión de proyectos es una actividad importante en gran parte de las organizaciones, especialmente las dedicadas a las Ingenierías, convirtiéndose en una pieza fundamental en la consecución de los objetivos. Más allá de la labor organizativa necesaria en todo proyecto, cada vez se otorga mayores expectativas al desempeño de su gestión, conscientes de que permite lograr una optimización con grandes beneficios directos.

La gestión de proyectos dispone de una extensa bibliografía de procedimientos y recomendaciones, generalmente orientadas a los aspectos más explícitos y tangibles que rodean a los proyectos. Por el contrario, dentro de las áreas de conocimiento que rodean a los proyectos, el riesgo es una de las menos trabajadas, al menos desde un punto de vista operativo y práctico, probablemente debido a su intangibilidad, variedad y complejidad. Existen multitud de complejas teorías estocásticas que modelan fenómenos como el riesgo, pero carecen de la operatividad necesaria para el día a día de las organizaciones. Esto, prácticamente ha llevado a la mayoría de los gerentes de proyectos a tratar el riesgo de manera superficial, relegándolo para su resignación al no contar con herramientas pertinentes.

Los métodos tradicionales de planificación tienen una escasa eficacia para la gestión de los riesgos además de una baja practicidad en su uso. Los nuevos recursos accesibles, principalmente la creciente capacidad computacional, ha permitido hacer viable la simulación de modelos de predicción y su recogida de datos en variedad de ámbitos. El método Monte Carlo cumple completamente con los requerimientos necesarios, y tiene resultados contrastados en multitud de entornos de ciencias experimentales como la física aplicada o finanzas. El éxito para el uso del método Monte Carlo reside en el diseño de un modelo robusto, complicado cuando la necesidad es analizar un problema que no tiene un componente aleatorio plenamente explícito, como es el caso del riesgo. La mayor parte de las soluciones de gestión de proyectos basadas en el método Monte Carlo están lejos de aportar resultados deseados por las carencias de los modelos propuestos (aparte de su escasa practicidad), llevando a que tengan poca acogida en la actividad real de las organizaciones. En este Proyecto Fin de Carrera se expone una metodología que comprende desde la recogida de la información hasta su tratamiento, pasando por el desarrollo de un modelo y el simulador, estudiando una nueva perspectiva para su uso.

Palabras clave

Monte Carlo – Proyecto – Gestión – Planificación – PMI – Estimación – MRC – PERT – Riesgo – Correlación – Coste – Flujo de caja – Organización

Abstract

Project management is getting an increasingly larger role, becoming an essential part in the achievements of most organizations, especially those dedicated to engineering. Beyond the hierarchical work required in every project, it is given greater expectations, knowing that allows optimization with huge direct benefits.

Project management has an extensive bibliography of procedures and recommendations, generally geared toward the most explicit and tangible aspects that surround projects. By contrast, within the knowledge areas that concern this dissertation, the risk is one of the less deepened, at least from an operational and practical standpoint, probably due to its intangibility, variety and complexity. There are many complex stochastic theories which model phenomena such as risk, but lack of the necessary operation for the organizations day by day. This has all led to most project managers treating the risk superficially, relegating it to their resignation as they are not able to use appropriate tools.

Traditional methods of planning have a low effectiveness for managing risk in addition to their low practicality of use. The new resources available, mainly the increasing computational power, has allowed the creation of predictive models for simulation and data collection in a wide variety of areas. The Monte Carlo method is fully compliant with our problem requirements and has proven results in many environments of experimental sciences such as applied physics or finance. The success in the use of the Monte Carlo method lies in the design of a robust model, complicated when the need is to analyze a problem that has not a fully explicit random component, as in the case of risk. Most of the project management solutions based on the Monte Carlo method are far from providing the desired results due to the shortcomings of the proposed models (apart from their limited practicality), leading to their low success in the activity of organizations. In this dissertation it is exposed a methodology that extends from the collection of the information to its treatment, going through the development of a model and the simulator, considering a new perspective for its use.

Key words

Monte Carlo – Project – Management – Planning – PMI – Estimation – CPM – PERT– Risk – Correlation – Cost – Cash flow – Organization

Índice de contenidos

Índice de contenidos	i
Índice de Figuras	v
Índice de Tablas	ix
1 Introducción	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivos y enfoque.....	1
1.3 Organización de la memoria.....	2
2 Los proyectos y su gestión	5
2.1 Las bases de los proyectos.....	5
2.1.1 Equilibrio entre objetivos en proyectos.....	5
2.1.2 Fases y ciclo de vida de un proyecto.....	6
2.2 Gestión del tiempo en proyectos.....	11
2.2.1 Estructura de descomposición del trabajo.....	11
2.2.1.1 Creación de la EDT.....	11
2.2.2 Planificación temporal.....	13
2.2.2.1 Métodos básicos de planificación temporal.....	14
2.2.2.2 Evolución de los métodos básicos: PERT.....	16
2.2.2.3 Consideraciones sobre los métodos expuestos.....	18
2.3 Gestión del Coste en proyectos.....	19
2.3.1 Consideraciones del plan de costes.....	20
2.3.2 Realización del plan de costes.....	22
2.3.3 Previsión y Control de Costes.....	23
2.3.3.1 Consideraciones sobre las técnicas expuestas.....	27
2.3.4 Acciones sobre el control de costes.....	27
2.4 Gestión del riesgo en proyectos.....	28
2.4.1 Plan de gestión de riesgos.....	29
2.4.1.1 Identificación y análisis cualitativo de riesgos.....	29
2.4.2 Análisis cuantitativo de riesgos.....	33
2.4.2.1 Métodos de análisis cuantitativo de riesgos.....	34
2.4.2.2 Otros métodos de análisis cuantitativos y consideraciones.....	37
2.4.3 Plan de respuesta frente a riesgos.....	37
2.4.4 Seguimiento y control de riesgos.....	40
3 Modelado y Simulación	43
3.1 Modelando el problema.....	43

3.1.1 Modelado básico de la lógica.....	45
3.2 Simulación.....	46
3.2.1 Simulación por el método Monte Carlo.....	46
3.2.1.1 FDP para algunas entradas de la simulación	49
3.2.1.2 Salidas de la simulación.....	51
3.2.2 Desarrollo del simulador.....	53
4 Aspecto humano en relación con la gestión del riesgo	59
4.1 El factor humano y la información.....	59
4.1.1 Dificultades en la recolección de la información	61
4.1.2 La parcialidad en las estimaciones.....	62
4.1.2.1 Interpretando la parcialidad	63
4.1.2.2 Consecuencias de la parcialidad.....	64
4.1.3 Usando la nueva información para modificar juicios anteriores	66
4.2 Recolección de la información	67
4.3 Implicación de las organizaciones.....	70
5 Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación temporal.....	73
5.1 Introducción.....	73
5.1.1 La lógica de un plan de proyecto	74
5.2 Caminos paralelos: Concepto de Ruta Crítica.....	76
5.2.1 Caminos paralelos y puntos de confluencia	77
5.2.2 Actividades y caminos que retrasarán el proyecto	82
5.2.2.1 Índice Crítico.....	83
5.2.2.2 Sensibilidad	84
5.3 Eventos probabilísticos en la lógica del proyecto	86
5.3.1 Integrandos eventos de riesgo en el plan de proyecto	88
5.3.2 Planificaciones bajo varios eventos de riesgo	90
5.3.3 Estrategias de mitigación de riesgos.....	92
5.3.4 Eventos probabilísticos frente a la extensión de la FDP	94
5.4 Eventos condicionales en la lógica del proyecto	94
5.4.1 Utilidad de disparadores en la lógica.....	95
5.4.2 Simulando disparadores condicionales	96
5.4.3 Usos de disparadores para cumplir objetivos.....	98
5.4.4 Usos de disparadores para cumplir objetivos II.....	100
5.4.4.1 Efectos colaterales de los disparadores	106
5.5 Segmentando los posibles escenarios	108
5.5.1 Introducción.....	108
5.5.2 Información implícita: Variación entre escenarios	109

6 Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto	115
6.1 Introducción.....	115
6.1.1 Dependencia entre elementos	115
6.1.2 El fenómeno de la correlación	117
6.2 Implementando la correlación.....	120
6.2.1 Poniendo en práctica la correlación	123
6.2.2 Consideraciones sobre la correlación	129
6.3 ¿El mejor enfoque? El origen del problema	129
6.3.1 Cambiando la perspectiva: Riesgos Explícitos	130
6.3.1.1 Poniendo a prueba el nuevo modelo	131
6.3.1.2 Análisis de sensibilidad enfocado a los riesgos	135
6.3.2 Puesta en práctica del nuevo modelo	137
6.3.2.1 Análisis de sensibilidad enfocado a los riesgos II	142
6.3.3 Algunas consideraciones prácticas del análisis	149
7 Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación económica	151
7.1 Integración del elemento coste	151
7.1.1 Modelando los costes: Actividades y sus recursos	152
7.1.2 Armonía Tiempo-Coste	155
7.1.3 Conexión y dependencias Tiempo-Coste.....	156
7.1.4 Poniendo a prueba la integración Tiempo-Coste	157
7.1.5 Maneras de modelar otras actividades y sus recursos	162
7.2 Profundizando en la integración Tiempo-Coste	164
7.2.1 Puesta en práctica de la integración.....	164
7.2.1.1 Resultados de la integración Tiempo-Coste.....	168
7.2.1.2 Sensibilidades del elemento Coste.....	171
8 Aplicaciones del Simulador avanzadas del modelo integrado	175
8.1.1 Nivel de Confianza Conjunto (NCC) de estimación	176
8.1.2 Flujos de Caja Probabilísticos.....	180
8.1.2.1 Segmentación de los flujos de caja	185
8.1.3 Discriminando los riesgos: Priorización	189
8.1.4 Intervención sobre los riesgos	196
9 Conclusiones y trabajo futuro	201
9.1 Conclusiones	201
9.2 Trabajo futuro.....	203
9.2.1 Modelo y simulador	203
9.2.2 Metodología	204
Referencias	205

Apéndice A: Comparación Monte Carlo – PERT	207
Mostrando las diferencias entre Monte Carlo-PERT	207
Tratamiento de caminos paralelos: El talón de Aquiles de PERT	210
Apéndice B: Generación de la correlación	213
Aproximándose al método más conveniente	215
El método Iman-Conover	216
Algunos requerimientos y ajustes adicionales.....	216
La Factorización de Cholesky	218
Otras técnicas para modelar la correlación	219
Apéndice C: Planificación temporal y lógica	221
Modelado y construcción de la lógica	221
Lógica incompleta en el plan de proyecto	226
Planificación temporal aplicada.....	229
Restricciones en fechas de finalización.....	229
Retrasos en el modelado del plan	232
Hitos externos del plan de proyecto.....	233
Gestión de recursos limitados	234
Presupuesto	237
Pliego de Condiciones	239

Índice de Figuras

Figura 1. La triple restricción en gestión de proyectos	6
Figura 2. Ciclo de vida detallado de un proyecto [3].....	7
Figura 3. Áreas de conocimiento de proyectos con sus procesos [1]	10
Figura 4. Estructura de descomposición del trabajo [1].....	11
Figura 5. Red de flechas	15
Figura 6. Red de precedencia	16
Figura 7. Malla PERT	18
Figura 8. Línea base de costes [1]	23
Figura 9. Valor planificado, coste actual y valor ganado	25
Figura 10. Extrapolaciones del valor ganado	26
Figura 11. Estructura de desglose de riesgos con su categorización [1]	31
Figura 12. Matriz de escalas de impacto [1].....	31
Figura 13. Matriz de probabilidad e impacto [1].....	33
Figura 14. Ejemplo de árbol de decisión	35
Figura 15. Dependencia Fin a Comienzo [29].....	45
Figura 16. Dependencia Comienzo a Comienzo [29].....	45
Figura 17. Dependencia Fin a Fin [29]	46
Figura 18. Dependencia Comienzo a Fin [29]	46
Figura 19. Procesos básicos del análisis por el método Monte Carlo	47
Figura 20. Funciones de distribución Beta y Triangular [1]	49
Figura 21. Diferentes tipos de salidas de información posibles	52
Figura 22. Esquema básico de la arquitectura de módulos del simulador & E/S.....	56
Figura 23. Estrechamiento de la FDP por parcialidad optimista	63
Figura 24. Alteración total de la FDP debido a experiencia anterior inusual	64
Figura 25. Resultados con impacto reducido debido a la parcialidad	65
Figura 26. Resultados con una correcta estimación de riesgos en subelementos	66
Figura 27. Ejemplo de Diagrama de Gantt donde se muestra la planificación temporal.....	75
Figura 28. Gantt proyecto simple con 4 tareas consecutivas.....	78
Figura 29. Resultados de la fecha de finalización del proyecto simple de 4 tareas	78
Figura 30. Gantt proyecto simple con 3 caminos paralelos idénticos.....	79
Figura 31. Resultados de la fecha de finalización del proyecto con 3 caminos paralelos.....	80
Figura 32. Comparación de las FDA de las duraciones de los proyectos.....	80
Figura 33. Gantt proyecto con tres caminos paralelos de diferentes holguras	82
Figura 34. Comparación de las FDA de las duraciones de los 3 caminos	84
Figura 35. Sensibilidad de la duración de las tareas con la duración del proyecto	85
Figura 36. Gantt proyecto con 4 tareas consecutivas	88
Figura 37. Nuevo camino necesario en caso de fracaso del test	89
Figura 38. Resultados de la fecha de finalización.....	89
Figura 39. Comparación de los escenarios con diferente nº de eventos de riesgo en cascada	91
Figura 40. Mejora de resultados ampliando el margen temporal de tarea crítica	93
Figura 41. Mejora en el nivel de confianza necesario debido a margen temporal	93
Figura 42. Gantt proyecto con plan de contingencia de minimización del riesgo	96
Figura 43. Resultados de fechas de finalización sólo considerando el Plan A.....	97
Figura 44. Mejora de los resultados mediante un disparador de plan de contingencia	98
Figura 45. Posposición del disparador permite ejecutar plan inicial en más ocasiones	99
Figura 46. Comparación de resultados según la colocación del disparador de contingencia	100
Figura 47. Gantt segmento plan proyecto renovación de la plataforma IVR.....	101

Figura 48. Resultados de fechas de finalización del plan sin considerar congelación.....	102
Figura 49. Fechas de finalización de la tarea realizada por los expertos en integración	103
Figura 50. Resultados introduciendo el disparador para posponer tarea expertos.....	104
Figura 51. Distribución bimodal de la tarea de solicitud provocada por la congelación.....	105
Figura 52. Comparación del plan inicial y del plan con disparador de contingencia.....	106
Figura 53. Sensibilidad entre la duración de las tareas y la duración total del proyecto.....	107
Figura 54. Sensibilidad alterada por la inclusión del disparador de contingencia	107
Figura 55. Escenarios diferenciables en la FDP de resultados totales.....	110
Figura 56. Resultados del primer escenario	111
Figura 57. Resultados del segundo escenario	112
Figura 58. Resultados del tercer escenario	112
Figura 59. Resultados del cuarto y quinto escenario	113
Figura 60. Resultados del sexto escenario	113
Figura 61. Un evento de riesgo define la dependencia entre actividades	116
Figura 62. Correlación perfecta producida por un solo riesgo	119
Figura 63. Tareas con un riesgo en común y riesgos específicos	119
Figura 64. Dependencia difusa cuando intervienen riesgos no comunes	119
Figura 65. Gantt de proyecto para poner en práctica la correlación	123
Figura 66. Resultados de las fechas de finalización sin correlación	124
Figura 67. Resultados de las fechas de finalización con correlación	124
Figura 68. Comparación de los resultados según la correlación	125
Figura 69. Gantt de proyecto con camino paralelo para poner en práctica la correlación.....	126
Figura 70. Resultados de las fechas de finalización sin correlación en caminos paralelos	126
Figura 71. Resultados de las fechas de finalización con correlación en los caminos paralelos.....	127
Figura 72. Comparación de los resultados con rutas concurrentes según la correlación	127
Figura 73. Efecto de la correlación en las sensibilidades	128
Figura 74. Resultados de la duración de la tarea aplicando la incertidumbre	132
Figura 75. Resultados de la duración de la tarea aplicando el riesgo	133
Figura 76. Resultados de la duración de la tarea aplicando dos incertidumbres.....	134
Figura 77. Resultados de la duración de la tarea aplicando dos riesgos	134
Figura 78. Sensibilidad dispar de riesgos muy similares	135
Figura 79. Gantt del proyecto de despliegue de nodo radio.....	138
Figura 80. Resultados de las fechas de finalización del proyecto con riesgos implícitos	138
Figura 81. Resultados de las fechas de finalización del proyecto con riesgos explícitos	140
Figura 82. Sensibilidad de tareas y riesgos contemplándolos todos.....	143
Figura 83. Sensibilidad de tareas y riesgos mitigando <i>Adquisición de Emplazamiento</i>	144
Figura 84. Sensibilidad de tareas y riesgos mitigando <i>Disponibilidad para suministro</i>	145
Figura 85. Sensibilidad de tareas y riesgos mitigando <i>Variación de Requisitos</i>	145
Figura 86. Sensibilidad de tareas y riesgos mitigando <i>Adecuación Compleja</i>	146
Figura 87. Sensibilidad de tareas con todos los riesgos mitigados por completo.....	147
Figura 88. Comparación de las simulaciones de priorización de riesgos mitigados.....	148
Figura 89. Gantt proyecto básico con costes	157
Figura 90. Resultados del coste total del proyecto con incertidumbre temporal.....	158
Figura 91. Relación directa del coste del proyecto con una incertidumbre.....	159
Figura 92. Modificación de la FDA cuando se añade un impacto en la tasa de gasto.....	160
Figura 93. Riesgos en recursos (no correlacionados con el tiempo) disminuyen la relación	160
Figura 94. Resultados de un riesgo sobre un recurso tiempo-independiente	161
Figura 95. Riesgos sobre recursos tiempo-independientes aumenta la dispersión.....	162
Figura 96. Gantt proyecto básico incluyendo la tarea hamaca de gestión	163
Figura 97. Gantt del despliegue nodo radio incluyendo costes determinísticos	164

Figura 98. Resultados del coste total del proyecto sin riesgos económicos	169
Figura 99. Resultados del coste total del proyecto con todos los riesgos.....	169
Figura 100. Resultados de contemplar, marginar y eliminar los riesgos.....	171
Figura 101. Resultados de las sensibilidades de los diferentes elementos del proyecto.....	172
Figura 102. Dispersión del proyecto de despliegue nodo radio con todos sus riesgos.....	175
Figura 103. Curva de nivel y cuadrículas para un NCC del proyecto del 70%	177
Figura 104. Interpretación tridimensional de la densidad de resultados conjuntos.....	178
Figura 105. Valores temporal y de coste para un NCC del 70%	178
Figura 106. Conveniencia de separar clústeres de escenarios para mejorar el análisis.....	179
Figura 107. Ejemplo de un flujo de caja probabilístico de un proyecto	182
Figura 108. Ejemplo de los flujos de caja acumulados y diferenciales de un proyecto	183
Figura 109. Análisis del flujo financiación	184
Figura 110. Resultados de la segmentación para el primer escenario.....	186
Figura 111. Resultados de la segmentación para el segundo escenario	186
Figura 112. Resultados de la segmentación para el tercer escenario	187
Figura 113. Resultados de la segmentación para el segundo escenario	187
Figura 114. Comparación temporal de priorización de riesgos mitigados con criterio tiempo	190
Figura 115. Comparación económica de priorización de riesgos mitigados con criterio tiempo	191
Figura 116. Comparación económica de priorización de riesgos mitigados con criterio coste	192
Figura 117. Comparación temporal de priorización de riesgos mitigados con criterio coste	192
Figura 118. Gantt proyecto simple con 4 tareas consecutivas.....	208
Figura 119. Resultados de las fechas de finalización usando PERT	209
Figura 120. Resultados de las fechas de finalización usando Monte Carlo	209
Figura 121. Subestimación de PERT cuando existen caminos paralelos	210
Figura 122. Ejemplo de lógica incompleta, <i>Diseño Componente A</i> sin un sucesor	227
Figura 123. La variación temporal de la lógica incompleta no tiene impacto en el plan	227
Figura 124. Dependencias del tipo CC pueden no ser robustas.....	228
Figura 125. Dependencias del tipo FF también pueden no ser robustas	228
Figura 126. Lógica robusta: Variaciones en el predecesor son correctamente tratadas	228
Figura 127. Lógica robusta: Variaciones en el sucesor son correctamente tratadas	228
Figura 128. Proyecto con dos caminos paralelos y un punto de confluencia en su lógica.....	230
Figura 129. Resultados de fechas de finalización sin restricciones	230
Figura 130. Resultados de fechas de finalización con la restricción.....	231
Figura 131. Resultados de fechas de finalización con la restricción enmascarada	231
Figura 132. Ejemplo de hito externo en el proyecto de despliegue nodo radio	233
Figura 133. Prueba Componente B pospuesta para no comprometer recursos limitados	235

Índice de Tablas

Tabla 1. Tabla de registro de riesgos (cabeceras y parámetros).....	32
Tabla 2. Tabla de resultados de la fecha de finalización del proyecto simple de 4 tareas.....	78
Tabla 3. Escenarios posibles en punto de confluencia de tres caminos	81
Tabla 4. Índice crítico de cada componente del proyecto	83
Tabla 5. Ejemplos del factor de crucialidad en diferentes tareas del proyecto	86
Tabla 6. Parámetros de las distribuciones de las tareas adicionales en caso de fallo de test	89
Tabla 7. Resumen de resultados de fechas de finalización según el disparador	100
Tabla 8. El ejemplo refleja una matriz incoherente	121
Tabla 9. Resultado de la matriz incoherente ajustada	122
Tabla 10. Matriz de correlación de tareas con coeficientes altos	124
Tabla 11. Descripción del impacto y ocurrencia de una incertidumbre.....	131
Tabla 12. Descripción del impacto y ocurrencia de un riesgo.....	132
Tabla 13. Descripción del impacto y ocurrencia de dos incertidumbres	133
Tabla 14. Descripción del impacto y ocurrencia de dos riesgos.....	134
Tabla 15. Segmento del registro de riesgos con las probabilidades e impactos.....	139
Tabla 16. Matriz de asignación riesgos-tareas despliegue nodo radio	139
Tabla 17. Comparativa de simulaciones con ambos enfoques de riesgos	141
Tabla 18. Comparación de rangos de las tareas para ambos métodos.....	141
Tabla 19. Ordenación de priorización de los riesgos mitigados por su impacto en el P-80.....	147
Tabla 20. Recursos del proyecto de despliegue nodo radio	153
Tabla 21. Coste del proyecto de despliegue nodo radio por actividad	153
Tabla 22. Matriz Actividades-Recursos del proyecto de despliegue nodo radio	154
Tabla 23. Rango de impacto de la incertidumbre de productividad laboral	157
Tabla 24. Rango de impacto de productividad laboral incluido costes.....	159
Tabla 25. Adición de riesgo que afecta a recurso tiempo-independiente	161
Tabla 26. Recursos del proyecto de despliegue nodo radio	165
Tabla 27. Matriz Actividades-Recursos del proyecto de despliegue nodo radio	166
Tabla 28. Riesgos del proyecto despliegue nodo radio con impactos y probabilidades.....	167
Tabla 29. Matriz de asignación riesgos-tareas despliegue nodo radio con costes	168
Tabla 30. Cuantía para el coste de contingencias por elemento	170
Tabla 31. Priorización de los riesgos a un nivel de confianza del P-80 con criterio tiempo.....	191
Tabla 32. Priorización de los riesgos a un nivel de confianza del P-80 con criterio coste.....	193
Tabla 33. Redefinición de los parámetros de dos riesgos para el plan de acción	197
Tabla 34. Modificación del presupuesto por el plan de acción.....	198
Tabla 35. Comparación de resultados principales de cada simulación	198
Tabla 36. Comparación de resultados de posibles escenarios de cada simulación	198
Tabla 37. Resultados del análisis de priorización de impactos marginales de los riesgos	199
Tabla 38. Estimaciones según PERT con distribución triangular.....	208
Tabla 39. Comparación resultados PERT-Monte Carlo en lógica simple.....	209
Tabla 40. Estimaciones según PERT para los tres componentes.....	210
Tabla 41. Comparación resultados PERT-Monte Carlo con caminos paralelos.....	211
Tabla 42. Resultados para la correlación usando el MOM.....	220

1 Introducción

1.1 Motivación

En la actualidad, gran parte de las organizaciones de todos los ámbitos demandan cada vez más el perfil específico de gestor de proyectos, tanto para proyectos internos como para su actividad externa. Este hecho tampoco se ha obviado en el plan de estudio de las Ingenierías, estableciendo la asignatura Proyectos como parte del itinerario orientado a la gestión. En ella, se establecen la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas, y técnicas para poder cumplir las necesidades y expectativas de las partes interesadas de un proyecto. Gran parte de ese conocimiento está ampliamente contrastado por comunidad de gestores y divulgadores, mientras que otros están en plena evolución gracias a nuevos recursos disponibles, o simplemente porque disponen de un mayor margen de mejora o innovación. En este Proyecto Fin de Carrera se ha tratado una parte de la materia con ambas coyunturas, evolución y capacidad innovación, como es la gestión y cuantificación del riesgo.

Este proyecto ha sido de un gran interés personal, ya que el estudio de la materia hizo posible la realización de prácticas en el departamento de *Gestión de Proyectos de Red Central* de Vodafone, lo cual ha permitido dotar al proyecto de una visión realista y operativa, fundamental para el estudio de una metodología. En la experiencia profesional pronto se observó un escaso interés en la gestión explícita del riesgo, convertido en factor de mero conformismo debido a la inoperatividad de su análisis en el marco de una actividad laboral intensa como la existente. Esto hizo que más allá del estudio de las posibilidades que otorga el método Monte Carlo frente a los métodos tradicionales en la gestión del riesgo, se haya tratado de ofrecer una metodología creíble, contrastada con profesionales del ámbito de estudio, capaz de ser incorporada a las prácticas habituales de una organización real.

1.2 Objetivos y enfoque

Este Proyecto Fin de Carrera ha tenido varios objetivos, algunos añadidos a lo largo de su realización según se ha ido profundizando en la materia. El objetivo inicial se trata de ver cómo incorporar el método Monte Carlo, comúnmente utilizado en ciencias experimentales desde hace tiempo, a la gestión de proyectos. Mediante este primer objetivo se trata de evaluar las mejoras que se obtienen en términos de resultados y operatividad en comparación con los métodos tradicionales. También estudiar las nuevas posibilidades que el método Monte Carlos puede ofrecer en la obtención de resultados.

En siguiente objetivo viene derivado de la necesidad de estudiar cómo influye el aspecto humano (en la recolección de la información, parcialidad de las estimaciones y la cultura del riesgo en las organizaciones) a la hora de materializar una metodología como la propuesta. En esta labor la posibilidad de tener a disposición un equipo profesional dedicado a la actividad ha sido decisiva para ajustar las necesidades y poner a prueba los planteamientos.

Una vez probada la conveniencia y utilidad del método Monte Carlo, el tercer objetivo ha sido estudiar qué posibilidades de mejora existen en aspectos como la influencia de la correlación, y tratar de ofrecer a un aspecto tan importante como complejo la posibilidad de modelarlo de manera intuitiva y eficaz.

El último objetivo es completar el modelo de simulación y la metodología integrando conjuntamente la planificación temporal y económica y riesgos de un proyecto, tratando de buscar todo el potencial en cuanto que esto nos puede ofrecer para la gestión de proyectos.

1.3 Organización de la memoria

La memoria está formada por varios bloques principales como se describe continuación. El primero se trata del común estado del arte, en el cual se introduce la gestión de proyectos en general, y se profundiza en las áreas de conocimiento que están involucradas en la metodología. En este apartado además de introducir los conceptos principales, sirve como preámbulo para buscar un método que cubra las carencias que tienen los tradicionales. En el siguiente bloque, se expone la alternativa de usar el método Monte Carlo para simular un plan de proyecto, introduciendo las necesidades del modelo y el desarrollo del simulador. En el siguiente bloque se trata el aspecto humano que concierne a la planificación en la gestión de proyectos. El uso de la metodología tiene como parte fundamental la facilitación de las entradas por parte del capital humano de los proyectos, y esto tiene diversas implicaciones que se han de estudiar y valorar.

Después de sentar las bases para incorporar el método Monte Carlo en la gestión de proyectos, se profundiza en la planificación temporal. Para ello, se estudia a través de diversos ejemplos la cuantificación del riesgo temporal, incorporando funcionalidades al simulador que permiten reportar una mayor cantidad de información sobre las simulaciones. En siguiente bloque se trata de un aspecto propio de modelos estadísticos, como es la correlación. Mediante la correlación establecemos fenómenos del mundo real como la dependencia entre actividades, algo que si no fuera incluido en el modelo haría que este careciera de la rigurosidad necesaria. La necesidad de modelar este fenómeno y la complejidad para hacerlo adecuadamente acaba dando un vuelco a la metodología planteada, redefiniendo el modelo de una manera muy

dispar de lo inicialmente planteado. Este nuevo planteamiento cambia no sólo la forma de incorporar la correlación, sino que permite un mejor tratamiento del riesgo, que es el objetivo principal.

Una vez se consigue formalizar el modelo se incorpora el área de los costes al mismo. De esta forma se observa las ventajas de una integración completa de tiempo y coste, que permite extraer multitud de resultados y métricas para una gestión eficaz del riesgo que compromete los proyectos. Para ello se utiliza ejemplos con casos prácticos que permiten ver la conveniencia de la metodología propuesta.

2 Los proyectos y su gestión

2.1 Las bases de los proyectos

Desde tiempos inmemoriales ha habido la necesidad de realizar la gestión, control y seguimiento de trabajos. El trabajo generalmente involucra operaciones o proyectos, y aunque se puedan solapar, comparten muchas características:

- Desarrollados por personas
- Limitados por recursos escasos
- Planeados, ejecutados, y controlados

Las operaciones y los proyectos difieren principalmente en que las operaciones son sucesivas y repetitivas, mientras que los proyectos son temporales y únicos. Un proyecto por lo tanto puede ser definido en término de sus características distintivas, como una tarea temporal desarrollada para crear un producto o servicio único.

Los proyectos son desarrollados en todos los niveles de las organizaciones. Estos pueden involucrar a una sola persona o cruzar muchas fronteras organizacionales, pudiendo requerir tanto pocas horas de trabajo, como varios miles. Los proyectos son a menudo componentes críticos de la estrategia de negocio de la organización que los desarrolla.

Si nos ponemos a pensar en los elementos que requieren esta gestión, sería posible realizar una clara segmentación, describiendo sus implicaciones y mejores prácticas. Esto es lo que pensaron las cinco personas que en 1968 celebraron el primer seminario de una organización orientada a predicar sobre las mejores prácticas en la gestión de proyectos, el PMI (Project Management Institute). A día de hoy, es la más grande del mundo en su actividad, dado que se encuentra integrada por más de 260.000 miembros en cerca de 170 países. Sus principales objetivos son la realización de estándares profesionales, recogidos en libros de referencia como el PMBOK [1], así como generar conocimiento a través de la investigación, promoviendo la gestión de proyectos como profesión a través de sus programas de certificación.

La metodología del PMI en las áreas de este Proyecto Fin de Carrera van a seguirse de cerca en la realización del mismo, avalada por el reconocimiento que ha llegado a tener por otras instituciones, y que la han convertido en el estándar de facto de la actividad.

2.1.1 Equilibrio entre objetivos en proyectos

La administración de proyectos es la aplicación de conocimiento, habilidades, herramientas y técnicas para actividades de manera que cumplan las necesidades y

expectativas de las partes interesadas de un proyecto. Cumplir las necesidades o expectativas de las partes inevitablemente requiere tomar compromisos con elementos que compiten entre sí, como:

- Alcance, tiempo, coste y calidad, cada uno por separado
- Necesidades y expectativas de todas las partes involucradas en el proyecto

Aunque pueda parecer trivial, fijar el equilibrio que otorga el grado de compromiso idóneo puede ser de gran dificultad, esencialmente por que cada uno de estos elementos suele formar parte de intereses diferenciados de cada parte.

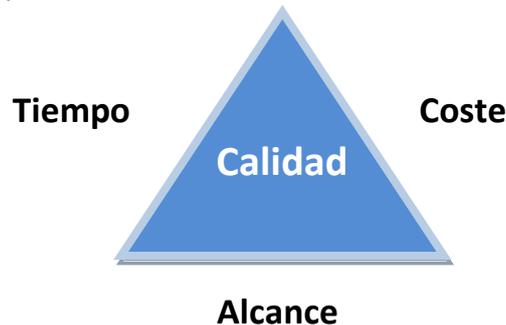


Figura 1. La triple restricción en gestión de proyectos

En este Proyecto Fin de Carrera nos centraremos en un elemento de vital importancia, que compromete a los ya comentados en cada una de sus fases, jugando un papel fundamental en la consecución de cada uno de ellos, como es el riesgo.

2.1.2 Fases y ciclo de vida de un proyecto

Las tareas de un proyecto de manera común estarán divididas en varias fases para facilitar la gestión del mismo, y de todos sus componentes. Las formas de agrupar las actividades y los objetivos de cada fase pueden ser muy diferentes en función de los requerimientos o tecnologías empleadas.

Cada fase del proyecto está acotada por la terminación de una o más entregas previstas en la misma, donde una entrega es un tangible, o un producto de trabajo verificable. Las entregas, y por tanto las fases, son parte generalmente de una secuencia lógica diseñada para asegurar una definición apropiada del proyecto.

La finalización de una fase del proyecto está generalmente marcada por la revisión tanto de las entregas como del desempeño del proyecto para poder:

- Determinar si el proyecto debe continuar a su próxima fase
- Detectar y corregir errores de manera eficiente

Estas fases no son otra cosa que conjuntos de tareas necesarias para la realización de un objetivo común o entregable. Estas tareas estarán definidas con un compromiso sobre los recursos, tanto financieros, como materiales y humanos para su ejecución.

En cuanto un proyecto tiene cierta envergadura, puede diferenciarse claramente varias fases:

- *Fase de iniciación:* Definición de los objetivos y recursos. La definición de requisitos así como recopilar la información necesaria para afrontar las siguientes fases con garantías es su objetivo.
- *Fase de planificación:* Aquí nos centraremos en cómo satisfacer las restricciones definidas, planificación temporal y de costes. Los resultados de esta fase han de ser una serie de documentaciones o informes que acompañen, dirijan y sustenten el desarrollo del proyecto. Como objetivo ha de definirse el presupuesto, actividades y alcance, conformando el llamado plan de proyecto.

Es en esta etapa donde se hará mayor hincapié en este Proyecto Fin de Carrera, pues es en este momento donde los riesgos empiezan a desempeñar un papel importante en los tres elementos anteriores, aunque sus dominios pueden extenderse hasta el final del ciclo.

- *Fase de ejecución:* Momento en el que las tareas y actividades del proyecto se ponen en acción, ajustándose a lo planificado y consumiendo los recursos adjudicados.
- *Fase de entrega:* Es la culminación de la ejecución, así como la redacción y recopilación de información sobre el proyecto para su documentación al destinatario final. Más allá de facilitar esta documentación a su destinatario, parte de esta información también debe de ir orientada a proveer información útil para la realización de futuros proyectos.
- *Fase de control:* Es la monitorización y medición del trabajo realizado, realizando las acciones correctivas que sean necesarias. En ocasiones supone una revisión de la fase de planificación y/o de la fase de ejecución.

De manera colectiva se conocen a estas fases como el ciclo de vida del proyecto:



Figura 2. Ciclo de vida detallado de un proyecto [3]

Los principales elementos que determina el ciclo de vida de un proyecto son:

- *El alcance*: Define los objetivos del proyecto y sus dimensiones. Un proyecto puede comprender un simple estudio de viabilidad del desarrollo de un producto, o su desarrollo completo. Llevándolo al extremo, el alcance podría ser toda la vida del producto con su desarrollo, fabricación, y modificaciones posteriores hasta su retirada del mercado.
- *La estructura*: La sucesión de las fases que puede ser lineal, con prototipado, o en espiral.
 - *Lineal*: Es el más sencillo y por ello el más utilizado. Consiste en descomponer la actividad global del proyecto en fases que se suceden de manera lineal y consecutiva, pudiendo existir la posibilidad de rutas paralelas debido a actividades concurrentes. Con un ciclo lineal es más fácil realizar previsiones y asignaciones.
 - *Prototipado*: Se usa en desarrollos de productos con innovaciones importantes, cuando se prevé utilidades de tecnologías nuevas o poco probadas, y existe una incertidumbre sobre los resultados alcanzables. Esta ignorancia sobre el comportamiento de las tecnologías y resultados impiden iniciar un proyecto lineal con especificaciones cerradas.
 - *Espiral*: Es una generalización del anterior para los casos en que no basta con una sola evaluación de un prototipo para asegurar la resolución de incertidumbres. El propio producto a lo largo de su desarrollo puede así considerarse como una sucesión de prototipos que progresan hasta llegar a alcanzar el resultado deseado.

Para llevar a cabo todo el ciclo de vida de un proyecto, el conocimiento requerido puede clasificarse en áreas diferenciadas que permiten segmentar el tipo de trabajo requerido a lo largo del ciclo. Estas áreas han sido definidas por el Project Management Institute, recogidas en el PMBOK [1]:

- *Integración*: Esta área consta de 3 procesos, que son el plan de desarrollo, el plan de ejecución y el control integrado de cambios, basados en la coordinación de todos los aspectos del proyecto. Tienen repercusión durante todo el desarrollo del proyecto, a excepción del control de cambios, que sólo tiene lugar durante las etapas de ejecución y control.
- *Alcance*: Define los límites del proyecto describiendo las necesidades, requisitos y restricciones del mismo. Esta área consta de cuatro procesos, que son iniciación de la planificación, definición de alcance, verificación, y control de cambios del alcance. Comprende aquellas actividades relacionadas con el trabajo a realizar en el proyecto, definiendo las actividades, evaluándolas, midiéndolas y controlando los cambios que sobre ellas se planteen.

- *Tiempo*: Aquí realizamos la definición de actividades, secuenciación, estimación de duración, programación temporal y control de la programación. Esta área tiene gran importancia en la metodología planteada, como iremos viendo.
- *Costes*: Puede dividirse en planificación, estimación, presupuestado y control, y se centra en costes y presupuestos asignados tanto al proyecto en su totalidad como a cada una de las actividades o recursos que lo componen. La metodología propuesta trata de ofrecer herramientas para la realización de las correctas estimaciones y el control.
- *Calidad*: Se encarga de asegurar los requerimientos del proyecto realizando las oportunas mediciones y comparaciones respecto al estándar de calidad establecido en el proyecto para garantizar el resultado final. Pueden diferenciarse tres procesos: planificación, aseguramiento y control.
- *Recursos humanos*: Se resuelven todos los asuntos relacionados con el personal del proyecto: liderazgo, entrenamiento, manejo de conflictos, etc. A menudo es llevado a cabo por miembros del proyecto, personal de soporte del proyecto o clientes. Se realiza en varios procesos consecutivos: planificación del personal, reclutamiento y funcionamiento del equipo.
- *Comunicaciones*: Este área se encarga de asegurar que planificación, riesgos, reuniones y otros tipos de información son debidamente recopilados y documentados, asegurándose después que esa información es distribuida y compartida. Esta área es de especial importancia en la fase de cierre del proyecto si se desea crear una información histórica del proyecto. Los procesos involucrados son: planificación, distribución de información, reporte de funcionamiento y cierre administrativo.
- *Riesgos*: Se trata de identificar y tratar los riesgos potenciales del proyecto a lo largo de seis etapas: planificación, identificación, análisis cualitativo, planificación de las respuestas, monitorización y control. Este Proyecto Fin de Carrera tiene como cometido desarrollar una metodología para la gestión de esta área, que compromete de manera inevitable a muchas de las otras descritas, aunque nos centraremos en el tiempo y el coste.
- *Suministros/Recursos*: La compra de bienes, materias primas o contratación de servicios (*outsourcing*) son las actividades en torno a las que se desarrolla esta área de conocimiento. Al igual que otras áreas, se subdivide en varias etapas: planificación, administración de contratos y consolidación de los mismos.

Una vez enunciados el ciclo de vida y las áreas de conocimiento, ya podemos ser más concretos a la hora de fijar dónde se centrará la metodología de gestión del riesgo. La siguiente figura detalla los procesos pertenecientes a las áreas de trabajo descritas, donde se recalca con un borde rojo las áreas concernientes al trabajo realizado en este documento. Observando el área de gestión de riesgos, en sus procesos de planificación se tiene el de *análisis cuantitativo de los riesgos*, que es sobre el que principalmente se

enfoca el desarrollo de la metodología, con los consecuentes efectos sobre las áreas de tiempo y coste y sus procesos:

Área de Conocimiento	Grupo de Procesos de Iniciación	Grupo de Procesos de Planificación	Grupo de Procesos de Ejecución	Grupo de Procesos de Seguimiento y Control	Grupo de Procesos de Cierre
1. Gestión de la Integración del Proyecto	1.1 Desarrollar el Acta de Constitución del Proyecto	1.2 Desarrollar el Plan para la Dirección del Proyecto	1.3 Dirigir y Gestionar la ejecución del Proyecto	1.4 Monitorizar y Controlar el trabajo del Proyecto 1.5 Realizar el Control Integrado de Cambios	1.6 Cerrar Proyecto o Fase
2. Gestión del Alcance del Proyecto		2.1 Recopilar requisitos 2.2 Definir el Alcance 2.3 Crear EDT		2.4 Verificar el Alcance 2.5 Controlar el Alcance	
3. Gestión del Tiempo del Proyecto		3.1 Definir las actividades 3.2 Secuenciar las actividades 3.3 Estimar los Recursos de las Actividades 3.4 Estimar la Duración de las Actividades 3.5 Desarrollar el Cronograma		3.6 Controlar el Cronograma	
4. Gestión de los Costos del Proyecto		4.1 Estimar los Costos 4.2 Determinar el Presupuesto		4.3 Controlar los Costos	
5. Gestión de la Calidad del Proyecto		5.1 Planificar la Calidad	5.2 Realizar el Aseguramiento de Calidad	5.3 Realizar el Control de Calidad	
6. Gestión de los Recursos Humanos del Proyecto		6.1 Desarrollar el Plan de Recursos Humanos	6.2 Adquirir el Equipo del Proyecto 6.3 Desarrollar el Equipo del Proyecto 6.4 Dirigir el Equipo del Proyecto		
7. Gestión de las Comunicaciones del Proyecto	7.1 Identificar a los Interesados (Stakeholders)	7.2 Planificar las Comunicaciones	7.3 Distribuir la Información 7.4 Gestionar las expectativas de los interesados	7.5 Informar el Desempeño	
8. Gestión de los Riesgos del Proyecto		8.1 Planificar la Gestión de Riesgos 8.2 Identificar los Riesgos 8.3 Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos 8.4 Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos 8.5 Planificar la Respuesta a los riesgos		8.6 Monitorizar y Controlar los Riesgos	
9. Gestión de las Adquisiciones del Proyecto		9.1 Planificar las Adquisiciones	9.2 Efectuar las Adquisiciones	9.3 Administrar las Adquisiciones	9.4 Cerrar las Adquisiciones

Figura 3. Áreas de conocimiento de proyectos con sus procesos [1]

2.2 Gestión del tiempo en proyectos

2.2.1 Estructura de descomposición del trabajo

La Estructura de Descomposición del Trabajo (EDT, también conocida por su denominación en inglés Work Breakdown Structure), es una descomposición jerárquica orientada al entregable o el trabajo a ser ejecutado por el equipo de proyecto para cumplir con los objetivos requeridos. Con cada nivel de la EDT representamos un detalle incremental del trabajo del proyecto:

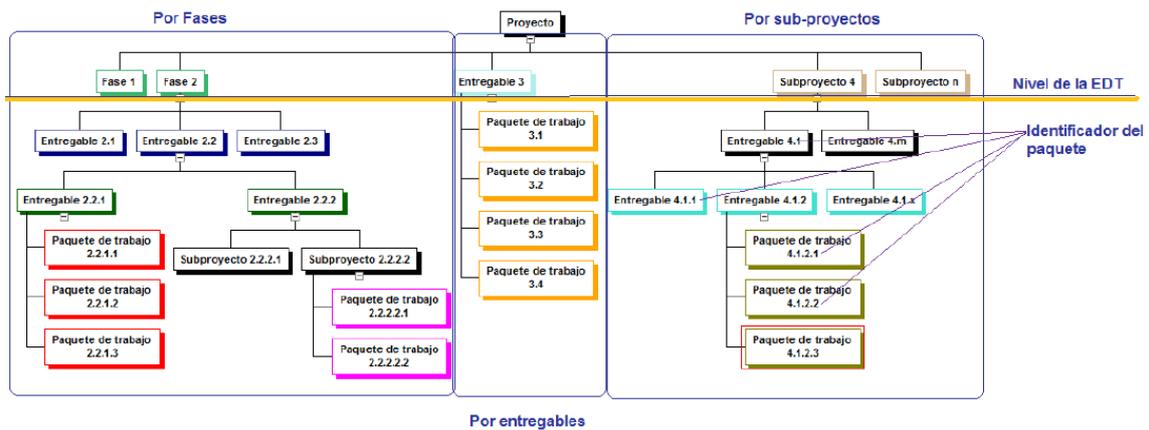


Figura 4. Estructura de descomposición del trabajo [1]

La EDT se elabora durante la fase de planificación del proyecto, después de la definición del alcance del mismo. Esta será un instrumento para facilitar la estimación de los recursos y planificación del tiempo y el coste. Hasta que no se hayan definido todas las tareas a ejecutar no será posible la planificación económica o temporal.

Esta estructura organiza y define el alcance total del proyecto, subdividiendo el trabajo del proyecto en porciones más pequeñas y fáciles de manejar, denominadas paquetes de trabajo, cada vez más detalladas. El trabajo planificado comprendido dentro de los paquetes de trabajo podrá programarse, supervisarse, controlarse, estimar sus costes y asignar responsables para su ejecución de una manera más sencilla.

2.2.1.1 Creación de la EDT

Si bien por definición cada proyecto es único, a menudo una EDT de un proyecto anterior puede usarse como apoyo para uno nuevo con el que guarde cierta similitud. Es razonable pensar que una gran parte de los proyectos dentro de una organización dedicada a una actividad específica tendrán un ciclo de vida similar, así como entregables. Por el contrario, cuando se afronta la creación de un proyecto novedoso, requerirá un estudio extra para llegar al desglose adecuado.

La precisión alcanzada en la definición del alcance nos da la capacidad de poder desglosar en el largo plazo una tarea, un entregable, o un subproyecto (parte

diferenciada dentro del proyecto global que puede tratarse como un proyecto independiente). Esto significa que, en ocasiones, se ha de esperar a etapas más avanzadas del desarrollo del proyecto, como la fase de ejecución, hasta que es posible definir las características del entregable y continuar conformando la EDT al completo. Esto hace que la EDT no sea estática, sino que es revisada, ampliada y corregida a lo largo del proyecto.

Una de las principales cuestiones que se afrontan en el desarrollo de la EDT es el nivel de desglose que se debe llegar a alcanzar. El desglose excesivo puede conducir a un esfuerzo no productivo, un uso innecesario de los recursos y una menor eficiencia en la realización del trabajo. Sin embargo, a medida que el trabajo se descompone hasta niveles inferiores de detalle, mejora la capacidad de planificar, dirigir y controlar el trabajo. El equipo del proyecto, capitaneado por el máximo responsable de la gestión, al cual nos referiremos a partir de ahora como *Project Manager*, debe buscar un equilibrio para los niveles de desglose. La propia tarea de desglose implica principalmente:

- Identificar los entregables y el trabajo relacionado. Para ello analizaremos el enunciado del alcance del proyecto detallado, a través de un juicio experto, documentación previa, y experiencias de los implicados.
- Estructurar y organizar la EDT. Es un proceso analítico, el cual puede apoyarse mediante el uso de una plantilla EDT de proyectos anteriores. La estructura resultante puede adoptar varias formas, tales como:
 - Usar los principales productos entregables y subproyectos como el primer nivel de descomposición.
 - Usar las fases del ciclo de vida del proyecto como el primer nivel de descomposición, insertando los entregables en el segundo nivel.
 - Usar diferentes enfoques en cada rama de la EDT, por ejemplo en cada subproyecto.
- Descomponer los niveles superiores de la EDT. Los componentes detallados de nivel inferior exigen subdividir el trabajo correspondiente en sus componentes fundamentales en función de cómo se ejecutará y controlará el proyecto. Cada componente debe definirse y asignarse clara y completamente a una unidad ejecutante específica de la organización que asuma la responsabilidad del componente de la EDT.
- Asignar cuentas de control. Paralelamente a la creación del desglose de tareas se realiza el desglose de costes del proyecto. Para ello, se asigna según la definición del paquete de trabajo una cuenta de control asociada a cada elemento del nivel de mayor desglose de la EDT, que recoge el coste de este. La aplicación estricta de este criterio da como resultado una jerarquía de cuentas de control similar a la de la EDT, sin embargo no es fácil poder tener el mismo nivel de desglose para ambos elementos, tareas y coste. Esto se debe en ocasiones que los costes no tienen una

correspondencia directa con las tareas, ya que los recursos empleados pueden pertenecer a varias tareas. Esto será un factor muy a tener en cuenta en la creación del modelo para la simulación, como veremos en el Capítulo 7.

- Desarrollar y asignar códigos de identificación a los componentes de la EDT. Un código es un método abreviado, preciso e inequívoco, para transmitir información. Debe servir por tanto como identificador, y en la medida de lo posible debe describir el artículo al que está referido, de la manera más sencilla posible.
- Verificar que el grado de descomposición del trabajo es necesario y suficiente. Exige determinar que los componentes del nivel inferior de la EDT son necesarios y suficientes para completar los productos entregables o subproyectos del nivel superior correspondiente.

Una vez realizadas todas estas actividades para conformar la EDT, se habrá desarrollado, aparte de esta, el diccionario de la EDT. Este documento contendrá el detalle de desglose, facilitando su uso, tanto para los implicados en su propio diseño, como para aquellos que son personal ajeno a la realización del mismo. Este detalle incluye los códigos de los elementos, actividades involucradas, recursos, detalles técnicos, alcance y requisitos de calidad.

Ha de tenerse en cuenta que las primeras etapas en el desarrollo de un proyecto forma parte de un método dinámico e iterativo, en el cual se va alcanzando progresivamente el nivel de equilibrio entre los elementos que lo conforman. Esto significa que elementos como el alcance se verán modificados y actualizados si durante este proceso se aprueba algún cambio. Para ello, se dispondrá de un documento con el fin específico de registrar estos cambios, no sólo al principio, sino durante todo el ciclo de vida del proyecto, llamado *Control integrado de cambios*. Este documento es importante, puesto que en la gestión de proyectos es fundamental que todos los implicados estén al día de las posibles modificaciones, manteniendo una misma visión e información para todo el conjunto del equipo.

2.2.2 Planificación temporal

Con la EDT ya realizada, vamos a exponer los diferentes métodos para llevar a cabo la planificación temporal, para justificar el enfoque que se decida más oportuno de cara al diseño del modelo para simular la metodología propuesta.

De ahora en adelante, cuando nos refiramos a la planificación temporal, lo haremos dentro del marco del plan de proyecto. La planificación temporal se trata del diseño desde el punto de vista lógico de las tareas involucradas en la consecución del proyecto. Hablamos de punto de vista lógico puesto que la disposición temporal seguirá unas reglas formalmente definidas, de dependencias con restricciones y condiciones que iremos viendo.

El plan de proyecto se puede plasmar en una representación visual de las actividades definidas y la lógica que las une. En un primer lugar, esta planificación no requerirá un estudio muy pormenorizado, orientándose más bien a una visión global. Esta no sólo deberá de tener en cuenta las tareas, sino que además tendrá que ser realizada pensando en poder satisfacer muchas de las áreas de conocimiento anteriormente descritas, como la calidad, costes o riesgos. En el siguiente apartado exploraremos las posibilidades existentes para realizar este cometido, momento en el que valoraremos la incorporación del método Monte Carlo a la metodología propuesta.

2.2.2.1 Métodos básicos de planificación temporal

A la hora de definir la metodología, se ha investigado las técnicas tradicionales para la planificación temporal. Este es uno de los principales elementos afectados por los riesgos que atañen a un plan de proyecto. Vamos a dar una panorámica de estas técnicas, para ver en qué manera son mejorables para el desarrollo de una metodología basada en el método Monte Carlo.

- **Diagrama de barras:** Es la forma más directa e intuitiva de realizar un ejercicio de planificación temporal, y por ello también la menos capaz. En esencia, se trata de un cuadrante graduado que muestra el desglose de actividades en el eje de ordenadas y el tiempo en el eje de abscisas, ilustrando la correspondiente duración de cada actividad. A menudo la distribución de las actividades se realiza secuencialmente y conectando verticalmente entre sí las actividades que presentan alguna relación temporal o lógica. Es una forma bastante rudimentaria de planificar, pero ciertamente tiene el punto a favor de su gran capacidad de dar una visión muy rápida, por lo que perdura su uso a modo de herramienta ilustrativa.

Viendo que el principal problema que nos encontramos con los diagramas de barras es su pobre representación de las relaciones entre las tareas, el paso posterior que se dio en este aspecto fue desarrollar técnicas a través de redes malladas, obteniendo mejores resultados.

- **Método de la Ruta Crítica:** Esta técnica introduce el concepto de criticidad de las tareas. Fue desarrollado en 1957 en EEUU, por un centro de investigación de operaciones para las firmas Dupont y Remington Rand. Esta técnica cubre la principal carencia de los diagramas de barras, en cuanto a la capacidad de valorar las relaciones entre actividades. Dentro de esta técnica, existen dos métodos para llevarla a cabo, las redes de flechas y las redes de precedencia.
 - Las *redes de flechas* las emplean para referirse a actividades entre los nodos (hitos o acontecimientos), obteniendo un resultado muy ilustrativo del plan de proyecto. Como práctica habitual, el esquema temporal se desarrolla de

izquierda a derecha, en la que la tarea posterior a un nodo no comenzará hasta que se finalicen todas las tareas que preceden a dicho hito. Esto hace que sea fácilmente interpretable, pero reduce mucho las capacidades de simular escenarios realistas. Este método hace las siguientes hipótesis:

- Las actividades tienen una duración determinada conocida (determinística)
- Se tienen que ejecutar todas las actividades
- No hay repetición de actividades
- No hay restricciones significativas de recursos
- Puede requerir la creación de actividades ficticias

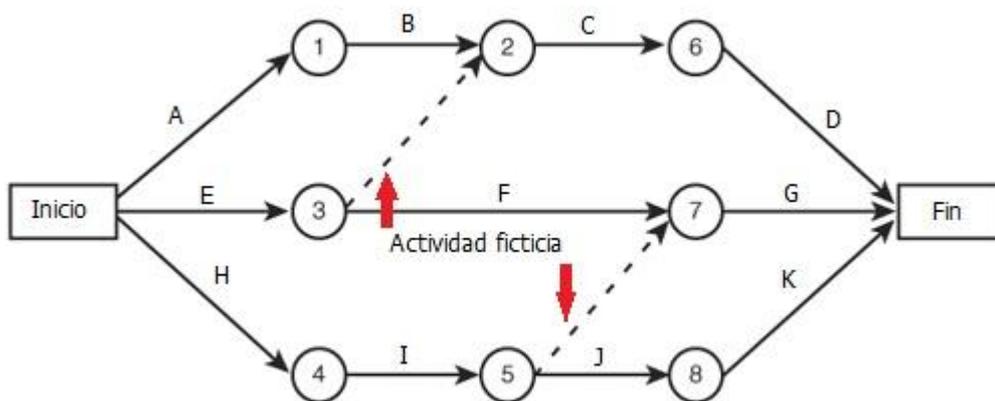


Figura 5. Red de flechas

Para cuantificar los tiempos, se marca cada flecha con la unidad de tiempo que requiere la actividad, de manera que siguiendo la lógica nos será posible calcular las rutas de mayor y menor tiempo de finalización (del primer acontecimiento al último), así como los momentos de principio y fin de cada actividad. Para hallar los márgenes de retraso posible de cada actividad haremos el recorrido en sentido inverso, que no es otro que la diferencia entre los tiempos máximos y mínimos de cada actividad. Estos márgenes se conocen como holgura de la actividad o la ruta, si así fuera. La ruta crítica vendrá dada por aquella cuya holgura sea nula, es decir, que un retraso en las tareas que la conforman supone un impacto directo en el tiempo de finalización.

- Las *redes de precedencia* son una evolución de las redes de flechas, en las cuales se puede incluir un mayor número de elementos de información para modelar un plan de proyecto. Estos elementos de información son los vínculos de las actividades anteriores y siguientes, tiempos más tempranos y tardíos, e identificador. Ahora en lugar de ser representadas por flechas, las tareas son los nodos, y las flechas se usan sólo para reflejar las dependencias.

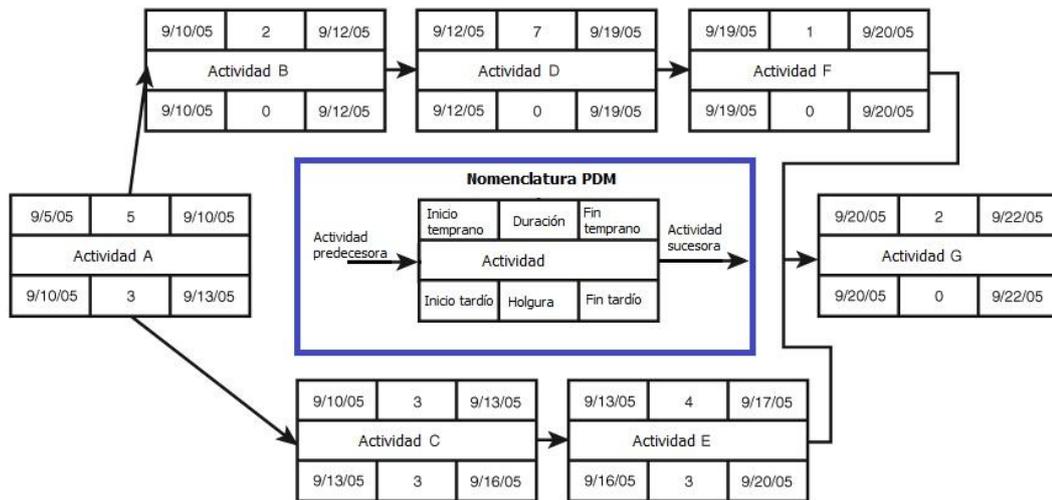


Figura 6. Red de precedencia

Ahora nos es posible modelar demoras, en lugar de introducir tareas ficticias como exigía el método de las redes de flechas. En cuanto a los tipos de dependencias, esta técnica sólo contempla las básicas, por lo que todavía dista mucho de lo que un proyecto real requiere. Este tipo de estimaciones pueden ser aplicables en fases muy prematuras y superficiales del diseño del proyecto, ya que cuando el grado de detalle avanza, modelarlo mediante estas técnicas de redes malladas puede llegar a tener gran complejidad, a pesar de su escaso potencial.

2.2.2.2 Evolución de los métodos básicos: PERT

Al introducir los dos métodos anteriores, rápidamente nos percatamos de problemas como su escasez de recursos para el modelado de situaciones reales, además de su elaborada confección (suponiendo una poca operatividad para su uso). Una de las principales carencias es que no están sensibilizadas con la naturaleza estocástica (algo intrínsecamente no determinístico), cuando los proyectos están rodeados por multitud de incertidumbres y riesgos. Estas incertidumbres vienen dadas por multitud de factores como el humano, técnico, socioeconómico, legal, etc.; creando eventos totalmente aleatorios en el día a día. El método que se expone a continuación, el método PERT, a pesar de ser desarrollado de manera casi paralela a los anteriores, podría verse como una evolución de estos que trata de atajar esta carencia.

Las siglas PERT pertenecen a *Program Evaluation and Review Technique* (*Técnica de Revisión y Evaluación de Programas*, en castellano). Es un método para la administración y gestión de proyectos desarrollado en 1958 por la Oficina de Proyectos Especiales de la Marina de Guerra del Departamento de Defensa de los EEUU como parte del proyecto *Polaris*, un misil balístico móvil lanzado desde un submarino [4].

El método PERT se basa en el método estadístico MOM (Método de los Momentos). Toma como base el concepto de red mallada, con parámetros y dependencias entre sus nodos (tareas), para proponer una técnica más versátil, aunque como mostraremos más adelante, no lo suficiente. Su sencillez permite poder ser utilizado sin necesitar grandes recursos, y cabe decir que ha tenido una aceptación razonable hasta la actualidad, pero se verá poco a poco apartado por técnicas más modernas como el *Modelado y Simulación*, tratada en este Proyecto Fin de Carrera.

El gran paso que da este método es modelar la realidad haciendo uso de distribuciones de probabilidad para definir las posibles duraciones de cada una de las tareas que conforman el proyecto. Concretamente, es una variable aleatoria con distribución de probabilidad *Beta Unimodal*, de parámetros (t_a , t_m , t_b) donde:

- t_a : Se define como el tiempo optimista, o el menor tiempo que puede durar una actividad.
- t_m : Es el tiempo más probable que podría durar una actividad.
- t_b : Éste es el tiempo pesimista, o el mayor tiempo que puede durar una actividad.
- t_e : Corresponde al tiempo esperado para una actividad.

El valor del tiempo esperado en esta distribución se expresa en la siguiente fórmula:

$$t_e = \frac{t_a + 4t_m + t_b}{6}$$

Con varianza:

$$\sigma^2 = \left(\frac{t_b - t_a}{6} \right)^2$$

Y desviación estándar la raíz cuadrada de la varianza anterior.

En un dibujo de una malla PERT podemos distinguir nodos y arcos. Los nodos representan instantes en el tiempo. Específicamente, representan el instante de inicio de una o varias actividades así como el instante de finalización de otras actividades. Los arcos por su parte representan las actividades, tienen un nodo inicial y otro de término donde llega en punta de flecha. Asociada a cada arco está la duración esperada de la actividad.

El dibujo de la malla comienza en el nodo de inicio del proyecto. A partir de él se dibujan las actividades que no tienen actividades precedentes, o sea, aquellas que no tienen que esperar que otras actividades terminen para poder iniciarse ellas. A continuación, se dibujan las restantes actividades cuidando de respetar la precedencia entre ellas. Al terminar el dibujo de la malla preliminar, existirán varios nodos ciegos,

nodos terminales a los que llegan aquellas actividades que no son predecesoras de ninguna otra, es decir aquellas que no influyen en la fecha de inicio de ninguna otra, éstas son las actividades terminales y concurren por lo tanto al nodo de término del proyecto.

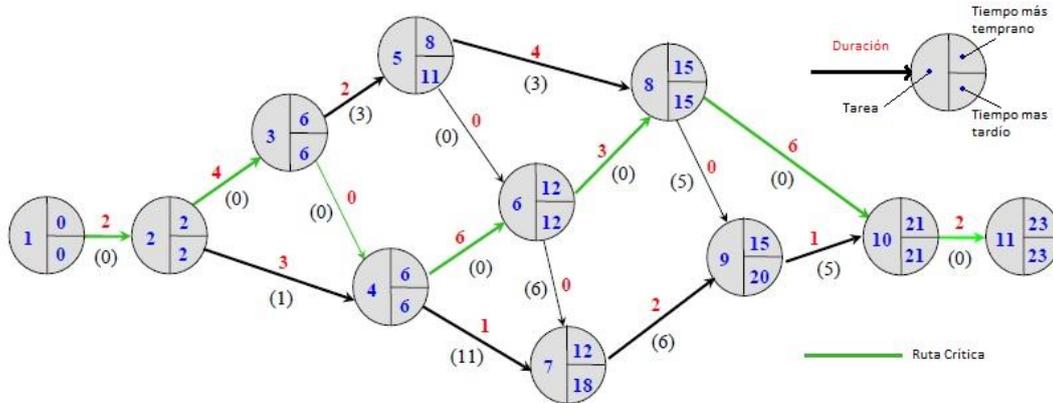


Figura 7. Malla PERT

Una vez conocido el tiempo esperado para cada una de las actividades, se utiliza el método de la ruta crítica para obtener el camino y las actividades críticas (verde). En caso de que haya varios caminos críticos, se escoge aquel con la mayor varianza total.

Una vez se saben las tareas críticas, si sumamos sus tiempos medios, obtenemos el tiempo medio mínimo esperado del proyecto. También obtenemos la varianza del tiempo medio mínimo sumando las varianzas de las actividades críticas (una suposición fuertemente cuestionable). Asumiendo que la duración esperada de cada tarea es una variable aleatoria independiente, para un número considerable de tareas, se podrá aproximar la duración final del proyecto a una distribución normal (teorema central del límite), con esperanza y varianza suma de cada una de las variables.

La problemática con el método PERT reside en que no es consistente en la forma que trata los nodos donde confluyen caminos paralelos (tareas concurrentes). En estos puntos, el método PERT establece que el camino crítico será, y aquí reside el error, inamoviblemente uno de ellos. Esto lleva a que no se considere que caminos inicialmente con holgura (margen de tiempo sin impacto), puedan pasar a ser caminos críticos con implicación directa en la duración global del proyecto, subestimando el riesgo que supone la concurrencia. En el Apéndice A se muestra este fenómeno, y se compara de manera cuantitativa con la metodología propuesta.

2.2.2.3 Consideraciones sobre los métodos expuestos

En el apartado anterior se han mostrado los métodos más comunes para realizar la planificación temporal de proyectos. En su gran mayoría tienen varias

décadas desde su desarrollo, y aunque han cubierto bien las necesidades durante un largo tiempo, evidencian carencias que se deben abordar.

Desde los diagramas de barras hasta el método PERT, aunque este último es algo más completo, se aprecia una clara falta de robustez. Estos métodos se basan en lógicas inflexibles y limitadas, con modelos de datos que difícilmente pueden modelar situaciones reales, teniendo la necesidad incluso de incluir tareas ficticias para su funcionamiento. De igual manera, proponen el tratamiento de las áreas de conocimiento (tiempo y coste) de forma casi independiente, cuando es bien sabido que un proyecto se trata de un sistema totalmente interrelacionado.

Otro problema que se evidencia es que inducen a enfocar en las tareas del camino crítico que se determina (y este camino hemos dicho que es variable), pero poco aportan sobre las tareas con más probabilidades de atrasarse o sobre aquellas de una importancia subyacente. Esto constituirá un problema, ya que nadie nos puede asegurar que diferentes conjuntos como son las tareas críticas, tareas con probabilidad de retraso y tareas de importancia estratégica sean las mismas, de hecho, sería casual que lo fueran. En otras palabras, que una tarea pueda retrasarse un poco sin atrasar al proyecto, no quiere decir que no sea la que probablemente termine atrasándolo, o que no pueda tener una importancia particular. Si nos enfocamos sólo en las tareas del camino crítico seguramente nos veremos pronto con un proyecto en problemas, ya que habremos eludido gran parte de los riesgos.

Por otro lado, aun siendo métodos limitados, dan una idea de algunos conceptos de información útil. Su uso se hace rápidamente poco conveniente en proyectos reales, tanto por el volumen de cálculos necesarios, como por el ritmo que impone el día a día a los proyectos. Son técnicas que pueden ser de utilidad para tratar de esbozar una primera visión, desde perspectivas superfluas, que no implican pormenorizar cada detalle existente en un proyecto. A su vez, sus capacidades para incorporar el riesgo y efectos como la interdependencia de tareas o costes son muy limitados, o nulos, y esto les resta mucho potencial.

2.3 Gestión del Coste en proyectos

Con la EDT y la planificación temporal realizada, es posible iniciar todo lo referente a los aspectos económicos de un plan de proyecto. Como se expuso anteriormente, esta área tiene como aspectos fundamentales la planificación y seguimiento-control, siendo estrechamente dependiente de los riesgos.

En un primer momento, puede pensarse que estas áreas pueden tener cierta independencia, pero es entre otras cosas la existencia de riesgos en los proyectos lo que hace que formen parte de un proceso plenamente dinámico.

El primer paso en la gestión de costes es realizar el estudio de los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto, y conformar el presupuesto de costes. Para tal cometido nos será de gran utilidad la EDT, que junto a la demás información recabada y estimada, permitirán el desarrollo de dicho presupuesto. Como se puede suponer, la forma en que se ha diseñado la EDT está íntimamente ligada con el grado de facilidad que puede suponer el desarrollo presupuestario. Equipos de gestión de proyectos con experiencia mirarán un paso más adelante, orientando la EDT al posterior desglose presupuestario. La estimación de los costes de cada tarea o recurso involucrado en el proyecto es una parte fundamental una metodología de contención de riesgos, por lo que lo estudiaremos a parte en el Capítulo 7, donde discutiremos su parametrización en más profundidad.

Una vez se disponga del presupuesto de costes, la labor de dicha área irá enfocada al control y seguimiento del mismo. Presupuestos cuidadosamente elaborados no están exentos de sufrir cambios, ya que los riesgos que acechan pueden tener efectos directos (modificación del coste de un bien), o indirectos (extensión del tiempo requerido de un recurso con un determinado coste añadido), y estos no siempre se pueden prever (aunque sí acotar, como trataremos de conseguir). Esta obligación llevará, en más de una ocasión, a volver a los primeros pasos de estimación y planificación.

Como cualquier área de conocimiento definida por el PMI, su criticidad variará según la etapa de desarrollo del proyecto. Es lógico pensar que riesgos que alteren el alcance, o recursos del proyecto tendrán un impacto mayor en etapas tempranas, que si realizáramos ajustes presupuestarios en las fases finales, donde la mayor parte del trabajo ya está realizado.

2.3.1 Consideraciones del plan de costes

A la hora de realizar el plan de costes, deberemos de tener en cuenta los siguientes puntos:

- *Nivel de precisión:* El nivel de precisión sobre los costes es una decisión muy ligada a nivel de desglose de la EDT y el alcance del proyecto. De igual manera, desde un punto de vista estratégico será suficiente el trabajar con cantidades orientativas, mientras que el control del proyecto por cada recurso o tarea requiere de mayor exhaustividad.
- *Unidades:* Este aspecto tiene mayor importancia de lo que puede parecer en un principio. La metodología propuesta justificará la necesidad de fijar las unidades de manera coherente, para el modelado y análisis posterior.
- *Umbral de control:* Fijan cuándo se llevará a cabo el control de costes, bien por periodicidades, o hitos fijados.

- *Cuentas de control:* El componente establecido en la EDT deberá de estar en consonancia con los sistemas de contabilidad de la organización.
- *Reglas del valor ganado:* Se trata de una técnica para controlar la evolución del proyecto y sus costes. Esta técnica define una métricas que mide diferentes valores relevantes, pero en ocasiones difícilmente realizables. La metodología propuesta de gestión de riesgos aportará nuevas herramientas y métodos para medir algunas de estas métricas de interés.
- *Reportes:* Los reportes son unos de los elementos más subestimados en la gestión de proyectos. Ha de tenerse en cuenta que la rigurosidad en este aspecto aporta gran capacidad de comunicación entre el equipo, facilidad de documentación del trabajo realizado, agilizando las tareas de planificación y control.

Con estos puntos en cuenta, el PMI nos permite proceder en la labor de estimación de los costes. Como se ha comentado, este proceso está condicionado por los riesgos, que serán los culpables de la incertidumbre creada. Se trata de realizar la cuantificación de las tareas consideradas en la EDT, considerando los materiales, equipos, personal, instalaciones, servicios contratados, y sobre otros conceptos como pueden ser los factores macroeconómicos o planes de contingencias establecidas por el equipo de gestión.

Hablamos de plan de costes y no simplemente de un presupuesto ya que este no sólo cuantificará los desembolsos parciales y el global, sino que además deberá contener la información relativa al momento y condiciones en que se producen. Este flujo de caja se puede llevar a cabo mediante la asignación de cada coste en el intervalo establecido por la planificación temporal de tareas, hitos, o entregables; siendo una información de gran valor más allá del ámbito del proyecto, para la propia organización ejecutora. La financiación es un aspecto clave para todo tipo de organizaciones, pequeñas o grandes, y el hecho de poder incorporar métricas de los proyectos a sus procesos estratégicos supondrá un valor añadido importante. Los aspectos financieros del modelo y metodología se abordan en el Capítulo 8.

Aparte de esta documentación, hay otras informaciones que pueden ser útiles para realizar el plan de costes:

- *Contrato y pliego de condiciones:* La información recogida en el contrato firmado con el cliente, tal como el alcance, plazos de entrega de objetivos o condiciones.
- *Calendario de recursos:* Documenta la disponibilidad de cada uno de los recursos. De esta manera, puede establecerse planificaciones temporales y económicas según las necesidades de ejecución del proyecto, tanto en la parte inicial como en las etapas de seguimiento.

Este es un aspecto fundamental a la hora de modelar, ya que se buscará simular escenarios realistas, en los que los recursos considerados sean factibles.

2.3.2 Realización del plan de costes

Con la planificación temporal y alcance, junto con la estimación de costes establecida, es momento para que se pueda confeccionar el plan de costes, con el presupuesto como principal elemento, apoyándose en base a:

- *Agregación de costes:* Habiendo definido los costes de los paquetes de trabajo, entregables y elementos de menor nivel de la EDT, tratando de mantener una segmentación que permita su entendimiento, se planificará el desembolso del coste global del proyecto.
- *Conciliación del límite de financiación:* El factor económico va más allá del cómputo de costes previsibles, ya que no se ha de olvidar que para afrontarlos, ha de disponerse del correspondiente capital. Para ello se requerirá de la pertinente financiación, pudiendo ser propia o ajena, con implicaciones diferenciadas.

Cuando se dispone de financiación propia, nos encontramos en un escenario mucho más laxo, ya que no estaremos sujetos a intereses u otras condiciones impuestas, mientras que la financiación ajena puede tener efectos directos en la planificación, para el cumplimiento de las condiciones y no incurrir en cualquier tipo de penalización, como los que pudiera tener una línea de crédito.

Las decisiones sobre el capital para llevar a cabo la financiación llevaría todo un capítulo (o proyecto) aparte, pero fundamentalmente estará determinado por decisiones de nivel estratégico, como pueden ser la coherencia con el resto de cartera de proyectos, necesidades de liquidez, etc. La tarea de control de la financiación es llevada a cabo por la unidad de administración y control, cuyo cometido será contener los costes asociados a cada actividad, y que se incurra en ellos en el momento designado. Dependiendo de la organización, esta unidad puede recaer fuera del ámbito de ejecución del proyecto, por lo que disponer de una canal de comunicación eficaz y claramente definido es parte fundamental en el éxito de un proyecto.

Como resultado del trabajo anterior se obtendrá la línea base de costes, que contempla tanto los gastos como el momento en que se producen, pudiendo hacer una representación gráfica del plan de costes. Esta línea base será la referencia una vez el proyecto comience a ejecutarse, pudiéndose medir a qué ritmo se desarrolla. Esta representación gráfica expone el gasto acumulado del proyecto en relación al tiempo en que se produce, permitiendo ver fácilmente en qué momentos se requerirá un mayor esfuerzo financiero para afrontar la ejecución. En esta gráfica también podremos representar los valores que presenta el proyecto en tiempo real, u otros escenarios simulados (alternativas fruto del desarrollo de estrategias de contingencia), permitiéndonos obtener una idea de la evolución relativamente rápida y representativa.

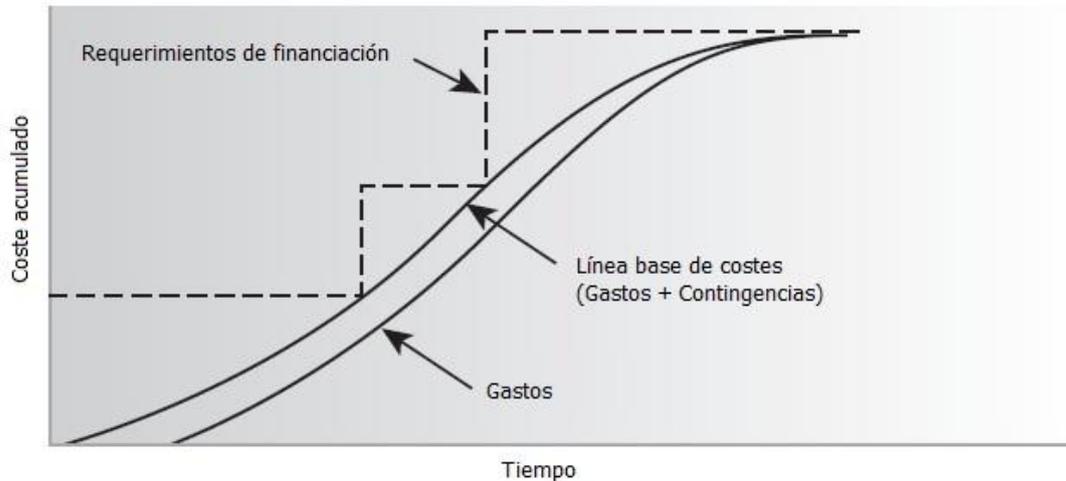


Figura 8. Línea base de costes [1]

Junto con esta nueva documentación también se habrá realizado, en consonancia con todo lo anteriormente expuesto, el conjunto de requisitos para la correcta financiación del proyecto, donde se detalla la manera en que se afrontarán las obligaciones.

Por supuesto todo este proceso puede requerir cambios desde el supuesto inicial, por lo que la documentación del control integrado de cambios deberá ser actualizado en consonancia con lo modificado.

2.3.3 Previsión y Control de Costes

Al comenzar la ejecución del proyecto es cuando cobra importancia las labores de control y seguimiento, tanto de las actividades como de los correspondientes costes. Este control ha de verse no como una tarea independiente, sino estrechamente ligada a la ejecución, puesto que todo está interrelacionado. A modo práctico, una desviación en el presupuesto provocará seguramente una acción de contención, que podrá tener efectos en la planificación temporal, en la calidad del producto o servicio, o en los propios aspectos financieros como la rentabilidad de la operación.

Para llevar a cabo este control de costes, existen técnicas que haciendo uso de la información proveniente del propio control rutinario, pueden ofrecernos métricas de interés sobre el estado financiero del proyecto desarrollado:

- *Análisis del progreso*: Se denomina así al proceso que más intuitivamente permite hacer el seguimiento de costes. Esencialmente se realiza teniendo en cuenta la EDT y el plan de costes, y observando la evolución de los costes asociados al término de los paquetes de trabajo, habitualmente descrito por hitos de la planificación temporal. Es un proceso sencillo que permite ver si el desarrollo tiene correspondencia con la evolución estimada, permitiendo eso sí, observar métricas

sencillas como el coste final de los elementos de la EDT, los acumulados, y evolución temporal de estos.

- *PERT-Coste*: Basándose en la técnica PERT mostrada en el apartado anterior, se puede integrar, aunque de una manera muy rudimentaria y limitada, el factor coste. Como principal ventaja se consigue relacionar ambos elementos, modelando su dependencia. Es una buena aproximación a lo que un método robusto debería de contemplar, ofreciendo un dinamismo mayor.

Al igual que con el factor tiempo, para el factor coste se define el coste de realizar la tarea en el tiempo estimado y en un tiempo optimista. Esto hace que más allá de la búsqueda del tiempo mínimo del proyecto a través de la ruta crítica, se pueda tener en cuenta los costes para apoyar decisiones tales como la conveniencia de acelerar una tarea, o modificar la ruta crítica debido a ventajas económicas.

- *Análisis del Valor Ganado*: Este análisis tiene como base el contrastar los elementos coste y tiempo. Para poder aproximarnos al estado real de un proyecto debemos tener en cuenta tanto los gastos producidos como el avance real de la programación temporal. Esta técnica nos permitirá, una vez obtenidas las métricas pertinentes, realizar comparaciones entre la situación real, lo planificado y lo “ganado” (explicado a continuación). Las métricas son:
 - *Valor Planificado (VP)*: Es el coste presupuestado de una tarea definida en el proyecto, y por tanto en la EDT.
 - *Coste Actual (CA)*: Es el coste incurrido en la realización de las tareas durante un tiempo determinado.
 - *Valor Ganado (VG)*: Es el coste presupuestado para la parte completada del trabajo.

Si el progreso del trabajo de una actividad coincide con el inicialmente previsto, el valor ganado coincidirá con su coste planificado. La suma de todas las contribuciones de todas las tareas finalizadas o en curso en el momento de tomar la instantánea nos dará el valor acumulado para cada una de las magnitudes mencionadas. Si ambos valores coinciden, podemos concluir que el proyecto marcha según el plazo previsto. En caso contrario, indicará que marcha adelantado o atrasado. Se define la métrica para medir esta desviación de la siguiente manera:

$$\text{Desviación Programación (DP)} = \text{VG} - \text{VP}$$

Nos da una medida de la desviación en plazo, aunque en unidades monetarias. Si DP es una cantidad negativa, quiere decir que el valor ganado ha sido menor que el coste planificado o, en otras palabras, que deberíamos haber gastado menos dinero del inicialmente presupuestado debido a que vamos con retraso. Si es una

cantidad positiva quiere decir que vamos adelantados en programación, por lo que tendríamos que haber gastado más dinero del inicialmente presupuestado.

Podemos dar una segunda magnitud para medir la desviación, en relación al coste del proyecto:

$$\text{Desviación Coste (DC)} = \text{VG} - \text{CA}$$

Si la desviación en coste es negativa quiere decir que estamos gastando más que lo que deberíamos, mientras que si es positiva todo lo contrario.

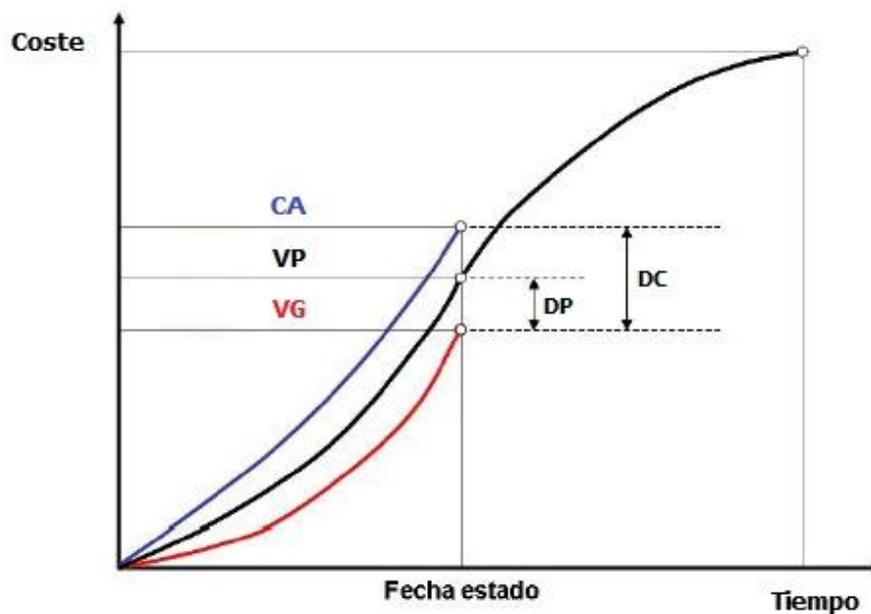


Figura 9. Valor planificado, coste actual y valor ganado

Estas métricas sencillas también podemos usarlas para realizar predicciones, simples eso sí, pero que pueden darnos una idea de lo que acontecerá. En primer lugar vamos a nombrar el presupuesto total del proyecto como PTP (acumulado final del VP). Por otro lado, la magnitud que queremos hallar va a ser el nuevo presupuesto estimado después de conocer la situación en un momento dado del proyecto, llamémosla ETP:

$$\text{ETP} = \frac{\text{CA}}{\text{VG}} * \text{PTP}$$

Como se puede observar, se trata de una extrapolación lineal, pero podemos considerarla válida dado que muchas de las métricas halladas ya de por sí son muy orientativas.

De nuevo, podemos calcular nuevas desviaciones. La primera es la desviación que tendríamos al final del proyecto, llamémosle DCA. Esta será la diferencia entre el presupuesto inicial del proyecto PTP y la nueva estimación del mismo ETP:

$$DCA = PTP - ETP$$

La segunda sería la que nos queda por gastar, o estimación hasta fin, o costes pendientes:

$$EHF = ETP - CA$$

Gráficamente, podemos interpretarlo de la siguiente manera:

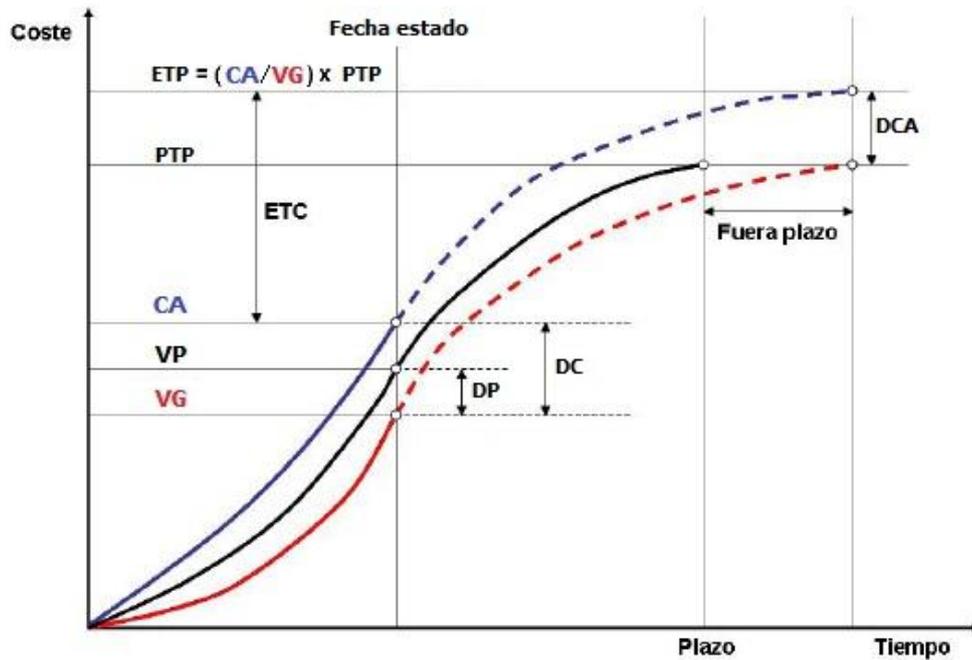


Figura 10. Extrapolaciones del valor ganado

Las líneas punteadas no se corresponden con datos reales sino con extrapolaciones. El gráfico se corresponde lamentablemente al caso más común, en que vamos retrasados en plazo y gastando más de lo presupuestado. Nótese que al final del proyecto el valor ganado (VG) coincidirá con el coste planificado acumulado (VP), ocurriendo lo mismo para cada tarea de forma individual.

Por último vamos a exponer las dos últimas medidas que podemos extraer con la información anterior, orientadas a la eficiencia. Dado que teníamos dos magnitudes que medían las desviaciones en coste y en programación, podemos definir sus respectivas que midan la eficiencia en coste y en programación.

$$\text{Eficiencia en Coste (EC)} = \frac{VG}{CA}$$

$$\text{Eficiencia en Tiempo (ET)} = \frac{VG}{VP}$$

En ambos casos tendremos que la eficiencia es 0 si no se ha hecho nada y 1 si se va según lo previsto. Pero si hemos hecho más trabajo de lo previsto ($VG > VP$), la

eficiencia en temporal será mayor que 1; mientras que si hemos gastado menos de lo realmente aportado ($CA < VG$), la eficiencia en coste será mayor que 1.

2.3.3.1 Consideraciones sobre las técnicas expuestas

Las técnicas expuestas de planificación y control económico podrían parecer suficientemente válidas para las necesidades que requiere la gestión de proyectos a ojos de un neófito. Lo cierto es que personas más experimentadas (no necesariamente expertas), alegarán que estas técnicas pueden ser poco operativas, por la dificultad que entraña extraer información de calidad para su uso. Disponen de pocas capacidades de representar escenarios reales, provocando en la mayoría de los casos la subestimación de los acontecimientos que rodean los proyectos en el día a día, o lo que es lo mismo, los riesgos.

Ya desde los fundamentos de la técnica del *Valor Ganado* se cuenta con la necesidad de crear una estimación de la planificación (VP), en la cual se deberá de modelar las incertidumbres si se pretende que sea una referencia de garantías. Si para ello sólo se hace uso de la EDT con costes asociados, estaremos incurriendo en un grave problema de subestimación de los riesgos. Aparte de una referencia poco sólida, las métricas para la previsión son extremadamente precarias, con extrapolaciones lineales, teniendo una validez muy discutible.

Añadido a esto, las personas un poco experimentadas argumentarán que información necesaria como los costes actuales no siempre es fácil de obtener. El parámetro de coste actual no solo determina el coste de las tareas completadas, si no de la porción desembolsada por el trabajo hecho, cosa no siempre fácil de determinar, menos aún en proyectos de cierta envergadura con decenas de tareas, y varianzas en sus niveles de ejecución.

Es por esto que se torna necesario ir un paso más lejos en las consideraciones y modelado de un plan de proyecto, en el que indiferentemente de la técnica de control y seguimiento, permita hacernos trabajar con información todavía más operativa, robusta y veraz.

2.3.4 Acciones sobre el control de costes

En este apartado hemos tenido como principal objetivo facilitar una información, tanto existente como futurible. Es en este momento la labor del Project Manager o equipo de gestión es la puesta en marcha de las acciones que se consideren oportunas. Estos puntos de acción afectan tanto a la ejecución del día a día como a los aspectos de planificación futura desarrollados hasta la fecha.

Una acción correctiva podrá tener efecto directo en la estructura de la EDT, tanto en el aspecto temporal como económico. Como se ha explicado, la línea base está

estrechamente relacionada con la EDT, por lo que también se podrá ver afectada. Estas acciones no sólo se deberán de plasmar en la documentación operativa como es el control integrado de cambios, ya que las buenas prácticas en la gestión de proyectos también instan documentar los históricos y lecciones aprendidas. Esta documentación debe incluir las causas de las variaciones, con el razonamiento subyacente a la acción correctiva adoptada, que será de gran valía para el futuro.

2.4 Gestión del riesgo en proyectos

Cuando se han expuesto las bases de las áreas de conocimiento de gestión del tiempo y costes, se ha mostrado, a parte de sus elementos principales y su ejecución, la necesidad de que estén en consonancia con la realidad de los proyectos. Es bien conocido el esfuerzo necesario que precisa la puesta en marcha, desarrollo y control de todos los procedimientos y documentación, por lo que esfuerzos adicionales que se propongan sólo tendrán justificación si los resultados obtenidos logran cumplir las expectativas, no solo del equipo de gestión, sino de todos los implicados.

Hasta el momento se ha tratado de mostrar cómo las herramientas tradicionales, requiriendo de esfuerzos notables, no garantizan el éxito. Esto se debe esencialmente a que las capacidades que tienen para considerar el riesgo son muy limitadas, o totalmente inexistentes. De esa manera, no solo estamos subestimando la posibilidad de retrasos en la ejecución de tareas o incremento de los costes, sino que además el trabajo dedicado a ello será en vano por su ineficacia. Este es el punto de partida a la hora de tratar de exponer una metodología que disponga de una mayor veracidad, y para ello se centrará en la necesaria cuantificación del riesgo.

Según el PMI, *“Los riesgos del proyecto proceden de acontecimientos que, de ocurrir, pueden tener un efecto negativo o positivo sobre los objetivos del proyecto. Los riesgos tiene una causa, y si se producen, un impacto. El riesgo incluye una amenaza para el cumplimiento de los objetivos del proyecto y, a la vez, una oportunidad de mejora de estos objetivos”*. Esta definición viene a escenificar los riesgos como fuentes de incertidumbres, no necesariamente negativos, por lo que su identificación, evaluación y control se convierte en un aspecto fundamental.

La organización experta en la gestión de proyectos PMI define seis procesos fundamentales en la gestión del riesgo:

- *Planificación de Riesgos*: Definición del tratamiento y procesado de los riesgos que se va a realizar en el proyecto.
- *Identificación de Riesgos*: Identificación de los que podrían afectar al proyecto y documentación de las características de los mismos.

- *Evaluación de los Riesgos*: Se ha de realizar un análisis cualitativo con objeto de establecer el grado de prioridad de cada uno de ellos.
- *Cuantificación de Riesgos*: Evaluación cuantificada de cada uno de los riesgos, para determinar las posibles consecuencias. En verdad, este punto debería de tener como resultado el punto anterior, pues ayudará a determinar prioridades.
- *Definición de Respuestas ante Riesgos*: Definición de las respuestas posibles a las oportunidades y a las amenazas identificadas.
- *Seguimiento y Control de Riesgos*. Gestión de todos los cambios en los riesgos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Si bien una metodología orientada a los riesgos tratará de aportar las herramientas necesarias para poder tomar cuenta de ellos, gran parte del *cómo* y las *reglas de decisión* procederán fundamentalmente de las lecciones aprendidas en los proyectos precedentes, de los que se obtiene una experiencia de los problemas presentados, los efectos originados por tales problemas, y las diferentes estrategias que se emplearon para atajar los efectos convenientemente.

2.4.1 Plan de gestión de riesgos

Este plan de gestión reunirá las directrices fruto del proceso de decisión de cómo llevar a cabo la gestión respecto al riesgo. Este proceso define la toma de decisiones respecto a los riesgos en consonancia con los criterios organizacionales, disponibilidad de recursos, definición de las fuentes de información, seleccionando de las técnicas apropiadas para todo ello.

Como principales entradas tenemos el plan de proyecto, que incluye el alcance, planificación temporal y económica. Desde un punto de vista superior, el aspecto organizacional podrá determinar la categorización de los riesgos, el enfoque corporativo para cada uno de ellos si existe (niveles admisibles de tolerancia), o roles y responsabilidades fijados en la organización de antemano.

La gestión de riesgos está íntimamente relacionada con el factor humano, no sólo porque este es una de las fuentes de generación de incertidumbre, sino que además son las personas las que pondrán en evidencia su existencia, los evaluarán y propondrán las acciones correctivas. Este es un tema sensible en el desarrollo de la metodología, por lo que se expondrá de manera separada cómo podemos recabar y tratar esta información en el Capítulo 4.

2.4.1.1 Identificación y análisis cualitativo de riesgos

La identificación de riesgos determinará que riesgos pueden afectar al proyecto, documentando sus características. Es de vital importancia que en la medida de lo posible los riesgos sean identificados en las primeras fases de los proyectos, ya que de esa manera podrán tenerse en cuenta en lo sucesivo, con los debidos planes de acción

estudiados. Esto no resta de que la identificación sea necesariamente un proceso iterativo a lo largo del ciclo de vida del proyecto, ya que muchos riesgos se darán a conocer o surgirán a medida que avance el proyecto.

Para llevarla a cabo se organizarán tanto reuniones personales como colectivas, de los que hablaremos más adelante. En estas reuniones se requerirá el plan base de gestión de riesgos, el plan de proyecto, la documentación del alcance y recursos de información anterior si existen (históricos, etc.). El resultado de todo este proceso lo podemos plasmar en el denominado *registro de riesgos*. El registro de riesgos no es otra cosa que una plantilla estandarizada con unos campos que se han establecido como útiles para gestionar la información sobre los riesgos. Existen multitud de ellos, pero la experiencia personal lleva a pensar que siempre se ha de fijar los requerimientos desde el punto de vista más operativo. Esto se resume en un registro de riesgo con unos campos claros, concretos y concisos, lo que conseguirá proporcionarle una esperanza de vida más allá de los momentos iniciales de buenos propósitos.

La principal ventaja de la creación de un registro de riesgos es la estandarización de un procedimiento y la centralización de dicha información del área de conocimiento. Esto agiliza el canal de comunicación en algo tan considerable, y ayuda en una condición que se ha aprendido como capital durante la experiencia profesional, que es que *todo el equipo de proyecto tengo la misma visión*, y desde luego los riesgos tienen gran peso en la visión. Junto a esto, tenemos otra ventaja como es el adoctrinamiento sobre un proceso importante, fuente de información del desarrollo del proyecto, como es la cuantificación del estado de los riesgos o incertidumbres encontradas. De forma práctica, poco vale que las tareas se desarrollen a un ritmo superior al definido si en el futuro existe un elemento que paralice las siguientes etapas.

Podríamos decir que el uso de un registro de riesgos es el primer elemento propuesto para la metodología en el área específica de los riesgos, y para su uso es necesario fijar unos requerimientos necesarios. El registro de riesgos trata de normalizar, agilizar y acotar todo lo referente a los riesgos identificados, y para ello se ha de establecer unas premisas que garanticen que se hace de manera idéntica sin importar de dónde o cuándo proviene la identificación:

- *Categorización*: Definiendo las categorías de los riesgos susceptibles de ocurrir se asegura una estructura de identificación sistemática con un razonable nivel de detalle. Para ello, se podrán utilizar categorías definidas en proyectos similares, o establecerse durante la planificación inicial.



Figura 11. Estructura de desglose de riesgos con su categorización [1]

- Probabilidad e Impacto:** Como hemos visto, según el PMI: *todos los riesgos tendrán una probabilidad de ocurrir o no, y un determinado impacto si se llegan a producir.* Un análisis que desee cierta calidad y, sobretodo, credibilidad, deberá definir estos parámetros de forma apropiada. Este aspecto no es nada sencillo, pues es posible que la gente de la que se requiera esta información no esté familiarizada con los riesgos, sus probabilidades, e impactos. Una manera de abordar esto es no dejar al juicio total de estas personas el modo de fijar estos parámetros, y por ello debemos de asistirles con procesos muy operativos.

De esta manera, si damos posibilidad de definir los parámetros (probabilidad e impacto) tanto de manera numérica (escala del 0 al 1), como léxica (“muy bajo”, “bajo”, “moderado”, “alto”, “muy alto”), ofreceremos una clasificación predeterminada. Diferentes áreas probablemente requerirán diferentes clasificaciones. Para hacerlo práctico se puede resumir tal que:

Condiciones definidas de la escala de impactos de un riesgo en los objetivos principales					
Objetivo del proyecto	Escala relativa o numérica				
	Muy bajo /0.05	Bajo /0.1	Moderado /0.2	Alto /0.4	Muy Alto /0.8
Coste	Incremento insignificante del coste	Incremento del coste <10%	Incremento del coste 10-20%	Incremento del coste 20-40%	Incremento del coste >40%
Tiempo	Incremento insignificante del tiempo	Incremento del tiempo <5%	Incremento del tiempo 5-10%	Incremento del tiempo 10-20%	Incremento del tiempo >20%
Alcance	Reducción del alcance insignificante	Area menores del alcance afectadas	Areas considerables del alcance afectadas	Alcance reducido sensiblemente	Alcance reducido drásticamente
Calidad	Degradación de la calidad insignificante	Degradación de la calidad poco perceptible	Degradación calidad requiere aprobación	Degradación calidad poco aceptable	Degradación de la calidad inaceptable

Figura 12. Matriz de escalas de impacto [1]

Habiendo definido estas escalas, podemos completar el resto de atributos que deberían de contener cada elemento en el registro de riesgos. Como se comentó anteriormente, en la elección de estos atributos tiene que primar por encima de todo la operatividad, ya que un registro de riesgos que reclama demasiada información rápidamente se puede convertir en “una buena intención del pasado”. Los atributos propuestos para el registro de riesgos se comprenden en tres campos principales, que se muestran a continuación:

Información básica			
ID Riesgo	Descripción del riesgo	Responsable	Fecha reporte

Información de evaluación		
Probabilidad	Impacto	Descripción del impacto

Respuesta al riesgo		
Fecha actualización	Puntos de acción	Estado

Tabla 1. Tabla de registro de riesgos (cabeceras y parámetros)

Como se observa, la mayoría de los atributos son intuitivos, salvo quizás los que se han abordado arriba por su ambigüedad (probabilidad e impacto). Resaltamos atributos como el responsable (persona o grupo), el cual se tendrá que consensuar con el equipo, ya que a partir de ese momento será competencia suya las acciones requeridas. Para la descripción del impacto también es de gran utilidad su redacción, puesto que permite a las personas del equipo menos sensibilizadas con las fuentes de riesgo obtener una visión más cercana, entendiendo las consecuencias si ocurre, como una posible alteración del alcance, tiempo, calidad o coste.

Una vez se dispone del registro de riesgos se continúa con otras segmentaciones de utilidad. Es posible que respetando siempre la primera segmentación, como es la categorización, pueda definirse la matriz de probabilidades e impactos para unificar el criterio de la organización o equipo de proyecto. Con esta matriz se trata de otorgar una clasificación a los riesgos teniendo en cuenta estos dos parámetros. El hecho de que se haga por debajo del primer nivel categórico es que las escalas para valorar los impactos puede que difieran entre diferentes áreas de conocimiento. Esta calificación puede tener múltiples criterios, pero fijar tres umbrales (“bajo”, “moderado” y “alto”) para mantener la operatividad es razonable:

Probabilidad	Amenazas					Oportunidades				
	0.90	0.05	0.09	0.18	0.36	0.72	0.72	0.36	0.18	0.09
0.70	0.04	0.07	0.14	0.28	0.56	0.56	0.28	0.14	0.07	0.04
0.50	0.03	0.05	0.10	0.20	0.40	0.40	0.20	0.10	0.05	0.03
0.30	0.02	0.03	0.06	0.12	0.24	0.24	0.12	0.06	0.03	0.02
0.10	0.01	0.01	0.02	0.04	0.08	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01
	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80	0.80	0.40	0.20	0.10	0.05

Riesgo Bajo
 Riesgo Medio
 Riesgo Alto

Figura 13. Matriz de probabilidad e impacto [1]

Esta matriz segmenta de igual manera las amenazas y oportunidades, puesto que ambas proceden de los riesgos e incertidumbres, pero deben de tenerse en cuenta totalmente por separado. El principal uso de esta clasificación es que permite discriminar de manera muy rápida el conjunto de riesgos, especialmente útil cuando se necesita estar en muchos lugares con muchos ojos. Con toda esta información se ha de actualizar el plan de gestión de riesgos, reflejando todo lo anterior.

2.4.2 Análisis cuantitativo de riesgos

En el desarrollo de este Proyecto Fin de Carrera, en el momento en que se empezó a profundizar en el área de conocimiento de los riesgos, el análisis cuantitativo ha sido el aspecto al que más posibilidades se le han contemplado. Hay varias razones para esto, entre las que se encuentran que tiene una gran capacidad de mejora, principalmente por la falta de operatividad encontrada en este campo, y que a juicio personal, contradicen el esfuerzo requerido con el tiempo necesario para obtener resultados útiles para la gestión de un proyecto.

Es posible pensar que con la realización de un análisis cualitativo como el anterior podemos tener un conocimiento suficiente de lo que puede acontecer en el proyecto. Lo cierto es que si bien es necesario para establecer que riesgos pueden tener lugar, su capacidad de reflejar el impacto de los mismos más allá de su descripción es muy limitada. Si además el análisis cualitativo se realiza con poca rigurosidad, sólo con el ánimo de identificar cuellos de botella y responsables, su falta de profundidad ahonda en la escasa cultura del uso de técnicas cuantitativas.

Lo que verdaderamente resultaría interesante es poder contextualizar cada incertidumbre en el marco global del proyecto, donde puede acabar resultando que “los malos no son tan malos, ni los buenos tan buenos”. Con la frase anterior se trata de tomar conciencia de que un proyecto en verdad es un ecosistema con múltiples

elementos, cuyas dependencias pueden crear efectos colaterales entre ellos (tareas, costes, riesgos, calidad,...) muy diferentes de lo esperado. Se ha de pensar que cuando se lleva a cabo un análisis de riesgos, a la hora de establecer probabilidades y rangos de impacto, estos mismo pueden tener efectos catalizadores o atenuadores sobre multitud elementos. En la realidad todas las salidas están afectadas por fenómenos tales como restricciones de tiempo, coste, cumplimiento de objetivos, marcos legales y un sinfín más.

Teniendo en cuenta esto, es razonable pensar que las técnicas tanto de planificación temporal como de costes enunciadas anteriormente tienen capacidades muy limitadas para ofrecer visiones realistas sobre un proyecto, y que vale la pena indagar en qué otras posibilidades están a nuestro alcance. Un análisis cuantitativo de calidad otorgaría al plan de proyecto capacidades tales como poder:

- Cuantificar la exposición al riesgo, para determinar convenientemente los planes de contingencia de tiempo y coste a incluir en el proyecto.
- Determinar la probabilidad de no alcanzar objetivos del proyecto.
- Identificar los riesgos que requieren una mayor atención por medio del conocimiento de cuáles son sus efectos marginales en el proyecto.
- Mejorar el plan del proyecto usando estimaciones más realistas para la preparación de la planificación, estimación del coste y análisis del alcance.

Como hemos hablado en los apartados de planificación temporal y de costes, los elementos necesarios para proceder en un análisis de riesgos cuantitativos serán el plan de gestión de riesgos, con la planificación temporal y de costes. La gran parte de la información necesaria se encuentra en lo ya documentado, pero el análisis cuantitativo a veces requiere ir un paso más adelante en cuanto a recabar la información, tratado en mayor profundidad en el Capítulo 4.

2.4.2.1 Métodos de análisis cuantitativo de riesgos

A continuación se exponen los principales métodos de análisis cuantitativo:

Árboles de decisión: Este método permite analizar decisiones secuenciales basadas en el uso de resultados y probabilidades. Una de las características de este método es que tiene una representación gráfica muy intuitiva, tratándose de un conjunto de sucesiones de izquierda a derecha que reflejan el proceso de decisión sobre los riesgos identificados. Los árboles de decisión pueden usarse tanto para valorar decisiones económicas como de planificación temporal.

Para elaborar un árbol de decisión seguiremos el siguiente proceso [18]:

- Las decisiones a tomar se corresponderán por cuadrados.
- Trazaremos diferentes líneas por cada posible opción (nombrándolas)

- Al final de estas consideramos los resultados
 - Si son valores ciertos, el nodo será un cuadrado
 - Si son valores inciertos, el nodo será un círculo
- Por cada nuevo cuadrado repetiremos el proceso anterior
- Por cada círculo trazamos líneas por cada opción (nombrándolas)
- Asignamos un valor a cada posible decisión y una probabilidad
 - Tomas las ramas juntas sumarán 1
- Repetimos hasta considerar todos los escenarios posibles
- Calculamos el valor de cada nodo incierto (círculo) prorrateando cada resultado por su probabilidad
- Calculamos el valor de cada nodo de decisión (cuadrado)
 - Fijando su coste sobre cada línea de decisión (**C**)
 - Restamos del valor del siguiente nodo
 - El resultado es el beneficio esperado (**B**)
 - Seleccionamos la opción de mayor beneficio para el nodo

A continuación se muestra un ejemplo de árbol de decisión realizado para un caso en el que se ha de decidir una estrategia empresarial, basada en la creación de un nuevo producto o alargar y reactivar uno existente:

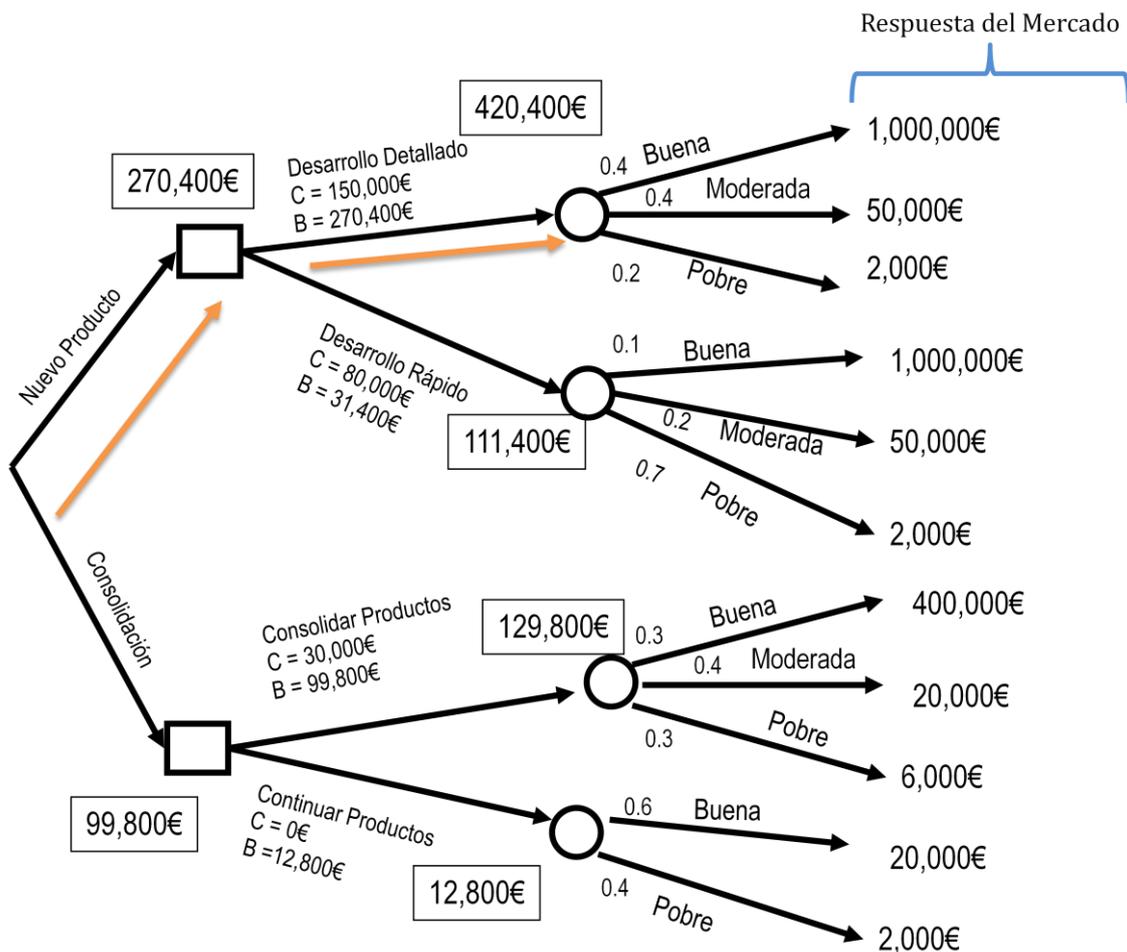


Figura 14. Ejemplo de árbol de decisión

En este ejemplo vemos que la opción de crear un nuevo producto con un desarrollo detallado es la más aconsejable (camino naranja), puesto que el beneficio neto esperado es superior al resto.

Los árboles de decisión permiten obtener una panorámica, razonablemente simple eso sí, del riesgo sobre elementos muy concretados pero no excesivamente profundos (estrategia general de un producto, éxito de un test, elección de un proceso para un cierto requerimiento de tiempo,...). Esto puede ser de gran utilidad, pero lo cierto es que los árboles de decisión no están especialmente extendidos en los procesos de gestión empresarial cuando tienen una cierta dimensión o complejidad [4].

Las razones de esto son que el esfuerzo para ejecutar estos análisis en entornos complejos pierde operatividad si se tiene en cuenta la calidad de los resultados cosechados. Al igual que las técnicas que vimos en los capítulos anteriores, esta también tiene capacidades muy limitadas. Esta técnica se puede usar para elementos muy diferenciados y concretos (tiempo, coste, estrategia,...), mientras que lo interesante sería integrar varios de estos elementos con coherencia dentro de un modelo completo. Aquí se trabaja con valores determinísticos, y lógicas poco flexibles (estrictamente secuenciales), que podrían ser útiles en análisis a alto nivel, pero que pierden fuelle para brindar información de calidad en la toma de decisiones de profundidad. Por otro lado, aunque pueden servirse de mucha de la información recabada en el análisis cualitativo, el querer usar árboles de decisión puede sesgar la manera en que se recaba la información, tratando de justificar procesos y decisiones secuenciales, a veces apartadas de realidad de los proyectos.

Modelado y Simulación: El PMI propone el modelado y la simulación como una técnica aplicable en el campo de los riesgos, pero si está es convenientemente desarrollada puede ser perfectamente válida para integrar las tres áreas de conocimiento expuestas. De hecho, la integración de los elementos tiempo, coste y riesgo es más que conveniente si lo que se desea es crear un método junto a una herramienta que brinde información de la mayor calidad posible. La creación de un modelo y su posterior simulación es una técnica experimental de resolución de problemas que debemos usar cuando [14]:

- No exista un sistema real, sea caro o peligroso, o sea imposible construir y manipular un prototipo.
- La experimentación con el sistema real sea peligrosa, costosa o pueda causar incomodidades.
- Existe la necesidad de estudiar el pasado, presente y futuro de un sistema en tiempo real, expandido o contraído.
- La modelación matemática del sistema es imposible o muy compleja.
- Los modelos matemáticos carecen de soluciones analíticas o numéricas (ED no lineales, problemas estocásticos, etc.)

- Sea posible validar los modelos y sus soluciones de una forma satisfactoria.
- La precisión esperada por la simulación sea consistente con los requisitos de un problema concreto (por ejemplo, la dosis de radiación en el tratamiento del cáncer requiere una precisión extrema).

Dado que la gestión del riesgo en proyectos orientada a las áreas de tiempo y coste cumple estas características, vamos a profundizar en el uso del modelado y simulación. Es en este punto donde vamos a centrarnos a partir del siguiente capítulo, exponiendo los principios de este concepto para desarrollarlo en profundidad.

2.4.2.2 Otros métodos de análisis cuantitativos y consideraciones

El PMI, en su guía de recomendación, aparte de los dos métodos anteriores, mencionan el análisis de sensibilidad y el valor esperado. Es curioso esta recomendación, pues estos análisis no son métodos en sí mismos, más bien pertenecen al conjunto de resultados que puede ofrecer una minería de datos de, en este caso sí, un método como tal. Ambas sugerencias se toman en cuenta, considerando su aplicación en la metodología propuesta en este Proyecto Fin de Carrera.

Como horizonte se debería de tener un método genérico, robusto pero dinámico, con posibilidades de representar situaciones reales, que permita extraer multitud de información para facilitar la gestión, y capaz de automatizarse a un alto nivel. Al igual que hacen los sucesivos métodos presentados, es posible aprovechar los conceptos de algunos de ellos, que llevándolos a otro ámbito sigan siendo de utilidad, apoyados por un método basado en el modelado y simulación (Monte Carlo).

Mediante la metodología propuesta, se podrá obtener un análisis probabilístico del proyecto. En este, podremos encontrar métricas de las áreas de tiempo y coste con sus niveles de confianza, segmentados de multitud de formas que ayudan y dan luz para una toma de decisiones acertada. Esta toma de decisiones puede tratarse de priorización de riesgos, elección de diferentes procesos o modificaciones en el alcance por implicaciones económicas o temporales, optimización de los requisitos de financiación, así como optimización de recursos o planes de contingencias entre otros. Todas estas acciones tomarán forma y se deberán documentar en el *plan de respuesta ante riesgos* que comentamos a continuación.

2.4.3 Plan de respuesta frente a riesgos

Esta parte dentro del área de los riesgos tiene como fin plasmar toda la información que, después de ser recabada, se ha procedido a su estudio para determinar cómo se ha de proceder. En este documento se recogerá cosas como los pasos requeridos para tratar de materializar las oportunidades, así como responder a las amenazas, con sus resultados estimados e implicaciones.

Para conformarlo hay que apoyarse en trabajo anterior como el registro de riesgos, el cual nos permite tener una clasificación de los riesgos según convenga (probabilidad e impacto en tiempo o en coste), y responsables establecidos para su atención y estudio. A su vez, cuando se realiza el análisis cuantitativo, se estudia (lista y clasifica) las respuestas factibles a cada uno de los riesgos identificados. A pesar de estar siempre expuestos a un nivel mínimo de riesgos, es importante fijar un umbral en el cual se establece cuando un riesgo requerirá de atención o actuación, quedando libres de un tratamiento específico todos los que tengan efectos menores a los acordados en el umbral fijado.

Dentro de las respuestas posibles, estas pueden atender a diferentes formas de actuar para amenazas o riesgos nocivos [1]:

- *Supresión del riesgo*: Consiste en realizar aquellos cambios en el plan del proyecto para eliminar riesgos o sus consecuencias negativas sobre los objetivos del proyecto. No siempre es posible eliminar todos los riesgos, pero algunos pueden ser evitados.

Algunos riesgos que aparecen pronto en el desarrollo del proyecto pueden ser evitados en base a una mejor definición de objetivos, la obtención de información adicional, mejorando las comunicaciones, adquiriendo el apoyo de expertos, reduciendo el alcance para evitar realizar actividades de alto riesgo, añadiendo recursos adicionales o modificando la planificación. También se pueden usar soluciones probadas en lugar de innovaciones, usar un proveedor conocido en lugar de un nuevo, etc.

- *Transferencia del riesgo*: Consiste en trasladar el riesgo a otra organización, que toma la responsabilidad de su gestión. La transferencia no anula el riesgo, simplemente transfiere a otro la responsabilidad.

Una forma muy usada es la transferencia de riesgos a través de los contratos *precio fijo* con un suministrador, transfiriéndole a este una parte importante de los riesgos, siempre que el suministro permanezca estable.

Otro ejemplo es situaciones de riesgo financiero. La transferencia del riesgo suele tener como consecuencia el pago de una cantidad que compensa al nuevo responsable del riesgo asumido. Las formas de llevar a cabo esta transferencia son contratos de seguros o coberturas, primas-penalidades de cumplimiento, etc.

- *Mitigación del riesgo*: La mitigación trata de reducir la probabilidad y/o el impacto de un riesgo por debajo de un nivel que sea tanto factible como aceptable.

La adopción de acciones, siempre que se disponga de margen de maniobra, para prevenir el riesgo será más efectivo que tratar de reparar las consecuencias después de haberse producido. Es importante no olvidar que el coste (temporal o económico) de la mitigación de un riesgo deberá ser proporcional respecto a la probabilidad e impacto estimado y a los beneficios previstos.

Algunos ejemplos de mitigación de riesgos son:

- a) Adopción de procesos más simples
- b) Llevar a cabo ensayos adicionales
- c) Elección de suministradores más fiables
- d) Adición de recursos o tiempo para el desarrollo de las tareas

Respecto a las posibles actuaciones para las oportunidades o riesgos provechosos:

- *Explotar el riesgo*: En este caso la posibilidad de que exista una oportunidad hace que toda organización desee aprovecharse de ella. La estrategia, como es lógico, tratará en primer lugar de eliminar la incertidumbre en su aparición, para posteriormente potenciarlo mediante una asignación de recursos más generosa que la inicialmente planeada, como personal más cualificado, mayor apoyo económico, o una planificación adaptada.
- *Compartir el riesgo*: En ocasiones una oportunidad incipiente no puede ser correctamente gestionada por el equipo de proyecto o la propia organización, requiriendo involucrar a terceras partes. Esto se puede materializar en alianzas estratégicas conocidas como *Joint Ventures*, o contratación de empresas especializadas en la gestión y realización de tales necesidades, con el propósito expreso de explotar la oportunidad.
- *Aumentar el riesgo*: Dentro de las anteriores actuaciones, una vez se ha identificado la existencia de una oportunidad, siempre que sea factible se ha de considerar la posibilidad de intensificar el impacto de la oportunidad. Para ello se ha de esclarecer los factores principales de la oportunidad, tratando de aprovecharlos al máximo con estrategias específicas.

Por último, como opción para ambos tipos, amenazas y oportunidades, tenemos:

- *Aceptación del riesgo*: En esta ocasión no se decide cambiar el plan del proyecto para hacer frente al riesgo, o no se ha sido capaz de encontrar una mejor alternativa. Una aceptación activa del riesgo puede implicar la adopción de un plan de contingencia en el caso de que el riesgo se produzca. Una aceptación pasiva no requiere acciones especiales, por lo que cuando ocurra el riesgo será aceptado como tal por el equipo del proyecto.

Un plan de contingencia es vital para aquellos riesgos que puedan aparecer a lo largo del desarrollo del proyecto. Como veremos más adelante, el plan de contingencias establecerá el rango de tiempo o coste de cualquier elemento del proyecto en base a las previsiones para un determinado nivel de confianza que se establezca. Para su activación se establecerán los indicadores que garanticen el margen de maniobra

requerido. Como consecuencia, las planificaciones temporales o económicas se verán influenciadas de modo que se logre los resultados necesarios.

El plan de respuestas a los riesgos debe ser realista en el contexto del proyecto, apropiado a la severidad del riesgo esperado, con un coste efectivo y oportuno en el tiempo, pudiendo presentar varias alternativas para tener en cuenta circunstancias especiales. Ha de entenderse que se trata de un proceso dinámico, cual debe ser revisado con periodicidad, ya que el propio desarrollo de estrategias frente a riesgos puede causar la necesidad de estudio de efectos colaterales.

Este plan es la contraposición a la a veces habitual insistencia de continuar con la planificación inicial de un proyecto que está conduciéndolo al fracaso con claridad, marcando el camino a seguir de manera eficaz.

2.4.4 Seguimiento y control de riesgos

Todo el proceso que rodea a los riesgos tiene un gran dinamismo. Esto implica que en el desarrollo de un proyecto no se podrá tener la gestión de los riesgos como una tarea única en el inicio, la cual podemos desatender una vez se esté con otros menesteres del proyecto.

En este proceso se irá registrando los riesgos identificados, separando riesgos residuales y emergentes, asegurando la ejecución del *Plan de respuestas frente a riesgos* a lo largo del ciclo de vida del proyecto, y evaluando su efectividad. No ha de olvidarse que para alimentar con información el análisis cuantitativo (en el que nos centramos en adelante), es necesaria la continua identificación de todos ellos con su información específica, resultando imprescindible una actualización y control constante. Todas las acciones y decisiones provocadas por este proceso, una vez más deberán ser documentadas en el *Control integrado de cambios*, asegurando una centralización de la información relevante.

Un buen seguimiento y control de los procesos suministra información que asiste a la toma de decisiones con antelación a la aparición del riesgo. Por tanto, es necesaria una plena comunicación con las partes interesadas en el proyecto, para comprobar periódicamente los niveles de riesgo del mismo, tomando en consideración los puntos siguientes [5]:

- La vigilancia de los riesgos ha sido adoptada, tal y como se había planificado.
- Las respuestas ante riesgos han sido tan efectivas como se pensaba o deben sustituirse por otras en el futuro.
- La exposición al riesgo ha cambiado desde el último análisis efectuado.
- Se han manifestado síntomas de la aparición de riesgos.
- Se están siguiendo las políticas y procedimientos adecuados.
- Han ocurrido riesgos que no habían sido considerados inicialmente.

El control de riesgos nos permitirá decidir si se han de adoptar medidas de emergencia (con posible carácter temporal), el desarrollo de un plan de contingencia nuevo, la puesta en marcha de acciones correctoras ya definidas, o completas replanificaciones.

Una práctica altamente recomendable, aunque no fácil de implantar según la experiencia profesional personal, es la distribución y gestión de los informes de riesgo dentro de la organización, para beneficiarse de experiencias acontecidas. Para ello es conveniente que el contenido esté en un formato consensuado, lo que permitirá procedimentar multitud de circunstancias a nivel organizacional.

3 Modelado y Simulación

3.1 Modelando el problema

En el capítulo anterior se tomaba la decisión de usar el método de modelado y simulación para el desarrollo de un análisis cuantitativo de riesgos superior a los métodos tradicionales. Ello requiere como bien indica su nombre, primeramente de una etapa de diseño del modelo, para su posterior simulación.

Un modelo es una representación simplificada de la realidad, diseñado para representar, conocer y predecir propiedades del *ente real* (objetos o procesos). La finalidad de los modelos no es otra que el estudio con una mayor facilidad, permitiendo la deducción de propiedades de observar o cuantificar en la realidad. Esto se consigue mediante:

- Eliminación o simplificación de componentes
- Cambiando la escala espacial o temporal
- Variando las condiciones del entorno
- Evitando la actuación sobre el ente real

Una vez se defina el modelo, y haciendo uso de la simulación, se podrá experimentar mediante la replicación de diferentes escenarios que proporcionaran información de cómo actúa. Estos escenarios se tratan de la alteración de los diferentes elementos que componen el modelo, en ocasiones modificando todos ellos, y en otras manteniendo algunos constantes para ver el efecto marginal de otros.

Como es lógico, existen errores inherentes en el proceso de modelación, provocados principalmente por las limitaciones en la analogía modelo-realidad. Es por ello, que una vez se disponga del modelo, será necesario un contraste empírico de la calidad (tanto del modelo como del proceso de simulación), para otorgar validez de los resultados obtenidos. La validación se realiza mediante la comparación de los datos que predice el modelo con los tomados de la realidad.

Dentro de los modelados, tendremos los estáticos y los dinámicos. Los modelos estáticos representan objetos, mientras que los dinámicos representan procesos, por lo que serán a los que veamos una mayor utilidad. Los modelos dinámicos relacionan los objetos entre sí, pudiendo simular mecanismos de cambios y estudiar la sucesión temporal de estos, como ocurre en la realidad con un proyecto. A su vez, los modelos dinámicos se subdividen en dos tipos, los deterministas y los estocásticos. Los modelos deterministas generarán los mismos resultados si se parte del mismo escenario, algo deseable, pero que asemejándose a las técnicas tradicionales descritas en los capítulos anteriores, ofrecen poco potencial.

Si algo se ha creído necesario, es poder reflejar la naturaleza aleatoria de las singularidades de un proyecto, algo que sí podemos realizar con un modelo estocástico. Al permitir representar situaciones más cercanas a la realidad, estos modelos ofrecen muchas más información, con lo que otro objetivo importante será su identificación y obtención. Este método requiere una simulación iterativa, lo que implica que será necesaria una cuantía mínima de escenarios recreados para tener resultados concluyentes, es decir, convergentes hacia una función de distribución de probabilidad final.

Estos modelos se componen fundamentalmente de partes e interrelaciones. Las partes representan los elementos o unidades funcionales (tareas, costes, recursos o riesgos), y las relaciones (lógica del plan, restricciones o dependencias) fijan los cambios de estado y transiciones entre las partes. La calidad y utilidad de un modelo dependerá de varios factores:

- Correcta definición e identificación de elementos funcionales
- Correcta descripción de las relaciones entre elementos
- Posibilidad de realizar una verificación empírica del modelo

Para llevar a cabo el desarrollo del modelo habrá que pasar por las fases que ayudan a definirlo correctamente [14]:

- *Conceptualización o modelo narrativo*: Es el análisis del sistema real, definiendo las partes relevantes y los procesos clave, es decir, un enfoque claro del problema a solucionar. La inclusión de detalles triviales hará al modelo excesivamente extenso, complejo e intratable.
- *Formalización o modelo esquemático*: Es la definición de las variables de estado, selección y exclusión de elementos o relaciones, escala temporal o espacial. Se ha de poner hincapié en tratar de usar el número mínimo de variables para describir el sistema, aunque por otro lado, la sobre simplificación puede llegar a hacer el modelo inútil.
- *Implementación o modelo informático*: Se trata de codificar el modelo esquemático, lo cual puede tener un efecto decisivo sobre el modelo inicial definido anteriormente.

Como último paso se ha de plantear una validación funcional, donde se pone a prueba el modelo bajo diferentes escenarios para ver su comportamiento de estabilidad, e incluso sensibilidad, donde se identifican las fronteras de parámetros críticos, los cuales pueden alterar fuertemente los resultados con pequeñas variaciones, obligándonos a estudiarlos a la hora de tratarlos en el modelo.

3.1.1 Modelado básico de la lógica

Una de las necesidades que requiere el simulador es el modelado de un proyecto, principal e inicialmente la de su lógica temporal. De esta manera, hemos de ser capaces de considerar todos los elementos (variables, condiciones y restricciones) que se pueden dar en el plan, tratando de conservar el dinamismo que tendrían en el mundo real. De nada serviría tratar de realizar una simulación Monte Carlo sobre un modelo rígido donde las posibilidades están muy acotadas. Precisamente, con el simulador tratamos de sobrepasarnos a las ideas sesgadas para obtener datos de todo el abanico de posibilidades factibles para una mejor gestión.

El proceso de modelado se irá ampliando y enunciando a lo largo de este documento, tanto de las variables como sus condiciones y restricciones. Ahora, se muestran las dependencias temporales más básicas de las tareas en un plan de proyecto, de las que partiremos inicialmente en la metodología [8]:

- *Fin a comienzo* (FC): La tarea (B) no puede comenzar hasta que su predecesor no finalice (tarea A).

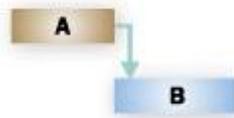


Figura 15. Dependencia Fin a Comienzo [29]

- *Comienzo a comienzo* (CC): La tarea dependiente (B) no puede comenzar hasta que comience la tarea (A), de la que depende. La tarea dependiente puede comenzar en cualquier momento después de comenzar la tarea para la que depende. El tipo de vínculo CC no requiere que ambas tareas comiencen simultáneamente (puede existir un retraso).

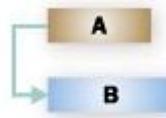


Figura 16. Dependencia Comienzo a Comienzo [29]

- *Fin a fin* (FF): La tarea dependiente (B) no se puede completar hasta que se haya completado la tarea de la que depende (A). La tarea dependiente se puede completar en cualquier momento después de completarse la tarea de la que depende. El tipo de vínculo FF no requiere que ambas tareas se completen simultáneamente (si se define un retraso).

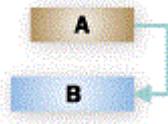


Figura 17. Dependencia Fin a Fin [29]

- *Comienzo a fin* (CF): La tarea dependiente (B) no se puede completar hasta que comience la tarea de la que depende (A). La tarea dependiente se puede completar en cualquier momento después de que comience la tarea de la que depende (si existe un retraso). El tipo de vínculo CF no requiere que la finalización de la tarea dependiente sea simultánea al comienzo de la tarea en la que depende.

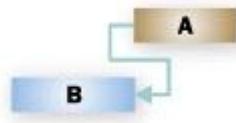


Figura 18. Dependencia Comienzo a Fin [29]

En ocasiones existirá una relación más compleja que una simple dependencia fin a comienzo. Se puede introducir un tiempo de posposición para representar un retraso entre el fin de la tarea predecesora y el comienzo de la tarea sucesora. De igual manera, en la realidad existen más dependencias, menos directas, pero no por ello poco frecuentes, conocidas como delimitaciones flexibles e inflexibles. Por otro lado los aspectos económicos tienen una gran influencia en cómo se desarrolla el modelo final, algo que se verá en los últimos capítulos.

Todo el conjunto de dependencias avanzadas, se exponen y se muestra su carácter más técnico como su codificación, en el Apéndice C.

3.2 Simulación

3.2.1 Simulación por el método Monte Carlo

El método Monte Carlo se trata de un método numérico, de naturaleza aleatoria. Fue creado con el propósito de resolver integrales que no se pueden resolver por métodos analíticos, recurriendo al uso de números aleatorios. Posteriormente, se utilizó para cualquier esquema aleatorio, mediante variables aleatorias con distribuciones de probabilidad conocidas. El primer uso de relevancia del método Monte Carlo como una herramienta de investigación, fue en el trabajo de la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial, aunque en 1930 Enrico Fermi y Stanislaw Ulam desarrollaron las ideas básicas del método [6]. Con la introducción de la computación, y su consecuente evolución, se ha incentivado el uso de este método, que tiene como principal contrapartida el coste computacional.

Los sistemas que se benefician de poder ser estudiados mediante este método son numerosos, existiendo un ámbito de uso muy amplio:

- *Ciencias*: El ámbito es enorme, pero se puede destacar su uso en el diseño de detectores de partículas, o comportamiento molecular dinámico.
- *Telecomunicaciones*: Los sistemas de colas de espera se rigen por procesos estocásticos que son posibles de simular mediante Cadenas de Markov junto con Monte Carlo (MCMC).
- *Financiero*: La evolución de la computación ha permitido que el método Monte Carlo junto con los principios del tratamiento de señales orientados a la extracción de métricas financieras (un ejemplo es el *High Frequency Trading*) permita estimar tendencias esperadas y decisiones acertadas en multitud de ecosistemas financieros (valuación, coberturas,...) con grandes resultados.
- *Juegos*: La capacidad de maximizar o minimizar funciones de múltiples dimensiones tiene aplicaciones tan cotidianas como los algoritmos para jugar al ajedrez contra una máquina.
- *Ingeniería*: Los usos son muy amplios, algunos ejemplos son en ingeniería microelectrónica (para detectar efectos entre componentes de circuitos), refinamientos en el automatismo de robots autónomos en cadenas de montaje, o trabajos en diferentes impactos como la polución o seísmos.

Como se puede ver, su uso está tan extendido debido a la gran utilidad (y necesidad) que se tiene de extraer resultados concluyentes de sistemas multidimensionales con una incertidumbre (naturaleza estocástica) significativa. Sus principales fases, una vez se dispone del modelo, son:

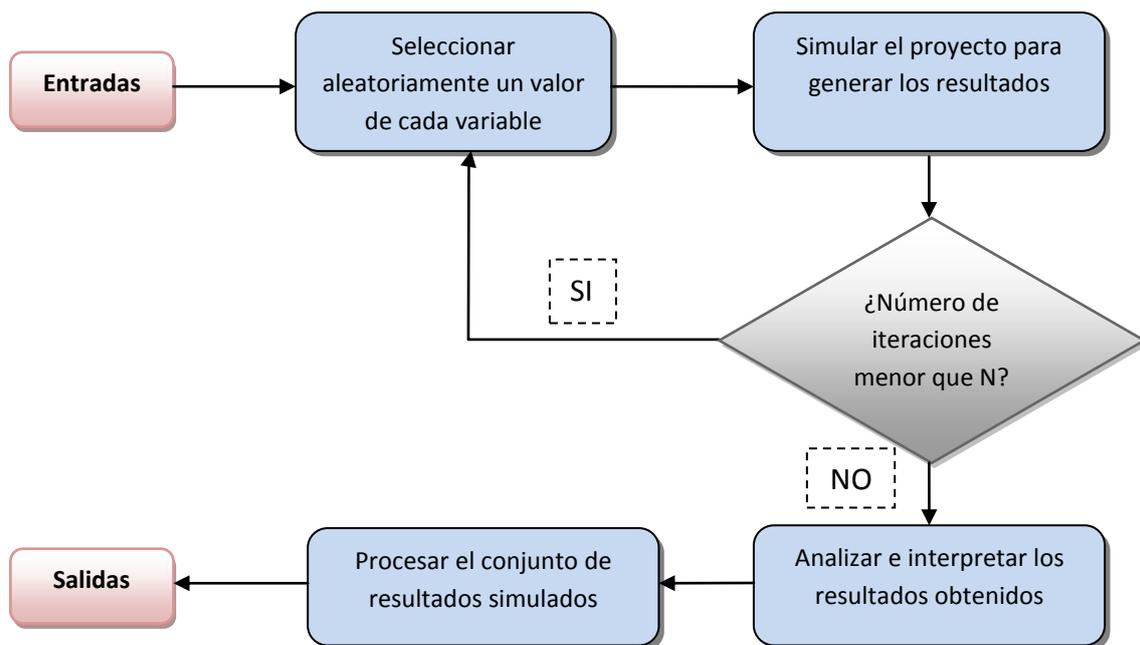


Figura 19. Procesos básicos del análisis por el método Monte Carlo

- Definir el dominio de las salidas (distribuciones de las variables aleatorias)
- Calcular el valor del modelo según el muestreo
- Registrar el resultado
- Repetir el proceso hasta tener una muestra representativa
- Tratamiento de la información obtenida (gráficas, métricas útiles,...)

El concepto de Monte Carlo se basa en la ley de los grandes números (desigualdad de Tscheycheff [2]), que enuncia que cuanto mayor sea la muestra, mayor será el ajuste entre la distribución muestral y la distribución teórica sobre la que se basa la muestra. Esto se traduce en la necesidad de un mayor número de iteraciones para lograr mejores resultados (para converger hacia la distribución teórica). La principal desventaja del método Monte-Carlo es la lentitud con la que converge. La rapidez de convergencia depende de la relación entre la varianza (σ) y el número de iteraciones (M), concretamente a razón de σ/\sqrt{M} . Para acelerar la convergencia, o se disminuye el valor de la varianza, o se incrementa el número de iteraciones. Incrementar el número de iteraciones incide en el tiempo de cálculo computacional, requiriendo del uso de generadores aleatorios sofisticados como las secuencias de baja discrepancia (como el método de muestreo del *híper-cubo latino*), aunque esto suele ser transparente para el usuario en entornos de desarrollo matemáticos como MATLAB™.

Por otro lado, el error cuadrático medio de un estimador insesgado depende únicamente de la varianza del estimador. Por lo que reducir la varianza del estimador (variables de control, muestreo estratificado,...) se convierte en el objetivo primordial si se desea acelerar la convergencia de Monte Carlo [2]. Afortunadamente, por la naturaleza del problema que se trata en este Proyecto Fin de Carrera (complejidad y dimensión media de los modelos), el tipo de escenarios que se plantean no requieren de un alto nivel de iteraciones, y por lo tanto un tiempo excesivo (del orden de decenas de miles de iteraciones suponen pocos minutos para los casos más exigentes) para obtener valores de convergencia aptos, con lo que se desestima profundizar en las necesidades anteriores.

Esta convergencia puede medirse mediante el control del nivel de confianza de estimación, algo típico en estadística clásica, pero como se irá viendo más adelante, las funciones de distribución resultantes no siempre contendrán una sola moda (podrán ser multimodales), complicando la algoritmia necesaria para estimar la distancia que nos encontramos de la distribución final. Dado que como se ha dicho anteriormente, por norma no se requiere un número alto de iteraciones, ni un tiempo excesivo para ejecutarse, y junto con la profundidad necesaria para desarrollar una solución cualitativamente buena para la aceleración de la convergencia (fundamentada probablemente en el análisis multivariante, como el algoritmo de k-medias o el análisis de componentes principales), se desestima entrar en tales necesidades, dejándola eso sí, como punto de mejora desde el punto de vista más puramente técnico.

3.2.1.1 FDP para algunas entradas de la simulación

Como todo método de naturaleza aleatoria, Monte Carlo se nutre de un modelo con un conjunto de variables definidas. La forma en que se logra generar diferentes escenarios de los cuales se obtienen los resultados es a través de la aleatoriedad de las variables que lo definen. Cuando estudiando las técnicas tradicionales anteriormente llegamos a la conclusión que estas no representaban de manera fidedigna la realidad con valores deterministas, y por lo tanto, una distribución de probabilidad será una opción mucho más acertada.

Estas distribuciones de probabilidad deberán contener todos los posibles resultados de las variables que modelan, que serán fundamentalmente el tiempo de duración de una tarea y rango de impacto de un riesgo, sin rebasar tanto unas cotas superiores como inferiores finitas y definidas, ambas dentro del intervalo. Quizás, la existencia de ambos extremos es lo más manifiesto, mientras que todo lo que se comprende entre ambos requiere un poco más de elaboración. Lo cierto es que dentro de estas cotas, algunos valores serán más probables que otros (asumiendo una distribución continua no uniforme), encontrándose en algún punto entre los extremos. De igual modo, teniendo los valores extremos como los sucesos límite, la probabilidad de los valores que tienden hacia estos será decreciente. Por último, entenderemos que no existe condición alguna sobre la simetría de la distribución, pudiendo tener los valores más probables tendiendo a cualquiera de los extremos, dependiendo del fenómeno o elemento que se desee modelar.

Teniendo esto en consideración, podemos disponer de varias distribuciones de probabilidad que cumplen estas premisas, pero debido a que el fin es modelar fenómenos de la realidad, se reduce las posibilidades a la *Triangular* y a la *Beta* [2]:

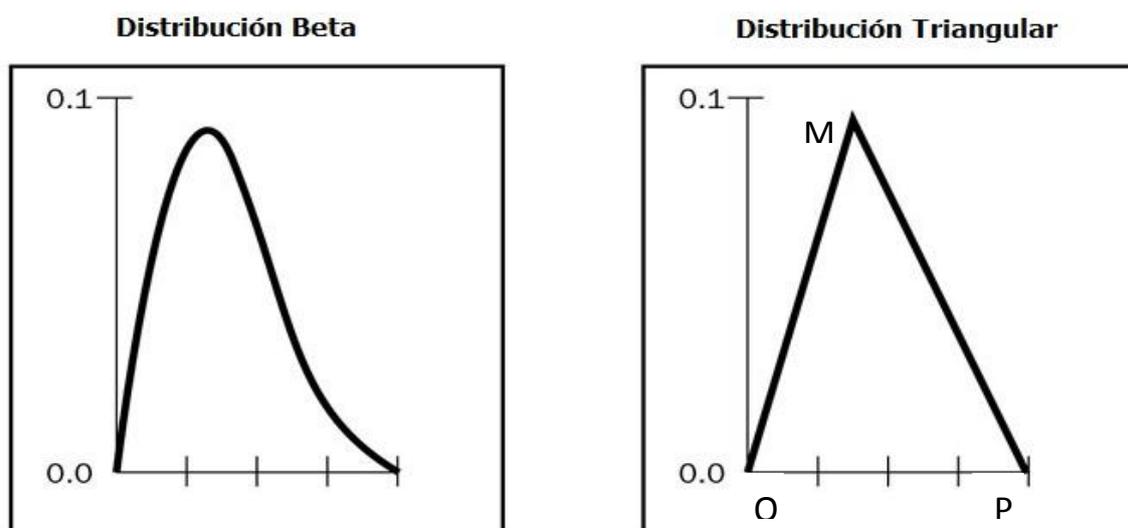


Figura 20. Funciones de distribución Beta y Triangular [1]

A pesar de que ambas distribuciones cumplen con los requisitos expuestos, denotan estructuras claramente diferenciadas, incluso cuando se trata de definir fenómenos similares. La distribución *Triangular* se compone mediante la unión recta de sus tres parámetros: mínimo, más probable y máximo; mientras que la distribución *Beta* exhibe una forma más natural y estilizada, otorgando un mayor peso a los valores cercanos a la moda y un menor a los que se aproximan a las colas, definida mediante su media y desviación típica.

Por lo general se tendería a rechazar la distribución *Triangular* por su forma violenta y poco natural, en beneficio de la distribución *Beta*. Lo que no se tendría en cuenta en esa decisión es la necesidad de tener que definir completa y unívocamente la distribución mediante unos parámetros lo suficientemente intuitivos. Su definición vendrá en la mayoría de los casos de un proceso de estimación de personas, que más allá de la difícil decisión de valorar el fenómeno, tendrá que poder ajustar a una distribución específica. Esa, es la gran ventaja que ofrece la distribución *Triangular* (aparte de cumplir los premisas), ya que sus propiedades estadísticas se derivan de parámetros que responden a valores del mundo real, y no de una teoría subyacente. En el caso de la distribución *Beta*, esta queda definida por parámetros que difícilmente pueden ser estimados por personas, incluso sensibilizadas con la teoría estocástica (como es el caso de la desviación típica).

Por supuesto nada es imposible, y si fuera propuesto por algún tipo de necesidad, los fenómenos necesarios de modelar podrían ser representados mediante la distribución *Beta*, pero se ha de pensar en el esfuerzo y tiempo que esto requeriría, en contra de los de los beneficios obtenidos (los resultados no tienen una amplia variación, y tienden hacia el optimismo respecto la *Triangular* [2]). La experiencia personal al tratar de incorporar *Beta* como solución, así como la bibliografía, llevan a la conclusión de que es mejor lograr definir con exactitud un modelo más simple, que tratar de aproximarse sin éxito a un modelo que quede lejos de funcionar.

Habiendo justificado ya el uso de la distribución *Triangular* para modelar los elementos y fenómenos de un proyecto, pasaremos a profundizar un poco en sus parámetros, en principio sencillos, pero que requieren algún matiz:

- *El valor inferior u optimista (O)*: Representa el valor que será posible lograr si todas las oportunidades que conciernen a dicho elemento (ya sea tiempo, coste o riesgo) se dan en su máxima expresión. De esta manera, este valor es aquel que pudiera expresarse como *a pedir de boca [sic]* (materializando el factor suerte), donde nada puede acontecer de mejor manera.
- *El valor superior o pesimista (P)*: Representa el peor escenario posible que puede darse para ese elemento, donde todos los riesgos afectan negativamente en su máxima magnitud. Generalmente este parámetro es el más complicado, ya que las personas tenderán a subestimarlos, por diversas razones que discutimos en el

capítulo siguiente, algunas de ellas son la mala aceptación de situaciones difíciles (criticar trabajos o procesos internos resulta muy impopular).

- *El valor más probable (M)*: En términos estadísticos es la moda de la distribución, que por la particular forma de la distribución *Triangular*, alrededor de ella concentra la mayor parte de su densidad. Es importante tener esto en cuenta, pues resulta muy tentador otorgar a este parámetro el valor de la media, no tanto así la mediana, que sería un craso error.

Lo más importante y delicado en la definición de estos parámetros es que a la hora de definir sus extremos, se tenga en cuenta sólo lo puramente aportado por el elemento a modelar. De manera más clara, a la hora de fijar el extremo inferior de la duración de una tarea (su tiempo más optimista), es posible que se tienda a tener en cuenta oportunidades ajenas a la tarea en sí, asumiendo oportunidades de otras tareas que repercuten en el tiempo de esta. Si esto sucediera, lo que ocurriría es que se contabilizarían oportunidades por partida doble (o triple, o...), en referencia a un mismo elemento, alterando gravemente las distribuciones de probabilidad definidas y por ende los resultados finales. Es por ello que, durante la asignación de estos parámetros, la persona encargada de ello tiene que tener claramente definido y acotado el rango de decisión, para poder precisar correctamente los valores plausibles de cada elemento.

3.2.1.2 Salidas de la simulación

Ya hemos expuesto en qué se basa la simulación por el método Monte Carlo, que entradas son requeridas (modelo del proyecto y distribuciones de probabilidad) para hacer uso de él, y sus beneficios previstos. Estos beneficios son su capacidad de ajustarse a los fenómenos de manera muy aproximada (por su naturaleza aleatoria), y capacidad de realizar una minería de datos de la información generada. Esta minería de datos será todo lo extensa y profunda que el estudio requiera, siempre en consonancia con el modelo que se estudia, tratando la información de sus procesos y variables. Esta información, dependiendo de lo que expresa, tendrá múltiples maneras de ser representada, siendo estas las principales salidas:

- *Funciones de Distribución de Probabilidad (a partir de ahora FDP) o Histogramas*: Cada uno de los elementos que componen el plan de proyecto estarán representados dentro del modelo por sus respectivas distribuciones de probabilidad. A su vez, los resultados podrán expresarse de la misma manera, representando la distribución de un determinado elemento (tiempo, coste o riesgo), entidad (del proyecto global, específicos como un escenario, tarea, recurso,...).
- *Funciones de Distribución Acumuladas (a partir de ahora FDA)*: De la misma manera que anteriormente, estos mismos elementos pueden ser expresados por sus distribuciones acumuladas. La razón de ello es que este tipo de representación es

más ilustrativo cuando se desea extraer ciertas métricas, como son los percentiles (a partir de ahora nos referiremos como P-i al percentil i-ésimo) o niveles de confianza.

- **Tablas de datos:** Muchas métricas no tiene sentido expresarlas más allá de su propio valor, con lo que el uso de tablas de valores es apropiado, como índices críticos, correlaciones, fechas estimadas de pago de recursos, tasas de gasto por unidad temporal, o los niveles de confianza de estimación establecidos. En estas tablas también pueden resumirse la información de las gráficas anteriores, mostrando su valor cuantitativo de manera directa.
- **Diagramas de tornado:** Este nombre se le da habitualmente a las gráficas de barras horizontales que representan unos valores clasificados de manera descendente, de ahí la forma. Es la representación básica para los análisis de sensibilidad, donde una clasificación por magnitud es de gran interés. Con ellos veremos la influencia de unas variables en otras (del tiempo, coste y riesgo), con su tendencia así como su magnitud.
- **Diagramas de dispersión:** Otra forma de representar simulaciones con múltiples variables, en nuestro caso será de gran utilidad para la relación tiempo-coste para el análisis integrado del Capítulo 8.
- **Diagramas de barras:** Estos diagramas genéricos tendrán multitud de usos, pero son muy ilustrativos para expresar información como el flujo de caja medio de un proyecto, escenario, financiación, así como determinístico y diferenciales.

A continuación mostramos ilustrativamente algunas de las principales salidas expuestas:

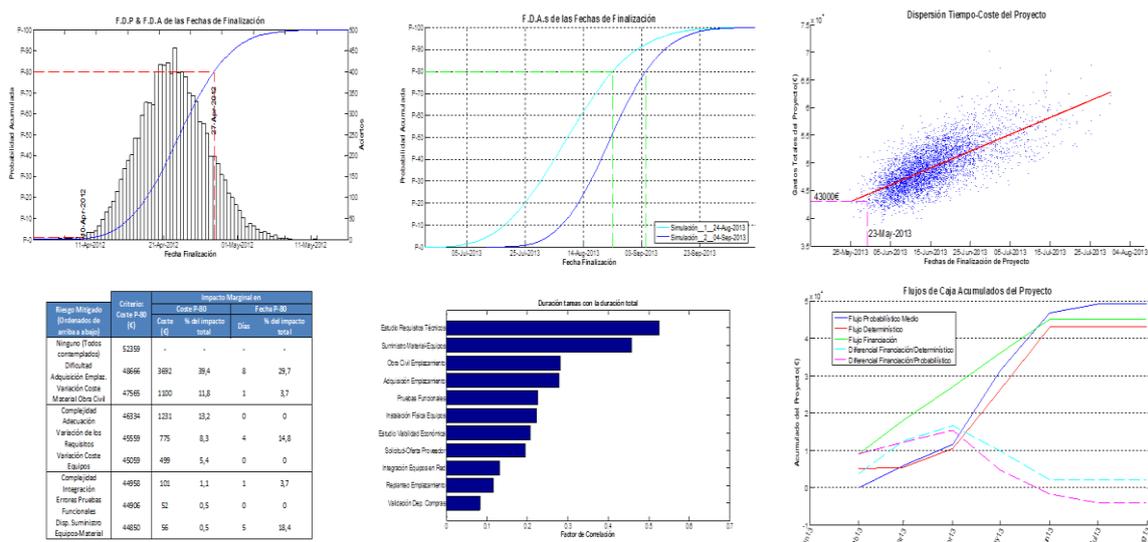


Figura 21. Diferentes tipos de salidas de información posibles

Lo cierto es que las técnicas anteriormente expuestas (PERT, Valor ganado, Árboles de decisión,...) quedan obsoletas cuando se las compara con las posibilidades que ofrece

una simulación por el método Monte Carlo, aunque se entiende que sin las capacidades computacionales de la actualidad sería poco viable proponer una solución de esta índole. Esas técnicas se ajustaban a las capacidades y recursos del momento que fueron propuestas, pero que a día de hoy su elección para abordar la gestión del riesgo de la manera cuantitativa representarían un error, ya que subestiman la infinidad de factores clave del desarrollo de un proyecto.

Con esto ya tenemos una panorámica del método Monte Carlo, con lo que a continuación se comentará las bases del desarrollo del simulador en el que se apoya este Proyecto Fin de Carrera, y la metodología que define su uso.

3.2.2 Desarrollo del simulador

Desde la concepción de la idea de proyecto, se creyó esencial el poder simular el modelo propuesto por la metodología, con ánimo de dar rigurosidad y poder profundizar en las capacidades de la minería de datos. Inicialmente se estableció la simple puesta en escena de los escenarios a base de desarrollos *ad-hoc*, sin implementar una solución capaz de albergar un gran abanico de posibilidades que puede requerir un software para tal propósito. Esta idea fue cambiando a lo largo del tiempo al descubrir que sería de gran valor poder generalizar y automatizar el modelo que se iba completando en cada paso.

En la actualidad existen multitud de simuladores que usan el método Monte Carlo, la gran mayoría de ellos multidisciplinarios, y es precisamente ese ámbito genérico al que están orientados, incluso en materia de riesgos, lo que hace que no acaben teniendo una gran aceptación en la gestión de proyectos de las organizaciones. Este software comercial se apoya principalmente en hojas de cálculo para definir los modelos a simular, algo que no es del todo conveniente si se pretende modelar adecuadamente un proyecto. Por otro lado, el no estar orientados a los fenómenos de riesgo específicos de proyectos, sus modelos y datos de entrada requeridos hacen poco operativo su uso. En esto se incidirá especialmente a la hora de modelar la correlación en el Capítulo 6, donde este software propone hacerlo a través de coeficientes de correlación y métodos complejos de generación de variables aleatorias, muy alejado de la realidad, por lo que se acaba proponiendo otro punto de vista en la metodología propuesta, un enfoque explícito sobre los riesgos en el modelo.

Sin pretensión de desarrollar una solución orientada a cualquier tipo de usuario mediante una interfaz amigable y depurada, si se llevó a cabo un giro de tuerca en la parte más técnica de este proyecto. Se decidió crear un conjunto de librerías y módulos que pudieran usarse de manera generalizada con cualquier entrada que se definen en esta metodología. De este modo, el desarrollo permitiría la simulación de cualquier escenario que se plantee, sin importar las particularidades mientras estas estén dentro del marco establecido por la metodología. El objetivo es tener una

solución robusta que responda a todas las demandas planteadas a través de scripts donde se introduzcan los datos del proyecto o escenario en cuestión. Estas demandas se centran en la casuística de los riesgos en proyectos con el método Monte Carlo como motor, para tratar de conseguir a través de la minería de datos la mayor cantidad de información relevante.

Observando la naturaleza del problema, rápidamente se percibe que este es ampliamente genérico, y la multitud de situaciones que se pueden plantear complican su desarrollo. Se ha de tener en cuenta que un proyecto puede estar definido por multitud de factores, existentes o no según se requiera, cada uno con grandes posibilidades. El ejemplo más directo para esto es la lógica temporal del plan de proyecto, donde las relaciones entre tareas y condiciones existentes son múltiples, por lo que se requiere un proceso de identificación de cada una de las situaciones para poder modelarse. De igual manera, para hacer los diferentes análisis que se proponen en la metodología, muchos de los parámetros pueden contemplarse o no, como son los riesgos de duración, de costes, análisis de sensibilidades o correlaciones entre diferentes elementos, cada uno de ellos con sus diferentes implicaciones. La información tratada en cada análisis puede requerirse posteriormente, así como ser dependiente de procesos precedentes. Todo esto hace que la etapa de diseño y estudio de los procesos que tienen lugar en el mundo real haya sido exhaustiva para poder trasladarlo a un simulador que ofrezca veracidad y robustez a los resultados.

Para tal propósito se decidió el uso de MATLABTM como entorno de desarrollo. Las razones las recogemos a continuación:

- La naturaleza de los cálculos necesarios hace que el potencial para el cálculo matricial de MATLAB sea altamente conveniente.
- Tiene recursos suficientes para mostrar la información de los resultados convenientemente, principalmente gráficas y tablas.
- No se ha creído oportuno el desarrollo de una interfaz gráfica para usuarios y aunque también lo permite, es cierto que puede haber mejores opciones.
- El uso intensivo a lo largo de la carrera hace que se tenga un gran dominio de él, y sea un entorno muy conveniente para un desarrollo.

Estas han sido las principales razones para la elección de MATLABTM como entorno, que una vez finalizado el desarrollo se ha creído como una decisión acertada.

El principal objeto de este Proyecto Fin de Carrera es proponer una metodología orientada a la cuantificación del riesgo en proyectos, apta para el mundo real que requiere de tales procesos, pero también rigurosa en la ejecución. El conjunto de módulos y funciones automatiza el proceso de simulación y extracción de información diseñada por la metodología, pudiendo albergar gran variedad de escenarios.

El primer paso fue establecer las entradas de datos que se necesitan para el propósito. Estas entradas de datos se van definiendo y comentando a lo largo del texto, en el cual se muestra cómo se van incorporando cada vez un mayor número de parámetros que finalmente conforman todas las funcionalidades de este simulador. Con el fin de generalizar la entrada de datos, se diseñó un script genérico para rellenar con los diferentes parámetros. Muchos de estos elementos tienen un número de entradas variables, como puede ser el número de riesgos que comprometen el proyecto, los cuales pueden existir o no; mientras que otros pueden ser constantes, como el número de parámetros de las distribuciones de probabilidad (optimista, probable y pesimista), o variables como los factores de correlación de una matriz de interdependencia de tareas. El código desarrollado se alimenta de este script inicial, que también define la activación de distintas funcionalidades, estableciendo la manera de tratar estos datos y realiza la simulación correspondiente.

La modularidad se ha tenido en cuenta a la hora de desarrollar este simulador, tratando de separar las distintas funcionalidades en módulos independientes. El simulador tiene dos módulos principales, uno orientado a la simulación para la generación de los datos, y un segundo orientado a la interpretación y minería de datos de los resultados. Entre ambos abarcan la mayoría de funciones y módulos necesarios, haciendo de columna vertebral entre todos ellos para procesar el flujo de datos según las condiciones necesarias.

Estos módulos se definieron desde la fase más prematura del simulador, en los cuales se han ido incluyendo el resto de funcionalidades según la metodología ha ido ampliando sus capacidades. Un correcto diseño de este núcleo desde el principio fue necesario para que la integración de todas las posteriores funcionalidades tuviera el mínimo impacto en el diseño, ya que el simulador se ha ido desarrollando en gran medida de manera paralela a la definición metodológica. Según evoluciona la metodología se amplía los módulos, siendo la versión definitiva del simulador perfectamente operativo tanto con las simulaciones más básicas, como las más completas que se termina planteando.

A continuación se muestra el esquema básico de la arquitectura de los módulos del simulador y su flujo de decisiones, los cuales se comentan posteriormente. A lo largo del documento, según se vaya exponiendo la metodología, se irá teniendo una mayor comprensión de las entradas y salidas, así como cada módulo y de las funcionalidades que ofrece:

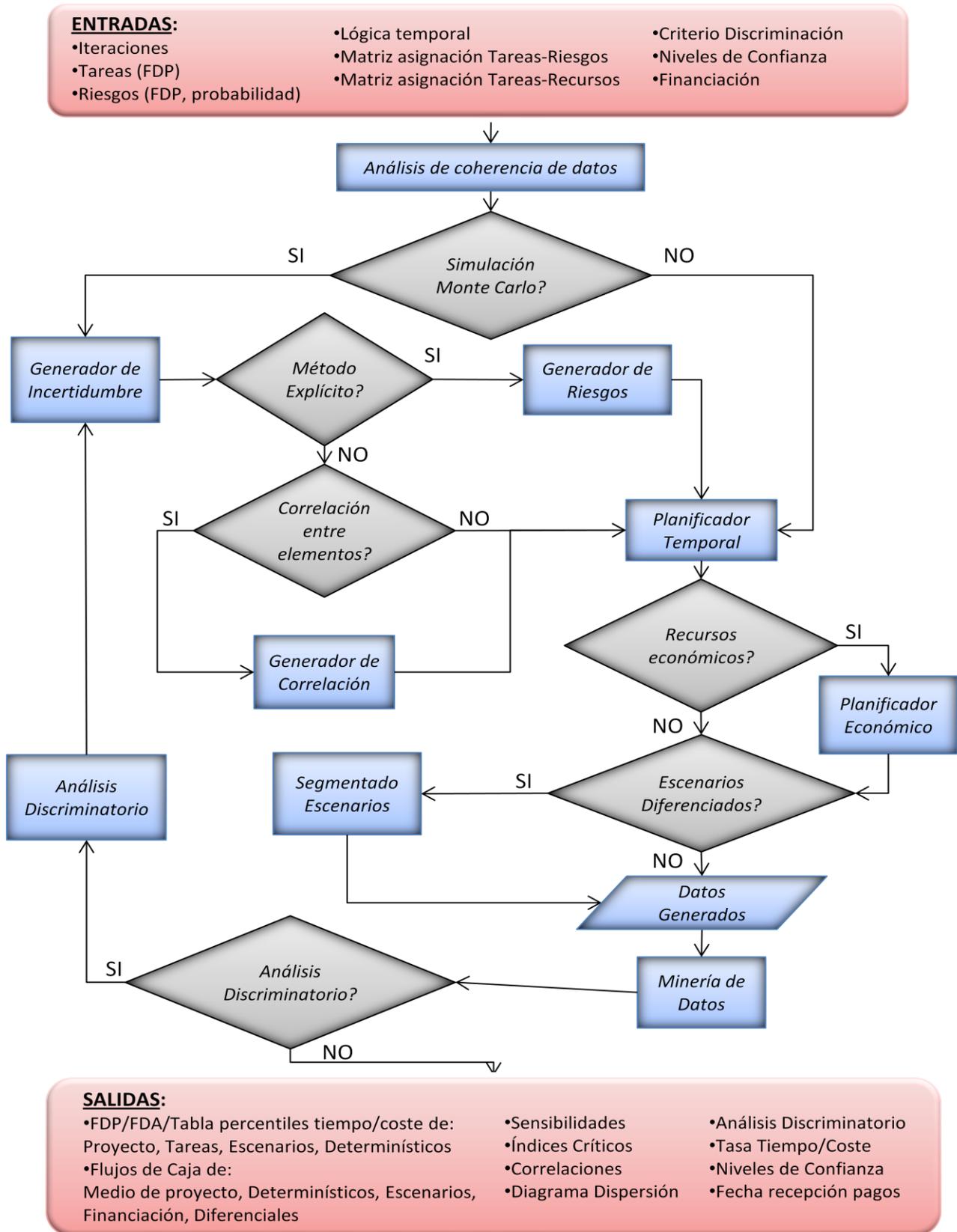


Figura 22. Esquema básico de la arquitectura de módulos del simulador & E/S

Datos de entrada: Es el script estandarizado con todos los datos de entrada posibles de un plan de proyecto que admite el simulador. Según el proyecto o las funcionalidades a simular, este dispone de distintas opciones.

Análisis de Coherencia de datos: Módulo que comprueba que los datos de entrada del script tienen la coherencia necesaria para simularlos correctamente, comprobando cada uno de los argumentos.

Generador de Incertidumbre: Módulo que dispone del generador de variables aleatorias según las funciones de distribución requeridas por el elemento a simular. Como se verá más adelante, primero tendrá una utilidad en el enfoque de riesgos inicial, donde el riesgo de las tareas está implícito en la duración estimada en su FDP. Posteriormente veremos en el enfoque de riesgos explícitos, que se usará para calcular solamente el error de estimación.

Generador de Correlación: Contiene toda la algoritmia necesaria para correlacionar los elementos del proyecto que se le indican. Se profundiza el contenido de este módulo en el Capítulo 6 y Apéndice B.

Generador de Riesgos: Este módulo se usa para el método de riesgos explícitos (apartado 6.3), donde el elemento riesgo se define explícitamente y se asigna a cada elemento (tarea o recurso económico) de manera específica para crear la incertidumbre y correlación.

Planificador Temporal: Este módulo es uno de los principales de la simulación Monte Carlo y las funcionalidades de la metodología. En él, se simula la planificación temporal del proyecto de forma determinística y estocástica a través de los datos de entrada y generadores anteriores.

Planificador Económico: Si el proyecto a simular dispone de costes, este módulo usa la asignación económica de las entradas junto con los datos de la planificación temporal para evaluar todo lo relativo al aspecto económico (Capítulo 7).

Segmentado Escenarios: Cuando se establece la necesidad, se segmentan los escenarios diferenciados del proyecto, gestionando los disparadores de eventos condicionales y demás condiciones existentes de lo temporal y económico (Capítulos 5 y 8).

Minería de datos: Aquí se realiza la extracción y tratamiento de la información generada creando las posibles salidas según los requerimientos de la simulación (entradas y funcionalidades ejecutadas).

Análisis Discriminatorio: Este módulo se basa en la funcionalidad de analizar el impacto marginal de cada riesgo según el criterio (tiempo o coste) establecido (Capítulo 8), permitido por el enfoque de riesgos explícitos. Gracias a ello, nos permitirá cuantificar

con gran detalle el efecto de cada riesgo y evaluar cómo funcionan las estrategias de acción propuestas, algo clave para la metodología.

4 Aspecto humano en relación con la gestión del riesgo

4.1 El factor humano y la información

Es obvio que en el análisis y evaluación de los riesgos como en cualquier otra actividad humana (desarrollo HW, SW, etc.), la fiabilidad en la obtención de los objetivos depende mucho de las personas que la realicen. Estos profesionales deberán disponer de los conocimientos, habilidades y experiencia necesarios para acometer dicha actividad. Por consiguiente, para evitar situaciones que puedan entorpecer la actividad de gestión de riesgos (allí donde sea aplicable, p.e.: preparación de los informes perceptivos antes de la presentación de una oferta o de la firma de un contrato, etc.) necesita de personal cualificado y competente. Si utilizan un simulador, como el que se propone, es evidente que la salida y por tanto las conclusiones y recomendaciones que se derivan dependen de la fiabilidad de los datos de entrada. Aquellas organizaciones que dispongan de datos fiables y realistas, y utilicen métodos eficaces y rápidos, serán las más competitivas.

En este capítulo ha tenido gran peso la experiencia profesional adquirida en el departamento de *Gestión de Proyectos de Red Central* de Vodafone. Mucha de la casuística de la gestión de proyectos está íntimamente relacionada con las personas que los desarrollan, por lo que poder tener como fuente de información y campo de pruebas un entorno real ha sido de gran utilidad. Muchas partes planteadas en esta metodología están sujetas a aspectos totalmente teóricos, pero algunos de ellos como el factor humano en la información a procesar son algo fundamentalmente prácticos. Más allá de la simple necesidad de datos requeridos por el modelo, el entorno profesional del que se ha dispuesto ha conseguido lograr un punto de vista muy cercano a la realidad para lograr su obtención, confirmando creencias y propuestas, así como rectificando otras muchas.

La fiabilidad de los resultados de un análisis de riesgos está condicionado por la veracidad del modelo propuesto y, como es lógico, por la capacidad de disponer de los datos de entrada fiables y precisos. Una de las particularidades del análisis y evaluación de riesgos es que tiene un punto comprometedor para las personas que calibran la incertidumbre de estas estimaciones. Puede resultar desconcertante que en la mayoría de las ocasiones las personas se sientan más cómodas dando valores deterministas que ofreciendo estimaciones bajo un cierto rango de incertidumbre. Ya sea por la complejidad de estimar, o por el compromiso que se adquiere, recabar información de calidad no será tarea fácil. Esta dificultad y compromiso provoca incluso que en ocasiones se trate de eludir esta práctica en la cadena de desarrollo de un proyecto.

La información que principalmente ayudará a cuantificar los riesgos será:

- Los riesgos fundamentales (independientes entre sí), que se caracterizan en su probabilidad de ocurrencia y el rango de impacto.
- Si existe la posibilidad de un evento condicional, como pudiera ser un test (superado o fallido), se ha de definir la probabilidad de los sucesos, así como los planes de acción, teniendo en cuenta que diferentes escenarios pueden tener contribuciones económicas diferentes no contempladas.
- La incertidumbre en los costes definidos.
- La dependencia o correlación entre los diferentes elementos que componen el plan de proyecto, aunque uno de los objetivos será evitar este requerimiento modificando el modelo de la metodología, como se muestra en el Capítulo 6.

Uno de los problemas recurrentes es la errónea interpretación de los rangos de impacto de los riesgos, especialmente por aquellos que tienen poca experiencia en los procesos de análisis de riesgos, aún disponiendo de amplios conocimientos en su área profesional. Habitualmente las personas se basan en un mero error de estimación para ofrecer un rango de incertidumbre, pero lo que en verdad se necesita es una estimación basada en la consideración de todas las circunstancias no exentas de riesgo. Si esto se realizara correctamente, asumiremos que el error de estimación se incluirá de facto en la parametrización. Se puede identificar 3 tipos de incertidumbres a la hora de hacer estimaciones sobre riesgos [5] [20]:

- *Incertidumbre de estimación o error*: Este tipo es siempre 100% probable, y surge cuando existe alguna carencia en la definición de requerimientos. Este error es típicamente mayor en las etapas más tempranas de un proyecto (definición del mismo), que en las finales. Por ejemplo, las estimaciones conceptuales suelen estar sujetos a rangos muy amplios, como pudieran ser +50% y -30%. La asimetría de los rangos se debe a que de manera implícita se suele ser más optimista estimando, lo que crea un desplazamiento hacia valores más positivos, lo que conlleva un mayor riesgo. Errores en etapas más maduras estarán en torno a +25% y -10%, debido a que se dispone de una mayor cantidad de información sobre todo lo relativo al desarrollo (cuestiones ingenieriles, de proveedores, etc.). De modo realista, se asumirá que se puede lograr rangos de precisión que se acerquen a +15% y -5% cuando se procede a la simular escenarios del proyecto.
- *Incertidumbre basada en los riesgos*: Estos errores típicamente involucran riesgos de tipo discreto, cuya probabilidad de ocurrencia es menos al 100% y con un rango de impacto que pueda conducir el elemento lejos de los valores estimados si este ocurre.
- *Incertidumbre basada en ambigüedades*: Algunos riesgos están basados en una ocurrencia fija pero de impacto indefinido. Un ejemplo claro es la productividad del personal en el desarrollo de un proyecto, en el que el coste por unidad de trabajo

(tiempo o actividad) está claramente definida y no sujeta a cambios, pero hay incertidumbre en el número de estas que serán necesarias.

El Project Manager ha de tener claro cuando recolecte esta información que estos tres tipos de incertidumbres para los riesgos han de considerarse, y no limitarse a las basadas en los errores de estimación exclusivamente.

4.1.1 Dificultades en la recolección de la información

A continuación se muestran factores que afectan y dificultan la obtención de la información necesaria para un análisis de riesgos correcto. Algunos de estos factores tienen connotaciones sobre los propios individuos, pero otros se deberán más a la influencia de la cultura organizacional.

En primer lugar, se ha de tener claro que la información concerniente a los riesgos difiere mucho de la información que tradicionalmente necesita la ejecución de proyectos, como son los requerimientos de tiempo o coste del mismo. El hecho de tener que valorar la incertidumbre a menudo supone una gran dificultad para los individuos:

- En esencia, el hecho de tener que proporcionar un rango de incertidumbre puede significar que uno mismo no es buen conocedor de la labor. Resulta curioso que de manera significativa cuando se trabaja con ingenieros, los cuales tienen mayormente un enfoque de precisión, a pesar de la ambigüedad que realmente pueda existir, les es difícil incluso cuando repetidamente han tenido experiencias en desviaciones de estimaciones. Esto en cierto modo puede hacer que muchos implicados vayan en contra por su mentalidad.
- Conceptos como los valores más pesimistas, optimistas o probables pueden ser novedosos. Por alguna razón, es habitual ver a las personas más cómodas haciendo estimaciones determinísticas en vez de un rango. También suele resultar más fácil de concretar valores no extremos, como pueden ser los percentiles P-10 y P-90, algo que tendremos en cuenta más adelante.
- Algunos conceptos de riesgos son simplemente nuevos para algunas personas. Por ejemplo, en muchos casos las personas nunca han sido preguntadas sobre la probabilidad de que un riesgo ocurra, aunque tengan implícitamente en cuenta posibles incertidumbres sobre sus actividades. Algo similar ocurre con la definición de correlaciones, esto es todavía más desconcertante para la mayoría de personas, de ahí que se acabe buscando alternativas distintas en la metodología propuesta.
- Las personas tienen un grado de conocimiento y experiencias limitadas. Esto significa que no sólo pueden encontrarse con preguntas totalmente nuevas, sino que además pueden tener dificultad de contextualizarlas más allá de su área de acción, hacia horizontes más amplios de toda la actividad del proyecto.

Los implicados llevarán a cabo sus estimaciones basadas en sus conocimientos y experiencias, que darán lugar a valoraciones heurísticas. Esto no deja de ser un problema de imprecisión que puede solventarse con buenas prácticas fomentadas desde la propia gestión de proyectos.

A la hora de desarrollar planes sobre riesgos, sería de gran utilidad el disponer de históricos sobre información de utilidad. No es de extrañar que muchos proyectos tengan grandes similitudes en requerimientos o procesos, ajustados al tamaño o complejidad del plan que se requiera diseñar. Desafortunadamente, no se suele disponer de esta información, principalmente porque no forma parte de la cultura de las organizaciones el documentar tras la ejecución de los mismos. La experiencia también hace ver que la etapa de análisis de riesgos a menudo forma parte de etapas posteriores a los primeros compases del proyecto, provocando que en muchos casos se trate de una lucha contra premisas *grabadas a fuego*, que se ven perjudicadas por la consideración de esta nueva información.

Todo lo expuesto anteriormente hace que el análisis de riesgos no sea una tarea fácil, incluso en organizaciones de las que forma parte en su *modus operandi*. Esto hace pensar que cuando se considera implantar una cultura similar como novedad, no encontrará escollos de un tamaño menor.

4.1.2 La parcialidad en las estimaciones

Las personas están influenciadas por factores como la parcialidad tanto en la toma de decisiones como a la hora de realizar estimaciones. Los heurísticos son de especial relevancia para comprender y explicar el proceso que lleva a la toma de una decisión. Dos reconocidos psicólogos, Daniel Kahneman y Amos Tversky, demostraron con sus experimentos que los humanos no somos totalmente racionales en la toma de decisiones, además de malos estadísticos intuitivos, siendo realmente imperfectos calculando probabilidades reales. Kahneman y Tversky encontraron que no solemos emitir juicios o tomar decisiones siguiendo procedimientos totalmente racionales o estadísticos, sino empleando los denominados heurísticos [20].

El heurístico de accesibilidad consiste en que la emisión de juicios se ve afectada por aquella información que se encuentra más accesible en la memoria, en vez de por las probabilidades reales de eventos. Este heurístico tiene cierta justificación ya que los sucesos más frecuentes son los que mejor se memorizan y mejor se recuperan. Pero adicionalmente, tiene mucho que ver con el carácter selectivo de la memoria y es el causante del denominado sesgo confirmatorio. Este heurístico es de particular importancia a la hora de comprender lo mal que lo solemos hacer a la hora de estimar sucesos que ocurren por puro azar. Nuestro cerebro busca continuamente patrones con significado, incluso donde no los hay. De nuevo, esta propiedad tiene un alto valor adaptativo pero, de nuevo, nos puede llevar a concepciones erróneas sobre la

realidad. Debido al heurístico de accesibilidad y al carácter selectivo de la memoria, tendemos a encontrar relaciones significativas donde sólo hay pura casualidad.

Kahneman y Tversky también razonaron la sobreestimación de la probabilidad en *eventos conjuntivos* a la hora de estimar. De manera implícita, se tiende a ajustar cada elemento individual de una serie amplia, con el ánimo de cumplir una cierta premisa, aún cuando se ponen en duda axiomas básicos.

Todo esto lleva a un elevado optimismo en la conformación de los planes de proyecto, aún cuando de manera separada cada elemento tiene posibilidades de cumplirse para lo estimado. La figura siguiente muestra de manera gráfica como afecta esto a la FDP estimada para un elemento del modelo cualquiera:

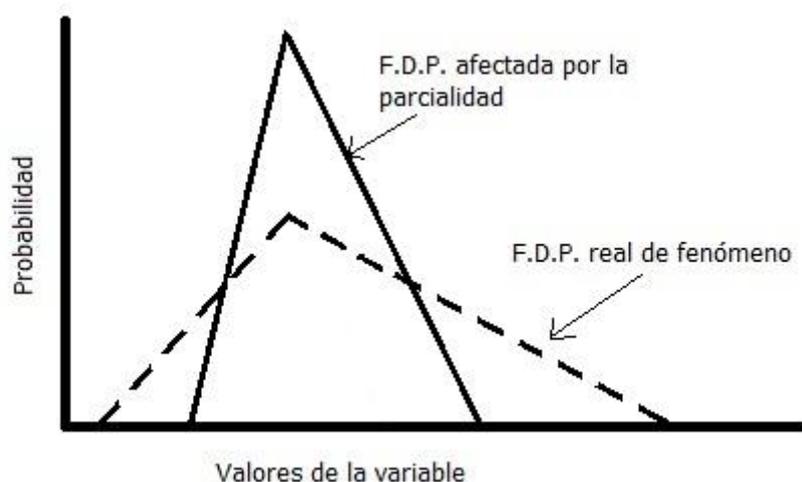


Figura 23. Estrechamiento de la FDP por parcialidad optimista

4.1.2.1 Interpretando la parcialidad

A la hora de realizar una estimación, los conocimientos junto con la parcialidad del implicado darán lugar a los datos definitivamente facilitados. La parcialidad vendrá influenciada principalmente por dos factores, sus experiencias pasadas, y su rol en el proyecto. Las experiencias pasadas son muy positivas para evaluar eventos futuros, aunque pueden llegar a influenciarlos en exceso, dependiendo de cómo se han dado lugar. Una persona que haya tenido una mala experiencia con por ejemplo un componente que forma parte de un nuevo proyecto, o un proveedor, claramente verá influenciado su criterio, aunque la experiencia pasada responda a un evento totalmente excepcional. Desde el punto de vista paramétrico, podríamos obtener un efecto en la FDP de elemento tal que:

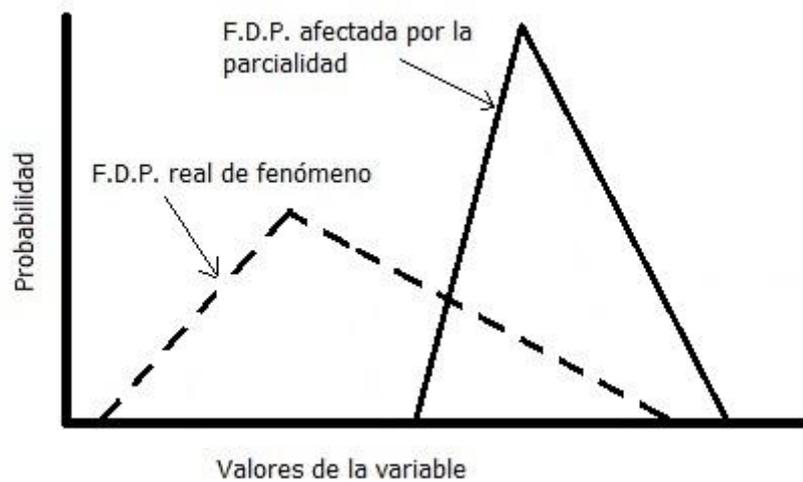


Figura 24. Alteración total de la FDP debido a experiencia anterior inusual

El rol también tiene un papel fundamental, pues la opinión de un implicado puede ser muy dependiente de factores como su nivel de responsabilidad, compromiso, o posición en la organización.

Los responsables de proyectos habitualmente se creen suficientemente escarmentados sobre experiencias pasadas, como pudiera ser continuos cambios en el alcance de un proyecto. Esto puede llevarles a pensar que a la hora de desarrollar un plan de proyecto, si este tiene un alto nivel de precisión en sus requerimientos, evitará que suceda tal situación. Lamentablemente, a pesar de esto el cambio en el alcance está probado como el mal más recurrente riesgo en el desarrollo de proyectos.

4.1.2.2 Consecuencias de la parcialidad

La parcialidad que nos encontramos a la hora de recibir las estimaciones para los riesgos en general se traducen en impactos más estrechos de lo que en realidad cabe esperar, con menor espectro de acción. Las causas de esto, como se ha explicado, pueden ser varias, pero el hecho de definir cada uno de los elementos teniendo demasiado en cuenta el conjunto final provoca un efecto atenuante.

Esto es algo que no se puede descuidar a la hora de realizar un análisis de riesgos riguroso, puesto que considerar adecuadamente los parámetros extremos (tanto inferiores como superiores) de las FDP de cada variable hacen que sea posible simular todos los escenarios factibles. El hecho de pensar que tener en cuenta estos valores puede desviar mucho los resultados no es correcto, puesto que el análisis se basa en muchos más factores que ponderarán el efecto de cada elemento de manera conveniente. Es más, aportar rangos de impacto demasiado pequeños para tratar de mantener unos resultados globales concretos sesgará de manera considerable los resultados.

4. Aspecto humano en relación con la gestión del riesgo

Supóngase que tenemos un proyecto cuya duración total determinística se establece como 100 días, comenzando el 1 de enero de 2012. Tras el análisis global del proyecto se llega a que el valor más optimista se sitúa en 80 días y el más pesimista en 160 días. Ahora consideremos que este proyecto está definido por un plan que, por simplicidad, conlleva 10 tareas consecutivas de diez días cada una. Con esta información se ha observado que las personas sujetas a hacer juicios de opinión se verán influenciadas por estos datos, y de manera común, aunque inconsciente, la tomarán como referencia para estimar. En este caso tenemos un rango del 80% al 160% para el global del proyecto, y tenderá a forzarse en sus elementos inferiores, en este caso las tareas. Si simulamos este sencillo ejemplo obtenemos los siguientes datos:

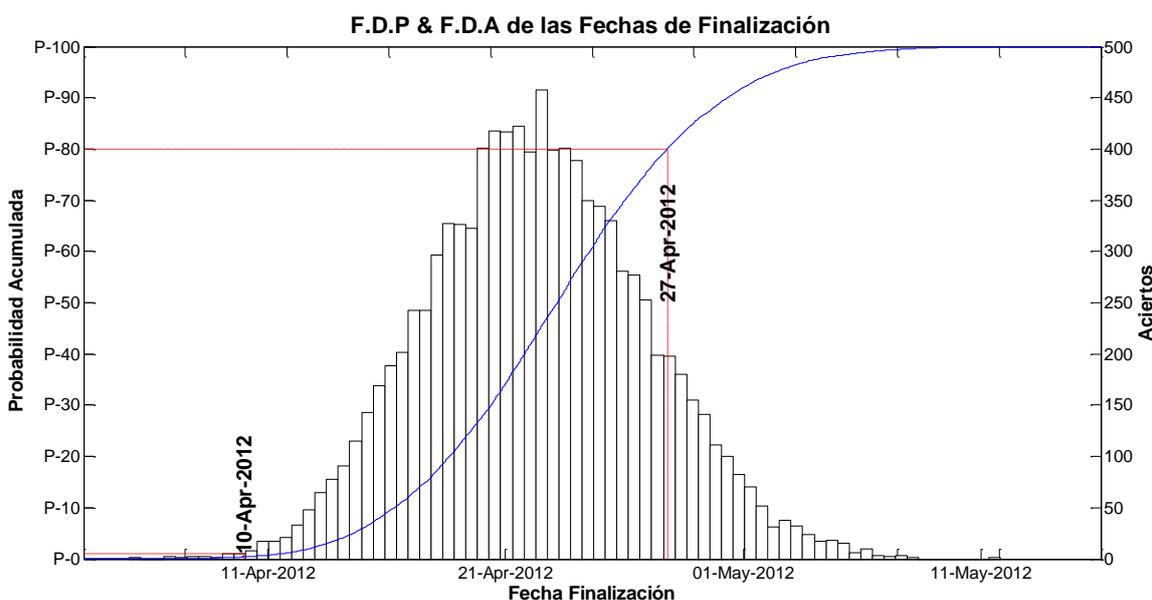


Figura 25. Resultados con impacto reducido debido a la parcialidad

Esta gráfica representa el resultado de simular las diez tareas consecutivas de diez días de duración que conforman el plan de proyecto, con un rango de incertidumbre igual al global (80% al 160%) para cada una de ellas. Viendo las fechas de los resultados el rango que se obtiene es de 136 días como máximo y 93 días como mínimo, muy inferior a la estimación global de 80 y 160 días. ¿Cuál es la razón para esto?

Lo cierto es que la naturaleza aleatoria de la realidad como de la propia simulación propicia anulación entre las variables, especialmente las independientes (la correlación lo reduce, pero no absolutamente). Esto es un hecho puramente estadístico, con poco que ver con el número de iteraciones realizadas, ya que podría pensarse que cuantas más veces iteremos, más oportunidades damos a los eventos extremos. Esto sí es cierto hasta cierto punto, donde el incremento en las desviaciones tiende a desaparecer por la convergencia de resultados, aún cuando se aumenta las iteraciones. Realizando un ejercicio de prueba y error podemos averiguar que rango sería necesario fijar para la duración de cada tarea individual para conseguir el citado rango

global. Los valores que obtenemos para este requerimiento son 4,4 días en el parámetro optimista y 20,7 días para el pesimista. En otras palabras, para obtener un rango global de 80%-160%, es necesario establecer para cada tarea rangos de 44%-207% sobre el determinístico (10 días), que es ampliamente superior:

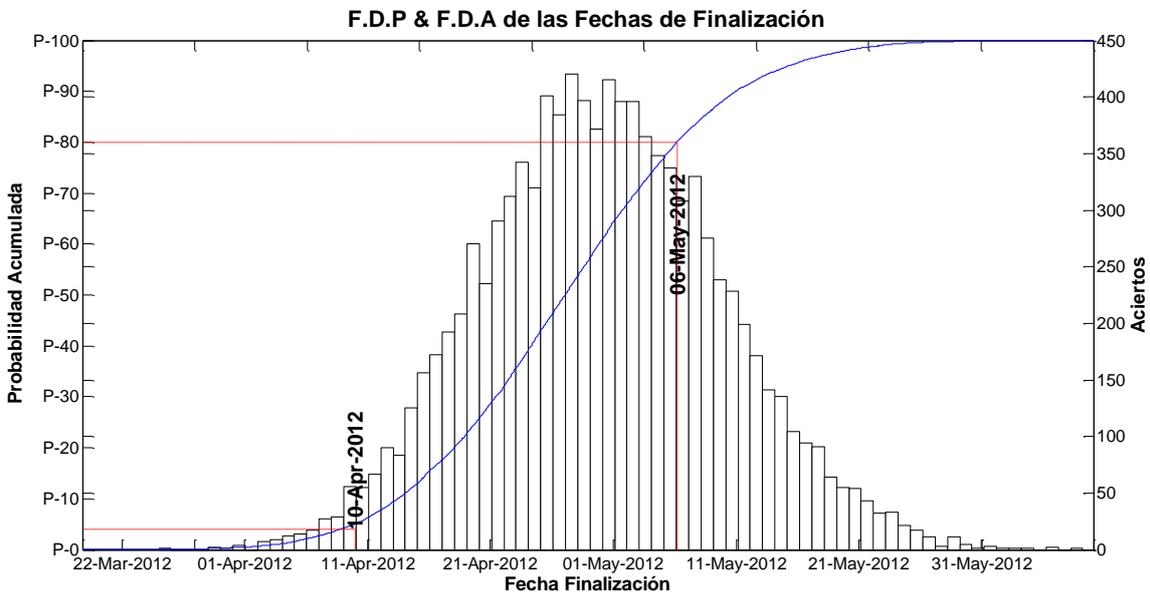


Figura 26. Resultados con una correcta estimación de riesgos en subelementos

Como se ha podido ver, cuando se aplica rangos de entidades de mayor nivel, como pudiera ser la duración total del proyecto, estamos frente a un claro caso de subestimación de los riesgos existentes. Quizás sea conveniente que cuando se trata de introducir este tipo de análisis a personas poco familiarizadas, se explique e ilustre el ejemplo anterior, para evitar caer en el error.

Es entendible que inicialmente los rangos realistas puedan parecer extremadamente grandes, por ello se justifica un proceso previo de sensibilización sobre los aspectos principales y su funcionamiento al implantar una metodología como esta.

4.1.3 Usando la nueva información para modificar juicios anteriores

Hasta el momento, el enfoque de lo expuesto hace hincapié en las etapas más precoces de un proyecto. En verdad, la recolección de información y el lidiar con el factor humano es algo que prevalece durante toda la vida de un proyecto. Esto en definitiva significa que de manera frecuente se recibirá del equipo de proyecto, o cualquier otro implicado, información que entra en conflicto con la que se disponía con anterioridad. Esto es inevitable, ya que nuevos riesgos entrarán en escena a medida que los proyectos avanzan, poniendo en tela de juicio cosas como las duraciones de las actividades o su presupuesto. Es en este momento cuando el Project Manager tendrá que decidir en qué medida esta nueva información compromete a la ya existente.

Las posibilidades tanto de ignorar por completo como tomar por válido únicamente la nueva información son alternativas poco acertadas. Desde luego un Project Manager experimentado se asesorará sobre la conveniente interpretación de la nueva información, otorgándole la correspondiente importancia.

4.2 Recolección de la información

Después de hablar de aspectos más teóricos, hemos de pasar a los prácticos, que no son otra cosa que los métodos de recolección de la información. Idealmente, parte de la información necesaria debería de ser consultada en un repositorio donde se almacenara la documentación relativa a los proyectos finalizados, de manera que haya constancia sobre lo realizado anteriormente. La realidad es que la labor de documentación de los proyectos es escasa en la mayor parte de las organizaciones, principalmente porque entorpece el ritmo que se requiere, o más bien que se impone, en el día a día.

Es por ello que para recabar la información necesaria (actividades, sus duraciones, costes o riesgos) para el desarrollo de un plan de proyecto, el Project Manager tendrá que realizar reuniones personales, e incluso colectivas, para obtener toda la información y despejar todas las dudas. Esta labor se verá facilitada cuanto más habilidad se disponga, que en gran medida se adquiere con la experiencia.

Es importante tratar de facilitar la información pertinente a los participantes de las reuniones con anterioridad a esta. Con ello, se trata de que los implicados maduren con antelación sus ideas antes de facilitar información, y se reduzca el número de respuestas poco fundamentadas. Salvo que exista una extensa y profunda cultura de gestión del riesgo en la organización, el llevar a cabo las reuniones necesarias para recabar la información no será una labor fácil, siendo fundamental tratar de hacer entender la importancia de este propósito.

El principal problema es la reticencia de las personas a participar en estos encuentros de manera voluntaria. En muchos casos las personas están poco familiarizadas con estos procesos, llegando incluso a sentir inseguridad. Es por ello que se ha de explicar de la manera más transparente el proceso, enfatizando los beneficios del mismo, con grandes dosis de persistencia cuando sea conveniente. Se constata la inapetencia sobre estos procesos en el hecho de que cuando se propone el anonimato para el reporte de la información, esta es facilitada posiblemente con mayor veracidad que cuando comprometía al equipo [20]. A medida que se realizan las reuniones pertinentes con los mismos implicados se apreciará una mayor confianza para estimar y comentar cualquier tipo de evento que puede afectar al proyecto.

Estas reuniones o entrevistas se llevarán a cabo con personas entendidas en la materia a tratar, que no necesariamente han de ser implicados directos en el proyecto o pertenecientes al equipo de trabajo como se explica a continuación:

- De manera lógica, el equipo de proyecto serán las personas más familiarizadas con todos los temas relativos a él, probablemente con amplia experiencia en los campos de desarrollo del proyecto, con un importante peso en su opinión.
- Por otro lado, el equipo de proyecto son personas directamente implicadas, y esto puede provocar parcialidad en la información que ofrezcan, ya que se verán directamente comprometidos por sus decisiones. Por lo general, los implicados con una posición superior en términos jerárquicos tienen un punto de vista más enfocado al éxito, restando importancia a aspectos que puedan comprometer el proyecto. De manera opuesta, los implicados de manera más directa en la ejecución ofrecerán información por lo general más realista, aunque con tendencia más conservadora.

Teniendo en cuenta esto, también se ha de considerar de manera paralela la obtención de información a través de personas expertas en la materia, pero que no pertenezcan al equipo de trabajo. Los recursos externos garantizarán puntos de vista ajenos a la ejecución o preparación del proyecto, muy útil para ajustar el conjunto de la información de una manera fiel a la realidad. En estos casos, el compromiso y confianza en el agente externo son factores importantes.

A la hora de organizar una reunión en relación a los riesgos, esta se deberá de ajustar convenientemente según el rol de la persona de la que vamos a demandar la información. Se podría discriminar varios tipos diferenciados de enfoque [20]:

- *Enfoque de gran espectro*: Se lleva a cabo bien con los mandos más altos de los implicados, o un grupo de personas. Es un buen punto de partida donde fijar los principales puntos a tener en cuenta en el registro de riesgos. Es importante recordar que en estos casos la visión sobre los temas es muy lejana y habrá que profundizar posteriormente.
- *Enfoque especializado*: Está orientado cuando se requiere información muy detallada, de personas altamente cualificadas en la materia. Serán encuentros muy específicos, abarcando sólo el ámbito en el que el experto puede proporcionar una mejor información.
- *Enfoque confirmatorio*: Este enfoque sólo se puede conseguir realizando un número de encuentros como el anterior. Este enfoque ayuda a clarificar la información, pero se ha de tener en cuenta que a mayor volumen de información disponible, mayor complejidad se tendrá al tratar con ella para tomar decisiones. Es por ello que la capacidad de síntesis en un Project Manager será fundamental para estos requerimientos.

4. Aspecto humano en relación con la gestión del riesgo

- Estas reuniones pueden propiciar un enfoque de fondo o segundo plano, por lo general sin implicaciones o información directa, pero que puede ser de utilidad para calibrar elementos fundamentales.

Anteriormente se ha comentado la habitual escasez de documentación sobre proyectos previos, por ello se ha de fomentar que las personas que faciliten y aporten cualquier tipo de documentación disponible durante estas sesiones, ya que permite ayudar a reducir la parcialidad a la hora de realizar estimaciones. No es raro que los datos sobre las probabilidades de ocurrencia de un evento o el rango de impacto del mismo cambien de manera importante entre implicados o durante reuniones.

Tras la experiencia personal obtenida en el entorno laboral, se ha observado que a la hora de estimar rangos de impacto:

- Es preferible fijar el valor pesimista en primer lugar (suele ser el de mayor dificultad), y una vez se acuerde, establecer el rango completo. Este valor es de mayor dificultad puesto que representa el caso donde se tiene en cuenta un mayor número de condicionantes negativas.
- En contra, el valor optimista acostumbra a fijarse más fácilmente puesto que es el caso donde *nada fallará*, aunque es habitual que se pase por alto algunas de las oportunidades que pueden surgir. El verdadero valor optimista lo conformará la serie de hechos que contengan tanto una carencia de eventos negativos, como existencia de los positivos.
- Por último, se establecerá el valor más probable. Este es el que se acuerda con mayor facilidad, ya que es el que comúnmente se acostumbra a dar como estimación inicial, obviando los escenarios más pesimistas u optimistas.

Es posible que se requiera encuentros con un mayor número de participantes, a modo de taller, cuando el proyecto tiene muchos componentes novedosos o si es de una magnitud razonable. Las reuniones resultan ser más provechosas cuando se ha adelantado en el proceso de recopilación de la información de manera individual, ya que esto permite focalizar las opiniones, que es más complejo a medida que se incrementa el número de participantes. La principal ventaja es que proporcionan un ambiente donde compartir opiniones y fomentar entendimientos entre las partes implicadas. Puntos de vista diferentes siempre garantizan una mayor calidad de la información, ya que la parcialidad es inherente a cada una de las partes.

Los principales objetivos de las reuniones colectivas serán:

- Revisar los riesgos candidatos. Asegurarse de la correcta descripción de su naturaleza, con sus condicionantes y rango, y los elementos u objetivos afectados.
- Explorar nuevos riesgos no considerados inicialmente, así como desestimar los que no se crean convenientes. Se puede desestimar riesgos por razones como que

forman parte de otros riesgos fundamentales ya definidos, que tienen un impacto totalmente despreciable, o que reflejan un escenario irrealista.

- Calibrar los riesgos desde una perspectiva global del proyecto. Aquí es donde puede ser de gran importancia la realización de estas reuniones.

El contrapunto de las reuniones colectivas es su mayor virtud, que es la puesta en conjunto de las ideas e información de multitud de personas. Desde luego, en rara ocasión la información u opiniones que comprometan a los demás implicados no saldrán a relucir con facilidad. Esto es especialmente visible cuando existe una componente jerárquica, por lo que puede resultar interesante realizar estas reuniones con implicados de similar grado en la organización, separando los distintos niveles.

Tanto en reuniones individuales como en las grupales, establecer un marco de referencia puede ayudar mucho a concretar la información necesaria. En este marco de referencia se establecerá que clase de riesgos y particularidades están sujetos a ser considerados. Esto resulta de gran utilidad cuando un proyecto tiene una alta dependencia en terceras partes que de manera implícita están sujetas a riesgos de sus propios procesos. Mediante la experiencia profesional se ha alertado la existencia de la tendencia a obviar o aceptar riesgos en situaciones como: *“esto no lo podemos controlar, por lo que no es un riesgo”*. Lo cierto es que más importante aún que los riesgos que se logran identificar y actuar sobre ellos, son los que no se llegan a considerar y no poder controlar.

4.3 Implicación de las organizaciones

El éxito de realizar una gestión del riesgo en los proyectos está estrechamente ligado a la madurez de la organización donde se trata de desarrollarla. Las organizaciones han de ser conscientes de que el gestor de proyectos sea una persona con un perfil muy concreto. El Project Manager que tiene que incorporar la gestión del riesgo a sus competencias, más allá de las organizativas, requiere una alta capacidad de comunicación, como de persuasión y conciliación. El valor de la formación en la gestión de proyectos es fundamental, ya que aun teniendo las habilidades del trabajo y sociales necesarias, tiene un alto componente metodológico, el cual ha de instruirse para tal propósito.

Desde un punto de vista más amplio, una cultura basada en la transparencia y en la consecución de objetivos será un ambiente óptimo para desarrollar una buena cultura de gestión de riesgos. Por el contrario, organizaciones que penalizan el que se ponga en contradicho el funcionamiento interno, aún cuando pueda causar riesgos, no motivarán el uso de una metodología de este tipo:

4. Aspecto humano en relación con la gestión del riesgo

- Cuando el plan de proyecto está diseñado para lograr ganar una RFQ (Request For Quotation, una oferta), si el análisis de riesgos pone en entredicho algún detalle de la propuesta, por pequeño que sea, este puede ser censurado con ánimo de que no desmejore lo inicialmente ofertado aun sabiendo que existen posibles dificultades para el cumplimiento de lo acordado.
- Cuando desde el cliente o la dirección se han fijado los parámetros de tiempo o coste (aún siendo inverosímiles), cosa que puede llevar a generar tensiones por desafiar lo preestablecido.
- Por definición, la tarea de identificar riesgos siempre lleva una parte de pesimismo asociada a ella (aunque también permite detectar oportunidades). Rara vez se conseguirá que un plan de proyecto tenga mejores registros tras un riguroso y honesto análisis de riesgos. En este caso, el término de *matar al mensajero [sic]* puede adquirir todo su sentido.

Una posible solución al rechazo que causa la identificación de amenazas en la propia organización es que esta actividad se mande realizar de una manera ajena a la misma, como pudiera ser a través de una consultoría, pero esto limitaría la práctica sólo a proyectos de gran importancia o envergadura.

Por último, los métodos descritos han de incluirse en las *prácticas corporativas recomendadas*, respaldadas desde todos los estamentos de la organización. Un Project Manager al que se le concede el tiempo necesario para reunirse con los implicados, prestándoles esta toda la ayuda necesaria, conseguirá unos resultados notablemente mejores. Sin este apoyo, será muy difícil conseguir un análisis correcto de los riesgos que atañen a los proyectos. Esto significa que primará por encima de toda la autocrítica y transparencia, siempre con un punto de vista constructivo. De igual manera, esta mentalidad también requiere poner a disposición ciertos recursos, como pueden ser software como el simulador desarrollado, y repositorios virtuales donde almacenar y consultar la documentación desarrollada.

5 Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación temporal

5.1 Introducción

La planificación temporal es una etapa clave en la gestión de proyectos, así como en la cuantificación de los riesgos. Como paso previo ya se habló en el primer capítulo de la necesidad de definir el alcance, así como las tareas, organizadas en las EDT, instrumento que facilitará la estimación de los recursos y el tiempo. Una vez dispongamos de esta información, será posible definir la planificación temporal tentativa, ya que esta variará con total seguridad según transcurra el proyecto.

En departamentos u organizaciones con poca cultura en la gestión de proyectos, la figura del Project Manager se siente razonablemente cómodo realizando planificaciones poco rigurosas pero, en un gran número de ocasiones, estas naufragarán una vez se botan en el intemperante mar de del día a día. Las principales razones de esos fracasos se pueden resumir en pocos puntos:

- La planificación de proyectos no es una disciplina fácil. El Project Manager debe tener en cuenta un sinnúmero de tareas, recursos, relaciones lógicas y restricciones en cuenta de una manera rigurosa, y no siempre se tienen las herramientas necesarias.
- La información para conformar un plan de proyecto viene de diferentes fuentes, habitualmente de equipos o subcontratas que no tienen en cuenta o no están familiarizados con la labor del Project Manager. El Project Manager requiere ciertas habilidades innatas, tales como ser un experto comunicador, e incluso un gran persuasor, necesaria para lidiar con todos los implicados que pueden no tener el plan de proyecto en cuestión como una prioridad propia.
- Desde el cliente o jerarquías superiores, se suele insistir en objetivos difícilmente alcanzables. Esto provoca que el Project Manager diseñe planes que no se ajustan a los recursos disponibles, aunque *“el papel lo soporta todo”*...
- A la hora de confeccionar un plan de proyecto se requiere exigencia y precisión. El profundizar hasta los niveles más bajos de proyecto es la única manera de garantizar que el plan propuesto será realista, creíble y realizable.

Es un gran reto elaborar un plan con el nivel de detalle necesario, y mantenerlo actualizado correctamente, a pesar de la presión a la que se ven sometidos los Project Managers. Obtener toda la información detalla y digerirla para posteriormente crear el plan de proyecto no está al alcance de cualquier miembro de una organización. En ocasiones es de gran utilidad que los Project Manager tengan bagaje en los niveles más elementales del proyecto, para poder realizar su cometido de manera satisfactoria. Un

ejemplo podría ser el desarrollo de software, en los que un Project Manager que ha pasado por el desarrollo y posteriormente el análisis, podrá ofrecer cualitativa y cuantitativamente mejores iniciativas desde su experiencia.

Una estrecha relación con los implicados se torna como algo fundamental, ya que las personas de los grupos implicados disponen de valiosa información para planificar y monitorizar el transcurso del proyecto. Esta información va desde la identificación de las tareas principales, como la relación entre ellas, a los recursos requeridos o restricciones establecidas. A menudo esta relación no es fácil de gestionar, ya que los implicados tienden a centrarse en sus cometidos, y creen que el invertir el tiempo en reportar al Project Manager es algo secundario. La correcta gestión de un proyecto requiere que todos los implicados estén al tanto del desarrollo, ya que el propio transcurso puede afectarles directamente.

El Project Manager tienen como unos de los principales problemas los intereses derivados de la consecución del proyecto, como pudieran ser comerciales, estratégicos o regulatorios. Este tipo de intereses lleva a las directivas, clientes u otros implicados en el proyecto a proponer e insistir en fechas e hitos fuera de un alcance razonable. En estos casos la labor del Project Manager se ve muy degradada, ya que la máxima con la que se acostumbra a trabajar es *“esto es todo el tiempo del que disponemos”*. En estas situaciones se tiende a sobre-solapar actividades, no respetando las relaciones lógicas o restricciones establecidas. Este problema también puede conducir a la creación de estrategias de contingencia por encima de los recursos disponibles, creando de nuevo un frente de confrontación cuando las otras partes (departamentos, clientes, directiva,...) demandan la puesta en marcha de las mismas.

Los planes de proyecto, así como sus lógicas a simular, requieren de su actualización mediante la periódica revisión de los diferentes parámetros que lo conforman, según se vayan sucediendo las tareas y demás fenómenos del proyecto. La comparación del plan inicial con el plan final una vez se ha completado el proyecto puede ayudar a mejorar los procesos internos, depurar las responsabilidades fijadas por la organización, o valorar cláusulas de penalización, entre otros.

5.1.1 La lógica de un plan de proyecto

La lógica de un proyecto conforma un modelo dinámico, el cual se nutre de multitud de valores aleatorios según las distribuciones de probabilidad establecidas en el modelo de proyecto. Este reúne todas las tareas requeridas, sus relaciones lógicas, condiciones y restricciones existentes. El plan no se puede basar meramente en una serie de fechas en las que se especifique el momento en que se realizarán las acciones, sino que se trata del sistema dinámico de información que producirá esas fechas, así como otra serie de resultados de interés que iremos estudiando.

5. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación temporal

Todos los implicados en un proyecto, desde el Project Manager, pasando por todo el equipo de trabajo, hasta el cliente (o beneficiario de la consecución del proyecto), estarán de acuerdo en la necesidad de un plan de proyecto elaborado. Estos planes de proyecto, plasmados en una lógica que los simule, permiten predecir las fechas de finalización de hitos importantes a lo largo del plan. También, el potencial de una simulación veraz permitirá gestionar competencias diarias, pudiendo dimensionar los recursos disponibles de manera eficiente y registrar el estatus de los diferentes elementos que conforman el proyecto. El nivel de detalle que se puede llegar a obtener con una buena simulación permite a los Project Managers abordar maneras alternativas para llegar a tiempo, por ejemplo, a un hito que previsiblemente pueda retrasarse o en organizar un recursos escaso eficientemente.

Las lógicas de los planes de proyecto que se provee al simulador están basadas en las dependencias establecidas, expuestas en el Apéndice C. A lo largo del documento expondremos las lógicas de los ejemplos mediante un diagrama de Gantt realizado con el software Microsoft Project TM como el ejemplo siguiente:

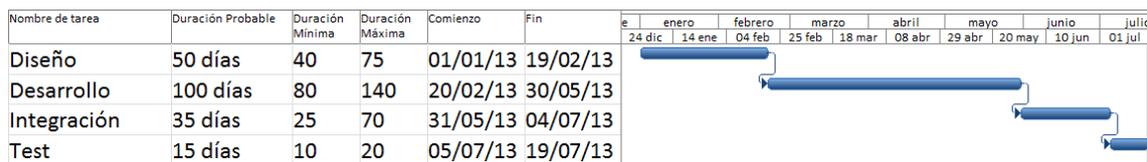


Figura 27. Ejemplo de Diagrama de Gantt donde se muestra la planificación temporal

En estos diagramas mostraremos la lógica de los planes, es decir, las tareas que los conforman, sus dependencias lógicas, restricciones entre ellas e hitos establecidos. También se incluye los parámetros de las distribuciones de duración de las tareas, e información determinísticas, como cada una de las fechas de la planificación o el coste de cada una de las tareas.

La creación de una lógica para la planificación temporal ha de ser una actividad bien conformada para que sea capaz predecir correctamente las fechas de finalización o el camino crítico, sin importar la alteración de la duración, relaciones o eventos entre tareas. Para ello, es fundamental seguir las reglas de la correcta definición de una lógica, y no caer en los frecuentes abusos en su construcción, que no permitirán aprovechar todo el potencial de una simulación Monte Carlo. No será posible realizar una simulación veraz de un plan de proyecto si este contiene errores en su lógica, ya que impedirá tener un modelo verdaderamente robusto. De manera resumida, los abusos más comunes son:

- No preservar una completa y robusta relación entre todas las tareas del proyecto. La existencia de actividades mal relacionadas (o no relacionadas en absoluto) con sus predecesores o antecesores es de absoluta necesidad para preservar el dinamismo requerido, sino se sesgarán los resultados de las simulaciones.

- Usar restricciones temporales inflexibles del tipo *No finalizar después del* (NFDD), para ajustar a fechas inverosímiles derivadas de exigencias externas, o cláusulas de contratos. Estas condiciones provocarán importantes problemas cuando las duraciones de las tareas no se mantengan según lo establecido en el plan inicial, creando la necesidad de incluir nuevas restricciones que alejarán aún más el plan de la realidad.
- Usar en exceso retrasos para modelar ciertos fenómenos. Es legítimo su uso para simular un tiempo de espera, como pudiera ser el fraguado del hormigón en una obra, pero es erróneo usarlo para tratar de encuadrar elementos del plan.
- No tener en cuenta los recursos necesario para la consecución de las actividades. Con el objeto de comprimir el máximo la planificación temporal, es común pasar por alto los recursos necesarios para desarrollar cada actividad, por lo que nos podemos encontrar con un plan con excelentes tiempos, pero irrealizable.

Aunque la construcción correcta de la lógica podría parecer algo básico, tanto por su importancia en la obtención de resultados como por los habituales abusos observados en la experiencia profesional, se ha creído oportuno profundizar en este tema en el Apéndice C.

Una vez tenemos sentadas las bases de lo que se requiere para tener disponible la lógica de la planificación temporal, pasaremos a estudiar cómo afecta el riesgo de manera cuantitativa. En este proceso, iremos ampliando la visión sobre el riesgo, y en cómo es posible incluir funcionalidades al simulador para ayudar al Project Manager en su gestión.

5.2 Caminos paralelos: Concepto de Ruta Crítica

La gran mayoría de los planes de proyecto reales no se conforman con una serie de tareas relacionadas linealmente. El desarrollo de tareas de manera concurrente da lugar a *caminos paralelos* (distintos a rutas alternativas), implicando la existencia de *rutas críticas*, que son las secuencias de elementos de la lógica con la mayor duración entre ellos, determinando el tiempo más corto en el que es posible completar el proyecto. Esto hace que en un proyecto tengamos caminos que gozan de una mayor flexibilidad para su consecución, pero esta tiene que ser moderada para no convertir a esos caminos en la ruta crítica. Es importante que se tenga un buen conocimiento de los caminos propensos a ser ruta crítica, pues para estos es donde se tiende a invertir más recursos en el desarrollo de estrategias de contingencia. Un camino que se vuelva crítico inesperadamente puede suponer un grave riesgo si no se contempla inicialmente esa posibilidad en *el plan de respuestas ante riesgos*.

Desde el punto de vista determinístico, se puede pensar que es posible ver con relativa facilidad que caminos entrañan un mayor riesgo, conteniendo el mayor número de

tareas más conflictivas. La ventaja de poder simular una lógica plenamente dinámica será la nueva visión que se obtiene sobre el plan de proyecto, ahondando mucho más en el abanico de posibilidades del desarrollo de plan. La existencia de caminos paralelos creará la necesidad de tomar especial precaución en los puntos donde estos confluyen, habitualmente marcados como hitos. El riesgo que supone esta unión de caminos puede ser mayor que el propio riesgo de los caminos que la conforman. Como esto no es posible augurarlo de manera determinística, puede crear una falsa creencia de donde se han de invertir los mayores esfuerzos en cuanto a recursos para mitigar cualquier posibilidad de riesgo.

En toda lógica de proyecto que contiene caminos paralelos uno de ellos será crítico, afectando de forma directa a la distribución de tiempo final. El resto de caminos tendrán un excedente de tiempo en relación al crítico que determina su margen para no convertirse en crítico, denominado *holgura*. Es de suponer que caminos con gran holgura difícilmente podrán convertirse en caminos críticos, mientras que caminos con holguras relativamente pequeñas tendrán altas posibilidades de poder formar parte de la ruta crítica. Estas holguras pueden tener influencias externas o dependencias de tareas anteriores que conducen a valores difíciles de concretar. El abanico de caminos candidatos será el que el Project Manager tendrá que prestar mayor atención a la hora de planificar, otorgar recursos y mantener un seguimiento. Un Project Manager que pretenda reducir los tiempos de una etapa de un proyecto con caminos paralelos tendrá, por tanto, un notable incremento de su trabajo.

El punto de confluencia de caminos paralelos, traducido en hitos como finalización de entregables o integraciones, es uno de los momentos más delicados que tiene que afrontar un Project Manager. Una de las principales ventajas del método Monte Carlo frente a técnicas tradicionales es que es capaz de aportar gran cantidad de información sobre estos elementos.

5.2.1 Caminos paralelos y puntos de confluencia

Para ilustrar las implicaciones que tiene la existencia de caminos paralelos, vamos a comenzar a usar el simulador desarrollado. Vamos a exponer la problemática en su versión más simple, donde tendremos un plan de proyecto que consta de un sólo camino, formado por cuatro tareas consecutivas. A continuación se muestra el diagrama de Gantt, en el cual se incluye la información referente a los riesgos como son los tres parámetros de las FDP de las duraciones de las tareas, estimados siguiendo el proceso que se expone en el Capítulo 4. Por norma, el parámetro del valor más probable coincidirá con la estimación determinística:

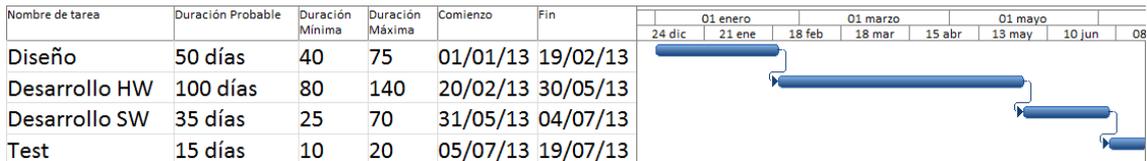


Figura 28. Gantt proyecto simple con 4 tareas consecutivas

Si nos limitáramos exclusivamente a las fechas sugeridas como probables, excluyendo los riesgos, vemos como el proyecto tendría una fecha de finalización determinística del 19 de julio. Ahora que ya estamos familiarizándonos con el riesgo y la incertidumbre que causa, debemos de hacernos las siguientes preguntas:

- ¿Qué posibilidad tiene el proyecto de finalizar en esta fecha o antes?
- ¿Cuál es la fecha media en la que finalizará si tenemos en cuenta los riesgos?
- Si buscamos un determinado nivel de confianza de estimación razonable, ¿cuál será la fecha de finalización? ¿Cómo de lejos estará de la determinística?

El modelo definido junto con el simulador del método Monte Carlo hace posible dar respuesta a estas preguntas de semejante interés. Una vez se procede a simular el plan de proyecto obtenemos los siguientes resultados:

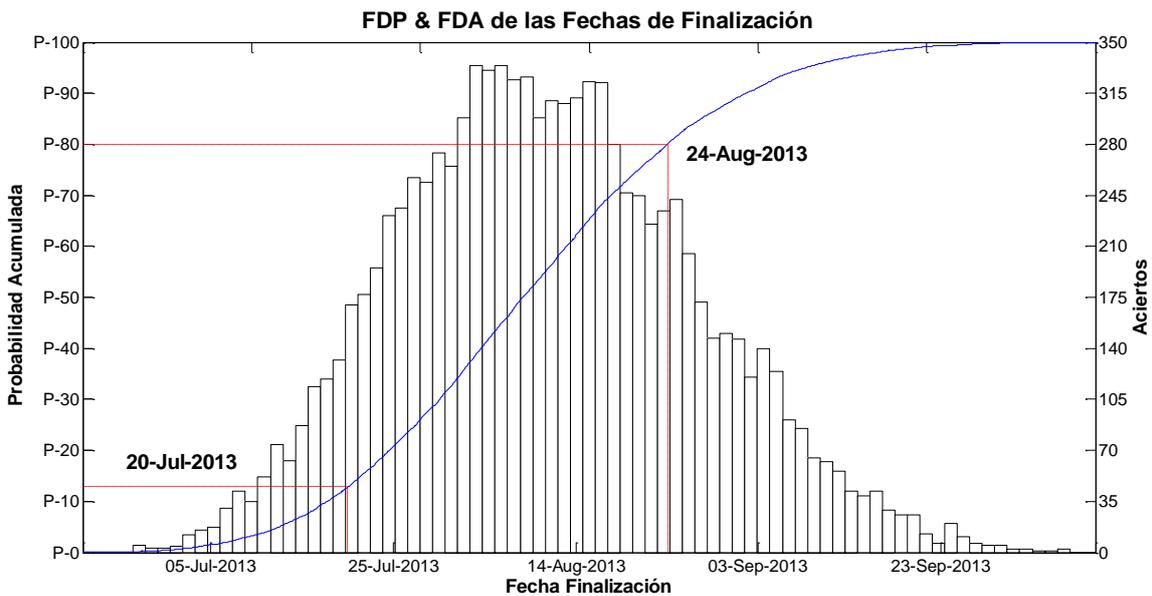


Figura 29. Resultados de la fecha de finalización del proyecto simple de 4 tareas

Resultados de tiempos de finalización para contingencias				
Percentil de resultados	P-10	P-50	P-80	P-90
Fecha percentil	18-jul-13	08-Aug-2013	24-Aug-2013	01-sep-13
Diferencia Determin. (días)	-2	19	35	43

Tabla 2. Tabla de resultados de la fecha de finalización del proyecto simple de 4 tareas

5. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación temporal

La distribución de fechas de finalización para el proyecto considerando los riesgos nos muestra que la fecha inicialmente sugerida es sólo un 12% probable de ser alcanzada, o lo que es lo mismo, tenemos un 88% de posibilidades de fracasar en el intento. En media, el proyecto finalizará el 8 de agosto, que es casi 3 semanas más de lo previsto. Si deseamos tener un nivel de confianza de estimación del P-80, nivel que fijaremos a partir de ahora como referencia para una confianza alta pero razonable [9], la fecha que deberíamos estimar para la terminación sería el 24 de agosto, que son prácticamente 5 semanas más.

Si ahora introducimos conjuntos de tareas concurrentes, lo que se puede traducir en caminos paralelos en la lógica del plan de proyecto, estudiaremos una situación que se aproxima más a los casos reales. Para ello, en esta ocasión el plan consta de tres caminos, tratándose de una integración de tres componentes iguales al del ejemplo anterior, empezando todos a la vez y confluyendo en un hito marcado como el final del proyecto. Para ilustrar mejor el efecto de los caminos paralelos, vamos a hacer que los caminos se traten de los desarrollos de tres componentes, con igual número de tareas, lógica, y distribuciones de probabilidad de fechas de finalización (duraciones). La siguiente figura muestra el plan de proyecto:

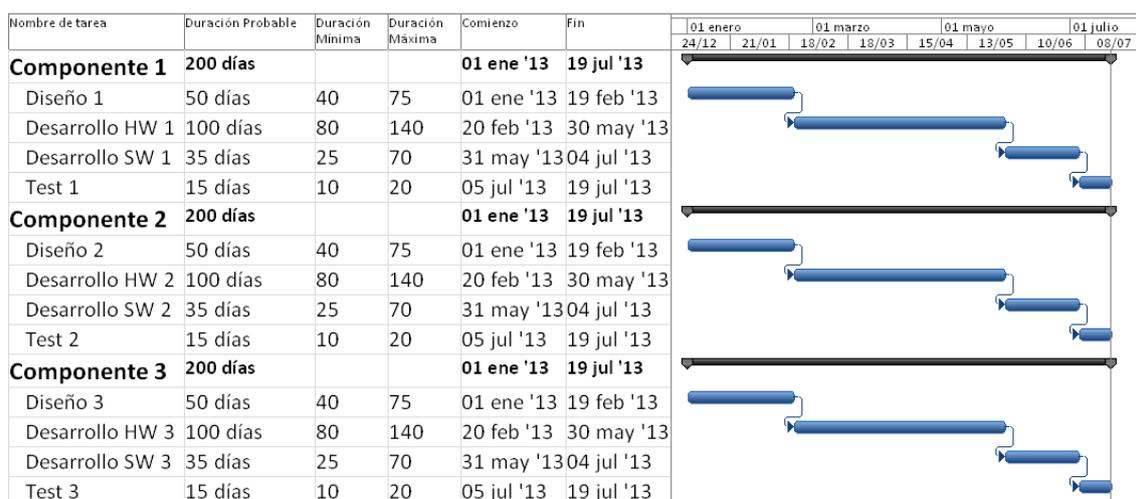


Figura 30. Gantt proyecto simple con 3 caminos paralelos idénticos

Según las técnicas tradicionales, limitándose al estudio de la ruta crítica, vemos que al igual que en el ejemplo de un solo camino, la fecha de finalización que se obtiene es el 19 de julio, ya que es una duración idéntica para los tres caminos. Es difícil pensar que un proyecto que depende de más tareas concurrentes puede tener como previsión la misma fecha de finalización que una versión reducida del mismo. Esto nos lleva a pensar que el método de la ruta crítica (en el que se basa PERT), no responde a nuestras demandas de considerar los riesgos de una manera realista.

Si realizamos una simulación por el método Monte Carlo los resultados concuerdan con el razonamiento anterior:

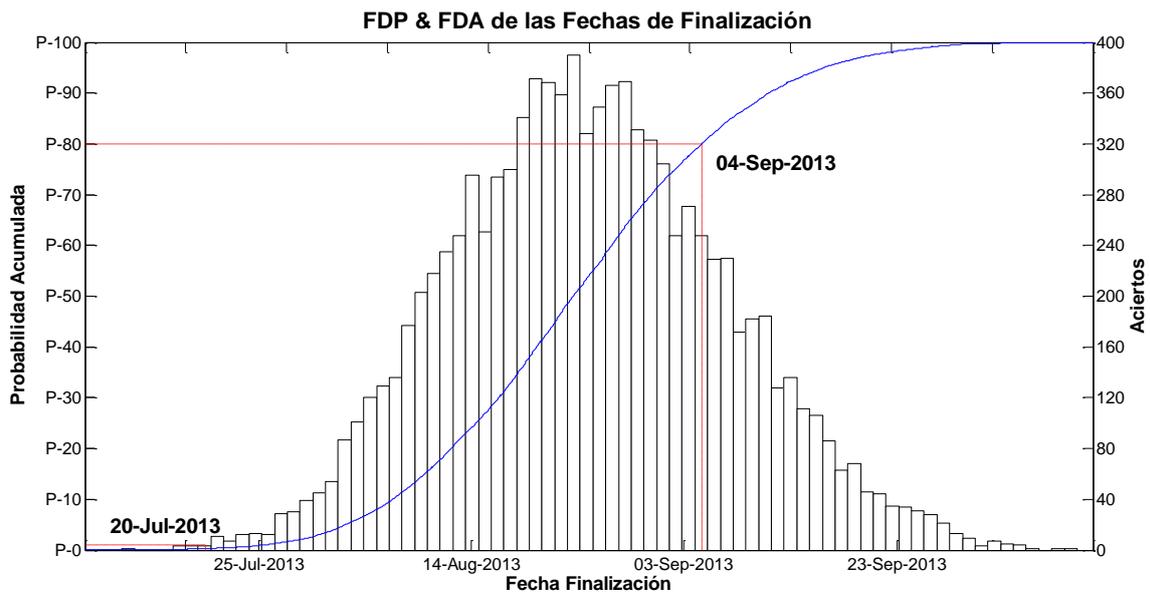


Figura 31. Resultados de la fecha de finalización del proyecto con 3 caminos paralelos

La probabilidad de finalizar en la fecha determinística es del 1%, mucho menor al 12% de un solo camino. En este caso, la fecha media de finalización es el 23 de agosto, casi cinco semanas más tarde. El nivel de confianza P-80 sitúa la finalización el 4 de septiembre, once días más que en el ejemplo anterior.

El simulador permite realizar comparaciones de las funciones de distribución acumuladas:

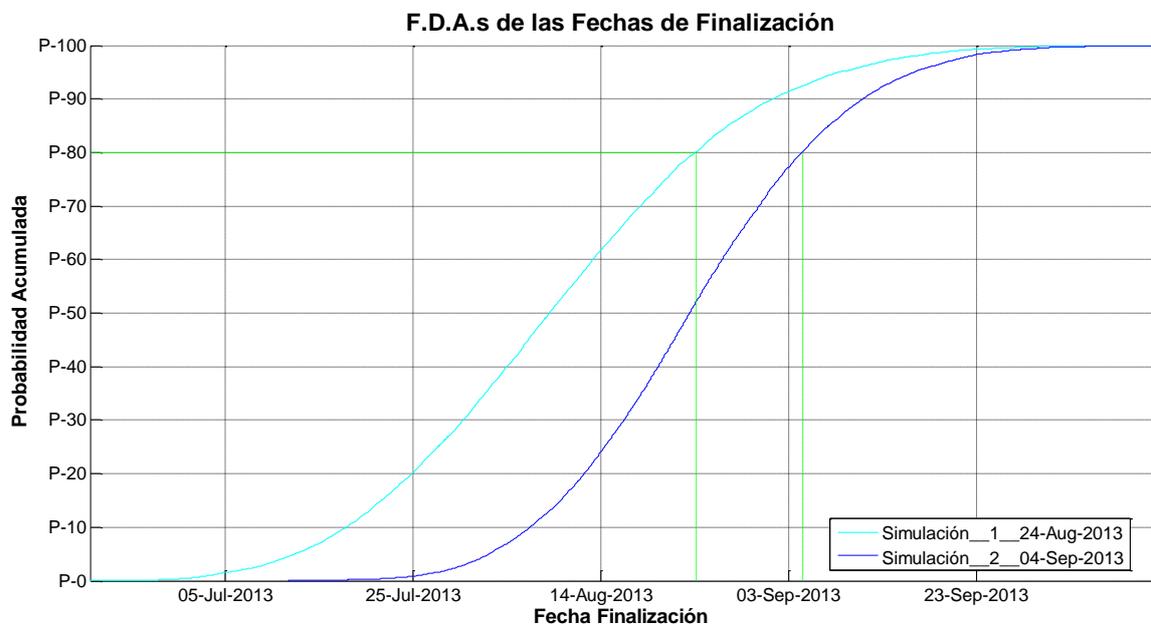


Figura 32. Comparación de las FDA de las duraciones de los proyectos

5. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación temporal

La curva del proyecto con tres caminos paralelos (Simulación 2) es desplazada hacia la derecha (incrementando la fecha de finalización), con un gradiente mayor, indicando una menor variabilidad sobre las fechas de finalización. Esto se debe a que la existencia del punto de confluencia recorta el rango de soluciones, concretamente las optimistas, algo a lo que damos explicación a continuación.

Es importante resaltar que los caminos paralelos simulados son réplicas exactas, permitiendo ver mejor el efecto, ya que ninguno de ellos compromete en mayor o menor medida que el resto la fecha del punto de confluencia (final del proyecto). Entonces, ¿De dónde viene ese riesgo adicional?

Hasta el momento se ha hecho uso del sentido común para razonar los erróneos resultados propuestos por los métodos tradicionales bajo la existencia de caminos paralelos. Vamos a recurrir a un análisis probabilístico para darle formalidad a este fenómeno.

La razón es que cualquier camino paralelo sin una holgura amplia (margen de retraso) puede convertirse en ruta crítica, retrasando el proyecto. Para poder cumplir la fecha determinística todos los caminos han de acabar en el menor tiempo posible, y como se expuso en el ejemplo inicial esto sólo ocurre el 12% de las veces para cada componente (interpretado en la tabla como un Éxito). La siguiente tabla muestra desde el punto de vista cuantitativo que es lo que está ocurriendo:

Nº Caso	Éxito o fracaso (E / F)			Probabilidad de Éxito (%)			Probabilidad Conjunta (%)
	Componente			Componente			
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	
1	E	E	E	12	12	12	0,2
2	E	E	F	12	12	88	1,3
3	E	F	E	12	88	12	1,3
4	E	F	F	12	88	88	9,3
5	F	E	E	88	12	12	1,3
6	F	E	F	88	12	88	9,3
7	F	F	E	88	88	12	9,3
8	F	F	F	88	88	88	68

Tabla 3. Escenarios posibles en punto de confluencia de tres caminos

La tabla muestra que las opciones más optimistas (mayor número de éxitos en la construcción de los componentes) tienen baja probabilidad de ocurrir, y por ende una baja probabilidad conjunta. Concretamente, el caso en el cual todos los componentes están listos a tiempo sólo se da el 0.2% de las ocasiones. Es por ello que se torna más como una regla que como una excepción un incremento del riesgo en estas situaciones, debiéndolas prestar mucha atención a la hora de la planificación temporal.

5.2.2 Actividades y caminos que retrasarán el proyecto

Los Project Manager tienen como uno de sus principales cometidos elaborar estrategias que respondan a los riesgos satisfactoriamente, incrementando así la probabilidad de éxito del proyecto. Para hacer esto necesitan identificar las actividades y caminos que mayor implicación o riesgos tienen en la duración final del proyecto. Tradicionalmente, se ha recurrido a la ruta crítica para calcular el tiempo mínimo que requerirá el desarrollo, pero esto provoca que sólo se focalice sobre una determinada serie de tareas (las pertenecientes a la ruta crítica), pudiendo obviar la aparición de nuevas rutas críticas que entrañen aún más riesgo. La realidad es que no sabemos la duración final de las tareas, por lo que difícilmente podremos asegurar la ruta crítica final, o la probabilidad de ocurrencia de las otras posibles.

Una de las cosas en las que tratará de focalizar esta metodología es en que se deje de ser comparsa de los acontecimientos venideros, actuando de modo activo con toma de decisiones anticipadas, apoyadas por una gran capacidad de previsión. Esto se traduce en que a la hora de realizar labores de seguimiento y control durante el proyecto se han de recoger la situación actual (datos de parámetros y variables), para proceder a plantear opciones vía simulación. Esto ayudará en la observación de la aparición de nuevas rutas críticas, *a priori* poco probables o libres de riesgos.

Volviendo al ejemplo de los tres caminos paralelos discutido anteriormente, modificaremos dos de ellos (el primero y el tercero) deliberadamente de manera que *a priori* no se tengan en cuenta como ruta crítica desde un punto de vista determinístico:

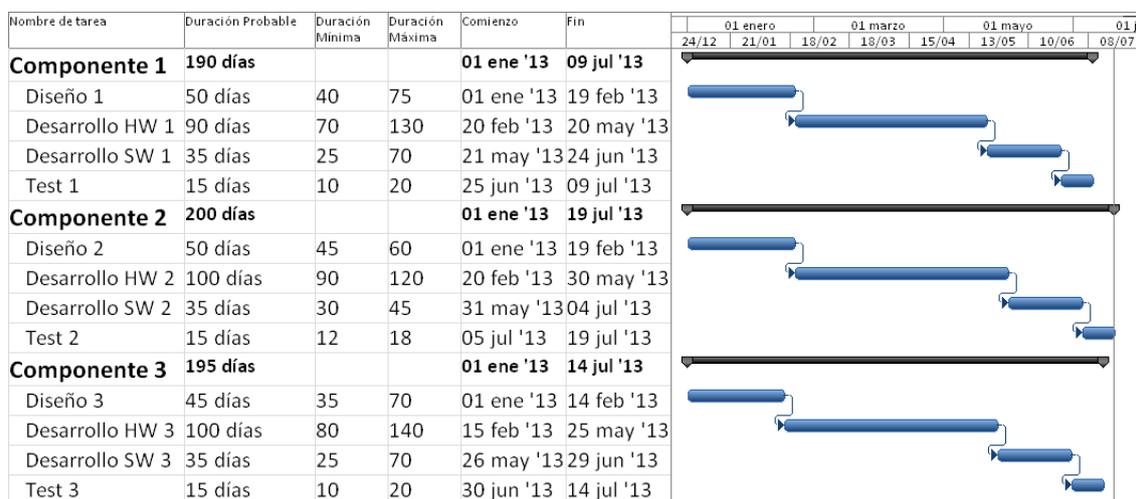


Figura 33. Gantt proyecto con tres caminos paralelos de diferentes holguras

El Project Manager identificará de manera clara el segundo camino como la ruta crítica, y contemplará acciones para contener en la medida de lo posible sus riesgos asociados. Si existe posibilidad de ejercer acciones activas (supresión, traspaso o mitigación) sobre los riesgos asociados a la ruta crítica, esto llevará a tener que redefinir la lógica o los parámetros de las FDP, reflejando dichas acciones. De esta

manera, supongamos que el Project Manager consigue mitigar parcialmente algunos riesgos de la ruta crítica, consiguiendo estrechar el rango de las FDP de la duración de las tareas del segundo componente.

La paradoja de centrar los esfuerzos en la ruta crítica inicial (más habitual en el día a día de lo que se pueda pensar), es que alguno de los otros dos caminos puede transformarse en la ruta crítica final. Como es de esperar esto generará incertidumbre, ya que cuando descuidamos otras opciones se verá en muchos casos como se abren simultáneamente varios frentes de riesgo con los que lidiar.

Para determinar en qué grado se ha de centrar los esfuerzos sobre diferentes tareas o caminos, introduciremos dos conceptos que con el potencial de una simulación con el método Monte Carlo puede darnos luz más allá de la ruta crítica:

- Índice crítico [2]: Consiste en el porcentaje de iteraciones de la simulación que una tarea pertenece a la ruta crítica. Si sobre 5000 iteraciones una tarea es crítica 1000 veces, diremos que tiene un 20% de posibilidades de encontrarse en la ruta que determina la duración del proyecto.
- Sensibilidad: Refleja la dependencia (o correlación) entre un par de entidades concretas del modelo, como la duración final de una tarea y la duración total del proyecto. Una correlación alta (próxima a 1) denota una fuerte causalidad entre la incertidumbre (provocada por los riesgos) que compromete la duración de esa tarea y como esta influye en la duración total del proyecto.

5.2.2.1 Índice Crítico

Una vez implementado el módulo que mide la criticidad de las tareas del plan de proyecto, el simulador nos provee la tabla con la mencionada información.

Componente	Índice Crítico (%)
1º	48
2º	17
3º	35

Tabla 4. Índice crítico de cada componente del proyecto

Desde el punto de vista del índice crítico, podemos observar que las acciones aplicadas para mitigar los riesgos asociados al conjunto de tareas del segundo camino provocan que este sea ruta crítica en el menor número de ocasiones. En concreto, el primer camino forma parte de la ruta crítica casi la mitad de las veces, y el tercero un tercio. Curiosamente, el camino identificado como ruta crítica por el método CPM (el segundo componente), sólo es crítico el 17% de las ocasiones.

Un Project Manager inexperto podría sentirse satisfecho con haber atenuado los riesgos del segundo camino, pero si la criticidad de los otros dos caminos aumenta

notablemente, y además estos contienen riesgos que puedan variar ampliamente sus duraciones, esto puede provocar una situación difícil de gestionar al aumentar la incertidumbre general, más aun si no se tiene conocimiento de esta posibilidad.

De nuevo, podemos comparar los resultados de una manera muy ilustrativa mediante las FDA de la fecha de finalización de cada componente:

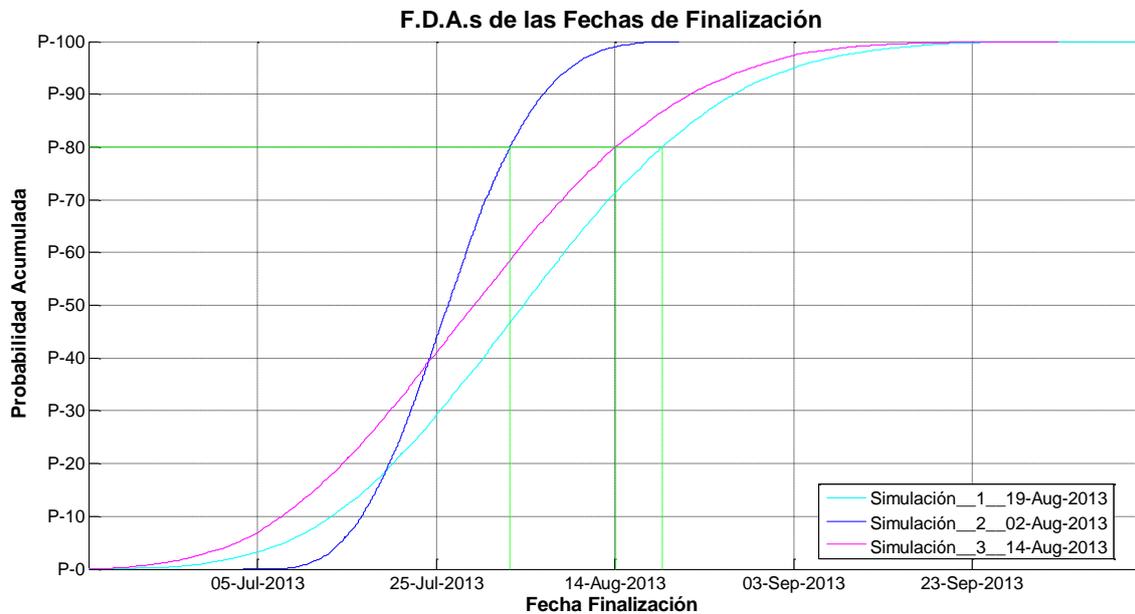


Figura 34. Comparación de las FDA de las duraciones de los 3 caminos

En esta gráfica, vemos que la curva perteneciente al segundo camino (azul) es mucho más pronunciada, logrando niveles de confianza mayores mucho antes que las otras dos. Este mayor gradiente también se traduce en unos rangos de incertidumbre menores, o lo que es lo mismo, menor riesgo. En definitiva, el peligro reside en tener como referencia el segundo componente por ser ruta crítica, ya que los otros dos tienen previsiones lejos de su registro temporal.

5.2.2.2 Sensibilidad

Una de las labores a la hora de diseñar el simulador ha sido tener que escrutar que posibles dependencias resultan de interés a la hora de analizar los riesgos de un plan de proyecto. Mientras que la correlación de dos eventos no implica necesariamente causalidad, para analizar los riesgos hemos de buscar que dependencias existentes en este ámbito que puedan ayudarnos. En principio, vamos a estudiar como la variación de la duración total del proyecto está íntimamente relacionada con la incertidumbre (provocada por riesgos) en la duración final de las tareas. De esta manera, podremos determinar más allá de las rutas críticas que tareas están relacionadas en mayor medida con retrasos en la duración del proyecto.

La correlación de los elementos a medir se realizará siempre de manera coherente con cada simulación, es decir, sólo se computarán los valores de los elementos (en este momento tareas; riesgo o costes en un futuro), cuando estos tengan lugar, logrando discriminar el verdadero impacto que tienen en el plan de proyecto. Esto es importante ya que es posible que no se ejecuten todas las tareas en todas las iteraciones, o todos los riesgos, o todos los recursos sujetos a costes, según las condiciones o restricciones que contempla el plan de proyecto.

En la gráfica inferior podemos ver como la actividad *Desarrollo HW Componente 1* es la que mayor sensibilidad tiene con la duración final del proyecto. Estos resultados no deben de sorprender, ya que esta tarea forma parte de la ruta crítica más probable. Si seguimos analizando el resto de resultados, veremos que *Desarrollo HW Componente 3* se encuentra entre las más influyentes, a pesar de no formar parte de la ruta crítica más común, una información útil de cara al desarrollo de un plan de contingencia. Del resto de resultados también podemos extraer más conclusiones, como que las tareas del segundo camino tienen una muy baja influencia en comparación a los otros dos, y que en general las tareas de *Test* tienen también una baja implicación:

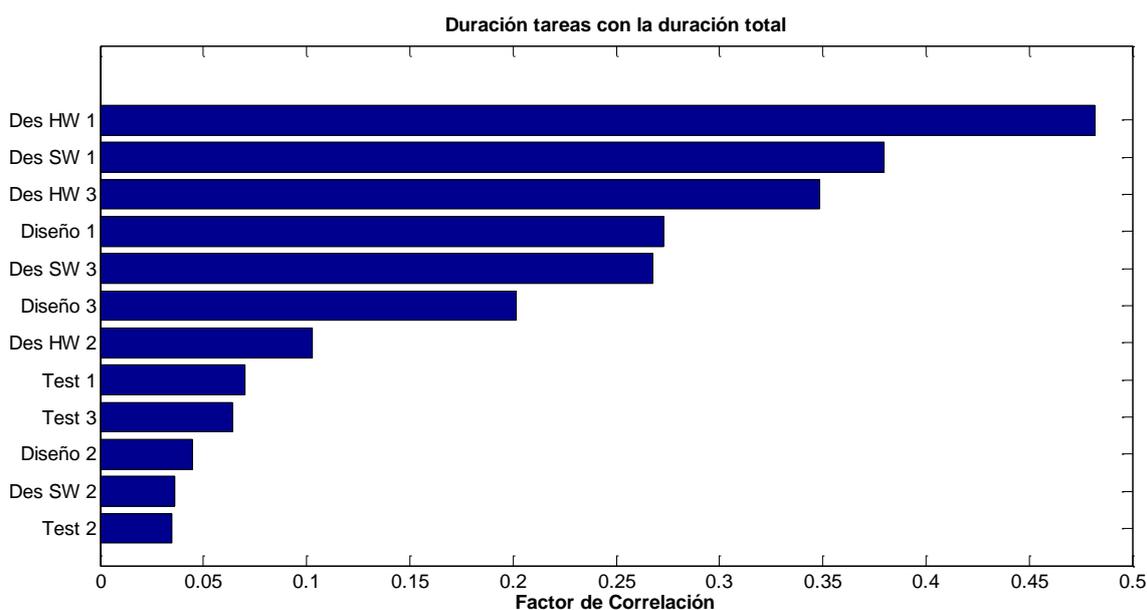


Figura 35. Sensibilidad de la duración de las tareas con la duración del proyecto

Cabe señalar que es posible que una actividad de gran riesgo pero de baja importancia esté altamente correlacionada con la duración del plan de proyecto. Esta actividad puede incluso tener baja probabilidad de formar parte de la ruta crítica, con lo que los resultados obtenidos en el análisis de sensibilidad siempre habrá que contextualizarlos en el marco del proyecto.

Algunas referencias sugieren la posibilidad de poder expresar la verdadera relevancia de las tareas en un nuevo concepto, denominado el *Factor de Crucialidad* [26]. En él, se

tendrían en cuenta tanto criticidad como sensibilidad, aunándose en un nuevo factor producto de la multiplicación de los dos anteriores, de manera que se prorratea la sensibilidad de cada tarea por su implicación en la ruta crítica. De nuevo, tendremos valores donde “0” representa una total carencia de crucialidad, y tendiendo a “1” un acrecentamiento de esta. A continuación mostramos esto en el contexto del ejemplo que estamos discutiendo:

Tarea	Factor de Crucialidad
Desarrollo HW Componente 1	$0.47 * 0.48 = 0,2256$
Test Componente 1	$0.07 * 0.48 = 0,0336$
Desarrollo SW Componente 3	$0.27 * 0.35 = 0,0945$

Tabla 5. Ejemplos del factor de crucialidad en diferentes tareas del proyecto

En la tabla anterior están representadas tres tareas características del proyecto. Podemos ver tanto una tarea con una criticidad previsiblemente alta como lo es el *Desarrollo HW Componente 1*, como una tarea perteneciente a la ruta crítica determinística (*Test Componente 1*) cuya criticidad es tres veces inferior a la de una tarea fuera de esa ruta crítica, como es *Desarrollo SW Componente 3*, cuya sensibilidad es media respecto al resto.

Este simple ejercicio pone de manifiesto que un Project Manager no deberá dejarse llevar por las rutas identificadas como críticas desde un punto de vista determinista, ya que poniendo en uso herramientas como las mostradas podrá contextualizar mejor los esfuerzos y decisiones.

En definitiva, estas dos herramientas del simulador nos aportan:

- Claridad a la hora de localizar donde se han de invertir más recursos para contener el riesgo a lo largo del plan de proyecto, ya que desde un diseño estático es fácil conducirse a engaño.
- Un método eficaz de cuantificar efectos del riesgo, justificando la conveniencia del uso del método Monte Carlo.
- Una buena manera de realizar un seguimiento, ya que estas herramientas usadas periódicamente puede dar una visión muy clara de cómo está desarrollándose el proyecto.

5.3 Eventos probabilísticos en la lógica del proyecto

Hasta el momento, se ha presentado el riesgo en el plan de proyecto como la incertidumbre en la duración final de cada una de las tareas que han de ejecutarse. El rango de las FDP son determinados siguiendo los convenientes pasos expuestos en el Capítulo 4, pero hasta el momento la lógica del plan se ha considerado como una sucesión de eventos con total probabilidad de ocurrir.

5. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación temporal

En este apartado vamos a incorporar sucesos de riesgo, que podrán ocurrir o no, con diferentes efectos en el plan de proyecto. Este nuevo elemento permite aproximar más las simulaciones a la realidad del desarrollo de un plan. Añadiendo eventos de riesgos que pueden ocurrir o no, está de acuerdo con la definición del riesgo en proyectos según el PMI [1]: *“Un evento o condición que, si tiene lugar tendrá un impacto negativo o positivo en al menos un objetivo del proyecto”*. La simulación por el método Monte Carlo, de nuevo, se muestra como un entorno ideal para llevar a cabo este cometido.

La principal complicación recalca en llegar a poder estimar correctamente la probabilidad de que evento ocurra. Se ha de tener en cuenta que implicados habitualmente tienden a minimizar las posibilidades de fracaso:

- En las etapas tempranas de definición del proyecto no se ha contemplado esta posibilidad, eludiendo la responsabilidad de identificar estos sucesos en etapas posteriores.
- En ocasiones la posibilidad de fracaso son tan malas noticias que los implicados difícilmente pueden contemplarlo objetivamente.
- La cultura organizacional penaliza gravemente los fracasos, y está tan clara como erróneamente orientada al éxito.

En menor medida, existirán implicados en el proyecto que sobrestimarán la posibilidad de estos eventos, generalmente aquellos que han sufrido recientemente alguno de ellos, siendo recomendable cotejar opiniones con diferentes grupos de personas para hacer una valoración realista antes de establecer dichos parámetros.

La posibilidad de integrar eventos de riesgo en la planificación permite al Project Manager modelar de una manera muchos más realista el plan de proyecto. A la hora de realizar una planificación, además de pensar en los riesgos existentes, se ha de pensar en la planificación de una hipotética estrategia de contingencia si determinados sucesos tienen lugar. La inclusión de esto en la lógica nos permitirá no sólo simular el plan de proyecto inicial, sino también el plan cuando se tiene que llevar a cabo alguna acción específica. Un buen ejemplo de estos eventos es la necesidad de pasar unas pruebas de aceptación, donde un hipotético fracaso requerirá una serie de actividades tales como:

- Identificar la causa del fallo
- Decidir de qué manera proceder para arreglarlo
- Realizar las tareas pertinentes de arreglo
- Repetir la prueba de aceptación

Como es comprensible, estas tareas no formarán parte del plan si las pruebas de aceptación se desarrollan con éxito. De hecho, la mayoría de los planes de proyecto

están orientados al éxito, eludiendo la posibilidad de fallos y replanificaciones, he ahí una de las razones más importantes por las que los Project Managers a menudo ven difícil sostener su plan inicial.

La razón de esto suele ser la voluntad de conducir el equipo al éxito, aún sabiendo de la existencia de riesgos que pueden comprometer el proyecto. Otra razón es que en el mundo de la gestión de proyectos es común un principio que dice que *“El dinero asignado será el dinero gastado”* obviando una posible optimización, y esto en ocasiones se extrapola a otro tipo de elementos (tiempo, recursos...) o ámbitos como puede ser los riesgos. No deja de ser curioso que el hecho de reconocer la existencia de amenazas sea visto comúnmente como la admisión de que estas puedan afectar negativamente el desarrollo, provocando la toma de posturas conformistas.

5.3.1 Integrando eventos de riesgo en el plan de proyecto

Consideremos de nuevo el plan de proyecto del apartado anterior que consta de las tareas fundamentales de diseño, desarrollo, integración y pruebas, formando una sucesión consecutiva. Sólo hay un camino en el proyecto y la relación lógica entre todas las tareas es de *Fin a Comienzo*:

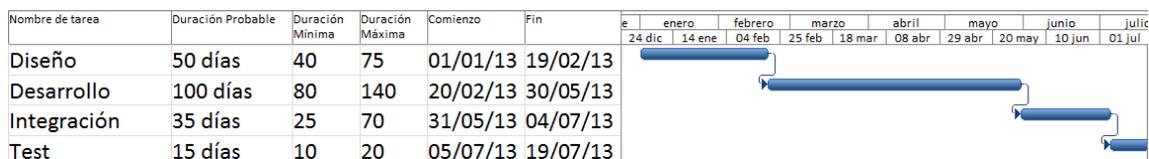


Figura 36. Gantt proyecto con 4 tareas consecutivas

Si no tenemos en cuenta la incertidumbre, ya vimos que este plan de proyecto determinístico fija su finalización el 19 de julio. En el apartado anterior ya pusimos en práctica el simulador para conocer los resultados:

- La probabilidad de acabar el 19 de julio o antes es de sólo 12%.
- La fecha media de finalización, un compromiso mucho más razonable, tenemos como fecha el 8 de agosto, aproximadamente 3 semanas más tarde.
- Si nos comprometemos con un aceptable nivel de confianza, el ya comentado P-80, la fecha resulta ser el 24 de agosto, requiriendo un plan de contingencia que contempla 5 semanas adicionales. Destacar que este plan de contingencias representaría casi un 20% de duración del plan inicial.

Ahora vamos a añadir un evento de riesgo en nuestro plan, que resulta ser necesario tras el diseño del proyecto. Este evento se trata del resultado de la tarea de test, la cual tendrá que ser superada con éxito para dar el proyecto por finalizado. Durante el estudio, los expertos en la materia no sólo deberán informar de este evento, sino que además deberán facilitar información tal como el porcentaje previsto de éxito/fracaso de esta aceptación, y las acciones necesarias en caso de fracaso.

Con esta información, ahora el Project Manager será capaz de rehacer la lógica inicial del plan de proyecto para incluir la posibilidad de que las tareas extras tras una aceptación fallida sean parte del plan de proyecto (y por ende de la ruta crítica):

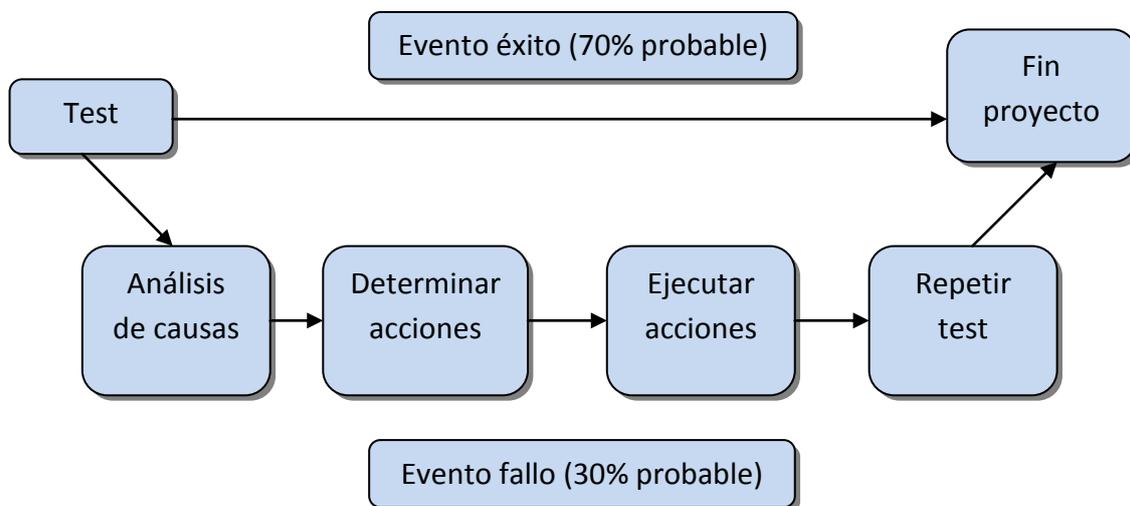


Figura 37. Nuevo camino necesario en caso de fracaso del test

Actividad Adicional (días)	Duración Optimista (días)	Duración Probable (días)	Duración Pesimista (días)
Análisis de causas	5	10	20
Determinar acciones	10	12	25
Ejecutar acciones	10	15	25
Repetir test	15	20	35

Tabla 6. Parámetros de las distribuciones de las tareas adicionales en caso de fallo de test

Con esta información, procedemos a incorporar el evento en la lógica del plan de proyecto, así como el nuevo conjunto de tareas en caso de fallo del test. Simulando el nuevo escenario, obtenemos los siguientes resultados:

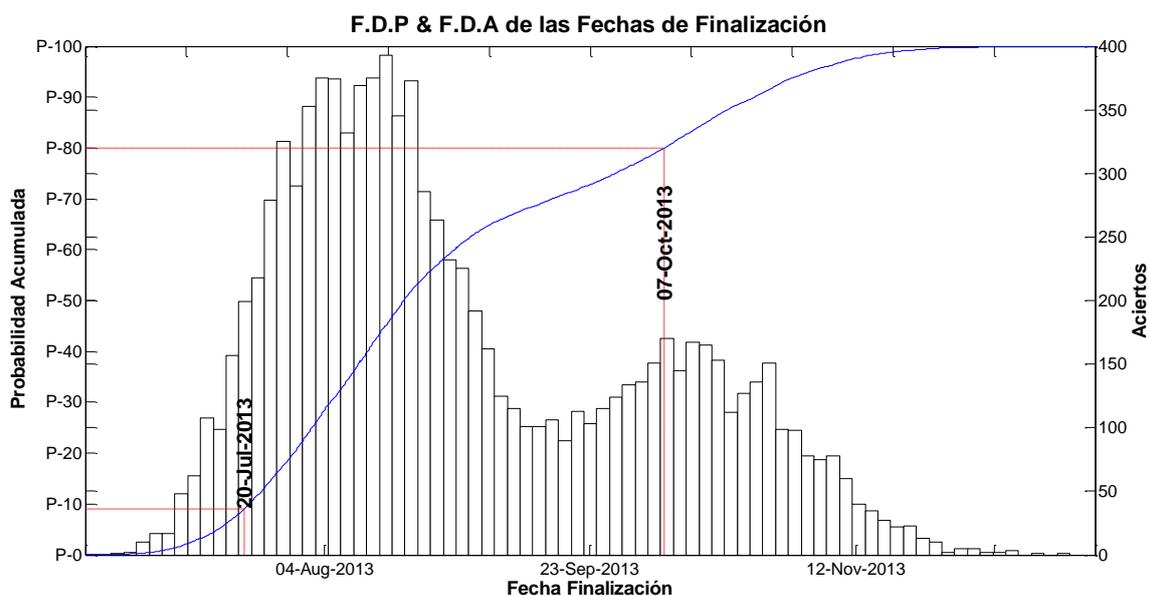


Figura 38. Resultados de la fecha de finalización

La diferencia más notable es que la inclusión de este evento ha supuesto que la distribución de fechas de finalización deje de tener una sola moda, surgiendo una por cada posible camino (éxito/fracaso). La zona con una mayor frecuencia claramente representa a las fechas de finalización que contemplan una aceptación exitosa, mientras que la otra moda concentra las iteraciones de una aceptación fallida del producto desarrollado.

- La probabilidad de acabar dentro de los cálculos determinísticos es aproximadamente del 9%, un nivel de confianza muy lejos del prudente P-80.
- Contemplar un 30% de opciones de fracaso en el test con sus tareas extra requeridas, sitúa la fecha con un nivel del P-80 de confianza en el 7 de octubre. Es decir, ahora el tiempo para contingencias necesario para este nivel de confianza se ha multiplicado aproximadamente por tres, representando cerca de la mitad de tiempo del plan inicial.

Estos cambios se interpretan convenientemente en la FDA, donde se observa que exigir un nivel de confianza alto tiene una alta penalización en las fechas. De igual manera, si el nivel de confianza que se exige fuera menor del P-70, curiosamente el nuevo evento casi no sería apreciable. A partir de este percentil es donde tiene lugar la penalización de tiempo adicional para contingencias por la necesidad de superar el test. De hecho, la mejor manera de establecer el nivel de confianza es observando la curva de la FDA, ya que se ilustra claramente las garantías que ofrecen los distintos niveles de confianza de estimación.

En el caso que se discute, tan sólo un nivel un 10% menor del P-80 recomendado (<P-70) proporcionaría fechas muy optimistas, llevando el Project Manager a engaño. Esta es la razón por la que establecer niveles altos de confianza está totalmente recomendable, ya que nos permiten asegurar que contemplamos la mayor parte de los escenarios factibles sin ser demasiado pesimistas.

5.3.2 Planificaciones bajo varios eventos de riesgo

En la realidad un plan de proyecto contendrá posiblemente más de un evento de riesgo. Incluso el caso anteriormente discutido puede modelarse mejor, ya que asume que cuando la aceptación es fallida, el hecho de realizar las tareas extras garantiza por completo el éxito final. También, se ha introducido la importancia que tiene la FDA a la hora de decidir niveles de confianza o confeccionar estrategias de contingencia. Ahora vamos a ver qué efecto tiene la existencia de más de uno de estos fenómenos en el plan de proyecto comentado.

Ahora vamos a modelar la necesidad de tener que superar una nueva aceptación en caso de haber fracasado en la anterior, con la consiguiente probabilidad de éxito o fracaso. Por simpleza, asumiremos un máximo de tres aceptaciones posibles, dando

por hecho que si se produce una tercera, el producto estará listo por completo. Cualquiera de estas pruebas puede fallar, según los expertos, con una probabilidad del 30% para la primera, un 25% para la segunda, y un 20% para la tercera y última.

A continuación, mostramos la gráfica comparativa de los cuatro escenarios diferentes, desde la que no contempla opción alguna de fracaso en el test (curva roja), hasta el escenario que contempla hasta tres posibles pruebas de aceptación para tener el componente listo (curva cian):

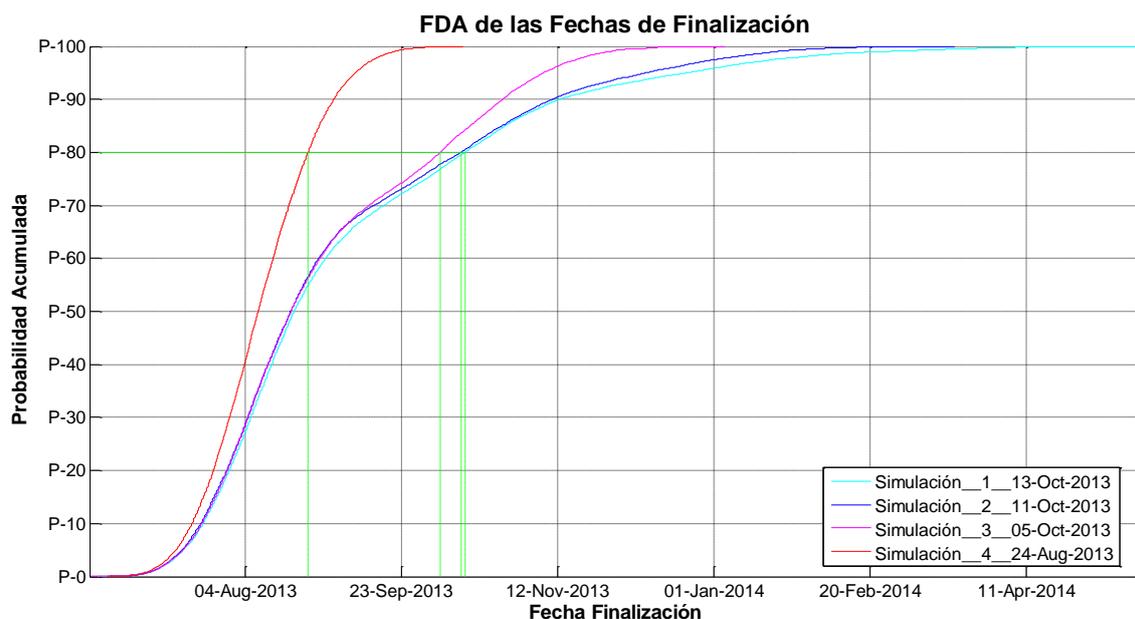


Figura 39. Comparación de los escenarios con diferente nº de eventos de riesgo en cascada

La grafica anterior podemos interpretarla como una sucesión de escenarios cada vez más realistas. Como es de esperar, a medida que se contemplan mayores posibilidades de riesgo para ajustar la simulación a la realidad vemos como las curvas son desplazadas hacia fechas más tardías.

Más allá de este efecto, hemos de observar cómo evolucionan las curvas a medida que incrementa el nivel de confianza. Separando el escenario donde no sería necesaria ninguna repetición del test, vemos que los otros tres escenarios coinciden en sus previsiones hasta un nivel de confianza del P-70, donde comienza a tener efecto los posibles eventos de riesgo. Para observar una diferenciación apreciable de los dos últimos escenarios hemos de ser más exigentes para el nivel de confianza, que de nuevo se segregan tímidamente a partir del P-90.

Con esta información llegamos a dos conclusiones:

- La primera y esperada es que lógicas más realistas que contemplan un mayor efecto del riesgo comprometen en mayor medida a la distribución de fechas de

finalización, suponiendo una mayor cuantía en los planes de contingencia a contemplar.

- En segundo lugar, se constata la importancia de un nivel de confianza suficientemente alto para poder asegurar previsiones prudentes y minimizar el efecto del riesgo. En el caso expuesto, si contempláramos un nivel de confianza del P-70 no habría diferencia alguna entre modelar una o tres repeticiones de la tarea de *Test*, y con un nivel del P-80 igualmente no diferenciaríamos los dos últimos escenarios, subestimando el riesgo.

Para poder contemplar y acotar la incertidumbre del escenario que simula la posibilidad de tener que repetir hasta tres veces el *Test* requeriría un nivel de confianza superior al P-95, que en verdad se torna demasiado exigente.

Con este ejemplo se ha tratado de ilustrar la necesidad de mantener niveles de confianza altos para garantizar una planificación realista, ya que los proyectos habitualmente contienen muchos más elementos de riesgo que sólo tres. Es común ver como Project Managers argumentan que los tiempos necesarios son inicialmente amplios, pero la realidad es que las medidas que se han de tomar cuando suceden desviaciones en el plan de proyecto pueden tener costes superiores que lo que supone mayor rigurosidad en la estimación inicial.

5.3.3 Estrategias de mitigación de riesgos

Hemos visto que estableciendo como nivel de confianza el P-80 contemplaremos la mayor parte de escenarios, aunque a su vez supone más recursos. Existen maneras *a priori* contra-intuitivas para lograr planes de proyecto menos extensos, manteniendo este mismo nivel de confianza. Esto se puede conseguir en ocasiones asignando más recursos a elementos específicos.

A la hora de planificar el tiempo de cada tarea, en muchas ocasiones existe un compromiso entre el tiempo dedicado y la calidad con la que dicha tarea es realizada. Esto hace pensar que si a las tareas de gran criticidad se planifican con márgenes de tiempo generosos, a la larga el plan de proyecto puede verse beneficiado por un correcto desarrollo de estas.

Independientemente de la naturaleza del proyecto, es habitual tener una etapa inicial de definición y diseño, la cual comprometerá seguramente todo el plan hasta el final. Esto lleva a uno de los riesgos más comunes en los proyectos, por no decir el principal, que es el cambio de alcance del propio proyecto. Durante el seguimiento, si se observa que el plan se desvía mucho de lo establecido (por cuestiones del cliente, presupuesto, o necesidades internas), se recurre de habitualmente a redefinir el alcance, reduciéndolo en la mayoría de los casos. Esto hace pensar en la importancia de dedicar amplios esfuerzos en las etapas críticas como la de definición, ya que una generosidad en cuanto a recursos puede recompensar mediante una alta eficacia.

5. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación temporal

Para ilustrar esta cuestión vamos a proponer un plan de proyecto similar al anterior, pero en este caso vamos a suponer que en la etapa de desarrollo se ha planificado con un 20% más de tiempo. Según los expertos en la materia (grupo de desarrollo y/o analistas), estiman que esto consigue reducir un 15% (del 30% a un 15%) la posibilidad de fracaso en el Test:

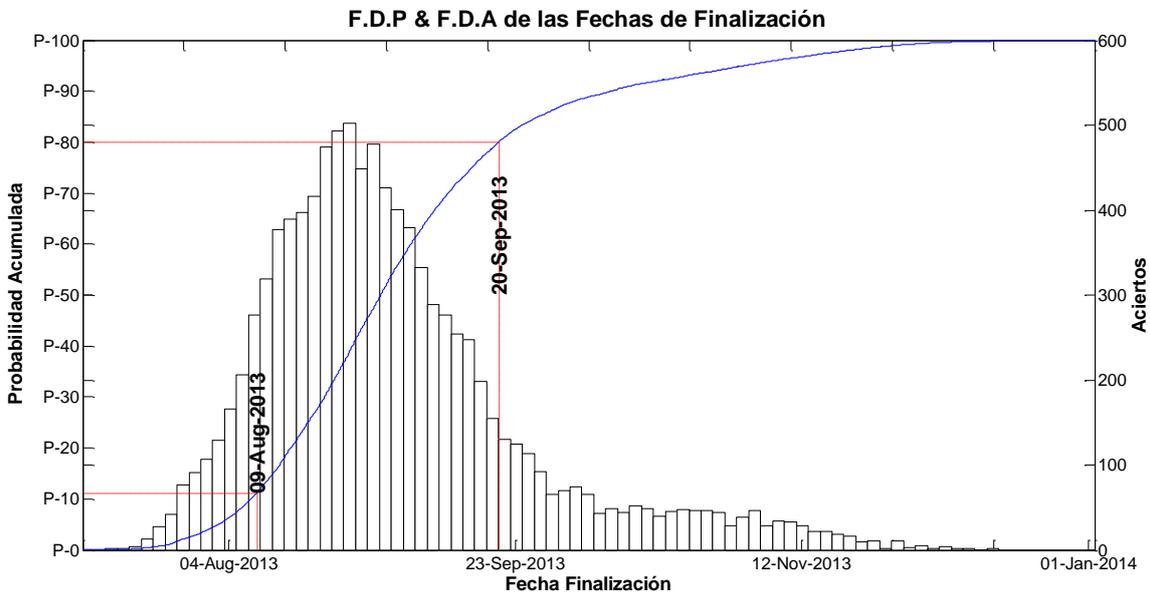


Figura 40. Mejora de resultados ampliando el margen temporal de tarea crítica

Ahora comparamos las dos FDA para observar los cambios obtenidos en relación al plan inicial:

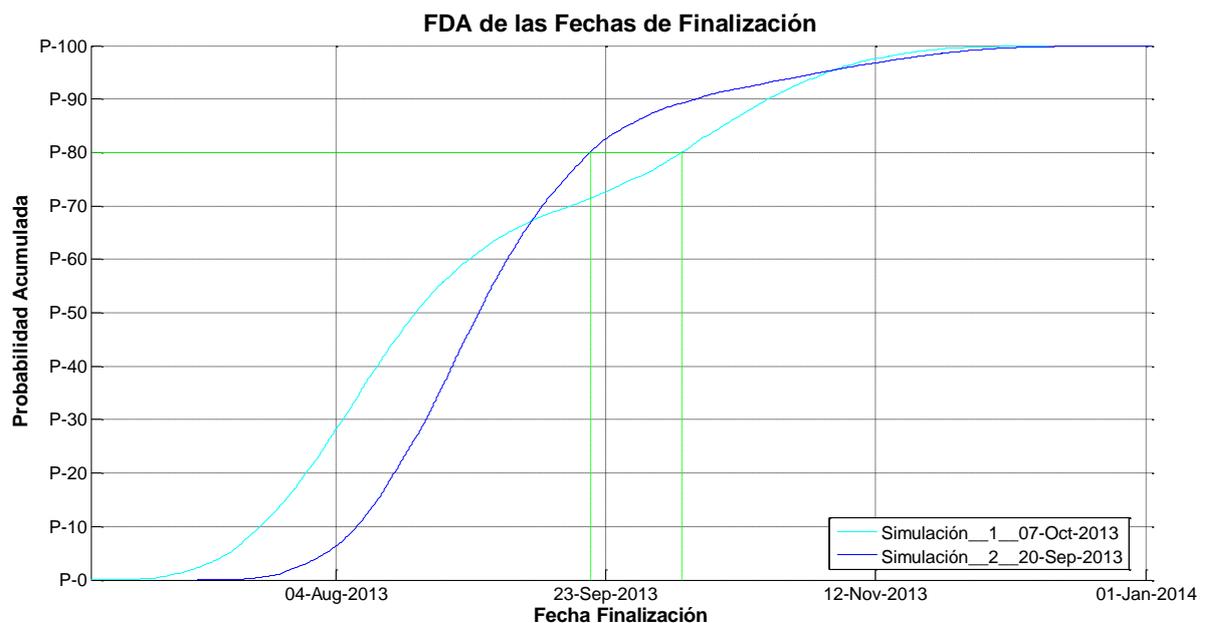


Figura 41. Mejora en el nivel de confianza necesario debido a margen temporal

Se observa un efecto curioso, ya que la política de otorgar más tiempo tiene implicaciones negativas hasta aproximadamente un nivel de confianza del P-70. Tras esto, la estrategia se torna muy beneficiosa, ya que a un nivel de confianza P-80 se llega a obtener una mejora respecto al plan inicial de casi 3 semanas, habiendo mejoras en todo el rango entre los niveles P-70 y P-95. Como es lógico, sólo es posible beneficiarse por este tipo de estrategias cuando se establece valores altos en los niveles de confianza de estimación para los resultados.

5.3.4 Eventos probabilísticos frente a la extensión de la FDP

Por lo anteriormente expuesto, se ha de abordar la toma de decisiones eminentemente prácticas de manera oportuna respecto a la definición de las planificaciones temporales. Cuando queremos modelar el plan de proyecto para incluir nuevas informaciones (como las tareas requeridas por un fallo en una aceptación), es tentador, especialmente en planes de proyecto de razonable complejidad, el simplemente extender la distribución de probabilidad de tiempos para incorporar el riesgo de, por ejemplo, el fracaso de una aceptación.

Es importante diferenciar entre la aparición de nuevas necesidades que, por ejemplo, pueden llevarse a cabo durante la realización de la aceptación para que esta se produzca con éxito, del evento de que la aceptación se declare como fallida y conduzca a la necesidad de llevar a cabo una serie de tareas aparte.

En el primer caso, es perfectamente válido y mucho más operativo el modificar la FDP de la tarea en vez de incluir una nueva serie de actividades, mientras que el caso de la aceptación fallida, el desestimar la modificación del plan de proyecto, procediendo a extender la FDP de las tareas involucradas estaría sobreestimando el riesgo que una prueba fallida conlleva.

Esto se debe a que el hecho de incluir el riesgo de fracasar en la aceptación extendiendo la duración de las actividades existentes hace que su tiempo medio de finalización sería mucho mayor para la mayoría de las iteraciones. Redefinir el plan de proyecto incluyendo los caminos necesarios tras la aparición de eventos de riesgo es una tarea que un Project Manager tiene que valorar, a pesar de que suponga un mayor trabajo por su parte.

5.4 Eventos condicionales en la lógica del proyecto

En el capítulo anterior se ha introducido el concepto de evento probabilístico en los planes de proyecto, que ayuda a definir una lógica más real y flexible frente a técnicas tradicionales. La incorporación de elementos condicionales a la lógica, a los que nos referiremos como *disparadores*, va a incrementar aún más este realismo y

flexibilidad del plan de proyecto, introduciendo una nueva serie de particularidades que varemos a continuación.

Ahora tendremos la posibilidad de incluir caminos con alternativas, como planes de contingencia previamente diseñados en función del desarrollo del proyecto. Los elementos condicionales son perfectamente compatibles con las necesidades una lógica robusta y dinámica que necesita un análisis del riesgo en profundidad. Los elementos condicionales son aplicables cuando, por ejemplo, un retraso en la finalización de una tarea o un incumplimiento del presupuesto, tiene consecuencias como un cambio de estrategia.

Estos cambios de estrategia pueden alterar el plan inicial de múltiples formas, incluyendo nuevas actividades, cambiando las relaciones entre tareas, modificando duraciones o tiempos establecidos para comenzarlas o finalizarlas. Todas estas opciones se fijarán de manera clara después de analizar el plan profundamente, evitando hacer uso de estimaciones vagas, que requiere en muchos casos elucubrar sin mucho éxito.

Estos eventos condicionales reflejan escenarios factibles que tienen lugar iteración a iteración, por lo que simular usando el método de Monte Carlo ayudará a explorar todas las posibles variantes del riesgo en el plan de proyecto.

5.4.1 Utilidad de disparadores en la lógica

Para poner en uso esta funcionalidad de nuevo es necesario la identificación de los eventos y el estudio de las acciones a tomar, creando alternativas en la lógica si fuera necesario. Cuando están correctamente diseñados, estos disparadores pueden alertar al Project Manager de que se está comprometiendo el plan de proyecto en alguno de sus objetivos (tiempo, coste, alcance) para tener un margen de actuación suficiente. Razones típicas podrían ser actividades que están requiriendo más tiempo del estimado para su finalización debido a, por ejemplo:

- La tecnología aplicada es más compleja de lo estimado inicialmente, requiriendo mayores tiempos en el diseño o implementación.
- Existen restricciones temporales, como pudiera ser la necesidad del cumplimiento de un compromiso contractual, limitando el margen de retraso, a partir del cual se tendrá que tomar acciones correctoras.

El Project Manager puede planear multitud de acciones si estos disparadores llegan a ocurrir, algunos ejemplos pueden ser:

- En términos de la lógica, modificar sucesores de actividades, lo que podría conducir a un nuevo camino, y por ende a una ruta crítica diferente. Esto podría deberse a una modificación del alcance del proyecto.

- Cambiar una restricción, por ejemplo variando el tiempo de inicio de una tarea que tiene como premisa *Empezar lo antes posible* a *Empezar no antes del*, si el retraso inicial conlleva un parón por decisiones de la organización, como una pérdida de prioridad de la actividad.
- Variar la FDP de una tarea dependiendo de las fechas o condiciones en las que se tiene que llevar a cabo.

Un ejemplo es el tiempo que requiere el cemento para fraguar en una obra civil, dependiendo de la época en la que se vierte. Es razonable pensar que en verano, con tiempos más cálidos, requerirá un menor tiempo y viceversa.

5.4.2 Simulando disparadores condicionales

Vamos a exponer un caso típico donde un evento condicional puede provocar la necesidad de variar la lógica inicial del proyecto. Será un proyecto en el cual se requiere el uso de una tecnología nueva y poco madura para su implementación. De manera un poco más específica, esta nueva tecnología mejora el dimensionamiento de los recursos necesarios, por lo que se está altamente interesado en que sea la empleada inicialmente para el desarrollo.

A su vez, este proyecto tiene como uno de los objetivos prioritarios la fecha de puesta en servicio. El cliente necesita que se cumpla estrictamente esta fecha, por lo que se ha de valorar también la posibilidad de dejar de lado el uso de la nueva (y poco madura) tecnología, para usar otra en la que el equipo de proyecto tiene una amplia experiencia. Vamos a ver como se deberá de preparar la estrategia de contingencia para usar la tecnología alternativa y mantener las fechas comprometidas.

En la figura inferior se muestra el fragmento del plan de proyecto en el que tiene relevancia la decisión tecnológica. En él, se observa dos caminos paralelos, uno perteneciente a la opción de la nueva tecnología (opción A), y el segundo a la ya conocida (opción B). La opción B será la elegida si se cree que la opción A puede incumplir los plazos acordados con el cliente. Como se muestra en la figura, para ser un plan de contingencia viable (que permita responder con suficiente agilidad), se requiere que, al menos, la etapa de diseño se desarrolle paralelamente en las dos opciones. Esto requerirá una gestión de los recursos acorde a la situación, ya que la nueva tecnología es preferible, pero el cumplimiento de los plazos es imprescindible.



Figura 42. Gantt proyecto con plan de contingencia de minimización del riesgo

5. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación temporal

Para planificar la estrategia que permita completar este fragmento del plan de proyecto dentro del tiempo señalado por el valor determinístico (10 de junio) primero se definirá el riesgo para cada una de las actividades. El calendario se estima de mayor duración para el plan A, en el que se trata de otorgar una incertidumbre acorde a su mayor complejidad.

En primer lugar se requiere ver con qué garantías el plan A es capaz de finalizar a tiempo, para valorar la verdadera necesidad de un plan de contingencia, procediéndose a realizar una simulación sólo contemplando la opción A:

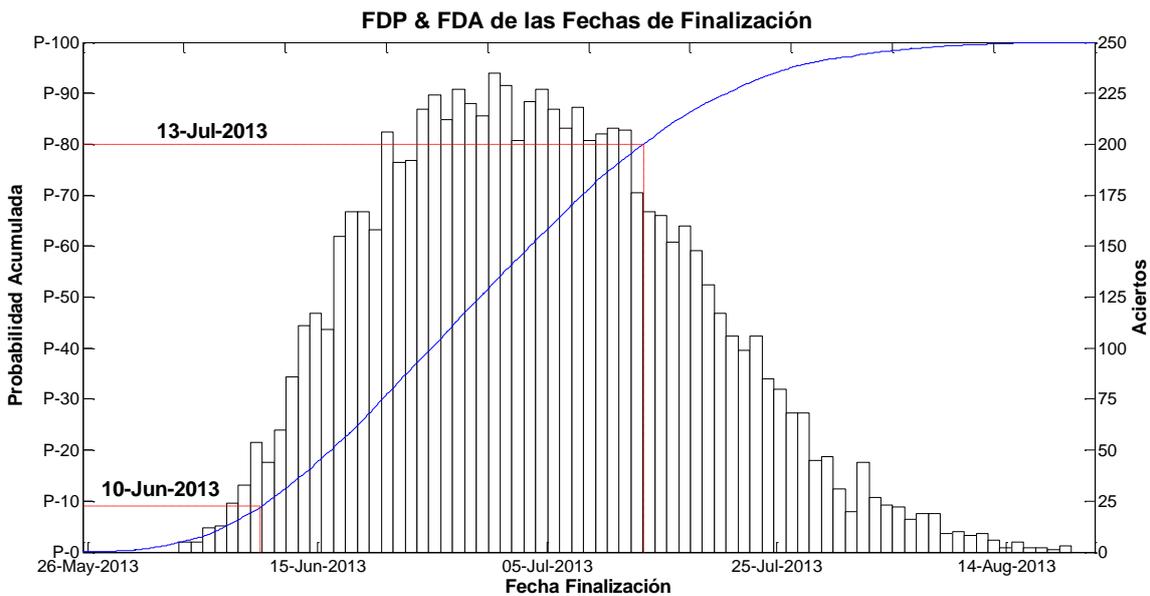


Figura 43. Resultados de fechas de finalización sólo considerando el Plan A

Como en este proyecto la puesta en servicio es un tema capital, el cliente exige que se use un intervalo de confianza alto, estableciéndose el P-80. Consultando los resultados obtenidos, se muestra que con este nivel de confianza la fecha estimada para la finalización será el 13 de julio, más de un mes de lo deseado si lo comparamos con la fecha determinística, que tiene una probabilidad muy baja. Diremos que para el cliente, este lapso de tiempo es inaceptable, requiriéndose la incorporación de un plan de contingencia que permita finalizar a tiempo con mayor seguridad.

El Project Manager junto al equipo de proyecto tendrá que determinar las particularidades del plan de contingencia. Estas van desde las tareas requeridas (concretamente su FDP), cómo la lógica que las une y, por supuesto, el disparador que desencadenará el uso de este plan.

En este caso, el equipo de proyecto llega a la decisión de que el tipo de tecnología usada en el desarrollo dependerá de si la etapa de *Diseño A* está lista antes de una determinada fecha. Para llevar a cabo este plan de contingencias tenemos que hacer un ajuste más, que consiste en restringir el comienzo de la etapa de *Desarrollo B*, que tendrá una lógica del tipo *No comenzar antes del* (NCAD). Esto se debe a que la lógica

de las tareas del plan B puede provocar un comienzo prematuro del desarrollo (antes de decidir si es la opción elegida), ya que la etapa de su diseño se le estima un menor tiempo. Esta fecha se fijará en el momento (en verdad día natural) siguiente al que se tome la decisión de no seguir con el plan inicial A, para comenzar el desarrollo con la tecnología conocida B.

Con estos criterios, simularemos para situar el disparador tal que si en una iteración la etapa de *Diseño A* finaliza más tarde de un determinado día, la lógica del proyecto continúe por la tarea de *Desarrollo B* una vez esté listo el diseño, para finalizar antes del 10 de junio con un nivel de confianza del P-80. Tras unas pruebas se determina que el día en el que debemos fijar el disparador es el 4 de marzo:

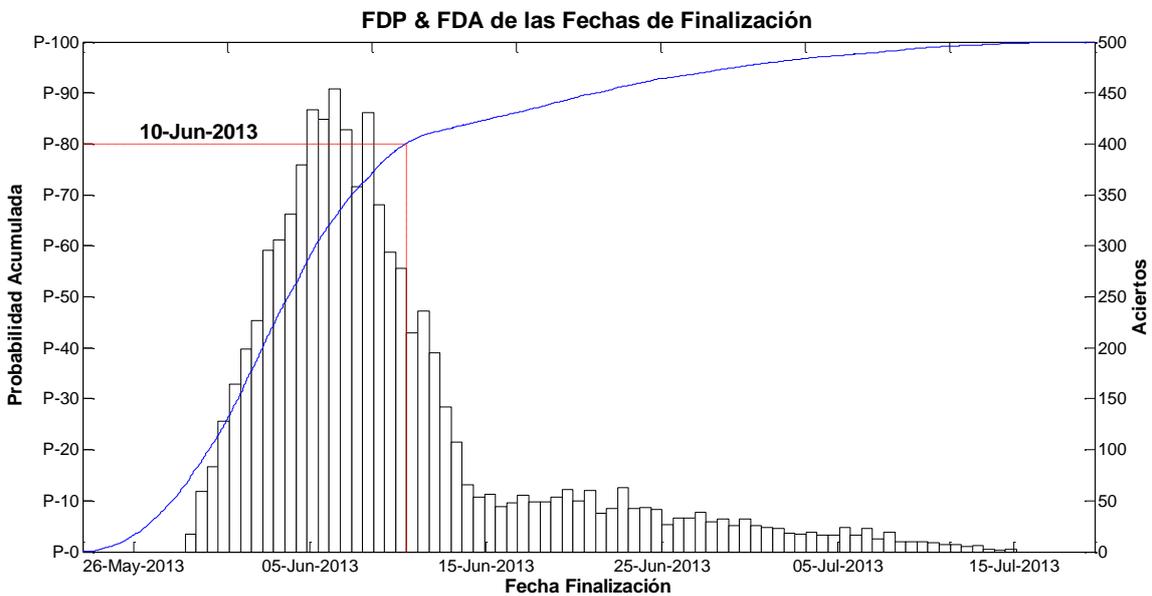


Figura 44. Mejora de los resultados mediante un disparador de plan de contingencia

La gráfica muestra que integrando en la lógica el disparador que permite activar el plan de contingencia en caso de excesivo retraso de la tarea de *Diseño A* un poco después de la estimación determinística, permite lograr con un nivel de confianza del P-80 la misma fecha de finalización que la determinista, 10 de junio. Probablemente esto sería un plan de contingencias aprobado la parte interesada, ya que recupera las más de cuatro semanas que se demoraba el plan A en comparación a los cálculos deterministas, cumpliendo con los compromisos iniciales.

5.4.3 Usos de disparadores para cumplir objetivos

Al realizar un análisis de la ruta crítica en el ejemplo anterior, este indica que la ruta que contempla dejar de lado el Plan A para continuar con el B tiene lugar el 30% de las iteraciones. La posibilidad de conocer los porcentajes de las rutas críticas permite tener una idea bastante buena de las posibilidades reales del plan, y esto permite calibrar los parámetros definidos para cumplir necesidades específicas,

usando un ejercicio de *prueba y error*, igual que cuando hemos querido situar la fecha del disparador.

Recordamos que se tenían como objetivos la innovación tecnológica y la fecha de puesta en servicio. El análisis arroja que sólo en el 30% de los casos se puede cumplir con ambos objetivos, y esto posiblemente se interprete como una cifra muy baja de éxito. El Project Manager puede realizar un ejercicio de ajuste que proporcione una mayor satisfacción a los interesados, como el garantizar un incremento en el porcentaje de éxito, por ejemplo del 50%, aunque suponga una pequeña penalización en la fecha de finalización.

El método Monte Carlo permite hallar las restricciones óptimas para este propósito, mientras que un análisis con una técnica tradicional no permite garantizar de una manera tan precisa estas necesidades. Después de un breve ejercicio de *prueba y error* para establecer el disparador en el momento óptimo, el Project Manager puede llegar a la conclusión de que el disparador debe situarse el 10 de marzo, cerca de una semana después que lo fijado inicialmente:

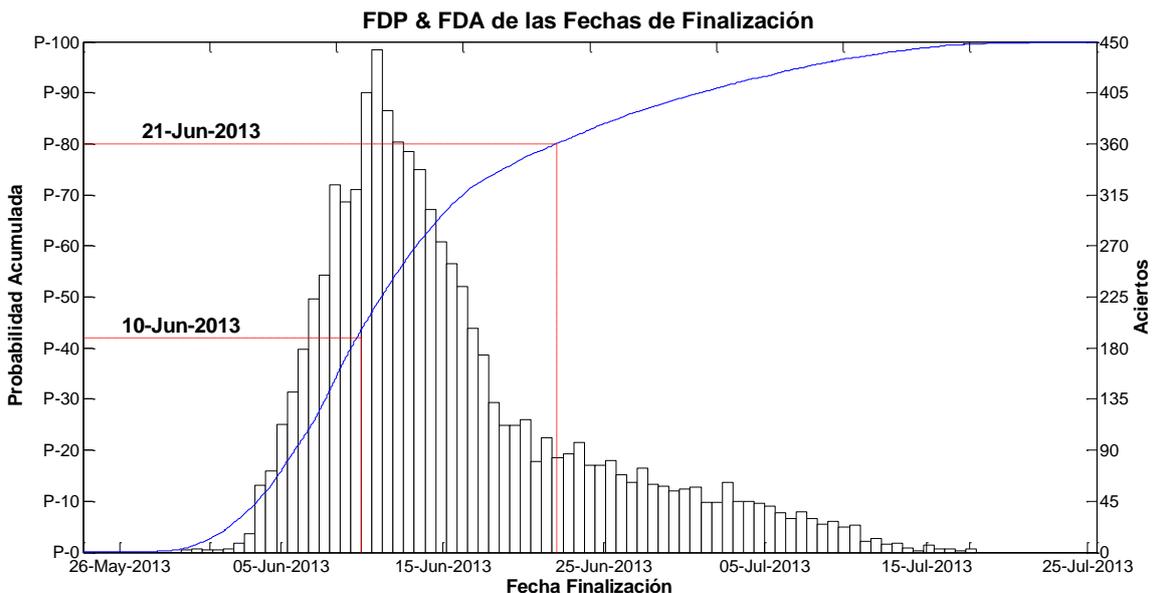


Figura 45. Posposición del disparador permite ejecutar plan inicial en más ocasiones

De los resultados de la simulación con el disparador del plan B situado para alcanzar un compromiso de ejecución para ambas opciones de un 50%, obtenemos la fecha media de finalización para el deseado nivel de confianza del P-80, que es el 21 de junio.

En este caso se accede a retrasar en 10 días la fecha de finalización media, pero se incrementa las probabilidades de realizar el proyecto con la tecnología novedosa en la mitad de las ocasiones, compromiso que podría satisfacer al cliente. Se podría indagar en otros compromisos, ya que el incremento en la fecha de finalización para una probabilidad de ejecución más alta puede ser menor del esperado.

En la siguiente gráfica se muestra la comparativa de las FDA y una tabla resumen para cada plan propuesto, mostrando de manera clara las alternativas propuestas:

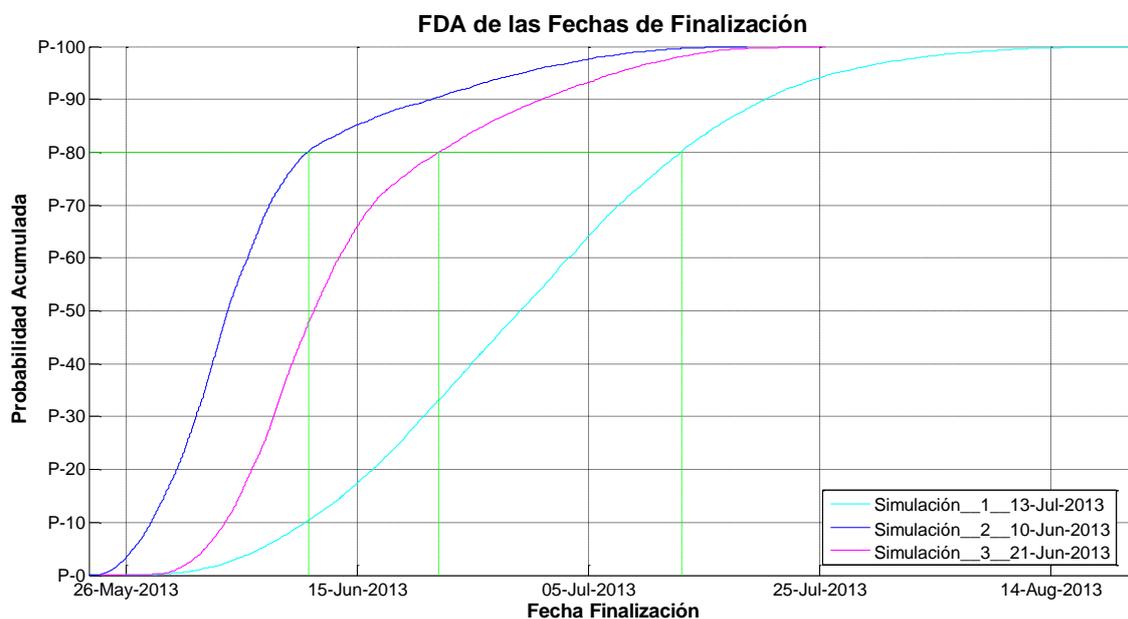


Figura 46. Comparación de resultados según la colocación del disparador de contingencia

Fecha del disparador	Fecha P-80	Prob. Ejecución Plan A
-	13 de julio	100
4 de marzo	10 de junio	30
10 de marzo	21 de junio	50

Tabla 7. Resumen de resultados de fechas de finalización según el disparador

5.4.4 Usos de disparadores para cumplir objetivos II

Se está viendo como un modelo versátil junto con el método Monte Carlo permite simular un amplio abanico de fenómenos que nos podemos encontrar en el día a día, permitiendo al Project Manager tener un conocimiento más profundo de las previsiones del plan de proyecto, y tomar ventaja de esto según los resultados que se hayan identificado previamente. Es posible que una simulación revele que una fase o actividad se tiene que llevar a cabo en un momento inadecuado, o completamente imposible por cuestión de recursos o condiciones fijadas. Esto puede ocurrir en casos como:

- Cuando la puesta en marcha de un servicio que requiere personal de mantenimiento y/o operaciones de manera continuada se planifica en un momento de bajos recursos de capital humano (periodo vacacional, otros proyectos de alta prioridad con similares necesidades de recursos transcurren a la vez,...).
- La necesidad de pasar una auditoria inhabilita ciertos recursos necesarios.

5. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación temporal

- Factores estratégicos, como la congelación de recursos por conveniencia, como ocurre con parte de la red de las operadoras en momentos críticos como periodos vacacionales.
- Factores externos, como los medioambientales. Un ejemplo sería el intento de construcción de alguna infraestructura civil compleja en el sudeste asiático en la época del monzón.

Vamos a exponer un caso real, fruto de la experiencia adquirida en el terreno laboral en el departamento de *Gestión de Proyectos de Red Central* en Vodafone. El proyecto trata de la puesta en servicio de una plataforma tecnológica de interés para la organización, en este caso se trataba de la renovación de la plataforma de IVR (Interactive Voice Response), para la cual se requería llevar a cabo una fase relacionada con implantación de hardware, otra de software y la posterior integración de las dos para conformar la plataforma citada.

El principal riesgo identificado fue que para la correcta integración de los sistemas HW era necesario la colaboración de una serie de expertos en la tecnología externos cuyos honorarios son extremadamente altos. Estos expertos están altamente demandados, y su disponibilidad es limitada, ya que el servicio prestado es de muy alta especialización. Esto requiere de la solicitud de sus servicios con un tiempo prudencial (se conoce el tiempo medio para su disponibilidad, que es 20 días), y sólo pueden ser contratados cuando se tiene absoluta certeza de que pueden llevar a cabo su labor sin contratiempos, ya que el coste de prolongar su labor es muy alto. Además, si se tuviera que suspender su labor por cualquier razón, se perdería la disponibilidad hasta que dispongan de una nueva ventana de trabajo libre. A continuación se muestra el segmento relevante para el ejemplo de la lógica del plan de proyecto:

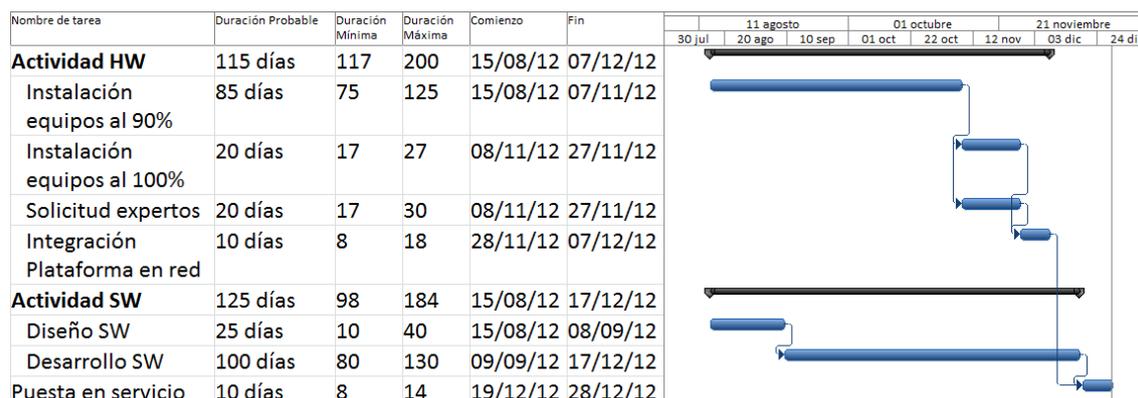


Figura 47. Gantt segmento plan proyecto renovación de la plataforma IVR

Es obvio que la labor de estos expertos tiene un impacto en el riesgo muy alto. La posibilidad de que un evento afecte a su labor puede tener consecuencias muy negativas en el alcance del proyecto, tiempo y coste. Para mitigar este riesgo, se estudia minuciosamente todos los condicionantes que pueden tener impacto. En el ejercicio de previsión de riesgos se alerta de la existencia de la congelación de red

(prohibición para manipular los sistemas) debido al periodo vacacional de navidades, donde el uso y disponibilidad de la red es crítico, por lo que se trata de evitar cualquier riesgo que ponga en peligro su integridad. Esta congelación fijada del 15 de diciembre al 8 de enero afecta directamente a los sistemas de la plataforma en la que se desea intervenir, poniendo difícil su manipulación durante el periodo. Si la labor de los expertos tuviera lugar en este periodo se podría conceder un permiso especial de actuación, pero se trata de un uso muy restringido, dilatando en exceso el tiempo requerido para su labor y por ende el coste de la actividad.

El plan determinístico mostrado arriba ofrece la visión optimista de que se podrá haber completado la labor de los expertos de *Integración de la Plataforma en la Red* para el 7 de diciembre, una semana antes de que la congelación tenga lugar, pero a estas alturas ya estamos sensibilizados con la escasa precisión de este tipo de estimaciones. Sin tener en cuenta el riesgo de la congelación de red, los resultados ofrecidos por el simulador son:

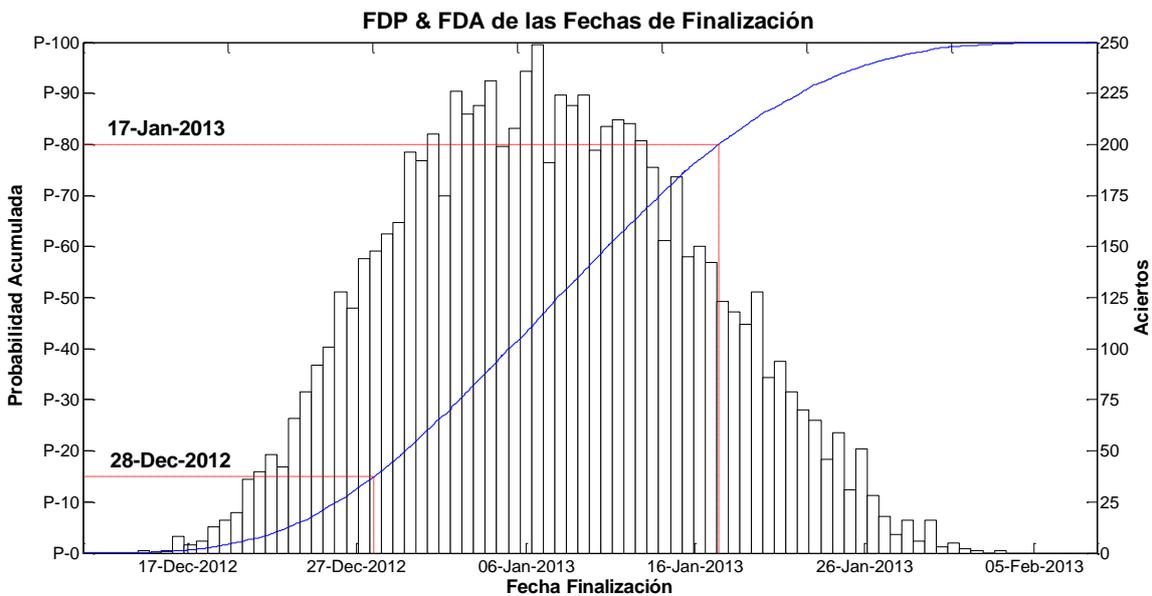


Figura 48. Resultados de fechas de finalización del plan sin considerar congelación

La simulación nos anticipa que la fecha de finalización del proyecto desde un punto de vista determinístico sólo tiene un 15% de posibilidades, mientras que un nivel del P-80 desplaza la previsión casi tres semanas después, el 17 de enero.

Aunque hasta el momento hemos usado el simulador para estudiar los resultados globales (como el tiempo de duración del proyecto completo), cabe resaltar que la simulación de Monte Carlo permite focalizarse en cualquier elemento que forme parte del modelo, y extraer información relevante de él. De esta manera, aparte de simular el plan completo, también procederemos a consultar la previsión para el evento de alto riesgo que concierne a la tarea de los expertos. Para ello, obtenemos la FDP para la fecha de finalización de la tarea de los expertos *Integración de la Plataforma en la*

Red, pudiendo analizar específicamente si se solapa en algún momento con las fechas fijadas para la congelación de la red, lo que supondría el citado problema:

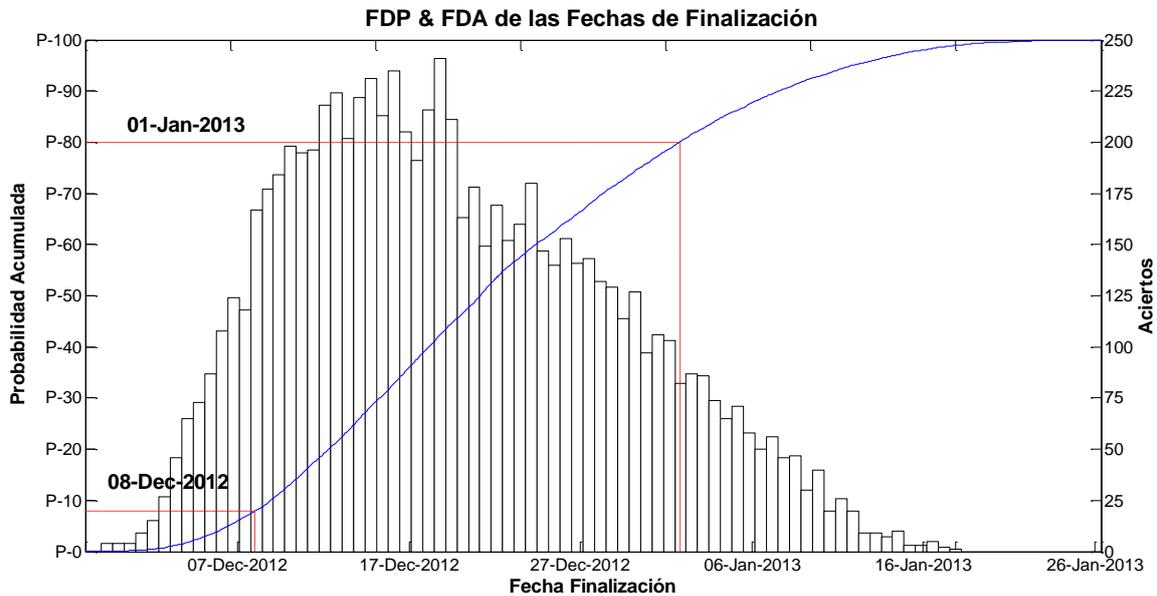


Figura 49. Fechas de finalización de la tarea realizada por los expertos en integración

Del análisis específico de la tarea de los expertos se observa que el riesgo que amenaza la labor de los expertos es real, sólo siendo posible que la labor de los expertos no se solape con las fechas conflictivas de la congelación en 30% de las ocasiones, ya que el día 15 de diciembre se sitúa en el P-30 de la FDA.

A tenor de lo visto, el Project Manager se verá obligado a replanificar para mejorar la viabilidad. Existen varias opciones para tratar de paliar la situación de riesgo:

- Aceleración de los tiempos asignados a las tareas, con la posible merma en la calidad.
- Supresión de objetivos menos prioritarios, que afecta al alcance del proyecto.
- Incremento de recursos, generalmente a base de un coste económico.

Al margen de que ninguna de estas soluciones tiene connotaciones muy deseables, ni siquiera podrán garantizar que no se dé la temida situación de que los expertos una vez contratados y en pleno proceso de su labor, se vean incapacitados para continuar por la congelación, con el consiguiente impacto económico y temporal. El Project Manager tiene que tener esto presente, proponiendo soluciones que, aunque no sean del mayor agrado, sean las “*menos malas*”, tomando medidas de contingencia apoyadas por elementos de planificación como restricciones.

Aunque se aleje de la planificación inicial, la prudencia y el realismo hace que se deba considerar el retraso de la tarea de los expertos para después de la congelación si existiera riesgo real de solape. Esto puede producir descontento, pero puede ser visto como un mal relativamente menor en comparación al escenario del solape.

Simularemos este plan de contingencia haciendo uso de una restricción temporal en la lógica del modelo, que forzará el comienzo de esta tarea en fechas posteriores a la congelación si se considera que existe riesgo de solape.

Para hacer esto, tenemos que establecer si existe riesgo de solape, fijando una fecha en la cual si un objetivo previo a la *Solicitud de los expertos* no está completado en un determinado grado, se declarará como una situación de riesgo crítico. En este ejemplo estableceremos como objetivo que la tarea *Instalación de equipos al 90%* esté completada para el día 14 de noviembre, dándole una semana más de margen que lo que marca el plan determinista (7 de noviembre). El disparador se situará en esa fecha, y actuará si se cumple la condición de que no haya finalizado.

Para fijar la llegada de los expertos para después de la finalización de la congelación de la red (8 de enero) debemos fijar una nueva fecha de inicio para la tarea de *Solicitud de los expertos* si el disparador se activa, en una fecha que garantice que su ventana de disponibilidad coincide con el fin de la congelación, ya que no se permite la reserva anticipada. Observando la FDP de la tarea de *Solicitud de los expertos* vemos que su tiempo más optimista es de 17 días, por lo que calcularemos el día del calendario para su inicio teniendo esto en cuenta, que será el 22 de diciembre.

Redefiniendo la lógica del plan de proyecto y simulándolo, obtenemos los siguientes resultados:

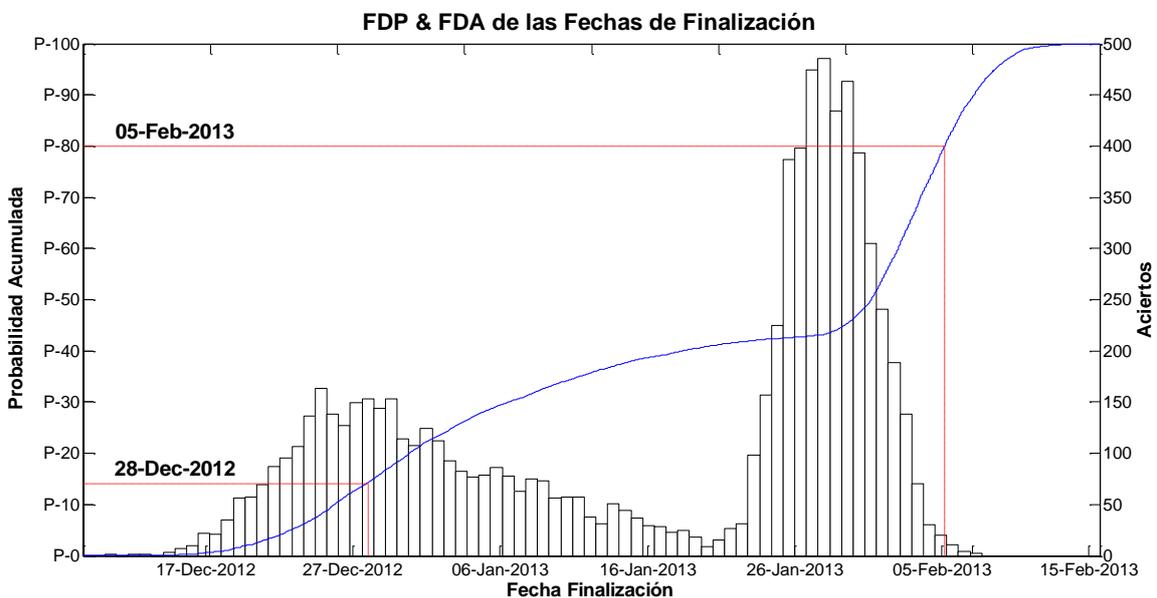


Figura 50. Resultados introduciendo el disparador para posponer tarea expertos

La restricción provoca que la FDP de la fecha de finalización del proyecto tenga esa inusual forma. Esto se debe a la generación de 2 modas, la que refleja el escenario donde la realización de la labor de los expertos se realiza antes de la congelación de la red, y la segunda que se determina que existe riesgo de que se solape con las fechas

de la congelación y se decida retrasarlo para después de dicho periodo. Con un nivel de confianza del P-80, la fecha media de finalización se retrasa casi 3 semanas respecto a la simulación inicial. Se podría pensar que este tiempo es una prolongación excesiva de la planificación temporal, pero cuando se valora que elimina la posibilidad de que el presupuesto se dispare si los expertos ven su labor ralentizada por la congelación, estaremos hablando de un plan de contingencia que contará seguramente con el beneplácito de la mayoría de implicados.

Como se mostró en el apartado anterior, la capacidad de segmentar los resultados permite determinar también la probabilidad de cada una de las opciones del plan. Estudiando la distribución específica de la tarea de *Solicitud de los expertos*, se observa de forma evidente que en un 40% de las veces se consigue completar el plan sin necesidad del parón por la congelación de la red:

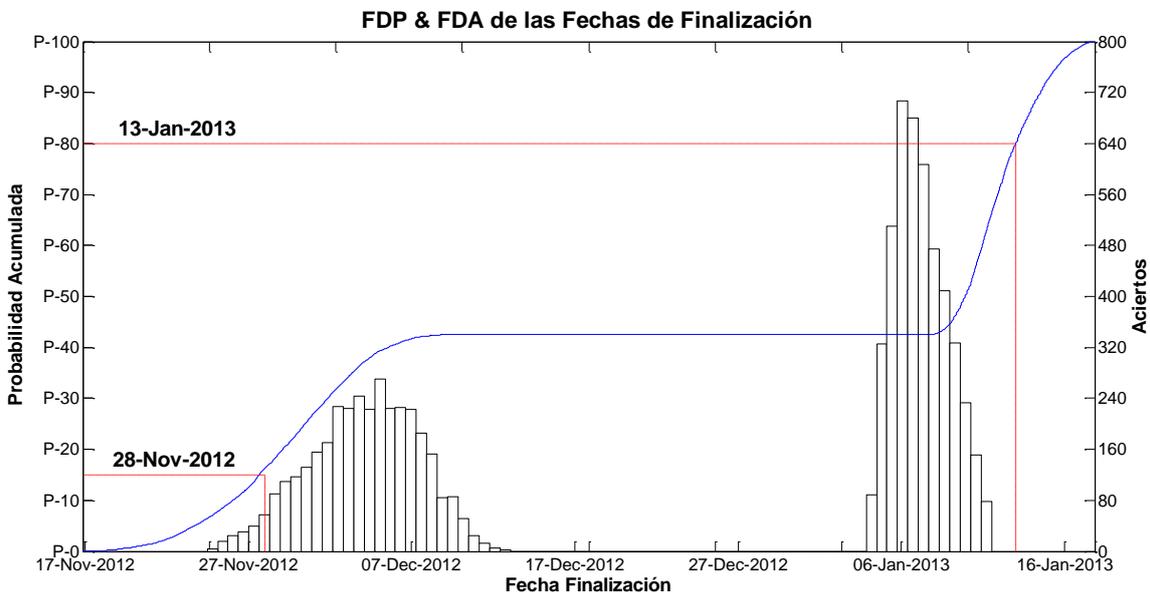


Figura 51. Distribución bimodal de la tarea de solicitud provocada por la congelación

En esta ocasión como la restricción de la congelación es totalmente inflexible no cabría la posibilidad de variar los disparadores para conseguir diferente probabilidad de cumplir objetivos, algo que sí realizamos en el apartado anterior.

Ahora comparamos los dos escenarios descritos, el plan inicial (azul) y el plan de contingencias (cian). Se muestra una vez más la importancia del nivel de confianza, ya que dependiendo del que se adopte, la variación de la fecha media de finalización entre escenarios puede llegar a tener una diferencia máxima cercana a cuatro semanas (línea roja en el P-45).

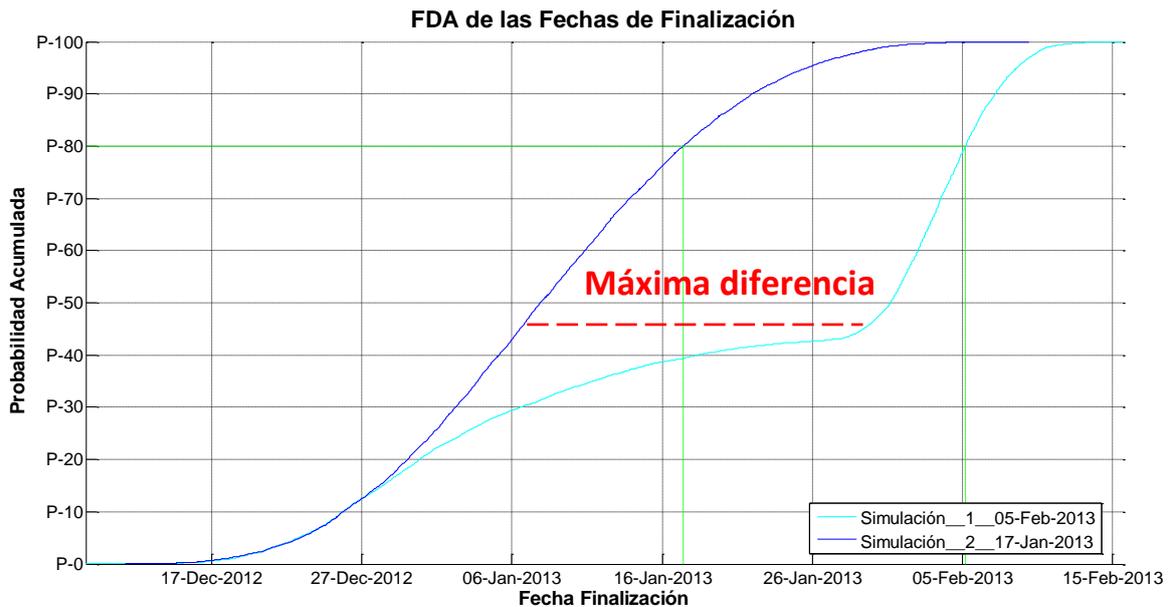


Figura 52. Comparación del plan inicial y del plan con disparador de contingencia

Curiosamente, si usamos el ya recomendado nivel de confianza del P-80, el plan de contingencia tiene una penalización temporal inferior a tres semanas, por lo que queda probado que niveles de confianza altos no penalizan necesariamente en exceso. Con este nivel tenemos una propuesta realista y robusta, necesaria para los eventos de riesgo identificados, que será, sin duda, muy preferible.

5.4.4.1 Efectos colaterales de los disparadores

En último término vamos a ver qué efectos colaterales tiene la introducción de disparadores en la lógica de los proyectos en relación a las dependencias entre elementos, ente caso tareas.

Mostraremos el efecto que tiene sobre la correlación entre la duración de las tareas y la duración final del proyecto. La sensibilidad o correlación es un concepto basado en lo relativo, y no en lo absoluto, por lo que se verá modificada por la alteración de cualquier elemento dentro de la lógica de un plan de proyecto.

En la siguiente gráfica mostramos los niveles de sensibilidad de la duración de las tareas con la duración final del proyecto para la simulación inicial:

5. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación temporal

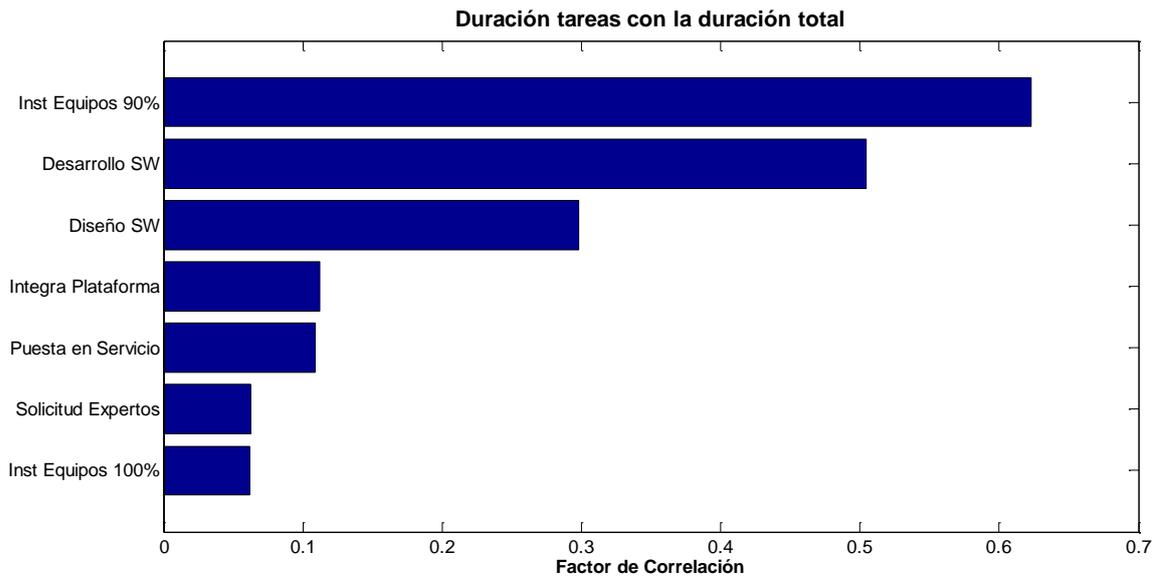


Figura 53. Sensibilidad entre la duración de las tareas y la duración total del proyecto

En la figura se observa una correlación relativamente alta de las tareas de *Instalación de equipos al 90%* y *Desarrollo de Software*. La tarea de *Diseño SW* tiene una correlación media-baja, mientras que la del resto es muy baja. Generalmente, las tareas que pertenecen a rutas paralelas suelen tener una correlación menor, ya que el efecto de los puntos de confluencia atenúa el efecto marginal de cada ruta respecto a la duración total del proyecto.

Ahora mostramos las correlaciones de la simulación en la que introducimos el plan de contingencia para evitar el riesgo que supone la congelación de la red, modelado con el disparador que obliga a retrasar la tarea de *Solicitud de expertos* hasta una fecha que garantice la mitigación el riesgo:

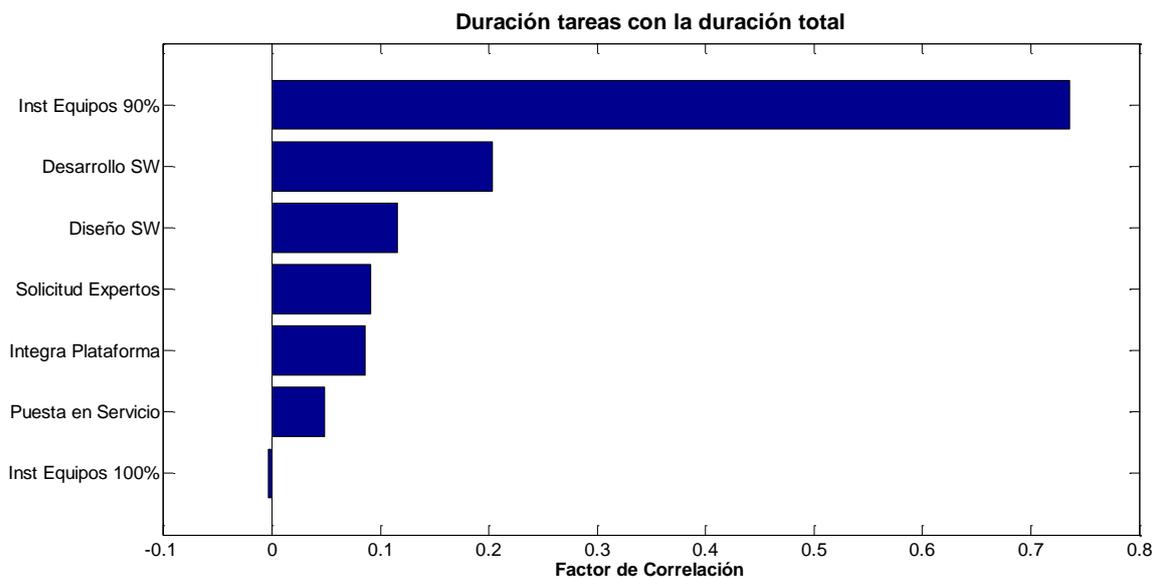


Figura 54. Sensibilidad alterada por la inclusión del disparador de contingencia

Se puede ver que la puesta en marcha de un plan de contingencia afecta considerablemente a las correlaciones de las duraciones de tareas y la duración del proyecto. Concretamente, vemos que se incrementa la dependencia de la duración del proyecto sobre la duración de la tarea de *Instalación de equipos al 90%*, mientras que las del resto descienden drásticamente.

Esto se debe a que el elemento que altera en mayor medida la duración final del proyecto es el disparador que activa el plan de contingencia, y a su vez, este viene determinado principalmente por la duración de la tarea de *Instalación de equipos al 90%*, haciendo que la duración final del proyecto tenga una dependencia muy alta con esta tarea.

El descenso del factor de correlación del resto de tareas no significa que su efecto marginal haya disminuido, sino que se está viendo atenuado por elementos más preponderantes, en este caso la incorporación del plan de contingencia.

5.5 Segmentando los posibles escenarios

5.5.1 Introducción

En la anterior sección hemos mostrado la posibilidad de focalizar más allá de resultados globales, analizando información específica de un elemento como una tarea. Los resultados globales pueden tener validez en el proceso de toma de decisiones de alto nivel, como las estratégicas, pero resultan insuficientes para otras necesidades de los proyectos. Para un análisis completo, será necesario segmentar la información dentro de un contexto o marco. De esta manera, se llega a la idea de distinguir cada escenario factible (y de interés) del plan de proyecto junto con su información específica. A pesar de que la lógica de un proyecto es única, esta puede contemplar varios escenarios, producto de diferentes alternativas como planes de contingencia, en base a restricciones, eventos probabilísticos o condicionales, y caminos paralelos; que cuando tienen lugar, estarán constituidos por las tareas de la ruta crítica más todas las pertenecientes a los caminos paralelos, si existen. En capítulos posteriores veremos que los escenarios dependen de un marco mayor que la lógica temporal, incluyendo también el aspecto económico y riesgos.

Cuando mostramos una distribución de los tiempos de finalización de un proyecto en su totalidad, sin distinción de escenarios, se trata del montante creado con componentes de cada posible ruta, prorrateado por el peso (número de iteraciones sobre el total) de cada una de ellas. Esta información no está segmentada, y puede que no refleje de manera clara lo que puede acontecer previsiblemente.

Desde un punto de vista práctico, la alteración del orden de finalización de una serie de tareas concurrentes (y por tanto de la ruta crítica) no siempre ha de suponer una

variación a considerar del plan, y por ende dos escenarios diferentes a estudiar. Si es más dramático las rutas críticas procedentes de eventos o hitos condicionales, que normalmente llevan asociados cambios más grandes en relación a las otras rutas posibles de la lógica del plan.

Como ya se sabe, un plan de proyecto puede contemplar escenarios que exigen un estudio mayor, bien por su complejidad, oportunidad, o por los resultados indeseados que puede provocar cuando el proyecto discurre por ellos. Cuando se obtiene tras la simulación las FDP de las fechas de finalización, el método Monte Carlo garantiza que se ha tenido en cuenta todas las posibles variantes, pero el hecho de contemplarlos en conjunto puede, sin duda, enmascarar mucha información.

5.5.2 Información implícita: Variación entre escenarios

Vamos a ver qué ventajas nos permite la segmentación de la información en un plan de proyecto que tiene varios escenarios. El simple hecho de que un camino paralelo se realice con más duración que otro puede provocar que se convierta en ruta crítica, pero sin ningún tipo de implicación importante más allá de la alteración del orden de las finalizaciones. Esto es algo que ocurre continuamente en cada iteración cuando simulamos un plan de proyecto, y en verdad, salvo que el Project Manager identifique como un hecho relevante la permutación en la ejecución de actividades, no debería de ser algo de extrema importancia.

Sin embargo, en los planes de proyecto reales con sus múltiples escenarios candidatos, cuando se identifica alguno de especial interés se ha de prestar atención a cada uno de ellos, ya que:

- Para escenarios de especial interés, la información puede estar localizada dentro de la parte más densa de las FDP de resultados totales, por lo que no será fácilmente identificable. Visto de otra manera, sólo si un escenario (con menor o mayor probabilidad de ocurrir) tuviera resultados muy dispares al resto sería fácilmente apreciable en las FDP de resultados, creando una distribución bimodal (o multimodal en caso de varios escenarios), pero esto no siempre ocurre.
- El permutar la lógica entre los posibles escenarios puede ser de extrema importancia si alguno de ellos puede, por ejemplo, tener como parte de sus actividades un recurso escaso que requiere una planificación precoz. Más adelante, cuando se introduzca el elemento coste, observaremos las variaciones económicas que pueden proporcionar las diferentes rutas.

De esta manera, dado que el método Monte Carlo permite realizar una minería de datos profunda al disponer de todo el flujo de información (de cada elemento, iteración, y variable del modelo), si identificamos la información de interés podemos desarrollar módulos que nos aporten una síntesis de calidad.

Se va a ilustrar lo anteriormente descrito, usando el plan de proyecto del ejemplo anterior, el cual posee diferentes rutas críticas tanto por la existencia de caminos paralelos como la inclusión del plan de contingencia para evitar la congelación de red. Vamos a compararlas haciendo uso de la funcionalidad de segmentación de escenarios del simulador, mostrando de nuevo los resultados obtenidos para los tiempos de finalización del proyecto completo:

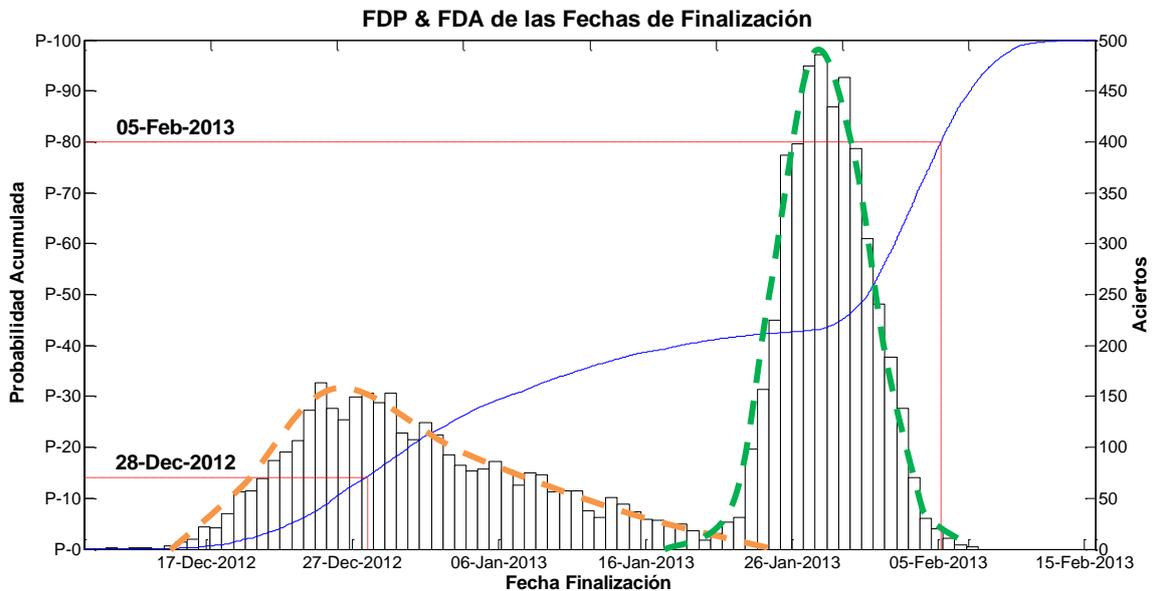


Figura 55. Escenarios diferenciables en la FDP de resultados totales

En un primer golpe de vista, podemos diferenciar dos escenarios claros (naranja y verde), provocados por la inclusión del plan de contingencia. Un Project Manager inexperimentado podría sentirse satisfecho con la información obtenida, pero la experiencia de la realidad de gestión de proyectos hace que el profundizar en cada una de las posibilidades sea un factor diferenciador que lleve al éxito en la consecución. Disponer de información detallada de cada escenario posible permite:

- Poder localizarla con exactitud en el calendario cuando tendrá lugar cada evento o hito, permitiendo hacer una planificación de recursos específica, o comprobar si se comprometen riesgos específicos.
- En caso de desarrollarse el proyecto por una ruta ya identificada, conocer mejor que cabe esperar en los eventos futuros de la misma, con información más focalizada.

Este plan contiene varias rutas críticas. Algunas de ellas son producto de caminos paralelos que confluyen en un nodo, mientras que otras son producto del evento condicional (disparador) del plan de contingencia, que suelen ser los de mayor efecto, creando una diferenciación clara en la distribución como hemos visto anteriormente. Lo cierto es que el dinamismo de cada iteración producirá todo el abanico de rutas

críticas posibles, las cuales se aúnan en la FDP de resultados de la figura anterior enmascarando resultados.

Antes de continuar debemos establecer la segmentación requerida, determinada en este caso por dos elementos principales de la lógica del plan de proyecto, el disparador y los dos caminos paralelos. Esta segmentación configura seis escenarios posibles, que son tres rutas críticas diferentes por cada posibilidad del disparador, es decir, que se ejecute el plan de contingencia o no.

Es importante resaltar que la existencia de varias rutas críticas no implica necesariamente varios escenarios. El concepto de escenario se basa en una ruta crítica o conjunto de estas que el Project Manager considera que tienen un especial interés o particularidad. En este caso vamos a mostrar todas las posibles variantes, pero veremos que no toda la información segmentada ha de aportar datos de utilidad adicional, aunque con que se identifique una sola particularidad de interés, este análisis ya habrá valido la pena realizarlo.

A continuación vamos a mostrar las distribuciones de posibles escenarios cuando el evento condicional (disparador del plan de contingencia) tiene lugar:

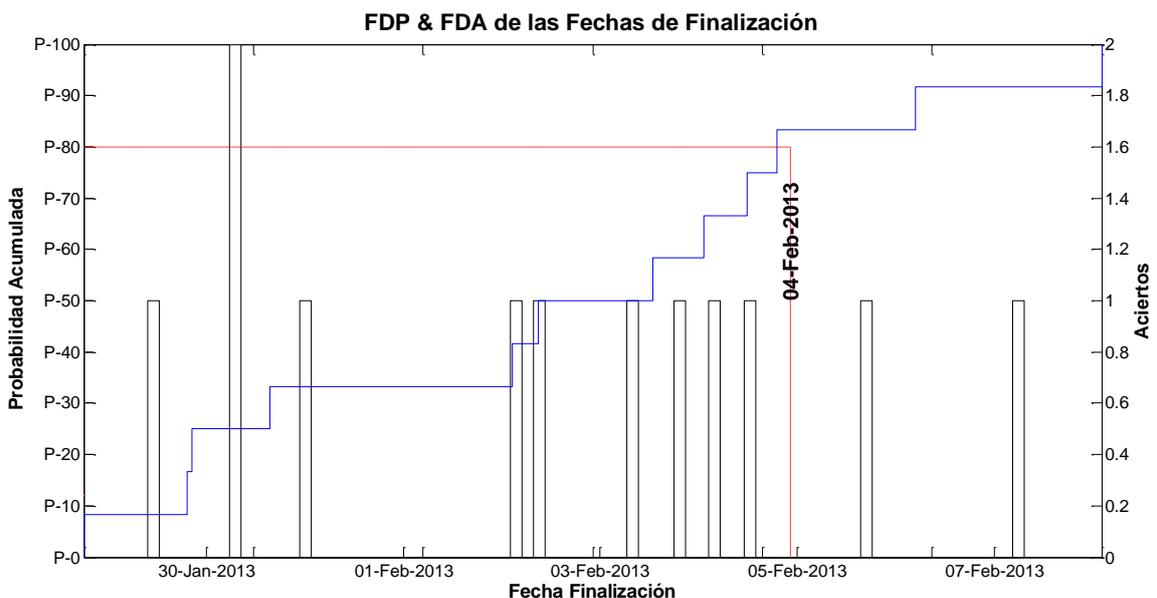


Figura 56. Resultados del primer escenario

La gráfica superior pertenece al escenario cuya ruta crítica discurre por las *Actividades HW* (Figura 47) y la fecha del punto de confluencia viene determinada por la finalización de la tarea *Instalación de equipos al 100%*. Rápidamente vemos que la FDP tiene una forma inusual, provocada por una cantidad muy baja de iteraciones que pertenecen a este escenario. Esto nos hace saber que será muy inusual que se dé lugar a que exista holgura para la *Solicitud de los expertos* cuando el plan de contingencia se ha activado por un retraso excesivo en la tarea de *Instalación de equipos al 90%*.

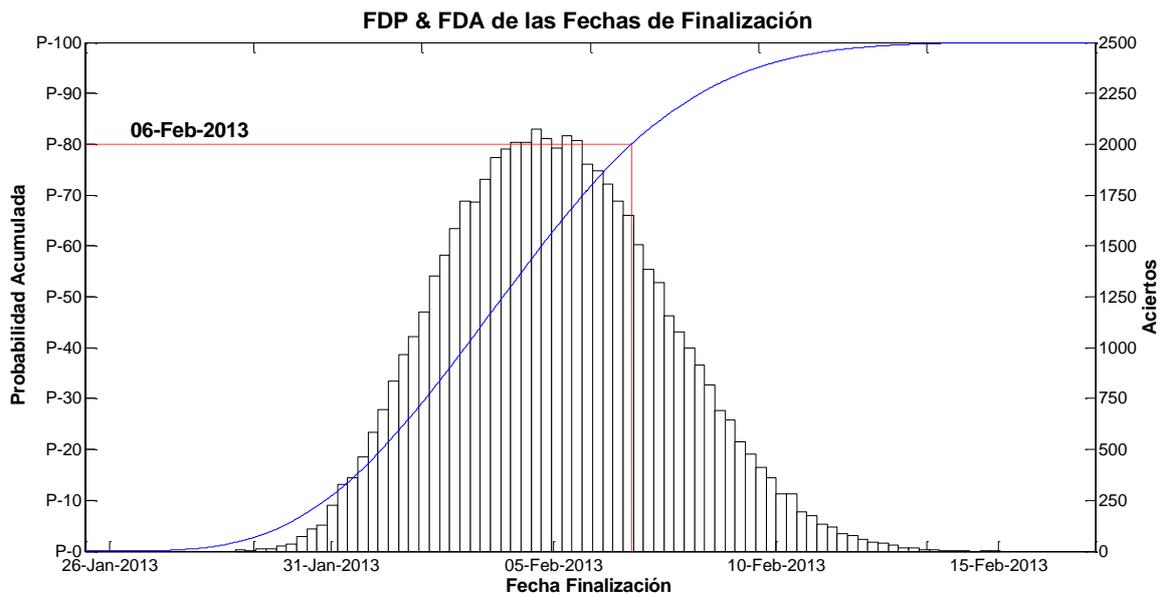


Figura 57. Resultados del segundo escenario

Esta gráfica representa el escenario en el cual la holgura del punto de confluencia pertenece a la tarea *Instalación de equipos al 100%*, al contrario que el anterior. Su distribución es más esbelta por un mayor número de iteraciones que la conforman, siendo el más común si el plan de contingencia se activa.

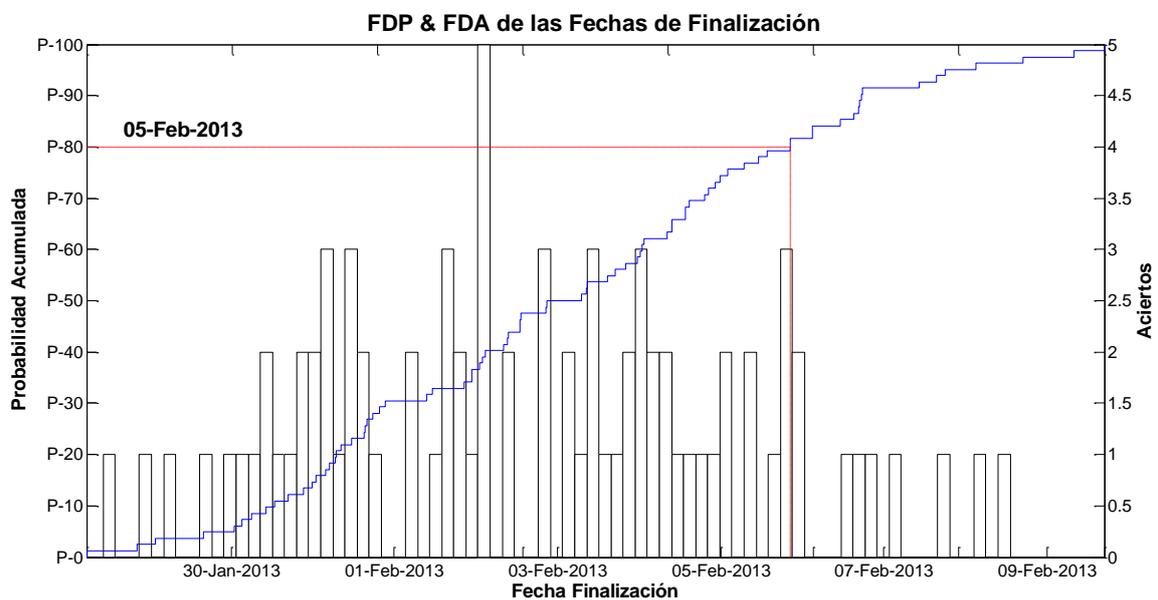


Figura 58. Resultados del tercer escenario

El último escenario posible cuando se activa el plan de contingencia es que la ruta crítica venga condicionada por la duración de las *Actividades SW*. De nuevo, vemos una distribución poco estilizada por la falta de volumen de iteraciones, indicando que es poco probable que pueda existir holgura en las *Actividades HW*.

5. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación temporal

Las distribuciones resultados de estos tres escenarios recalcan dentro de la segunda moda (verde) de la Figura 55, aunque el primero y tercero son poco fiables por ser poco usuales. A continuación mostramos los resultados de los escenarios cuando no se lleva a cabo el plan de contingencia:

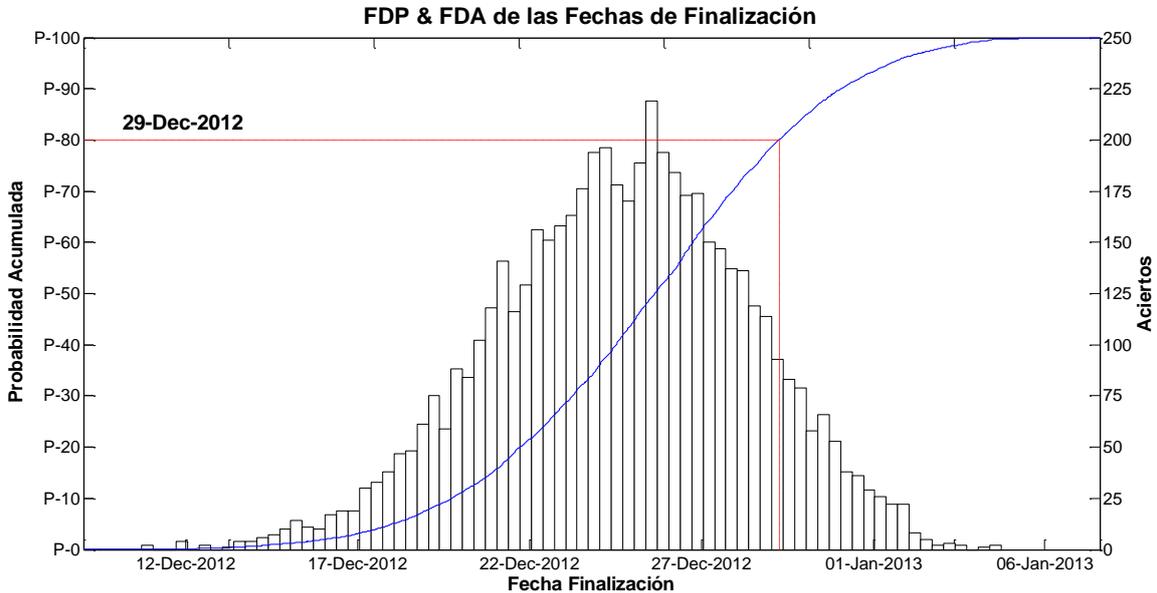


Figura 59. Resultados del cuarto y quinto escenario

Los dos escenarios donde no se lleva a cabo el plan de contingencia y que tienen como parte de su ruta crítica las *Actividades HW*, tiene una distribución idéntica. Esto se debe a su similar duración y que el elemento antecesor de ambos es idéntico, ya que no hay ningún disparador que desplace ninguno de ellos. También vemos su efecto preponderante a la hora de originar la primera moda (naranja) en la Figura 55.

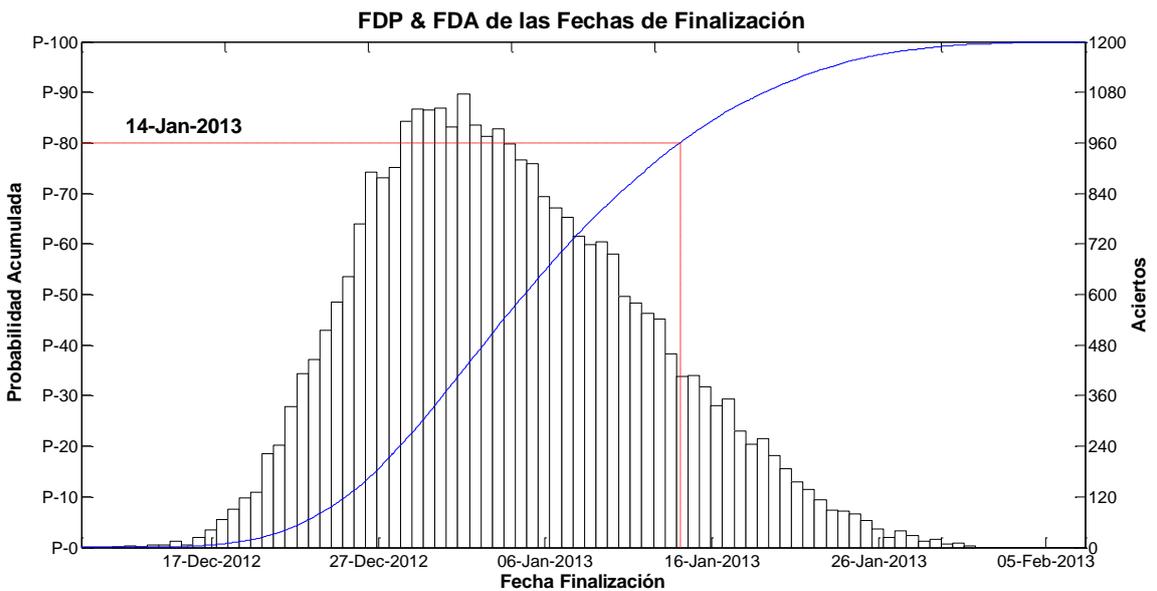


Figura 60. Resultados del sexto escenario

Por último, el escenario cuya ruta crítica está condicionada por las *Actividades SW* es el más probable cuando no se activa el plan de contingencia (debido a su alto número de iteraciones), por lo que cabe esperar cierta holgura en las *Actividades HW*. Si estudiamos su distribución vemos que es el escenario más enmascarado por los resultados globales, su nivel de confianza del P-80 se encuentra el 14 de enero, totalmente enmascarado entre medias de las modas visibles de la Figura 55, por lo que es muy útil su identificación.

Con este análisis más profundo de la distribución de fechas de finalización de cada escenario el Project Manager podrá tener una visión más clara de lo que puede acontecer, tanto en el principio como durante la ejecución del proyecto, siendo capaz de disponer de estimaciones más precisas para planificar con anticipación. La fiabilidad de los resultados de cada escenario es muy dependiente de su volumen, y aunque los histogramas nos dan buena idea de ello, conviene recordar la funcionalidad de índice crítico expuesta en un apartado anterior.

Se puede pensar que el ejercicio anterior no es excesivamente revelador, pero cuando se tiene planes de proyecto con órdenes de decenas de actividades no será tan sencillo *predecir a ojo* las posibles particularidades de cada ruta, e incluso los propios escenarios. Cuando se incluya los datos económicos del proyecto, que introduciremos más adelante, obtendremos todo el potencial que ofrece la segmentación.

Habiendo estudiado gran parte de las posibilidades que contiene la planificación temporal en materia de riesgos, en el capítulo siguiente vamos a explorar otras dependencias entre tareas que van más allá de su relación lógica.

6 Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto

6.1 Introducción

En el análisis de riesgos de un proyecto no se espera que todos los objetivos (tiempo, coste, calidad, alcance,...) se den lugar en su versión más pesimista u optimista. Este tipo de situaciones límite son más improbables e irrealistas. Hasta el momento, hemos simulado los planes de proyecto con elementos que varían de manera totalmente aleatoria según su distribución de probabilidad, sin ningún tipo de dependencia entre ellas más que la lógica impuesta del plan. Esto tiene un efecto cancelador en los resultados, ya que en muchas de las iteraciones ocurrirá que ciertos elementos son simulados con un valor bajo dentro de su distribución, mientras a otros se les otorga valores altos, equilibrando así el resultado final.

Desde un punto de vista analítico, la distribución de probabilidad de los resultados se forma albergando el mayor número de iteraciones alrededor de la moda (o modas, si fuera multimodal), limitando el efecto de las colas de la distribución. Desde un punto de vista práctico, iteraciones que constan de valores extremos para cada elemento podrían reflejar en muchos de los casos situaciones inverosímiles, teniendo sentido el pensar que estos elementos pueden tener una dependencia entre ellos más allá de la lógica temporal de plan de proyecto.

Un ejemplo evidente es la dependencia del tiempo requerido para las tareas de diseño e implementación de un entregable cualquiera. Es razonable pensar que si la actividad de diseño tiene una mayor complejidad que la inicialmente estimada, requiriendo una mayor duración, la tarea de implementación tendrá una alta probabilidad de ser más compleja, requiriendo también una mayor duración. De igual manera, oportunidades optimistas conducirán seguramente a ambas tareas a tiempos de duración menores. No todas las tareas necesariamente serán dependientes entre ellas, pero si modelamos este fenómeno entre las que lo son, los resultados serán de una mayor calidad, al contemplar sólo escenarios que reflejan casos no sólo posibles, sino más realistas.

6.1.1 Dependencia entre elementos

Una vez que sabemos de la existencia de dependencias intrínsecas entre los diferentes elementos que conforman un proyecto en toda su dimensión, hemos de esclarecer a que se debe este efecto. Cuando dos elementos están relacionados entre sí, esta relación viene dada fundamentalmente por un factor que tienen ambos en común. En el ejercicio de esclarecer el factor común que puede alterar de manera

simultánea tanto el tiempo como el coste, se llega a la conclusión de que este es el que nos vienen ocupando a lo largo de todo el documento, el riesgo.

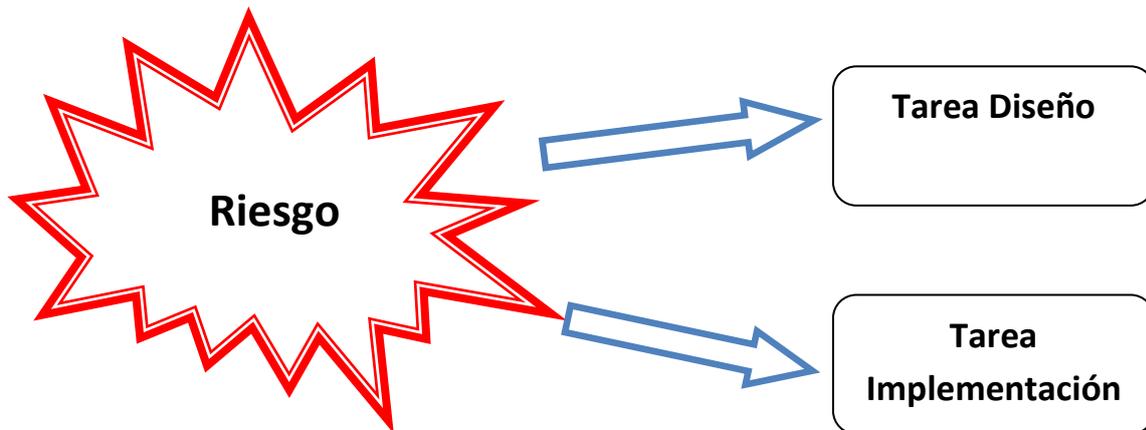


Figura 61. Un evento de riesgo define la dependencia entre actividades

En las diferentes formas que se puede manifestar, el riesgo es un factor externo a los elementos de la lógica de plan, aunque implícito del proyecto, que causa el efecto de correlacionar. En el ejemplo que se describe arriba, el riesgo que causa la correlación entre el diseño y la implementación podría ser la complejidad. Este caso es sencillo, pero a menudo el proceso de definir el riesgo fundamental que conduce a un grupo de elementos (al menos a una pareja) a estar relacionados entre sí no siempre es fácil por lo implícito de su naturaleza. Algunos ejemplos de riesgos que afectan a más de un elemento provocando correlación son:

- Productividad del capital humano. El rendimiento de las personas implicadas puede tener un alto impacto en el tiempo requerido o en el coste asociado a los recursos tiempo-dependientes.
- Complejidad del alcance del proyecto. Como se ejemplifica, este riesgo puede afectar a un grupo de tareas de un proyecto.
- Situación macroeconómica. El coste de servicios o recursos necesarios en distintas etapas de un proyecto pueden tener impacto en la variación del presupuesto según la ley de la oferta y la demanda.

A la hora de hablar de correlación es importante matizar su diferencia con la causalidad. Genuinamente, la correlación no tiene por qué implicar causalidad, por lo que hay que estudiar en contexto de las dependencias que pueden estar avaladas en primer lugar por resultados cuantitativos, para elaborar conclusiones acertadas.

En verdad, lo que conduce a variar el tiempo de dos tareas dependientes no es el propio tiempo de alguna de ellas, sino el riesgo que afecta a ambas. Desde el punto de vista de los costes también tenemos la existencia de efectos similares, en los que si el coste de un par de tareas está afectado por un riesgo existente, también reconoceremos causalidad en ese caso.

6.1.2 El fenómeno de la correlación

La correlación se define como la dependencia estadística entre dos elementos. Esta dependencia se refleja mediante unos coeficientes de correlación, teniéndose como los más comunes los coeficientes de *Pearson*. Los diferentes tipos de coeficientes permiten reflejar valores más sensibles a diferentes dependencias existentes. En el caso de los coeficientes de *Pearson*, están definidos para dependencias de carácter lineal. En verdad, la decisión del tipo de coeficiente tiene una suposición implícita sobre el tipo de dependencias que modelaremos. Parece razonable pensar que salvo en casos muy concretos, las dependencias temporales y económicas serán en su mayoría próximas a las lineales por su naturaleza. Aunque los coeficientes se definen para una dependencia entre pares, ha de tenerse en cuenta que el ente generador de esta, en este caso el riesgo, puede afectar a más de dos elementos simultáneamente.

El coeficiente de correlación de *Pearson* se simboliza con la letra $\rho_{X,Y}$, siendo la expresión que nos permite calcularlo:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y}$$

Donde:

- σ_{XY} es la covarianza de (X,Y)
- σ_X es la desviación típica de la variable X
- σ_Y es la desviación típica de la variable Y

Este coeficiente de correlación tiene un rango de valores posibles, entre -1 y 1 (determinado por la *Desigualdad de Cauchy-Schwarz* [2]):

- **Correlación positiva:** Existe cuando el aumento (o disminución) del valor de uno de los elementos (tiempo o coste), hace que el otro elemento correlacionado también varíe de la misma manera. Este es el tipo de correlación más común en el análisis de riesgos por su naturaleza.
- **Correlación negativa:** Existe cuando el aumento (o disminución) del valor de una de las variables (tiempo o coste), hace que el otro elemento correlacionado varíe de manera inversa. Este es el tipo de correlación es poco común en el análisis de riesgos en proyectos, dándose sólo en casos muy particulares.
- **Independencia:** Este es el caso que se viene tratando hasta que se ha introducido el concepto de correlación. Los elementos no tienen ningún tipo de relación entre ellos, y las iteraciones contendrán unos valores totalmente aleatorios, pudiendo considerar escenarios irreales.

Estos son los intervalos, pero salvo el de independencia, los otros dos tienen un rango completo que determina el grado de la relación entre los elementos. Este es un aspecto de gran importancia, ya que este grado de relación afectará los resultados ampliamente según se fije. La elección del coeficiente de correlación es uno de los puntos más delicados a la hora de incorporar este fenómeno, siendo una de las labores más complejas para completar el modelo del plan a simular.

Con el ánimo de aliviar algo la complejidad, se ha de proponer la posibilidad de usar valores predefinidos para los coeficientes. Esto simplificará las dudas a la hora de definir un valor específico, haciéndolo más intuitivo. Esta metodología propone el uso de cuatro grados de dependencia, suficientes para modelar y que pueden ser fácilmente descritos y entendidos para una sencilla aplicación:

- Independencia: Valor del coeficiente = 0
- Dependencia baja: Valor del coeficiente = 0.25
- Dependencia moderada: Valor del coeficiente = 0.5
- Dependencia alta: Valor del coeficiente = 0.9

Al asignarlos un descriptivo, ayudará a la velocidad de decisión, requiriendo una menor sensibilización de los consultados para este tema.

Para su elección, se tendrá que tener en cuenta mayoritariamente estas condiciones:

- El riesgo ha de ser común. Si el riesgo ocurre, tendrá influencia necesariamente sobre ambos elementos del proyecto.
- En caso de ocurrencia, ha de valorarse en qué grado afecta a cada elemento, ya que la ocurrencia de un riesgo puede tener implicaciones altas sobre, por ejemplo, la duración de una determinada tarea, pero leves sobre otra.

En el segundo punto anterior, tiene algunas consideraciones implícitas. Es posible que elementos correlacionados por un mismo riesgo, tengan a su vez otros riesgos asociados, pero no comunes a ambos. Es la combinación de los diferentes riesgos entre los diferentes elementos lo que produce que los coeficientes no reflejan absoluta dependencia (igual a 1 ó -1) o independencia (igual a cero).

Cuando tenemos la situación de que la correlación entre una pareja de tareas viene determinada sólo por un riesgo, como en la Figura 61, tendremos un caso de correlación positiva perfecta (100%), como muestra el siguiente el gráfico de resultados que produce tal situación:

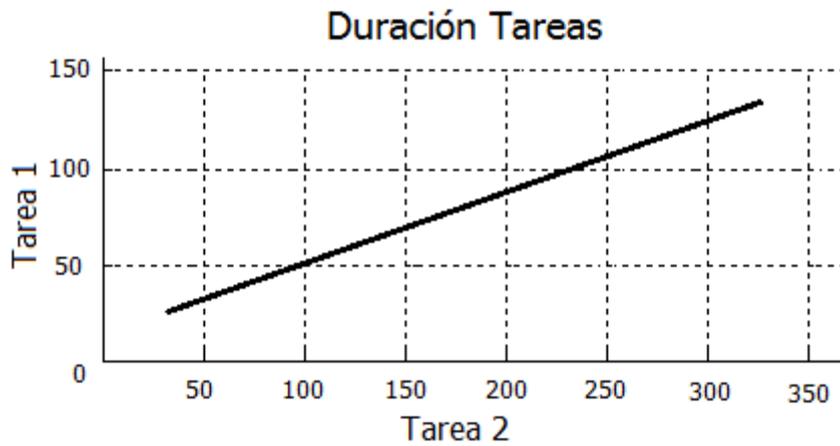


Figura 62. Correlación perfecta producida por un solo riesgo

Si ahora a esos elementos del proyecto les incluimos otros riesgos que les afectan de manera específica a cada uno, se produce una debilitación de la dependencia al riesgo inicial:

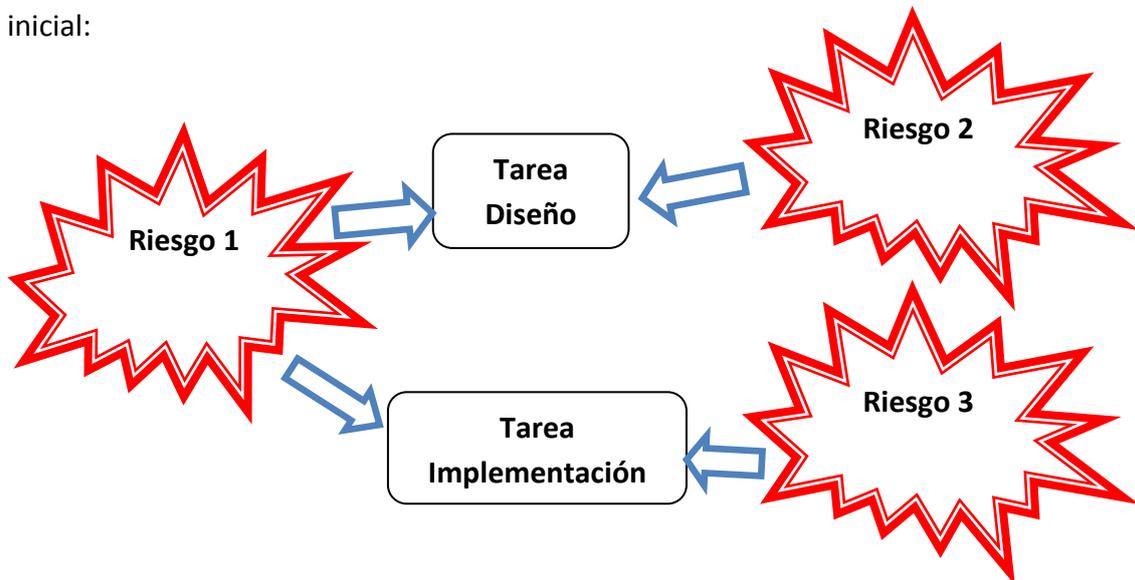


Figura 63. Tareas con un riesgo en común y riesgos específicos

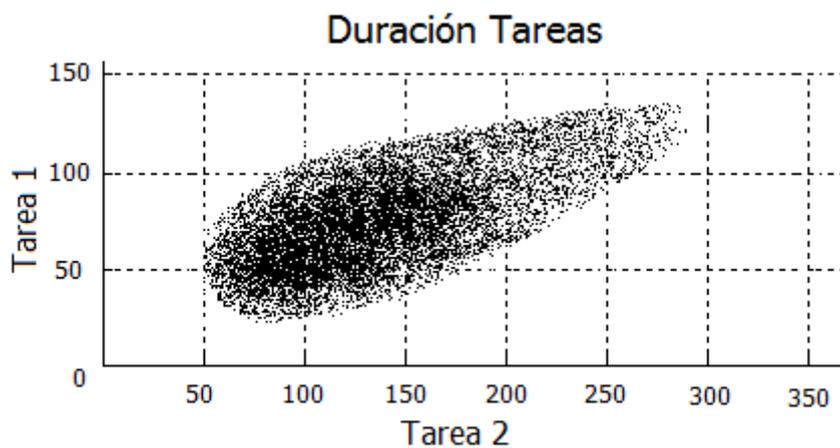


Figura 64. Dependencia difusa cuando intervienen riesgos no comunes

6.2 Implementando la correlación

Cuando un Project Manager desea modelar el efecto de la correlación entre elementos, tiene lugar uno de sus cometidos más complicados, debido a su abstracción. Para concretar esta información tiene como principal vía las reuniones con los expertos e implicados como se describe en el Capítulo 4. Es inusual disponer de datos históricos sobre este fenómeno, debiéndose principalmente a una falta de cultura corporativa en la gestión del riesgo. La gran utilidad que puede tener un informe una vez finalizado el proyecto, donde se plasma el trabajo realizado incluyendo estos parámetros, hace pensar que sea imprescindible en una organización que pretende tener una cultura del *Project Management* avanzada.

La imposibilidad de disponer de una información histórica complica la labor. La dificultad en determinar esta información no puede suponer que se pueda acabar ignorando, puesto que como hemos descrito anteriormente, tiene una validez capital. Algunas dificultades que se encuentran a la hora de fijar estos coeficientes son:

- Las personas que tiene que facilitar esta información al Project Manager no están familiarizadas con este concepto.
- El ajuste del grado no es sencillo. Podemos preguntarnos qué coeficiente asignaríamos a dos elementos que creemos fuertemente correlacionados.
- ¿Podrían varias personas estar de acuerdo en que una dependencia es fuerte y proponer diferentes coeficientes?
- ¿Podrían varias personas estar en desacuerdo sobre el grado de dependencia y proponer coeficientes similares?

Si pensamos en las dos preguntamos qué plantemos arriba, vemos que ambas son posibles, desconcertándonos aún más. Se deberá cotejar las opiniones recibidas, dándoles un mayor peso según la fuente, principalmente por la experiencia y rol. Esto es una de las cosas que hace que la labor de Project Manager tenga, además de una componente metódica, una intuitiva. Al margen de la dificultad que entraña, es razonable pensar que a medida que esto forme parte del proceso de elaboración de los planes de proyecto de una organización, el equipo de proyecto se irá sintiendo más cómodo a la hora de fijar estos parámetros.

No siendo suficiente con fijar los coeficientes, existe una etapa posterior que de nuevo pone en manifiesto la dificultad de modelar la correlación entre los elementos de un plan de proyecto. Una vez decididos, estos coeficientes se tienen que organizar en una matriz de correlación, que define convenientemente a que pareja de elementos pertenece cada coeficiente. Esta matriz es una matriz simétrica, con la diagonal unidad, reflejando que la correlación de un elemento con sí mismo es absoluta. La dificultad se añade al conformar esta matriz, ya que ha de ser plenamente *coherente*.

6. Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto

Cada coeficiente se ha determinado generalmente por separado, pero se ha de tener presente que la matriz de correlación no es otra cosa que un sistema de coeficientes, y estos tienen que estar en una cierta armonía o coherencia. La necesidad de coherencia a menudo obliga a modificar, en cierta medida, el trabajo realizado para la determinación de estos coeficientes, con lo que puede llegar a resultar un poco frustrante. Para ilustrar la coherencia necesaria por la matriz de correlaciones vamos a exponer un sencillo ejemplo:

- El coste del elemento *A* está fuertemente correlacionado con el coste del elemento *B*.
- El coste del elemento *B* está fuertemente correlacionado con el coste del elemento *C*.

A la hora de definir el coeficiente entre los elementos *A* y *C* se ha podido tener en cuenta (o no) las dos relaciones anteriores, pero la lógica induce a pensar que casi con total probabilidad, el coste de *A* con *C* debería de estar fuertemente correlacionado. ¿Qué ocurre si se hubiera propuesto una relación medianamente débil? En ese caso, estaríamos hablando de una matriz incoherente, ya que las relaciones entre sus coeficientes no responden a una coyuntura factible. A continuación mostramos una matriz que podría representar el ejemplo anterior:

	Diseño	Implementación	Pruebas
Diseño	1	0,85	0,85
Implementación	0,85	1	0,15
Pruebas	0,85	0,15	1

Tabla 8. El ejemplo refleja una matriz incoherente

Los expertos podrían insistir en que los coeficientes propuestos son los correctos, pero estos deberán ser modificados si se desea tener un sistema coherente. Para lograr la coherencia, tenemos diferentes posibilidades:

- Incrementar la magnitud de la relación de *A* con *C*.
- Relajar la relación de *B* con *C*, hasta un punto intermedio que pueda satisfacer ambas premisas. Esto no siempre es posible, el propio sistema de coeficientes determina la holgura implícita o margen de variación del que se dispone. Este puede no ser lo suficientemente laxo como para que la variación de un solo coeficiente pueda satisfacer el sistema.
- Relajar ambas relaciones, *A* con *B* y *B* con *C*, acercándolas a valores más próximos a la relación de *A* con *C*.
- Modificar todos los coeficientes, aumentando los valores más bajos (*A* con *C*) y disminuyendo los más altos (*A* con *B* y *B* con *C*).

Este caso de ajuste es el más básico, con sólo tres variables, pero da una idea de la complejidad que puede entrañar crear un sistema coherente de coeficientes cuando tenemos una matriz de un tamaño considerable. Afortunadamente, existen herramientas matemáticas que nos ayudan a conocer si la matriz inicialmente propuesta es una matriz coherente con criterios objetivos, y también a ajustarla (con la mínima variación posible) en caso que no lo sea, para darla validez.

Para saber si una matriz de correlación es coherente se debe cumplir la condición de que sea una matriz definida positiva, ya que es la forma normalizada de la matriz de covarianzas, y esta matriz está construida por las varianzas de variables aleatorias reales (que no son negativas) y es simétrica, requiriendo el mismo criterio. En realidad, esta necesidad tiene otra justificación, puesto que los procesos de ajuste de los coeficientes para dar validez a la matriz, así como algunos métodos de generación de variables correlacionadas (que veremos posteriormente), requieren de la *Factorización de Cholesky* [21], una operación que sólo se puede realizar sobre matrices definidas positivas. La condición de ser definida positiva se puede comprobar a través del *test de los autovalores*, el cual se expone en el Apéndice B.

En caso de que la matriz no cumpla los requisitos, deberemos realizar el ajuste para convertirla en definida positiva. No hay una forma comúnmente establecida, existiendo varios métodos o algoritmos que producirán, en muchos casos, resultados diferentes. La razón de la existencia de varias formas recala en la naturaleza del problema, donde sabemos que una matriz incoherente, tendrá múltiples soluciones para ajustarla a la condición de definida y positiva dentro de una cierta holgura definida por el propio sistema de coeficientes. Para todo el abanico de posibilidades, en el desarrollo del simulador para este proyecto se ha optado por el *Método de la descomposición espectral* [21] por su claridad y eficiencia. Para el caso anterior, la matriz después del ajuste quedaría de la siguiente manera:

	Diseño	Implementación	Pruebas
Diseño	1	0,7665	0,7665
Implementación	0,7665	1	0,175
Pruebas	0,7665	0,175	1

Tabla 9. Resultado de la matriz incoherente ajustada

Este método realiza un ajuste de todos los coeficientes de la matriz para convertirla en definida positiva, pero tiene implicaciones importantes, pudiendo ser perfectamente desaprobado por implicados en el proyecto:

- Cuando se está convencido del valor asignado a algún coeficiente que ha sido demasiado modificado por el método de ajuste.

6. Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto

- Los coeficientes que inicialmente reflejaban total independencia (nulos), pueden ser modificados ($\neq 0$), aunque de manera leve, eliminándola.

Estos dos puntos expuestos hacen ver que el proceso de modelar las correlaciones entre elementos del plan de proyecto es una tarea, en parte, frustrante. La definición de cada uno de los coeficientes necesita un minucioso proceso de reuniones, valoraciones y conocimientos, para que luego esta información pueda ser sesgada por otros procesos posteriores. Lógicamente, esto lleva a los Project Mangares a plantearse dudas de cuanto merece la pena invertir recursos para este cometido en el desarrollo de un plan.

A pesar de los problemas encontrados la receta para modelar la correlación no acaba aquí. Con los coeficientes definidos y una matriz coherente (habiendo sido ajustada si fuera necesario), ahora toca la generación de las variables correlacionadas. De nuevo, no existe una forma comúnmente establecida, existiendo varios métodos o algoritmos posibles, cada uno de ellos con sus ventajas e inconvenientes. Algunos de los métodos requieren complejas teorías estocásticas, mientras que los más asequibles de implementar no tienen la calidad necesaria para ser usados. De nuevo, nos encontramos con una información difícil de tratar, que requiere procesos que la adulteran hasta el punto de que puede diferir mucho de lo inicialmente definido. Tratando de aportar la máxima operatividad a esta necesidad, en el simulador desarrollado para la metodología se ha empleado un enfoque sencillo pero potente, basado en la *Permutación de series temporales* usando el algoritmo propuesto por Ronald L. Iman y William J. Conover [16].

Todo el tema relacionado con teoría y fundamentos matemáticos de en este apartado se expone en profundidad en el Apéndice B para el lector más interesado.

6.2.1 Poniendo en práctica la correlación

Ahora que estamos familiarizados con la necesidad de correlacionar elementos de un plan de proyecto vamos a mostrar los efectos de este fenómeno entre los tiempos de finalización de unas tareas, para ver cómo afecta a su duración. En primer lugar vamos a simular un plan de proyecto simple, que consta de tres tareas consecutivas, con dependencias *Fin a Comienzo*:

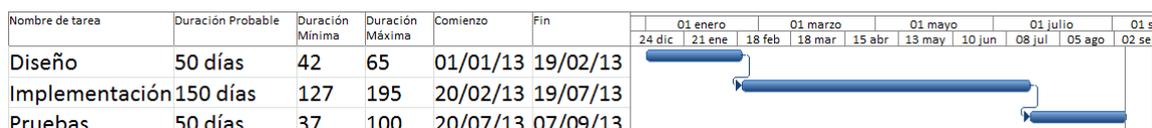


Figura 65. Gantt de proyecto para poner en práctica la correlación

Simulando el plan sin ningún tipo de relación implícita entre ellas (no correlacionadas por riesgos) los resultados que se obtienen son los siguientes:

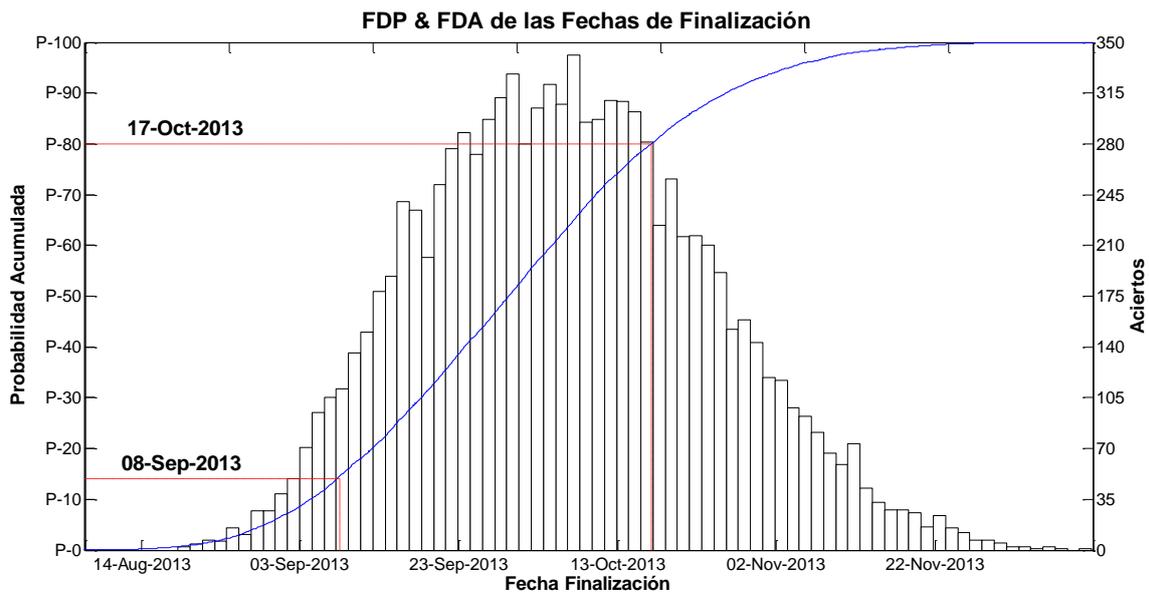


Figura 66. Resultados de las fechas de finalización sin correlación

Si simulamos la existencia de correlación, según los siguientes parámetros:

	Diseño	Implementación	Pruebas
Diseño	1	0,9	0,9
Implementación	0,9	1	0,9
Pruebas	0,9	0,9	1

Tabla 10. Matriz de correlación de tareas con coeficientes altos

Esta matriz de correlaciones propuesta resulta ser una matriz coherente, no requiriendo ningún tipo de ajuste, que representa actividades altamente correlacionadas entre todas ellas. Simulando el plan con estas relaciones tenemos:

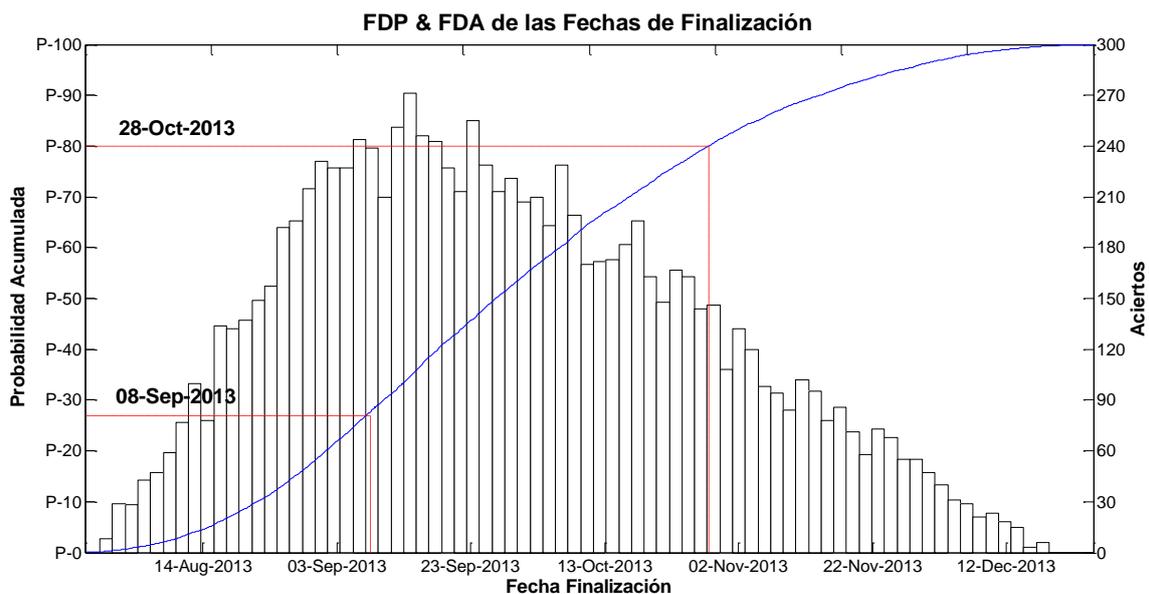


Figura 67. Resultados de las fechas de finalización con correlación

6. Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto

Nótese que, una vez incorporada la correlación para modelar dependencias en riesgos, ocurren las siguientes diferencias en los resultados en comparación al escenario que no las contempla:

- La probabilidad de finalizar antes de la fecha determinística (7 de septiembre) incrementa del 13% al 27%.
- La desviación estándar incrementa de 20 días a 31 días.
- Para un nivel de confianza del P-80, la fecha se sitúa en el 28 de octubre, casi dos semanas más tarde.
- La fecha media de finalización es el 30 de septiembre, prácticamente igual.

Los resultados muestran que al incorporar la correlación se extiende los dos extremos de la distribución de probabilidad. Esto tiene dos implicaciones importantes, la primera es que se limita la necesidad de ampliar los rangos de las distribuciones para ajustarlas a impactos mayores cuando se creen en principio insuficientes (este problema se aborda en el apartado 4.1.2.2). La segunda es la criticidad del nivel de confianza de estimación, ya que según la cultura de la organización u objetivos propuestos, los niveles de confianza más altos sufren la necesidad de una mayor provisión de cara a contingencias, mientras que los medios o bajos, tienen igual o mejores resultados. Esto se ve con claridad si comparamos las FDA de los dos ejemplos:

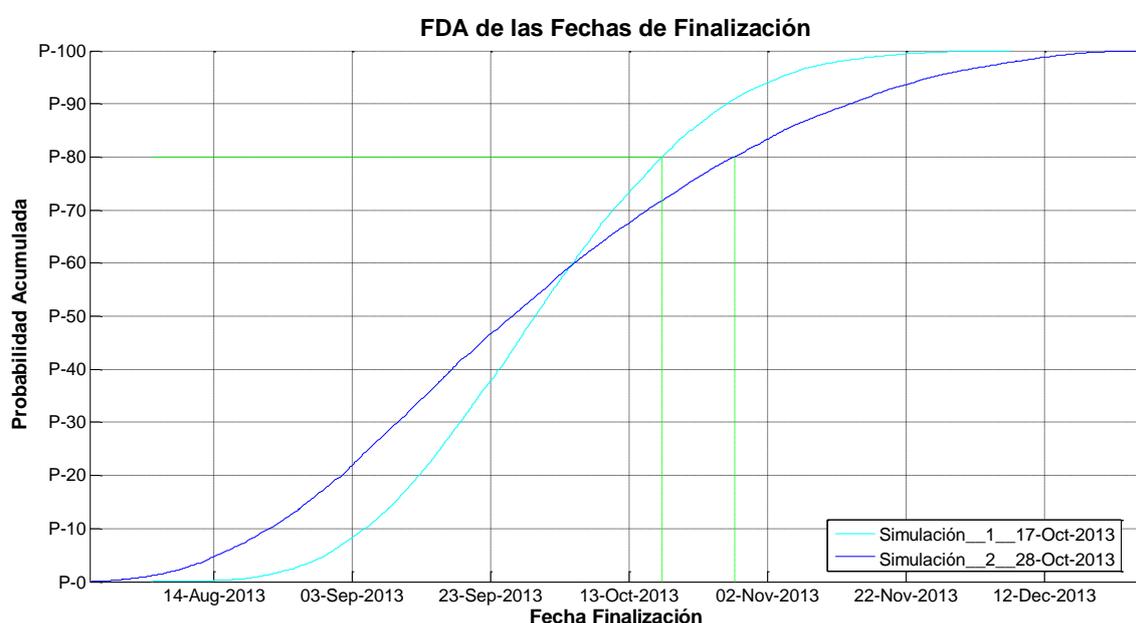


Figura 68. Comparación de los resultados según la correlación

Como hemos visto la mayoría de los proyectos contienen más de un escenario en su lógica, y esto tiene un efecto importante cuando se modela la correlación. Para verlo, vamos a simular ahora un segmento de un plan de proyecto con dos caminos paralelos, *Actividades SW* y *HW*, en los cuales las tareas de cada camino están correlacionadas, pero no existe correlación entre los caminos. Para poder extraer

resultados concluyentes, los caminos son iguales que el ejemplo anterior, permitiéndonos hacer una comparación directa:

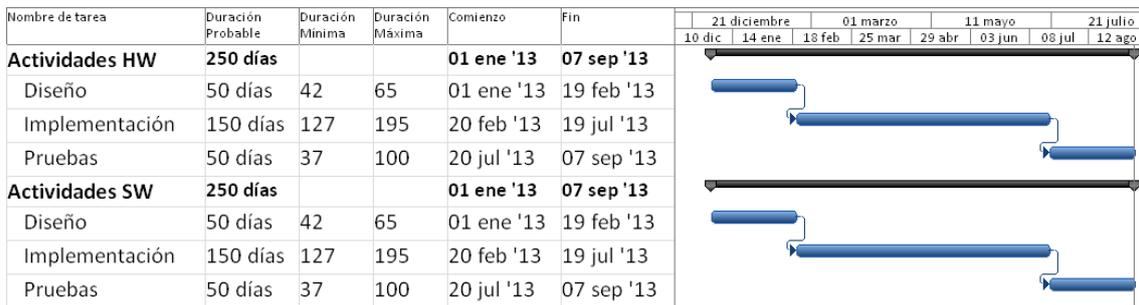


Figura 69. Gantt de proyecto con camino paralelo para poner en práctica la correlación

Para empezar, simularemos la lógica sin el efecto de la correlación existente:

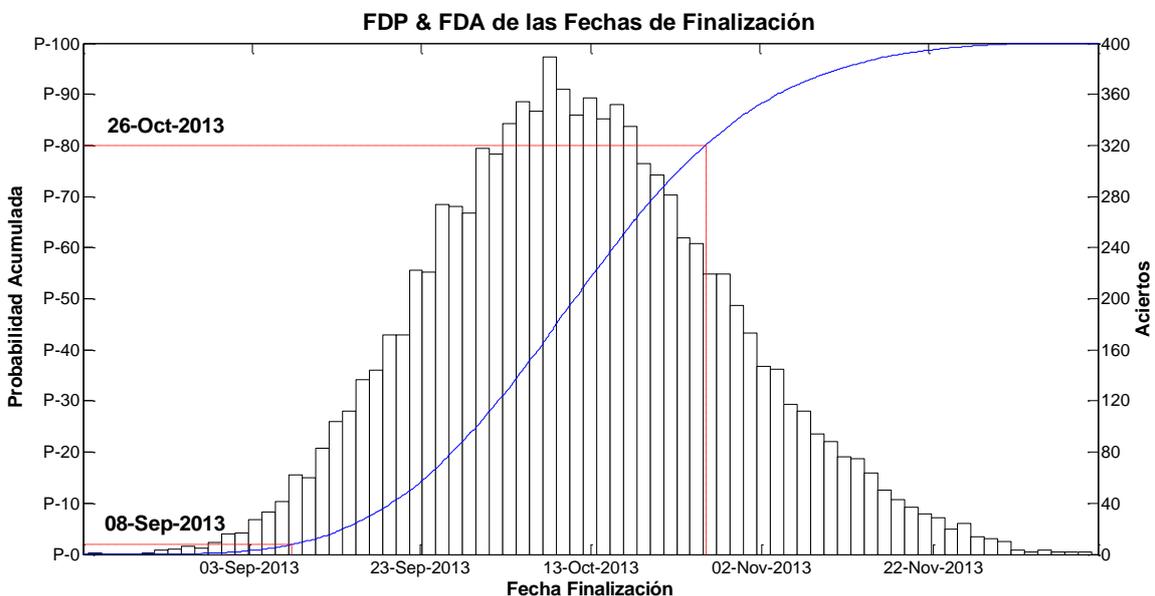


Figura 70. Resultados de las fechas de finalización sin correlación en caminos paralelos

Comparándolo con el ejemplo de un solo camino, observamos el efecto de la existencia de un punto de confluencia al incluir un camino paralelo, ya tratado anteriormente en el apartado 5.2.1:

- La fecha del nivel de confianza del P-80 se retrasa casi dos semanas, así como la media.
- La fecha determinística es aún más difícil de lograr, con una probabilidad sólo del 2%.
- La desviación estándar disminuye (FDA con mayor pendiente), acortando el rango entre las fecha más optimistas y pesimistas

Si ahora lo simulamos contemplando la correlación anterior para el conjunto de tareas de cada rama, y lo comparamos con el plan de un solo camino correlacionado, obtenemos estos resultados:

6. Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto

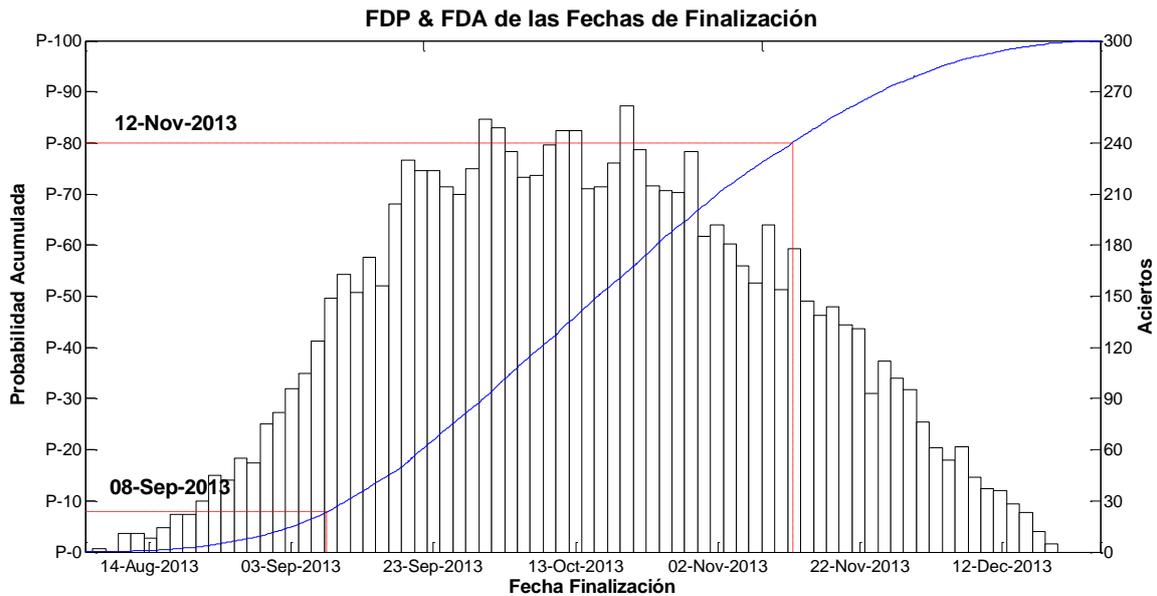


Figura 71. Resultados de las fechas de finalización con correlación en los caminos paralelos

- La fecha del nivel de confianza P-80 se retrasa mucho, casi un mes, así como la media, mientras que con un solo camino se mantenía igual.
- La fecha determinística es menos difícil de alcanzar, una probabilidad del 8%.
- La desviación estándar se reduce (FDA con mayor pendiente), acortando de nuevo el rango entre las fecha más optimistas y pesimistas.

Como vemos, el efecto de la correlación es más dramático cuando existen tareas concurrentes. El efecto del punto de confluencia limita la correlación en la parte inferior de la FDP, que *a priori* generaba resultados más optimistas. De nuevo, comparamos las FDA para observar los efectos claramente:

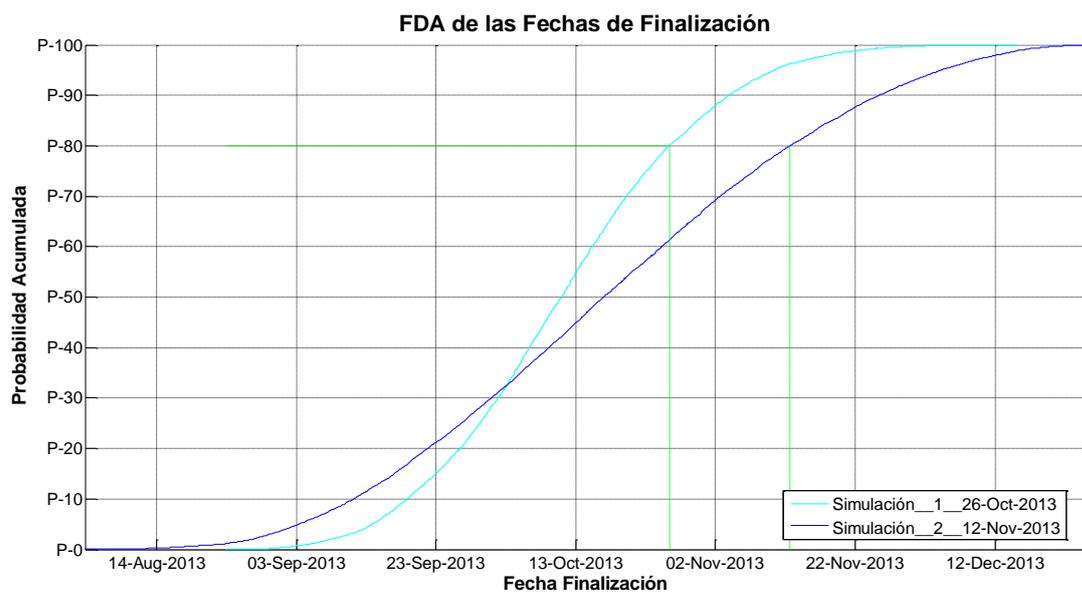


Figura 72. Comparación de los resultados con rutas concurrentes según la correlación

Vemos que la inclusión de correlación en planes de proyectos con múltiples caminos concurrentes requiere considerar más contingencias. Es cierto que en la *cola inferior* de la FDP se tienen mejores registros que sin correlación, pero son casi inútiles si queremos niveles de confianza altos. La existencia de caminos paralelos limita el efecto de la posible existencia de planes mayoritariamente optimistas, ya que cualquier retraso en uno de los caminos lo convertirá en la ruta crítica y supondrá un retraso del plan total, acrecentado por las tareas correlacionadas entre sí.

Todo esto hace ver que si se pretende ser realista con el plan de proyecto hay que estar alerta de incluir la correlación en todos los elementos que se identifican como susceptibles de estar afectados por ella, ya que tiene un gran impacto en los resultados, siendo mucho más realistas. El efecto de la correlación tiene una mayor relevancia en proyectos que fijan un nivel de confianza alto de estimación (>P-75), ya sea por cultura de la organización o necesidad expresa, permitiendo llevar al Project Manager a establecer estrategias de contingencias más ajustadas a la realidad, y minimizando los posibles riesgos.

Por último, se muestra cómo puede afectar la correlación a la sensibilidad entre elementos del plan como las duraciones de tareas y la global del proyecto:

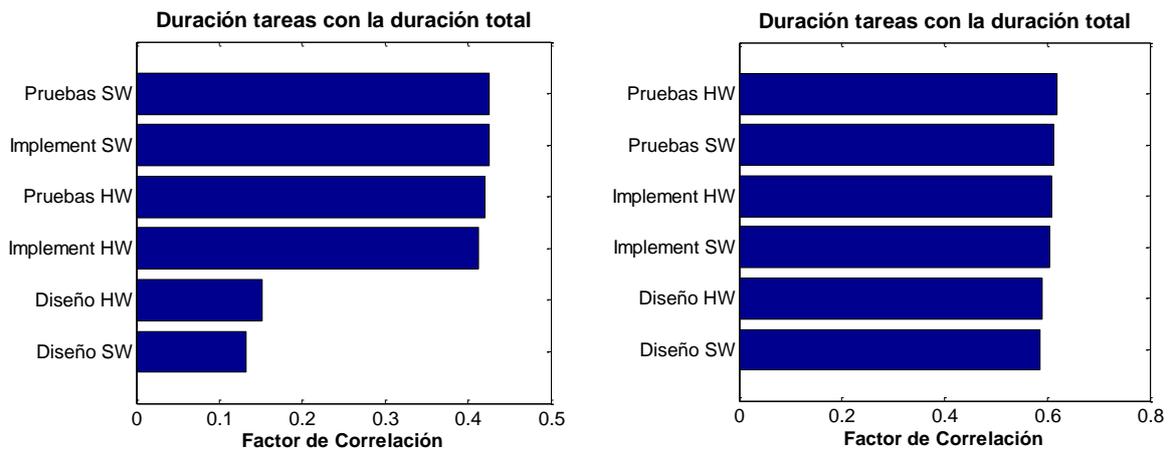


Figura 73. Efecto de la correlación en las sensibilidades

El gráfico izquierdo muestra las sensibilidades sin correlación. De él, podemos recalcar que las tareas iniciales de cada rama tiene una menor dependencia con el tiempo total del proyecto, mientras que el resto tiene una sensibilidad media.

En el gráfico derecho, que incluye la correlación, vemos que esta diferencia ya no existe, además de que los coeficientes incrementan notablemente. Esto se debe a que ahora la simulación sólo contempla escenarios coherentes, por lo que las duraciones de cada tarea están en consonancia unas con otras. Esta consonancia hace que exista en menor medida el efecto cancelador entre elementos, y que en general las duraciones de cada tarea, ya sean optimistas o pesimistas, tenga un mayor vínculo con la duración total de proyecto, y por ende una mayor sensibilidad.

6.2.2 Consideraciones sobre la correlación

Se ha podido ver la importancia que tiene modelar la correlación en los elementos de un plan de proyecto, adquiriendo mayor realismo. Por otro lado, se ha mostrado que no es una labor fácil de desarrollar, por lo tedioso que puede ser recabar la información, así como la inconveniencia que supone el sesgo que imponen los algoritmos para su generación. Quizás el hecho de que el software comercial estudiado (*@Risk*, *Crystal Ball*, *Risk+* y *ModelRisk*) se centre en este enfoque sea una de las razones por las cuales no logra tener plena acogida en las organizaciones.

6.3 ¿El mejor enfoque? El origen del problema

El modelo definido nos ha sido de utilidad para recrear los diferentes elementos de un plan de proyecto, pudiendo simular escenarios reales para obtener gran cantidad de información, difícilmente realizable sin el método Monte Carlo. Cuando hemos introducido el concepto de correlación, han empezado a surgir ciertas complicaciones, haciendo ver que aunque no es imposible, la complejidad para modelar rigurosamente un plan de proyecto real puede ser grande, y su operatividad escasa. Es por ello que se va a buscar un nuevo punto de vista, con el que se pueda aproximar el modelo a un entorno realista con una alta operatividad.

Hasta el momento, la incertidumbre de los elementos tiempo y coste se ha modelado con una FDP triangular, con tres parámetros esenciales, su valor pesimista, optimista y más probable. Para definir estas FDP se usa como principal vía las reuniones y consultas con los expertos e implicados en el proyecto, o con experiencia en la materia. Esto puede provocar que el debate y esfuerzos se centren principalmente en la especificación de dichos parámetros, diluyendo la importancia del origen de la causa, que son los propios riesgos que afectan al elemento.

Esto crea unas carencias en la metodología, que podemos listar:

- No hay posibilidad de especificar la probabilidad con la que un riesgo puede ocurrir. La inclusión del factor riesgo se hace a través de un rango de valores para el impacto, pero no permite contemplar la ocurrencia del riesgo explícitamente. Según el PMI, el riesgo de un proyecto es *“Un evento o condición incierta, que si se produce, tendrá un impacto positivo o negativo en al menos un objetivo del proyecto”*, cosa que no se cumple hasta el momento.
- No es posible distinguir separadamente el impacto de cada riesgo de manera individual en los resultados finales. Para crear una estrategia de contingencia acertada es fundamental identificar que riesgos suponen una mayor amenaza, y esta información no está disponible. Todo cuanto se puede hacer es analizar la sensibilidad de los elementos de tiempo y coste, pero no podemos identificar sus riesgos, ni en la manera que afectan a cada elemento.

- Si se desea (y es muy deseable) modelar el efecto de la correlación entre los elementos del proyecto, se debe aplicar coeficientes de manera directa, y esto no es en absoluto un tarea fácil como hemos visto anteriormente. Tratar de modelar dependencias teniendo en cuenta sólo pequeñas porciones de información de un gran sistema como es un plan de proyecto lleva en multitud de ocasiones a definirlos sin coherencia.

Por todas estas razones, se comprende que se debe buscar maneras alternativas de cómo plantear el modelado, para que sea factible la obtención de resultados en las simulaciones ajustados a la realidad, y permita al Project Manager extraer información de verdadera utilidad.

6.3.1 Cambiando la perspectiva: Riesgos Explícitos

Si ya hemos llegado al convencimiento de que el actual modelo enmascara excesivamente los riesgos y tiene limitaciones de operatividad, se va a exponer un punto de vista alternativo. Este no podía orientarse a otro elemento que no fuera el problema que nos atañe, el riesgo [9]. Todo indica que si se actúa y modela desde la raíz, podemos obtener resultados muy ventajosos.

Aunque se ha introducido y expuesto ventajas de desarrollar un registro de riesgos, no se le había encontrado mayor utilidad que el recoger en un documento esta información, en parte carente de utilidad. Ahora, va a tener una gran importancia en la metodología, porque nos va a ayudar a parametrizar activamente el plan a simular. Vamos a listar las novedades y diferencias de esta nueva perspectiva:

- Con la incorporación explícita de los riesgos en el modelo tenemos un enlace directo entre lo cualitativo y cuantitativo, cosa que antes no siempre era posible.
- Ahora, en el proceso de recabar la información el principal enfoque será el de los riesgos. Esto provoca que la información sea más fácil de obtener, porque no requerirá la anterior conversión riesgo/rango por parte de los implicados.
- Ahora la información que se busca discernir es el riesgo, su probabilidad de ocurrencia, a que elementos compromete, y el impacto de este si ocurre. Muchas de estas informaciones se obviaban en los métodos tradicionales.
- El impacto se puede expresar en términos multiplicativos. De esta manera, el riesgo puede ser aplicado a elementos de diferentes dimensiones de una manera proporcional, y no absoluta. Ahora la distribución de probabilidad se realizará para definir el rango de impacto del riesgo, no del elemento afectado.
- Al expresar los impactos en términos multiplicativos, es posible combinar el efecto de varios riesgos que afectan a un mismo elemento. De ese modo, se creará el factor final por el que se verá afectado el elemento.
- Los riesgos se asignan explícitamente a los elementos del plan que afectan, ya sea uno o varios, haciendo el modelado más intuitivo y realista.

6. Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto

- Una de las principales ventajas de este método, es que al asignar los riesgos a diferentes elementos, estamos creando una correlación entre ellos de una manera mucho más natural. Ahora, no es necesario definir abstractos coeficientes de correlación, ni preocuparse por tener un sistema coherente de coeficientes. Cabe resaltar que este método tiene como premisa que los riesgos son independientes unos de otros, puesto que los riesgos fundamentales no están relacionados.
- Esto perfectamente compatible con simularlo con el método Monte Carlo, y el uso de todas las funcionalidades comentadas hasta el momento. Por cada iteración, se decidirá la existencia del riesgo (a través de su probabilidad), se fijará su grado de impacto (a través de su FDP), se combinará con el resto de riesgos que afectan al mismo elemento, y se obtendrá el factor del elemento afectado.
- Ahora podemos obtener resultados más explícitos sobre los riesgos, como análisis de sensibilidad de cada uno de ellos, sobre el elemento coste o tiempo. Esto ayudará a tomar mejores decisiones para enfocar replanificaciones o estrategias de contingencia.
- Se estrecha la distancia entre lo real y lo modelado. A lo hora de plantear estrategias de contingencias, estas deben ir dirigidas hacia los riesgos, por lo que ahora es más fácil plantear diferentes escenarios de prueba.

En los siguientes apartados pondremos en práctica para los distintos elementos (tiempo y coste) la evolución propuesta para el método, mostrando todas sus funcionalidades y beneficios.

6.3.1.1 Poniendo a prueba el nuevo modelo

Vamos a exponer varios casos para mostrar las bases y resultados del nuevo método implementado para el simulador. En primer lugar, vamos a ver cómo se lleva a cabo el traspaso del anterior enfoque de riesgos implícitos en las FDP de los elementos, al nuevo modelo que toma la metodología. Supongamos que definimos el siguiente riesgo:

Descripción	Optimista	Probable	Pesimista	Prob. Ocurrencia
Productividad Laboral Variable	88%	100%	118%	100%

Tabla 11. Descripción del impacto y ocurrencia de una incertidumbre

Para describir un riesgo, detallamos su rango de impacto y su probabilidad de ocurrencia en el plan de proyecto. Establecemos una probabilidad de ocurrencia del 100%, por lo que estaremos seguros de su existencia, pero no así de su impacto. Este tipo de riesgos vamos a catalogarlos como *incertidumbres*. Cuando definamos una probabilidad menor del 100%, hablaremos de *riesgos* propiamente dichos. Se observa por el rango del impacto que esta incertidumbre puede ser tanto una oportunidad (valores más optimistas a la estimación inicial) como una amenaza (valores más pesimistas a la estimación inicial).

Vamos a ver como esta incertidumbre afecta a la duración de una hipotética tarea de *Desarrollo*, cuyo valor estimado inicialmente para su duración es de 100 días (empezando el 1 de enero). Se he elegido una duración de 100 días por que permite comparar fácilmente los resultados con los impactos definidos previamente. Si simulamos usando el método Monte Carlo, los resultados para la distribución de duración que obtenemos es:

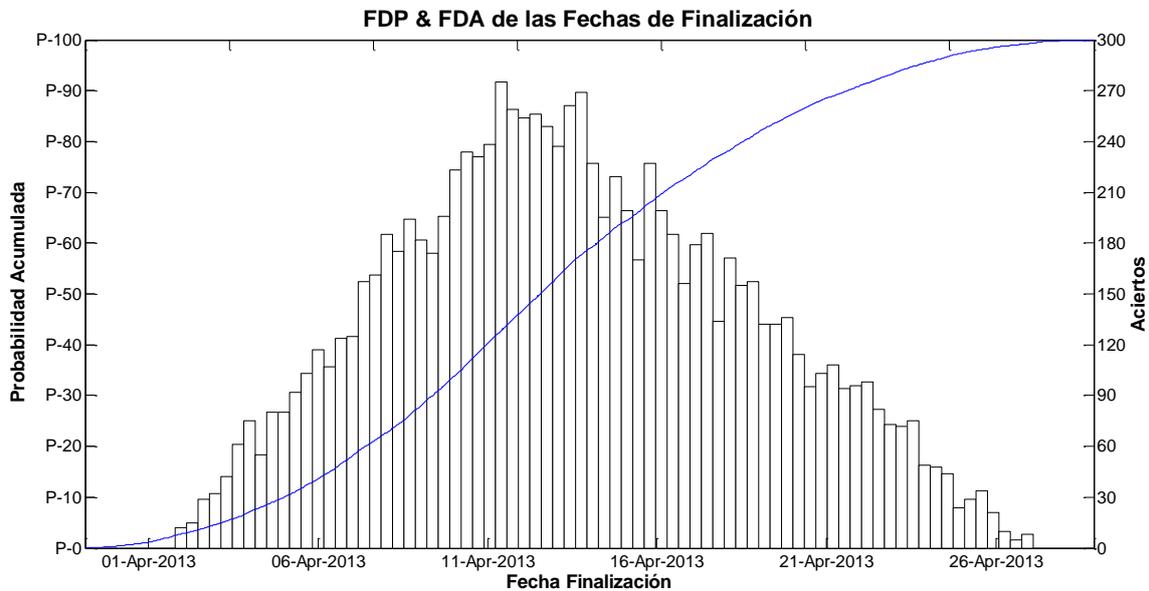


Figura 74. Resultados de la duración de la tarea aplicando la incertidumbre

La estimación de la fecha pasa de ser un valor determinístico (100 días) a una FDP como se venía definiendo anteriormente, y las fechas reflejan su rango optimista y pesimista de 88 (30 de marzo) y 118 (29 de abril) días respectivamente. La gran diferencia es que ésta no es definida por una serie de consideraciones implícitas, sino que es totalmente producto del riesgo que la afecta. Para definir una incertidumbre que sólo represente una amenaza (impacto negativo) u oportunidad (impacto positivo) se limitará el parámetro de la cota inferior o superior respectivamente.

Vamos a ver cómo afectan otro tipo de configuraciones. Anteriormente se ha visto que los riesgos se describen como eventos que tienen una cierta probabilidad de ocurrencia, y es el caso que vamos a estudiar ahora. Vamos a simular un riesgo, afectando a la misma tarea, con una probabilidad menor al 100%:

Descripción	Optimista	Probable	Pesimista	Prob. Ocurrencia
Productividad Laboral Variable	88%	100%	118%	30%

Tabla 12. Descripción del impacto y ocurrencia de un riesgo

La función de distribución es muy diferente a lo que hemos acostumbrado a ver, presentando un pico aislado en 100 días. Este pico hace señal de que un es un riesgo,

6. Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto

formado por el número de veces que una iteración no representa su existencia, más las iteraciones que teniendo en cuenta el riesgo, tienen un impacto neutro (valor estimado). Son algo más de 7200 iteraciones sobre 10000, ligeramente superior al 70% fijado (100% menos su probabilidad de ocurrencia), por lo que se puede concluir que 200 iteraciones son producto de los impactos neutros más las desviaciones de la aleatoriedad de su ocurrencia.

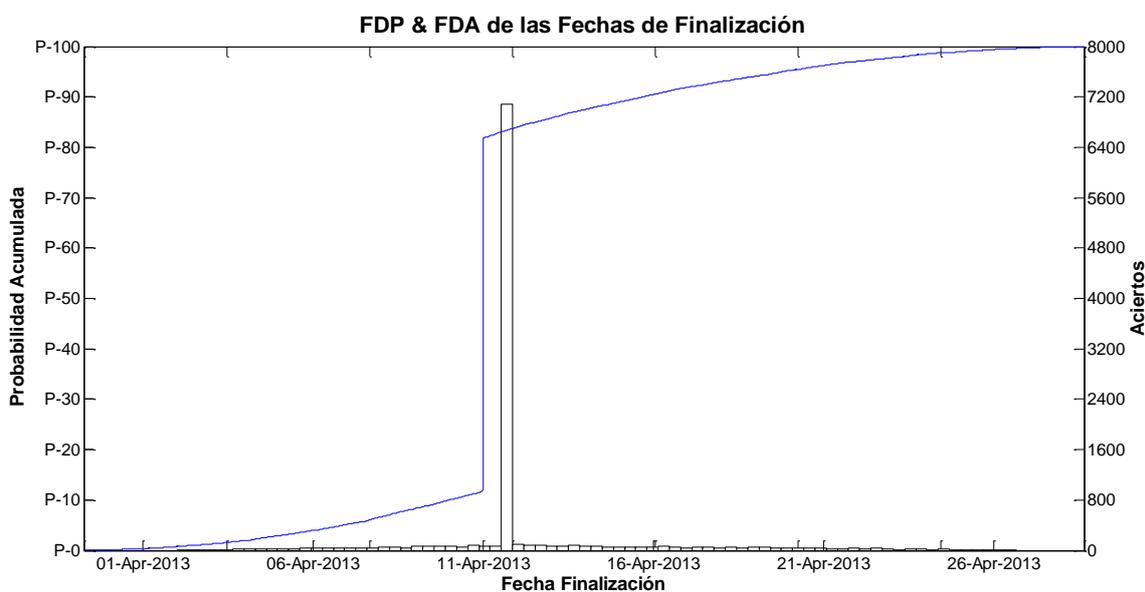


Figura 75. Resultados de la duración de la tarea aplicando el riesgo

Una vez mostrados los fundamentos, vamos a ver los efectos de configuraciones más prácticas. La tarea ahora va a tener dos posibles incertidumbres, por lo que siempre tendrán impacto:

Descripción	Optimista	Probable	Pesimista	Prob. Ocurrencia
Productividad Laboral Variable	88%	100%	118%	100%
Complejidad mayor de la estimada	100%	112%	130%	100%

Tabla 13. Descripción del impacto y ocurrencia de dos incertidumbres

Este es uno de los momentos donde se demuestra la conveniencia del método, ya que no hay problema en modelar este hecho. Para cada iteración, los impactos se seleccionaran aleatoriamente de la FDP de cada riesgo, y estos se combinarán para crear un factor multiplicador que contiene ambos efectos. Los factores establecidos para una incertidumbre pueden ser una oportunidad (<1) y para la otra una amenaza (>1). Si para una iteración los factores resultan ser, por ejemplo, 0.93 (oportunidad) para la primera y 1.27 (amenaza) para la segunda, el factor final será $0.93 \cdot 1.27 = 1.18$ (una amenaza), por lo que la FDP final tendrá una componente de ambas incertidumbres en todo su muestreo:

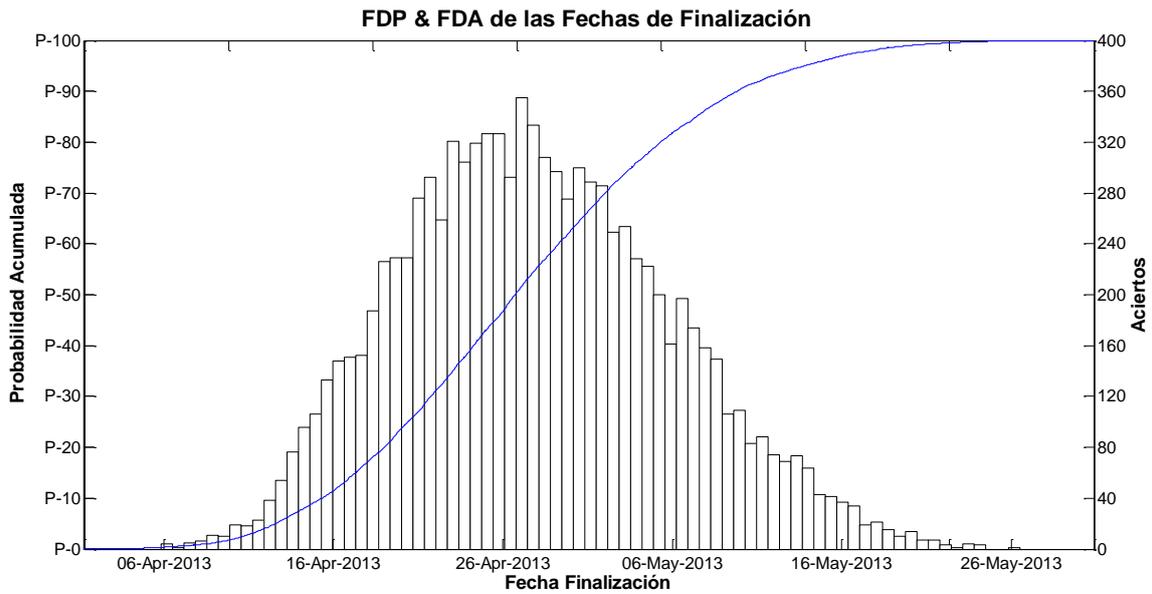


Figura 76. Resultados de la duración de la tarea aplicando dos incertidumbres

Por último, vamos a mostrar el efecto de dos riesgos (probabilidad de ocurrencia menos al 100%) actuando sobre un mismo elemento (duración de una tarea):

Descripción	Optimista	Probable	Pesimista	Prob. Ocurrencia
Productividad Laboral Variable	88%	100%	118%	50%
Complejidad mayor de la estimada	100%	112%	130%	50%

Tabla 14. Descripción del impacto y ocurrencia de dos riesgos

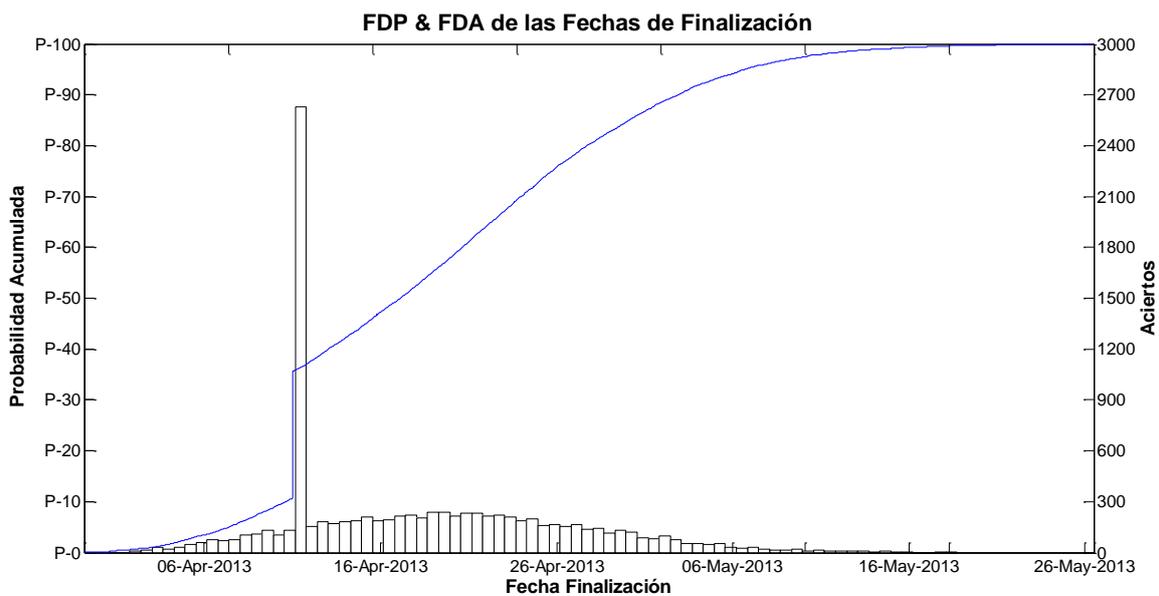


Figura 77. Resultados de la duración de la tarea aplicando dos riesgos

6. Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto

En la figura superior, de nuevo resulta haber un pico, que contempla los casos en que ambos riesgos existen con factor neutro, más las iteraciones con ese valor cuando ambos no tienen lugar. Obsérvese que la probabilidad acumulada del pico engloba el 27% de las iteraciones, valor que no tiene concordancia con las probabilidades de ocurrencia de los riesgos. Esto se debe a que la probabilidad acumulada del pico podrá ser, en el caso más alto, igual al complementario de la mayor probabilidad de ocurrencia de los riesgos, nunca superior, ya que será el que filtre en último término esta posibilidad.

Además, si las distribuciones tuvieran cierta similitud, especialmente de sus valores probables, ayudaría a propiciar este valor de pico. Como para uno de los riesgos el valor probable es del 100% y para otro del 112% de la duración, no facilita el acumular en un mismo valor el resultado de las iteraciones.

6.3.1.2 Análisis de sensibilidad enfocado a los riesgos

Gracias a la evolución del modelo propuesto, ahora el simulador nos permite obtener información explícita de los riesgos, una gran utilidad. El análisis de sensibilidad nos puede ayudar a saber cuales tienen una mayor sensibilidad con la duración o coste de cualquier entidad del modelo (proyecto global, tarea específica, recurso,...). En el análisis de sensibilidad buscamos la relación entre variables que puedan facilitarnos información *a priori* implícita, dependiendo de la complejidad del plan, pero de interés.

Con planes de proyecto sencillos que constan de una serie lineal y sucesiva de tareas, los riesgos, aunque diversos, pueden ser de fácil valoración. Cuando un proyecto tiene numerosos caminos paralelos, eventos condicionales, o restricciones, el efecto de un riesgo, aunque en principio parezca pequeño, puede subestimarse con facilidad.

Si mostramos los valores de sensibilidad sobre el ejemplo de la Tabla 14, vemos que los dos riesgos simulados tienen relaciones notablemente distintas con la duración final, un hecho interesante:

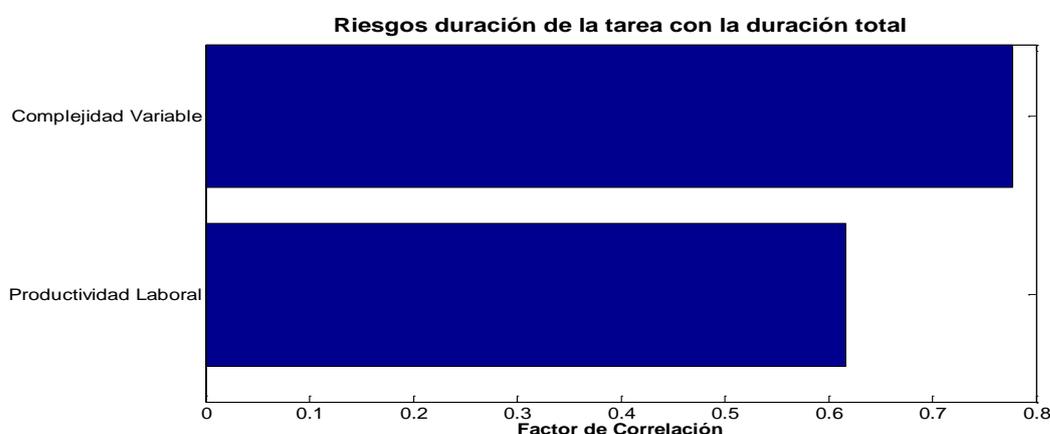


Figura 78. Sensibilidad dispar de riesgos muy similares

Esto es un hecho interesante por dos factores: el ejemplo está reducido a su mínima expresión (dos riesgos que afectan a una sola tarea); los riesgos tienen idéntica estructura para su FDP (rango total y distancias entre coeficientes) y probabilidad de ocurrencia, y a pesar de ello la correlación de cada uno es notablemente diferente. Si es posible resultados tan dispares en ejemplos tan simples, es posible hacerse una idea de la dificultad que tiene cuantificar esto sin las herramientas adecuadas.

Anteriormente se expuso el uso del análisis de sensibilidad e índice crítico para determinar que tareas requerían una atención especial, por tener un mayor impacto en la variabilidad de la duración. Entonces podía parecer tremendamente práctico, pero en realidad no era de tal utilidad, ya que verdaderamente lo que afectará al plan de proyecto son los riesgos. Tratar directamente con los elementos de tiempo o coste es tratar con mucha información implícita, y esto puede llevarnos a hacer juicios erróneos sobre los resultados observados:

- Un elemento del modelo puede tener riesgo debido a la acción de varios riesgos diferentes. Mitigar sólo los riesgos más obvios no sería totalmente efectivo para la reducción eficaz de la incertidumbre.
- Focalizando sólo en los elementos (duración de tareas, coste recursos,...) con más riesgo subestima la verdadera importancia de los riesgos que afectan a multitud de ellos. Mitigar los riesgos de amplio espectro tendrá en la mayoría de los casos mejores resultados que abordar el problema elemento a elemento.

Al modelar la incertidumbre desde el punto de vista de los riesgos, identificamos eficientemente las causas que conducen a los resultados, no los propios resultados (cosa que también seguimos pudiendo hacer). Esto permite marginar cada uno de los riesgos para estudiar su impacto específico, ayudándonos a valorar las mejores estrategias a la hora de mitigarlos, al menos sobre el papel.

El análisis de sensibilidad se puede realizar en base a dos criterios distintos. El primero se basa en la sensibilidad mostrada, mientras que el segundo se basa en el impacto marginal a un determinado nivel de confianza de estimación [11].

A continuación exponemos ambos métodos:

1^{er} método (sensibilidad media):

- Ejecutamos una simulación considerando todos los riesgos.
- Usamos el análisis de sensibilidad para modificar dentro de nuestras posibilidades el riesgo con mayor sensibilidad en el elemento a tratar, y volvemos a ejecutar la simulación.
- Comparamos los resultados obtenidos con la primera simulación. Las diferencias estarán provocadas por la modificación del riesgo, y de esta manera podemos saber el efecto marginal que tiene.

6. Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto

- Repetimos los dos pasos anteriores para ver la evolución del plan de proyecto cuando actuamos sobre los riesgos de la manera más efectiva (reduciendo las amenazas o ampliando las oportunidades).

El 2^{do} método (discriminatorio):

- Ejecutamos una simulación considerando todos los riesgos, y fijamos un cierto nivel de confianza de estimación para los resultados.
- Simulamos el plan de proyecto modificando los riesgos uno a uno, y comparamos el impacto marginal del resultado obtenido al nivel de confianza establecido con los de las simulaciones anteriores.
- Mantenemos modificado el riesgo que obtiene una mayor mejora en los resultados, basada en el impacto marginal de dicho riesgo en el proyecto.
- Repetimos los dos pasos anteriores hasta que actuamos sobre todos los riesgo existentes. Habremos obtenido la clasificación de prioridad de actuación.

Ambos métodos tienen su validez, y las necesidades del proyecto decantarán el uso de uno u otro. El primer método es más básico, centrado en los valores medios, ya que la sensibilidad se está calculando respecto a los resultados finales de los elementos, y estos son al fin y al cabo una media. Si los implicados quieren proyecciones fiables, el segundo método permite fijar un nivel de confianza de los resultados variable, pudiendo calcular la priorización de los riesgos con niveles de confianza más altos que la media, por ejemplo P-80. Como se verá más adelante, estos resultados pueden que no se correspondan con los de las “sensibilidades medias” del primero.

Este análisis permite enfocar las acciones correctoras con mayor claridad, así como proyección de escenarios para legitimar la toma de decisiones. Si el Project Manager no realizara ninguna acción, el análisis sería un mero pronóstico sobre el proyecto con el plan actual, careciendo de su verdadero valor.

6.3.2 Puesta en práctica del nuevo modelo

Vamos a exponer ejemplo real con el que poner en práctica el nuevo modelo para analizar la planificación temporal. Se trata de un despliegue de un nodo radio para dar cobertura a un área de la red móvil de un operador, el cual desea estudiarse por parte de la gerencia de proyectos. Por ello, se ha definido a un nivel estratégico sus actividades (y sus FDP) y conformado su lógica según la planificación temporal del plan de proyecto. También contamos con la información del registro de riesgos necesaria para el nuevo modelo de riesgos explícitos, todo ello siguiendo los pasos y recomendaciones descritos por la metodología. Mostramos su diagrama de Gantt en el que vemos su lógica, existiendo varios grupos de tareas concurrentes, puntos de confluencia y restricciones lógicas (relación FF entre la tarea de *Suministro de Equipos* y *Material* e *Instalación de Equipos*):

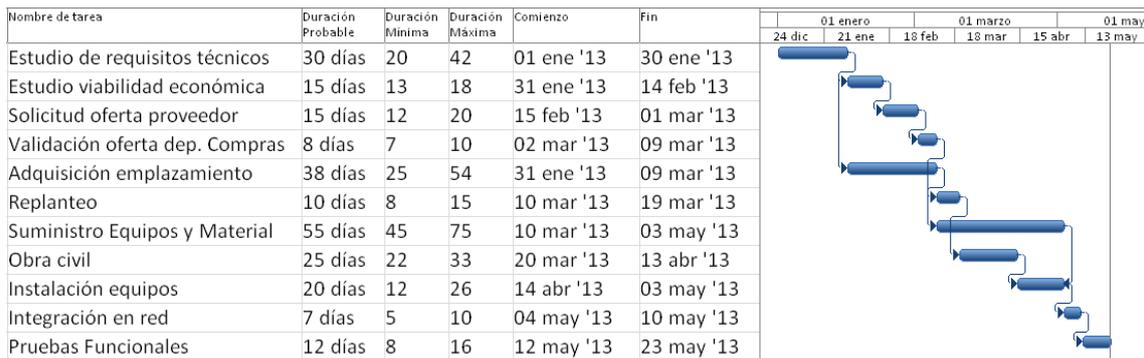


Figura 79. Gantt del proyecto de despliegue de nodo radio

Calculando la fecha determinística de finalización, se tiene como resultado 23 de mayo. Ahora mostramos los resultados de la simulación Monte Carlo:

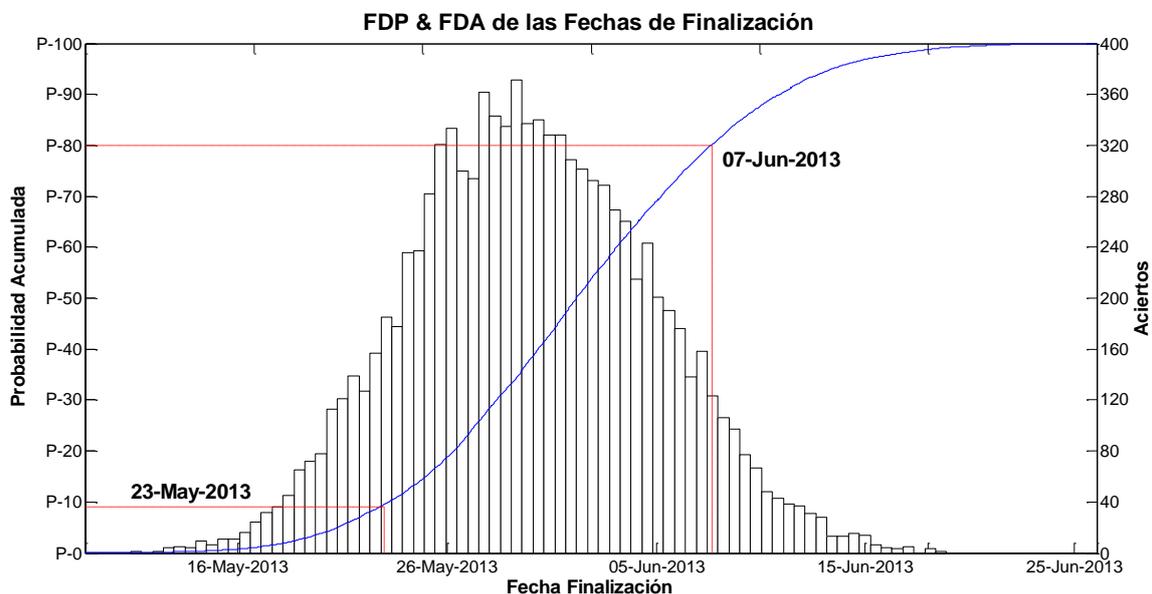


Figura 80. Resultados de las fechas de finalización del proyecto con riesgos implícitos

Tras la simulación, comprobamos que esta fecha sólo puede alcanzarse en un 9% de las ocasiones, por lo que será razonablemente difícil cumplir el plan inicial. Si fijamos un nivel de confianza del P-80 para la estimación, la fecha media se demorará hasta el 7 de junio, quince días más de la fecha determinística.

Hasta aquí no hemos introducido nada nuevo, simulando el plan de proyecto con los riesgos implícitos en las FDP de las duraciones de cada tarea. Ahora vamos hacer uso del nuevo enfoque, para lo que utilizaremos el registro de riesgos, perteneciente a la documentación del *Plan de respuesta ante riesgos* que hemos desarrollado tras las reuniones con los especialistas e implicados en el proyecto. Hemos de recordar la difícil labor de ajustar los parámetros, ya que por lo general los riesgos se estiman de forma optimista, con impactos demasiado pequeños y poco frecuentes. Mostramos la información relevante del registro de riesgos del proyecto:

6. Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto

Descripción Riesgo	Probabilidad Ocurrencia (%)	Duración Optimista (%)	Duración Probable (%)	Duración Pesimista (%)
Variación de los requisitos	40	85	100	130
Dificultad adquisición del emplazamiento	100	90	100	145
Complejidad de la adecuación emplaz.	60	90	100	125
Disponibilidad suministro equip-mater	80	85	100	135
Problemas en la aceptación	30	100	110	120
Complejidad de la integración	60	95	100	115
Errores en Pruebas Funcionales	50	100	105	115

Tabla 15. Segmento del registro de riesgos con las probabilidades e impactos

Cada riesgo es parametrizado con su probabilidad de ocurrencia e impacto. Uno de ellos es una incertidumbre, ya que tienen una probabilidad absoluta de ocurrir, con impacto variable, y existen dos amenazas, por tener impactos sólo negativos.

Ahora debemos de asignar cada uno de los riesgos a cada tarea capaz de verse afectada por ellos. Lo hacemos a través de una matriz de asignación:

Riesgo Tarea	Variación de los requisitos	Dificultad Adqui. emplaz	Dificultad Adecu. emplaz.	Sumin. Equip-Mat	Problemas Aceptación	Complejidad Integración	Problemas Pruebas Funcionales
Estudio de requisitos técnicos	X						
Estudio Viabilidad Económica							
Solicitud Oferta Proveedor							
Validación Oferta							
Adquisición Emplazamiento	X	X					
Replanteo	X		X				
Suministro Equip-Mater				X			
Obra Civil		X	X				
Instalación	X				X		
Integración en Red	X					X	
Pruebas Funcionales	X					X	X

Tabla 16. Matriz de asignación riesgos-tareas despliegue nodo radio

La matriz de asignación es una de la herramientas que otorga mayor versatilidad a este modelo, puesto que como se habló en el Capítulo 6, si un riesgo compromete a más de un elemento, estaremos introduciendo una dependencia entre ellos. El hecho de crear

dependencias a través de los riesgos, habiendo descrito a estos como la raíz de la incertidumbre, hace que sea la manera más natural de modelar la correlación y que más se acerca la realidad. En este caso, tenemos riesgos que afectan a más de una tarea, y tareas que se ven afectadas por más de un riesgo, así como tareas que no están afectadas por riesgo alguno. Estas últimas suelen ser tareas de carácter rutinario, que definiendo su *error de estimación*, concepto que vemos a continuación, reflejará su variabilidad adecuadamente.

Antes de proceder a simular, tenemos que introducir un concepto más. Anteriormente hemos modelado los riesgos implícitamente en la FDP de las duraciones de cada tarea. Ahora esos riesgos los consideramos explícitamente, por lo que las anteriores FDP ya no serán válidas. Esto no significa que ahora trabajaremos con valores determinísticos, pero las FDP serán de un rango menor. La permanencia de una cierta aleatoriedad en las duraciones de las tareas ahora sólo se debe al *error propio de estimación*, por ello se mantendrán definidas como una FDP. Este rango debido al error de estimación lo estableceremos con una FDP con valor mínimo 95%, probable 100% y pesimista el 115% del valor medio estimado [20].

Esto tiene una implicación práctica muy directa, y es que para la definición de cada elemento, salvo casos específicos, podrán valer simplemente con sólo estimar el valor determinístico, agilizando el proceso.

Los resultados de la simulación con el nuevo enfoque de riesgos explícitos son:

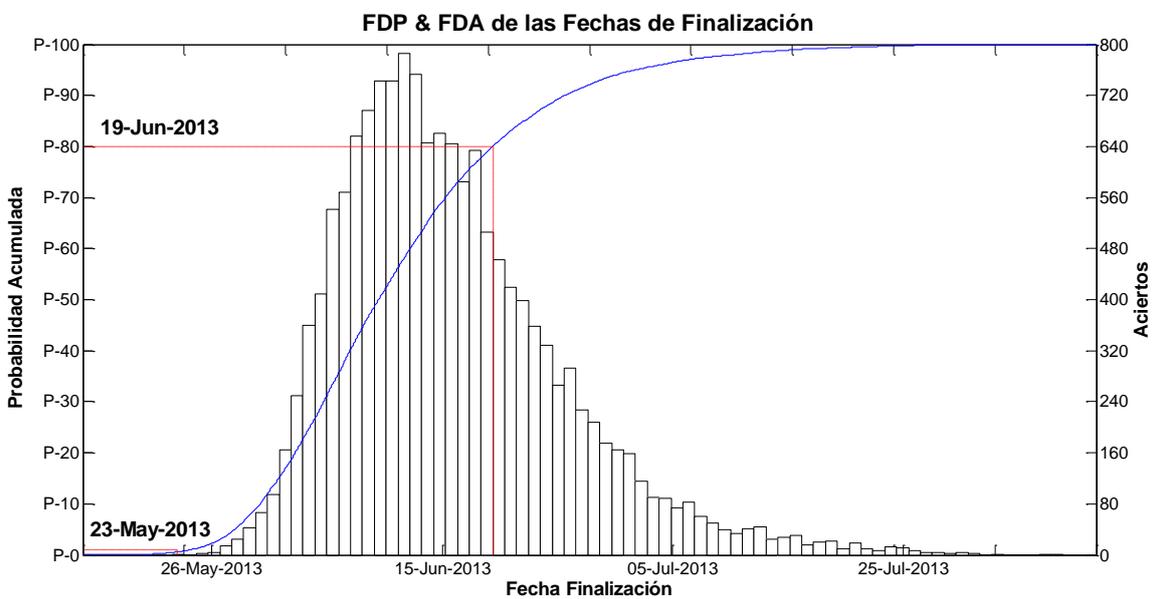


Figura 81. Resultados de las fechas de finalización del proyecto con riesgos explícitos

La fecha determinística se alcanza en menos de un 1% de las ocasiones, por lo que es sumamente difícil cumplir el plan inicial. Para un nivel de confianza del P-80 para la estimación, la fecha se demorará hasta el 19 de junio, casi un mes después de la fecha

6. Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto

determinística, y casi dos semanas más en comparación a la simulación con riesgos implícitos. También observamos una cola de la distribución más alargada, propia del efecto de la correlación provocada por los riesgos comunes a varias tareas, aumentando la desviación estándar en un 30%.

Comparando los resultados de las dos simulaciones, mostramos el porcentaje de tiempo extra necesario de cara a contingencias a diferentes niveles de confianza:

Percentil	P-10	P-50	P-80	P-90
Simulación				
Método Riesgo Implícito	1%	6,3%	10,4%	12,6%
Método Riesgo Explícito	4,9%	11,3%	18,3%	23,2%

Tabla 17. Comparativa de simulaciones con ambos enfoques de riesgos

Considerando el método explícito, las contingencias necesarias para el ya habitual nivel de confianza de estimación del P-80 pasa del 10,4% al 18,3%, que se traduce en doce días más. Este aumento de las necesidades para contingencias al aplicar el método explícito podría pensarse que vienen provocadas por una cuantificación del riesgo mayor que el implícito. En la siguiente tabla se compara los rangos de duración de cada tarea una vez se han simulado en proyecto con ambos métodos para ver si la diferencia de resultados se debe a una cuantificación dispar:

Tarea del proyecto	Rango de Duración en días (Min-Max)	
	Método Riesgo Implícito	Método Riesgo Explícito
Estudio de requisitos técnicos	20-42	25-44
Estudio Viabilidad Económica	13-18	12-19
Solicitud Oferta Proveedor	12-20	13-18
Validación Oferta	7-10	7-10
Adquisición Emplazamiento	25-54	30-75
Replanteo	8-15	8-15
Suministro Equipos-Material	45-75	45-85
Obra Civil	22-33	22-36
Instalación	12-26	16-32
Integración en Red	5-10	6-11
Pruebas Funcionales	8-16	10-20

Tabla 18. Comparación de rangos de las tareas para ambos métodos

Se observa que los rangos de las tareas en el método de riesgos explícitos se asemejan mucho al implícito, algunos de ellos son idénticos (*Validación Oferta* y *Replanteo*), algunos son mayores (*Estudio Viabilidad Económica*) y otros menores (*Solicitud Oferta Proveedor*). En general, el método implícito tiende al optimismo, con valores optimistas como pesimistas más bajos, y los valores más probables de su FDP cercanos a los más pesimistas (por tanto con tendencia optimista). La similitud de rangos se

mantiene tanto en tareas sujetas a múltiples riesgos (sensibles a modificar mucho su rango inicial), como las que no están sujetas a ninguno. Esto es importante, puesto que cabría esperar que tareas que no padezcan riesgo alguno o solamente uno, no debieran de cuantificarse de forma muy distinta en ambos métodos. Lo cierto es que incluso tareas que están afectadas por múltiples riesgos tiene rangos de duración muy similares en ambos métodos (*Replanteo* tiene el mismo), por lo que podríamos sentirnos desconcertados con estos resultados: ¿Cómo es posible que con una lógica idéntica y FDP muy parejas exista tal variación para ambos métodos?

La respuesta es la ventaja de aproximar un modelo más realista considerando riesgos explícitamente. Cuando los riesgos se consideran de manera implícita, las iteraciones no siempre representan escenarios coherentes, y ocurre un efecto cancelador indebido entre ciertas variables, que podrá enmascara o eliminar muchas particularidades del plan de proyecto, ya que no existe dependencia alguna entre las variables según lo que acontece.

Es cierto que tenemos tareas que una vez han sido expuestas a los riesgos resultan tener rangos ampliamente mayores (o más pesimistas) a los estimados implícitamente. Esto se debe a la subestimación en que se incurre cuando estimamos el efecto de los riesgos que comprometen una sola tarea implícitamente, ya que el método explícito invita a pensar en un contexto más amplio del proyecto, ayudando a valorar incertidumbres *a priori* no consideradas. Además, en el método implícito se estima el riesgo enfocándonos tarea a tarea, y puede ocurrir que se tenga en cuenta repetidamente un efecto ya cuantificado en otra, o todo lo contrario, no considerar un riesgo creyendo que ya se ha tenido en cuenta, ya que no siempre se puede poner en común la opinión o juicios de las diferentes fuentes de información.

6.3.2.1 Análisis de sensibilidad enfocado a los riesgos II

El método explícito supone un incremento de contingencias a considerar, y es razonable pensar que los interesados o clientes puedan no estar dispuestos a asumirlo. Para evitar el conflicto, debemos de desarrollar estrategias para actuar sobre los riesgos (mitigar las amenazas, aumentar las oportunidades) si no se desea perjudicar cosas como el alcance, la calidad, o el presupuesto asignado. Teniendo claro que se debe hacer frente a los riesgos, nos tenemos que plantear en primer lugar cuales y de qué manera son los más beneficiosos de atacar.

Ahora vamos a mostrar una de las grandes ventajas del enfoque de riesgos explícitos, que se basa en la mejora de una funcionalidad tan interesante como es el análisis de sensibilidad. Anteriormente, este análisis sólo podía enfocarse al tiempo de las tareas que componen el plan de proyecto, y aunque podía ser de ayuda, tenía un margen de utilidad reducido. Con la posibilidad de realizar este análisis de cara a los riesgos explícitamente, podremos sacar más partido de la simulación Monte Carlo, al

6. Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto

permitirnos plantear diferentes estrategias y escenarios basados en la actuación sobre dichos riesgos, extrayendo sus efectos marginales.

Las siguientes gráficas incluyen el análisis de sensibilidad de las duraciones de cada tarea y el impacto de los riesgos de duración, con la duración total del proyecto. Si estudiamos ambas gráficas y tenemos en cuenta la matriz de asignación, ahora podremos establecer una relación explícita entre las tareas más determinantes y los riesgos que las afectan.

Vamos a realizar el análisis de sensibilidad por el segundo método (discriminatorio) expuesto en el apartado 6.3.1.2. En él, vamos a cuantificar el impacto marginal de cada riesgo, procediendo a mitigar de manera íntegra (por su valor explicativo, se debería reducir/aumentar las amenazas/oportunidades) el más influyente a un determinado nivel de confianza, prosiguiendo sucesivamente con el siguiente, hasta haber actuado en todos ellos, de modo que obtendremos la hoja de ruta de prioridades de actuación sobre los riesgos. La primera gráfica nos muestra las sensibilidades considerando todos los riesgos iniciales del plan de proyecto:

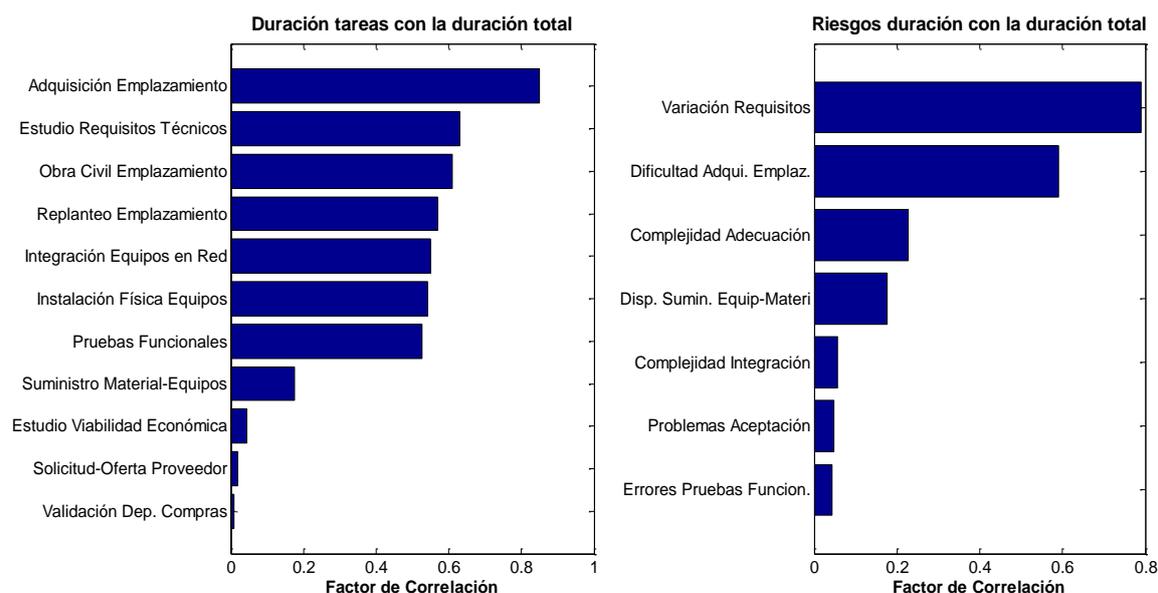


Figura 82. Sensibilidad de tareas y riesgos contemplándolos todos

Vemos como tenemos una alta sensibilidad de la duración de las tareas con la duración total del proyecto en las afectadas por los riesgos más influyentes, *Variación de requisitos* y *Dificultad en la adquisición del emplazamiento*, cuya sensibilidad se tiene como media-alta ($>0,5$). Las tareas que están poco comprometidas por riesgos (ver la matriz de asignación) tienen una sensibilidad muy baja con la duración total.

Viendo estos resultados se puede pensar que se ha de actuar prioritariamente sobre el riesgo de *Variación de los requisitos*. El método básico de análisis de sensibilidad así lo determinaría, pero vamos a ver que si cuando fijamos como criterio el impacto

marginal de dicho riesgo a un nivel de confianza del P-80 para la estimación, los resultados pueden variar.

Procediendo por el segundo método para el análisis de sensibilidad, vamos a cuantificar el efecto que causa cada riesgo cuando se procede a actuar sobre él de forma aislada. De esta manera se podrá saber el orden de clasificación para priorización que ofrece mejores resultados cuando procedamos a tomar las medidas de actuación dentro de las posibilidades establecidas.

Los siguientes gráficos muestran los resultados de las sensibilidades del proyecto cuando se ha procedido a mitigar (de manera íntegra) el riesgo más influyente. Esto se realiza comparando el diferencial del impacto de cada riesgo con la simulación que contempla todos ellos, en la que una vez obtenidos los resultados, el simulador procede a seleccionar el que mayor impacto marginal ha tenido al nivel de confianza establecido:

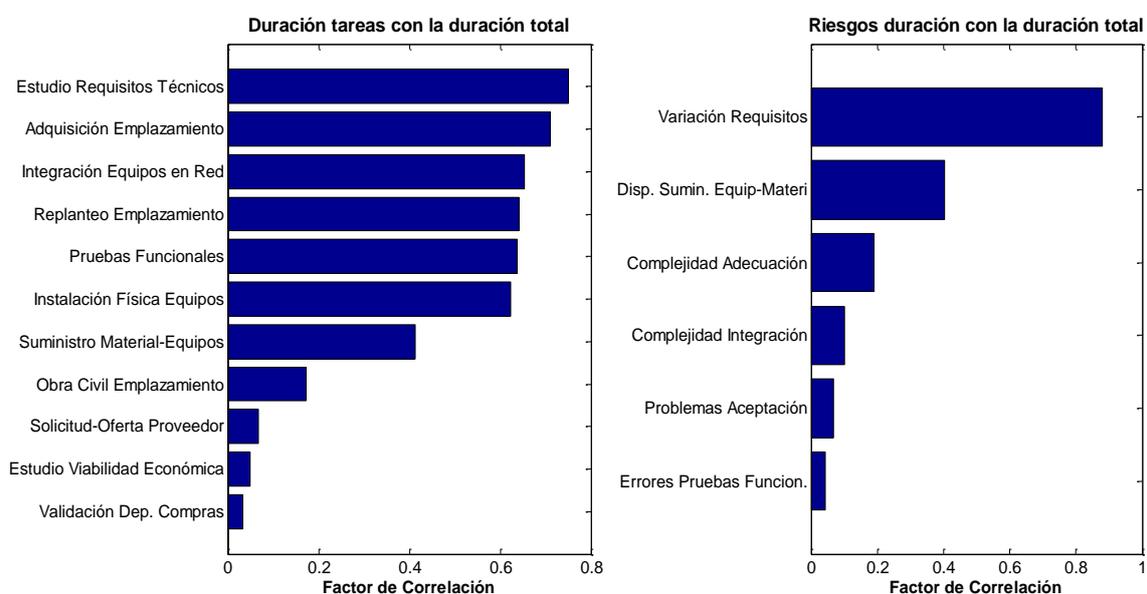


Figura 83. Sensibilidad de tareas y riesgos mitigando *Adquisición de Emplazamiento*

Los resultados de las gráficas nos muestran que el riesgo mitigado en primer lugar, y por ende el que mayor impacto marginal tiene en la duración total del proyecto a un nivel de confianza del P-80, ha sido *Dificultad en la adquisición del emplazamiento*, y no *Variación de Requisitos* como se creía, por lo que se elimina de la gráfica.

De nuevo, tenemos como riesgo con mayor relación *Variación de los requisitos*. Por parte de las tareas tenemos una compensación de sensibilidades, con un aumento específico de la tarea de *Suministro de material y equipos*, enmascarada anteriormente por el riesgo mitigado. El incremento de la sensibilidad se debe a las particularidades de la lógica, pues no se ha introducido ninguna dependencia nueva con ningún riesgo para aumentar su relación con la duración total del proyecto.

6. Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto

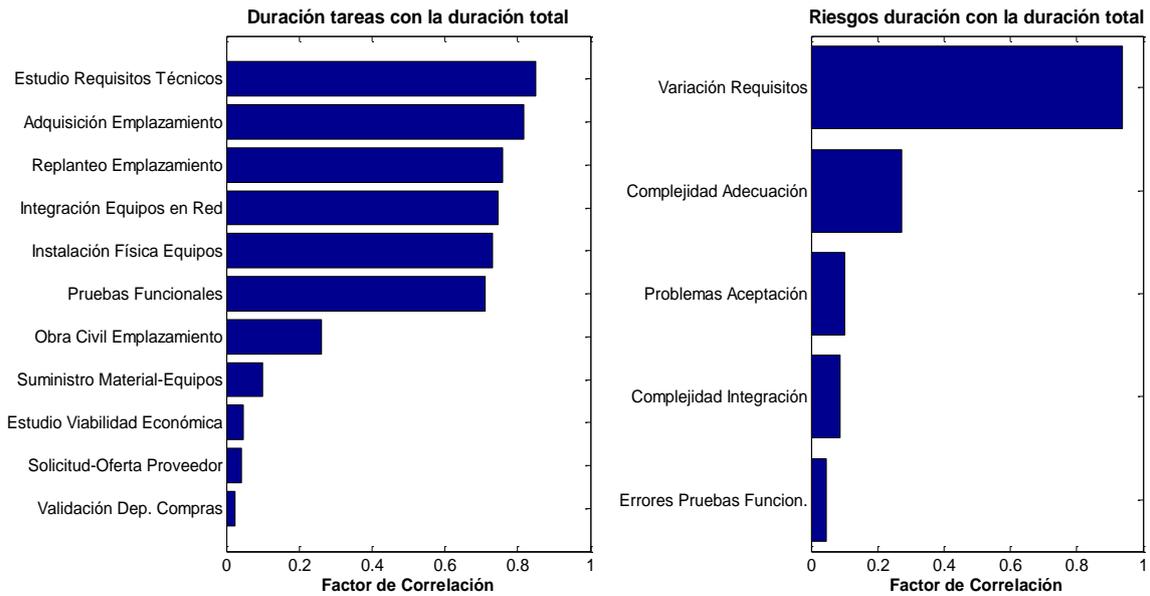


Figura 84. Sensibilidad de tareas y riesgos mitigando *Disponibilidad para suministro*

En el siguiente paso vemos una vez más que no se ha procedido a mitigar *Variación de los requisitos*, sino que se ha mitigado el riesgo que compromete la *Disponibilidad del suministro de equipos y material*. De nuevo, vemos que no ha de concordar la sensibilidad media con el impacto marginal de los riesgos en el P-80.

Respecto a la sensibilidad de tareas tenemos el efecto inverso a la simulación anterior, ha disminuido la sensibilidad de la tarea de *Suministro de Material-Equipos*, forzado por la mitigación del riesgo que la compromete, mientras que aumenta la de *Obra Civil*, por particularidades de la lógica del plan de proyecto. Seguimos con el siguiente riesgo:

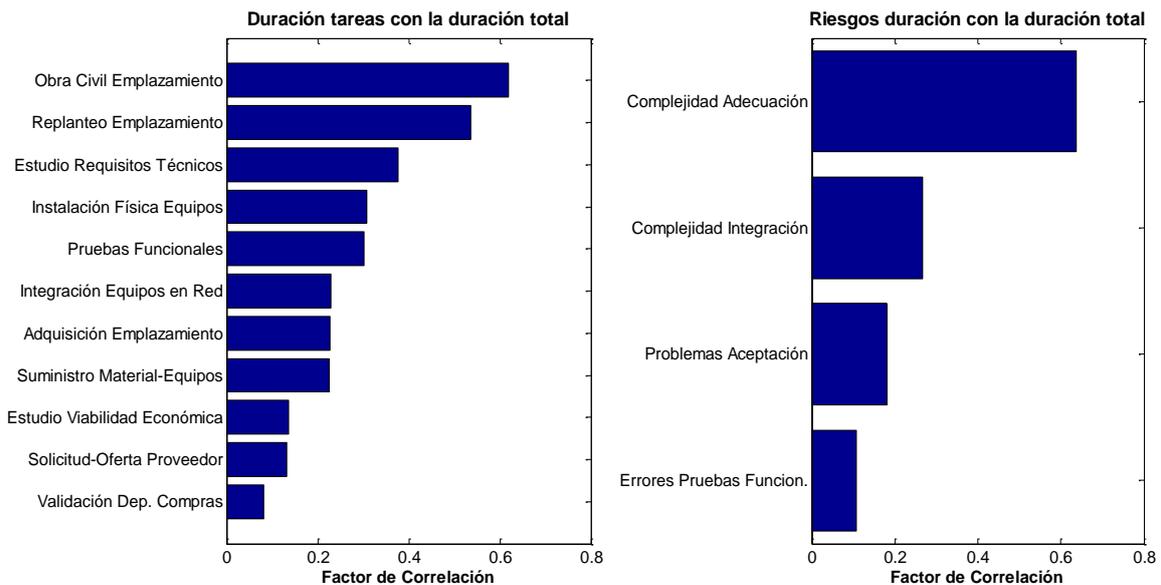


Figura 85. Sensibilidad de tareas y riesgos mitigando *Variación de Requisitos*

Definitivamente aquí se procede a mitigar el riesgo de amplio impacto de *Variación de los requisitos*. No ha sido hasta la tercera acción de mitigación cuando el riesgo más influyente en media ha tenido un mayor impacto marginal a un nivel de confianza alto como es el P-80, algo poco previsible y a considerar.

El amplio espectro de su influencia se ve en la gráfica de las sensibilidades de las tareas. Se observa cómo se diluye el efecto conjunto que hacía que el grupo de tareas afectadas por él tuvieran una dependencia muy estrecha con la duración total del proyecto. Los resultados son reveladores, pues tareas que en la priorización anterior estaban en la cola de influencia, como *Obra Civil*, ahora están a la cabeza.

Continuando con el análisis, en el siguiente paso se prioriza el riesgo de *Complejidad de adecuación del emplazamiento*, como muestra la figura. La sensibilidad de los riesgos restantes se ve ligeramente incrementada, debido a que sus impactos no se ven atenuados por un riesgo de mayor influencia. De cualquier manera, sensibilidades con factores inferiores a 0,3 se tendrán como bajas, por lo que es posible que a pesar de existir, ni siquiera compense proceder a mitigar tales riesgos si requirieran unos recursos considerables:

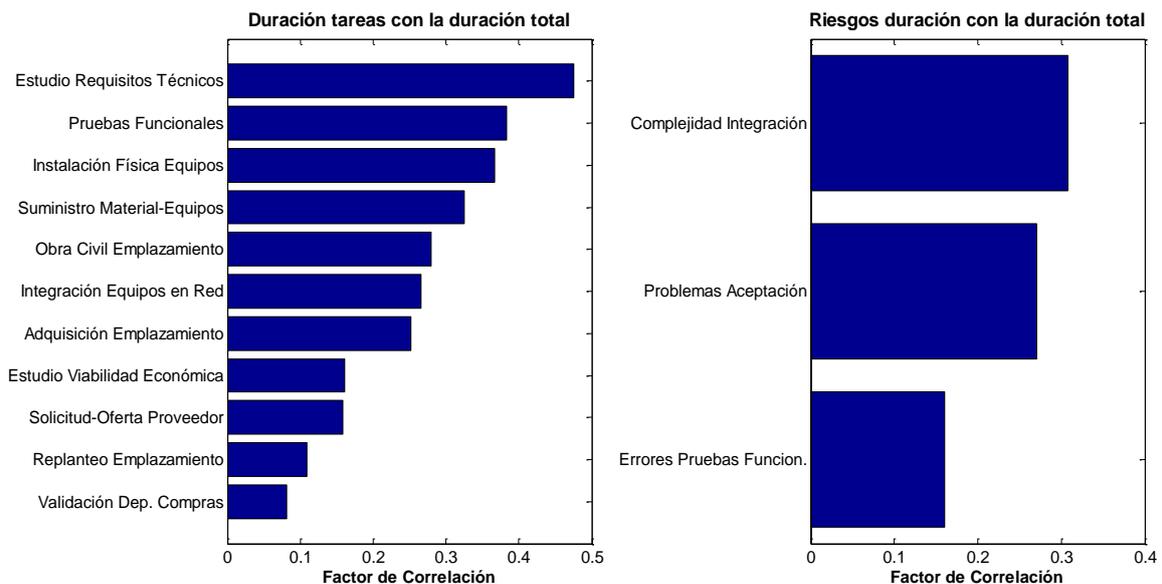


Figura 86. Sensibilidad de tareas y riesgos mitigando *Adecuación Compleja*

Se omiten el resto de pasos ya que corresponden a los riesgos menos influyentes (sensibilidades < 0,3), con efectos muy limitados en los resultados. Por último, una vez eliminado todos los riesgos sólo se muestra la gráfica de las sensibilidades de la duración de las tareas con la duración total del proyecto, es decir, estas sensibilidades están influenciadas sólo por el efecto que tiene la lógica del plan de proyecto y el error de estimación de las tareas:

6. Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto

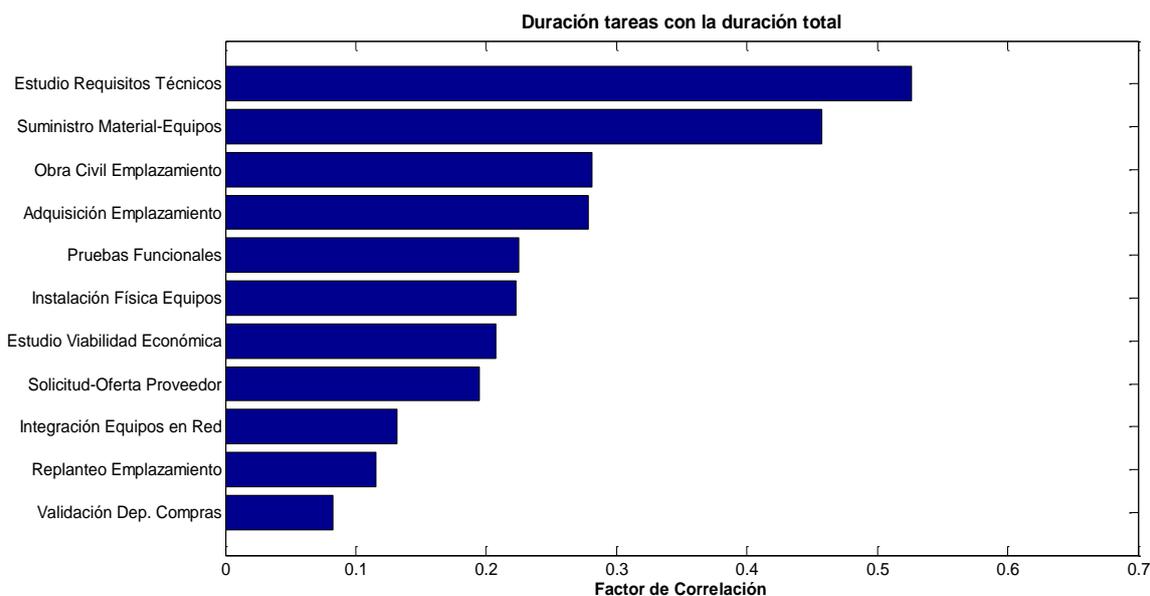


Figura 87. Sensibilidad de tareas con todos los riesgos mitigados por completo

En la gráfica podemos ver cómo por cuestión de sus FDP y estructura de la lógica, existen dos tareas con una sensibilidad predominante con la duración total del proyecto, mientras que el resto se pueden catalogar como leves ($< 0,3$) a pesar de haber diferencias. Si la comparamos con la gráfica donde considerábamos todos los riesgos (Figura 82), vemos diferencias notables, tanto de orden como de magnitud.

Con todos los riesgos ya mitigados según el criterio del mayor impacto marginal al nivel de confianza P-80, ya tendremos conformada la clasificación para la priorización de acciones, que nos ayuda a ayudar a crear la hoja de ruta más beneficiosa para una eficaz actuación sobre los riesgos que comprometen el proyecto.

A continuación se muestran los resultados de la priorización y mitigación tras completar todo el análisis de sensibilidad:

Riesgo Mitigado (Ordenados)	Fecha P-80	Impacto Marginal en Fecha P-80	
		Días	Porcentaje del impacto total (%)
Ninguno (Todos contemplados)	19 de junio	-	-
Dificultad en la adquisición emplaz.	10 de junio	9	33,4
Disponibilidad suministro equip-mat	6 de junio	4	14,8
Variación de los requisitos	3 de junio	3	11,1
Complejidad de la adecuación	1 de junio	2	7,4
Complejidad de la integración	1 de junio	0	0
Problemas en la aceptación	31 de mayo	1	3,7
Errores en Pruebas Funcionales (Sólo Error de Estimación)	31 de mayo	0	0
Cálculo Determinístico	23 de mayo	8	29,6

Tabla 19. Ordenación de priorización de los riesgos mitigados por su impacto en el P-80

Nótese que las sucesivas mejoras en la duración una vez mitigado de manera íntegra cada riesgo no van necesariamente en disminución. Existe la posibilidad de que riesgos posteriormente mitigados tengan un mayor margen de mejora que anteriores, como ocurre con el riesgo de *Problemas en la aceptación*. Lo cierto es que si alteramos este orden para mitigar anticipadamente riesgos con mayor margen que otros de más prioridad es muy posible que se obtengan peores resultados. Esto no se debe más que a la naturaleza dinámica del plan de proyecto, que contiene un sinfín de condiciones implícitas que generan estos márgenes de mejora por efectos colaterales de la mitigación. Se ha de destacar la importancia a la hora de dedicar esfuerzos y tiempo para las estimaciones, ya que el *error de estimación* tiene una de las mayores aportaciones a la necesidad de previsión para contingencias.

Durante este proceso vemos como riesgos y tareas varían constantemente su sensibilidad y por ende su prioridad para una mitigación óptima, de tal manera que no podemos asumir que las acciones correctoras no tienen efectos colaterales, y que la forma y el orden en que se abordan los planes de contingencia es totalmente vinculante. Para sacar el máximo partido hemos de realizar concienzudamente todas las actividades de control y seguimiento, recabando la información de la evolución para nutrir al simulador con datos realistas y actualizados.

Por último, y para mostrar de una manera muy ilustrativa lo ocurrido en el análisis de sensibilidad, mostramos la gráfica con las FDA de cada mitigación. Como es de esperar, la curva que contempla un mayor número de riesgos activos (Simulación 1ª) tiene una menor pendiente, que indica su mayor rango de incertidumbre (mayor desviación estándar), y viceversa a medida que mitigamos cada riesgo adicional.

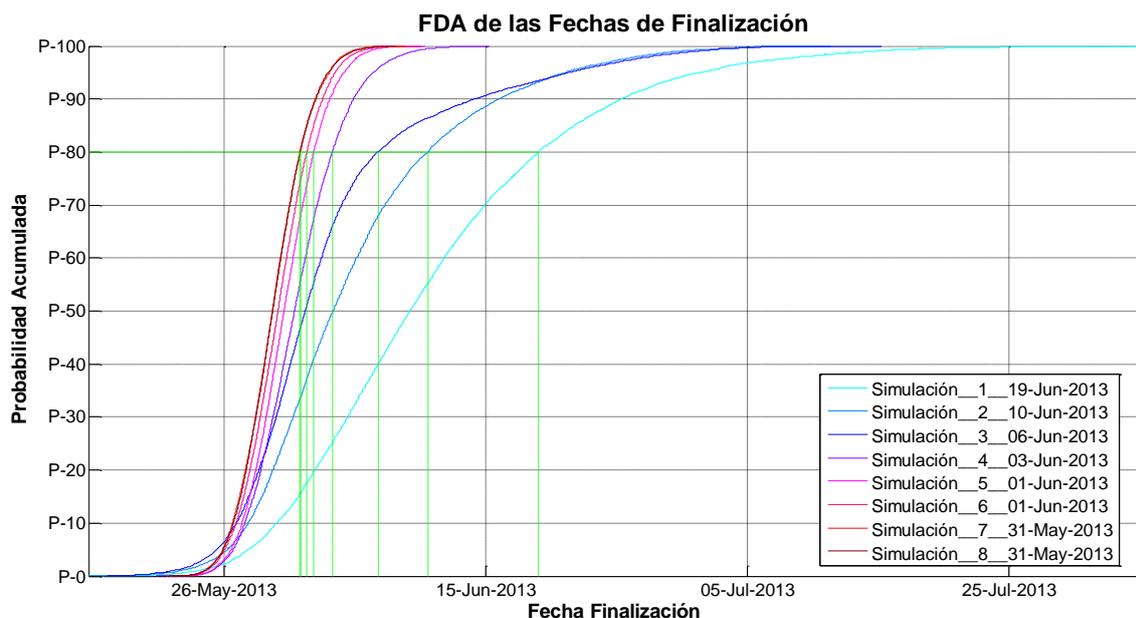


Figura 88. Comparación de las simulaciones de priorización de riesgos mitigados

6. Aplicaciones del Simulador: Correlación entre elementos de un proyecto

Se observa que el margen de mejora al mitigar los últimos cuatro riesgos es muy limitado, y puede que no justifique los recursos necesarios para tal acción. Por contra, se observa que los tres primeros riesgos mitigados (Simulaciones 2, 3, y 4) tienen un alto impacto en el tiempo, y debe plantearse activamente el actuar frente a ellos.

Una vez más vemos la importancia de dónde se establece el nivel de confianza, puesto que a partir de un nivel de confianza del P-85, el margen de mejora de mitigar el segundo riesgo (Simulación 3) sería mucho menor, mientras que la mejora al mitigar el tercer riesgo (Simulación 4) incrementaría notablemente, sin suponer una reducción o incremento respectivamente de los recursos necesarios para tal propósito, por lo que se busca el máximo rédito a los recursos asignados. Este tipo de fenómeno se debe una vez más a estructura lógica del plan de proyecto y a todos los elementos como los riesgos que tienen efecto en ella, haciéndola muy impredecible.

El análisis de sensibilidad nos ha permitido tener un método cuantitativo para optimizar las acciones correctoras pertinentes haciendo uso del método Monte Carlo. Se lleva a cabo tomando completamente en cuenta el plan de proyecto, que es una de las herramientas más importantes a la hora de gestionar un proyecto desde su inicio a su fin, y haciendo pleno uso del registro de riesgos, más allá del valor documental de este. De esta forma, el Project Manager tiene una forma muy ilustrativa y eficaz de justificar sus decisiones de cara a contingencias, ya que sin previsiones claras, en ocasiones es difícil cambiar el rumbo de los acontecimientos.

Tampoco se ha de olvidar que durante la realización de este proceso, el simulador desarrollado ofrece todo el abanico de herramientas expuestas hasta el momento, como valores estadísticos como desviaciones estándar, índice crítico de las tareas, o rutas críticas de cada escenario. Esta información podrá complementar la búsqueda de decisiones acertadas proyectando escenarios que sean de interés.

6.3.3 Algunas consideraciones prácticas del análisis

Para mostrar el método del análisis de sensibilidad de los riesgos, en el ejemplo se ha procedido a mitigar el riesgo de turno eliminándolo por completo. En la realidad, esto no será posible en multitud de ocasiones, pudiéndose sólo reducirse su impacto negativo parcialmente, o aumentar el positivo para aprovechar una oportunidad. Es por ello que cada riesgo deberá ser estudiado, analizando la capacidad de actuación posible que permita modificar su probabilidad y rango de impacto (reducir en caso de amenaza, incrementar en caso de oportunidad) cuando simulemos proyecciones de escenarios. Una vez se actúe sobre un riesgo, generalmente no se admitirá posteriores acciones correctoras sobre el mismo, manteniéndolo constante en los posteriores pasos del análisis, salvo que una acción anterior legitime una nueva actuación.

Para el nuevo enfoque de riesgos explícitos se asumen que estos serán independientes, cuando en la realidad en ocasiones puntuales los riesgos pueden estar

correlacionados. Para estos casos lo más conveniente es realizar la consolidación de ambos riesgos en un solo que contemple el efecto de ambos, de manera que el resultante sea independiente con el resto de riesgos definidos. Si esto no fuera posible, deberíamos pasar a técnicas de correlación como las discutidas en el apartado 6.2, siendo muy poco recomendable por su complejidad y escasa agilidad.

El análisis de riesgos pretende dar un punto de vista cuantitativo del efecto de estos, apoyando las decisiones a tomar. Para muchos de los riesgos recomendados por este proceso a actuar, tendrá que valorarse las necesidades de recursos, pues de sobra es sabido que toda estrategia de mejora tendrá un coste (de cualquier tipo: temporal, económico, calidad,...). En ese caso, habrá que cotejar los beneficios de las acciones correctoras contra el aumento de recursos, cosa que se puede llevar al terreno cuantitativo de lo económico en la mayoría de los casos. Es posible que un incremento ínfimo del presupuesto pueda ayudar a mejorar, o por el contrario una gran mejora requiera de un esfuerzo difícilmente justificable. Con todo esto, el Project Manager deberá realizar simulaciones realistas para poder proyectar escenarios factibles que justifiquen la toma de decisiones.

7 Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación económica

7.1 Integración del elemento coste

Hasta el momento, a pesar de referirnos en ocasiones de manera generalizada a elementos que componen un plan de proyecto, sólo se ha profundizado en la planificación temporal. Esto se debe principalmente a que el elemento tiempo tiene como fundamento la lógica del plan, que aparte de concernir muchas de las funcionalidades e implicaciones de la metodología, es el pilar del que dependen en gran parte elementos como coste, alcance o calidad. En cambio, el elemento coste carece de dicha profundidad si no se complementa con el tiempo, permitiendo sólo modelos lineales y aditivos de escaso interés, con consecuencias fácilmente extrapolables de los casos básicos.

Al integrar el elemento coste en el modelo, podemos empezar a tratar de manera más realista un plan de proyecto, pues en gran parte es altamente dependiente del tiempo. Integrando los costes con la lógica del plan de proyecto obtendremos resultados que contemplan todo el abanico de incertidumbres de un proyecto, pues riesgos temporales tienen en muchos casos efectos en los riesgos de costes. Ahora, las estrategias de contingencia también se podrán desarrollar en base a los costes, priorizando de una manera aún más optimizada.

A la hora de integrar el elemento coste es importante tener en cuenta que el análisis de riesgos es más cercano al nivel estratégico que al operacional. El nivel estratégico, por norma, es un análisis con un nivel de detalle inferior a, por ejemplo, las necesidades de seguimiento diarias del proyecto. Del elemento coste es habitual no tener información muy pormenorizada, ya que el desglose sobre ciertos ítems o servicios es difícil o irrelevante. Esto lleva a la conclusión de que cuando integremos el coste, lo haremos sobre una versión del plan de proyecto con una profundidad moderada. Más que una conclusión, la experiencia lo convierte en una necesidad, ya que la integración requiere de una concordancia entre ambos elementos, y esta sólo se obtiene en ciertos niveles de detalle, cercanos a los definidos en la EDT.

Una estimación de costes bien segmentada e incorporada coherentemente con los recursos y tareas es básica para hacer un análisis de los riesgos económicos eficaz. Esta se realiza mediante referencias de proyectos análogos, juicio de expertos, información de los proveedores y subcontratas, estimaciones ingenieriles, o estudios de mercado (como los salarios medios de ciertos profesionales).

El Project Manager se puede ver en una situación difícil cuando los costes que le son facilitados incorporan un cierto ajuste implícito para contemplar algún riesgo, más allá

de las fuentes objetivas (pseudo-objetivas en el caso de las opiniones de implicados). Esto tiene las siguientes consecuencias:

- Por un lado, los casos en los que la amenaza tiene lugar, el dinero presupuestado será usado completamente. En pocas ocasiones un dinero asignado con posibilidad de ser sobrante (fruto de una oportunidad) se vuelve reubicar en otra parte del plan, y habitualmente es gastado.
- Por otro, cuando los riesgos tiene lugar, este ajuste al alza no suele contemplar los casos más pesimistas para no engordar en exceso el presupuesto, pero ello llevará a que sea insuficiente la estimación.

Esto hace que el cálculo *a priori* de los costes para contingencias en muchos de los elementos provoque una falsa idea del presupuesto requerido. La mejor manera de cuantificar el presupuesto de contingencias es con una simulación libre de ajustes en los costes, cosa no siempre fácil.

7.1.1 Modelando los costes: Actividades y sus recursos

Cada uno de los costes establecidos o estimados en el apartado anterior se habrá conformado de múltiples maneras. Para poder realizar una integración total y coherente simulando modelos realistas, estos han de concordar con la lógica del plan de proyecto. Para ello se debe de tener un criterio de modelado que lo permita, que basaremos en la dependencia con el tiempo:

- *Tiempo-dependientes*: La cuantía de estos costes está íntimamente relacionada con la duración de las actividades, y por ende sometida a los riesgos que afectan a la duración. Podrán verse afectados de dos maneras:
 - Según la variación del tiempo necesario para su realización.
 - Según el número de unidades del recurso requeridas por unidad temporal.

Ejemplos para este tipo de costes son, por ejemplo, mano de obra contratada específicamente para un trabajo o cualquier tipo de equipamiento arrendado en base al tiempo para llevar a cabo una tarea.

- *Tiempo-independientes*: Este tipo de costes pueden tener incertidumbres en su valor, pero no están ligados a las duraciones tanto del proyecto en general como a las tareas a las que van asociados. Un ejemplo es una demora en el envío de un material, la cual tendrá implicaciones temporales pero su precio permanecerá inalterado. Otro caso podría ser que un coste se vea afectado por la ley de mercados (oferta-demanda), siendo totalmente independiente del curso del propio proyecto o de los riesgos que afectan específicamente a las duraciones.

7. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación económica

Hay que tener cuidado con los *costes fijos* que se asume tener, ya que muchos de los costes que se disponen en la definición del proyecto estarán sujetos a modificaciones, especialmente los más ajenos como los de las subcontratas.

Con estas bases, se iniciará después de la clasificación de los costes la armonización con la EDT, un paso intermedio de la integración tiempo-coste completa.

Para el ejemplo del apartado anterior del despliegue de un nodo radio, vamos a ir exponiendo la integración del elemento coste. Según se recabe la información, la integración se conformará de diversas maneras y por diferentes frentes. En este caso mostramos en primer lugar la asignación de los costes basada en la segmentación por recursos, donde especificaremos su tipo de dependencia temporal:

Recurso	Tipo de dependencia temporal	Coste (€)
Gestión de proyecto y administrativa	Tiempo-dependiente	5000
Departamento de ingeniería	Tiempo-dependiente	10000
Técnicos de campo	Tiempo-dependiente	3000
Equipos y material técnico	Tiempo-independiente	10000
Obra civil	Tiempo-dependientes	15000

Tabla 20. Recursos del proyecto de despliegue nodo radio

Ahora especificamos las cuantías de estos recursos asociados a cada actividad, que son las verdaderas generadoras de costes. Esta asignación es fundamental para integrar un modelo tiempo-coste de manera eficaz, como iremos viendo:

Actividad del Proyecto	Coste de la actividad (€)
Estudio de requisitos técnicos	5190
Estudio viabilidad económica	320
Solicitud oferta proveedor	320
Validación oferta Dep. Compras	170
Adquisición emplazamiento	3400
Replanteo	1050
Suministro Equipos-Material	11200
Obra civil	15880
Instalación equipos	2170
Integración en red	1200
Pruebas Funcionales	2150

Tabla 21. Coste del proyecto de despliegue nodo radio por actividad

La manera de establecer la cuantía de cada tarea queda al juicio del Project Manager y las necesidades del proyecto. Como es de suponer, un recurso como *Obra Civil* dispone de una parte de su coste fija (materiales) y otra variable (mano de obra). En el ejemplo, se aúna todo en un solo recurso, ya que este está definido a un nivel estratégico (inferior al del día a día). Posteriormente se establecerá la existencia de un riesgo que

variará dicho importe de manera coherente con la desviación que cabe considerar en su parte variable. De todas maneras, si fuera necesario, la metodología no tiene problemas en considerar segmentaciones mayores.

Por último, mostramos la matriz de asignación económica tarea-recurso. Esta asignación es la que hace que se requiera un nivel de especificación similar para ambos elementos, preferiblemente el de la EDT, para crear una asociación correcta:

Recurso Actividad	Gestión Proyecto	Departamento Ingeniería	Técnicos	Equipos y material	Obra Civil	Total Recursos
Estudio de requisitos técnicos	640	4550	-	-	-	5190
Estudio Viabilidad Económica	320	-	-	-	-	320
Solicitud Oferta Proveedor	320	-	-	-	-	320
Validación Oferta	170	-	-	-	-	170
Adquisición Emplazamiento	800	1400	1200	-	-	3400
Replanteo	200	350	500	-	-	1050
Suministro Equipos-Mater	1200	-	-	10000	-	11200
Obra Civil	530	-	300	-	15000	15880
Instalación	420	750	1000	-	-	2170
Integración en Red	150	1050	-	-	-	1200
Pruebas Funcionales	250	1900	-	-	-	2150
Total Actividades	5000	10000	3000	10000	15000	43000

Tabla 22. Matriz Actividades-Recursos del proyecto de despliegue nodo radio

Esta tabla se conforma considerando todos los recursos que intervienen en cada una de ellas. Algunos recursos pertenecen íntegramente a una actividad, mientras que otros aportan cuantías a varias de ellas. En el caso de actividades como el *Estudio de requisitos técnicos*, su coste está definido por dos recursos distintos, el recurso de *Gestión de proyecto y administrativa* y la labor del *Departamento de ingeniería*.

Hay varias formas de asignar las cuantías de los recursos. Para proyectos donde sus implicados son trabajadores propios, la manera más recomendable de cuantificar la mano de obra es prorratear las retribuciones en base a la dedicación estimada. De esta manera, si una tarea de considerable duración requiere una dedicación poco intensa,

aún con necesidad de multitud de miembros, puede tener un coste muy inferior a otra breve con trabajadores expertos de altas retribuciones. En el caso del recurso de *Gestión de proyecto y administrativa* está uniformemente asignado a todas las tareas, ya que se establece como norma una dedicación continua y constante, mientras que en el caso del recurso de *Departamento de ingeniería*, tiene aportaciones (unidades del recurso requeridas por unidad temporal) distintas en cada tarea que interviene, debido a una dedicación exigida variable en cada una de ellas.

Es importante establecer de qué manera se va a realizar las proyecciones de resultados, puesto que muchos proyectos tendrán costes derivados que no estarán directamente relacionados con la ejecución, pudiendo no considerarlos en esta labor. Un ejemplo de ello son los costes de certificados y demás burocracia necesarios en despliegues de nodos radio, que pueden producirse un tiempo después, y habitualmente están conducidos por departamentos ajenos a la ejecución.

Toda esta información se establece en el proceso de planificación inicial, mediante reuniones, así como consultando históricos si los hubiera. Con esta asignación de los costes se trata de que se contemple y fije todo el presupuesto (libre de contingencias) al plan de proyecto de la manera más realista. Ha de remarcarse que la asignación de los costes al plan de proyecto permitirá situar los costes en el tiempo, permitiendo disponer de los flujos de caja tentativos, algo de altísima utilidad para elementos de la estrategia corporativa, como es la tesorería.

7.1.2 Armonía Tiempo-Coste

Una objeción importante en el desarrollo del proyecto es que de manera habitual la gestión, control, y seguimiento de la planificación temporal y de costes no se hace de manera conjunta, llevándose a cabo por diferentes personas o departamentos, especialmente en proyectos de cierta magnitud. El no disponer de un canal de comunicación eficaz y bien definido, y una correcta centralización de la información que asegure una evolución conjunta, puede suponer un gran perjuicio, que se acrecentará a medida que el proyecto avance.

La concordancia de los elementos al inicio de proyecto se consigue enfocándolos al nivel de la EDT. Sin embargo, a medida que el proyecto avanza, se corre el riesgo de que ambos elementos se vayan viendo modificados, orientados a sus objetivos concretos y con diferentes niveles de detalle. El plan de proyecto modificará, sustituirá o profundizará en la información de las actividades según las necesidades del día a día, ocurriendo lo mismo con los costes. Si no se toma cuenta de ello provocará que a la hora de integrar ambos elementos para hacer un pronóstico vía simulación durante el seguimiento sea de extrema dificultad, o se provoquen incongruencias.

Imaginemos una tarea tiempo-dependiente con un coste de 1000€ cuya duración es de 10 días, implicando un coste de 100€ diarios. Supongamos que un riesgo ha tenido

lugar, provocando que la duración estimada sea de 12 días, y no tenemos posibilidad de mitigarlo para mantener esos 10 días. ¿Significa esto que la estimación para los costes debiera de modificarse a 1200€ (12 días * 100€/día)? Siendo temporalmente dependiente, podría pensarse que sí habría que incrementar el coste, a menos que la extensión en el tiempo haya sido provocada, por ejemplo, por la necesidad de una menor asignación de unidades del recurso por unidad temporal, lo que supone mantener el coste inalterado.

Con este sencillo caso se muestra que para realizar ajustes es fundamental la participación de implicados de ambos frentes, ya que las variaciones de la planificación del día a día acostumbran a tener consecuencias económicas que han de modelarse correctamente si se desea proyectar resultados de calidad.

7.1.3 Conexión y dependencias Tiempo-Coste

La integración simultánea de los elementos tiempo y coste permite modelar y simular planes de proyecto cercanos a la realidad, algo de gran importancia. No sería extraño pensar que al observar históricos se llega a la conclusión de que estos dos elementos están estrechamente relacionados. Las preguntas que nos hemos de realizar podrían ser:

- ¿Si la duración del proyecto se prolonga debido al impacto de sus riesgos, el coste se verá siempre afectado? ¿De qué manera?
- ¿Cuál es la naturaleza de la relación entre ambos elementos en el proyecto, está claramente definida o es más bien difusa?

No ha de olvidarse que los costes no son inmunes al efecto de los riesgos, ya sea de manera directa o indirecta. Si bien en el caso de la duración de las tareas, la variación de estas se debe de manera fundamental al efecto de los riesgos sobre ellas, los costes pueden verse afectados por dos frentes diferentes simultáneamente:

- Los riesgos directos sobre el coste final del recurso, sin importar como está ligado a la lógica del plan de proyecto.
- La variación del coste del recurso relacionada con la dependencia temporal de la actividad por el efecto de riesgos en la duración. Como es lógico, recursos tiempo-independientes no se verán afectados por este caso.

En el Capítulo 6 a la correlación se expone el nuevo enfoque basado en los riesgos como elemento generador de esta, y vamos a mantenerlo también en la integración de los costes. El hecho de integrar los costes a la lógica del plan permite inducir el efecto de la correlación de una manera muy natural. Por ello, desechamos definitivamente la generación de correlación usando los métodos basados en coeficientes de dependencia, por la complejidad que se mostró que requeriría desde el punto de vista operativo.

7. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación económica

En definitiva, los riesgos afectarán tanto a la duración de las tareas como el coste de los recursos, de manera conjunta o específica. Esto resume en tres formas el efecto del riesgo sobre un plan de proyecto:

- La duración de una actividad o un grupo de actividades.
- La variación directa del propio coste del recurso.
- El número de unidades del recurso requeridas por unidad temporal para el coste, sólo en recursos tiempo-dependientes.

Como se verá a continuación, con este modelo podemos simular entornos de una gran semejanza con la realidad, que ayudarán activamente a simplificar la labor de previsión del Project Manager a través de los resultados de las simulaciones.

7.1.4 Poniendo a prueba la integración Tiempo-Coste

Vamos a plantear como en otras ocasiones un ejemplo donde se puede evidenciar claramente lo expuesto. Lo que se va a hacer es ir modelando las características de los riesgos de un proyecto paso a paso para ver los efectos causados. Consideremos un proyecto sencillo, de un coste estimado inicialmente de 5500€ con una duración de 4 meses, como el que se muestra en la figura:

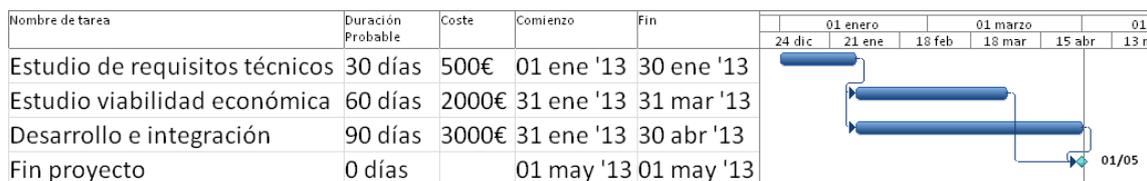


Figura 89. Gantt proyecto básico con costes

Este consiste en una tarea de *Estudio de requisitos* con un coste de 500€, otra de *Suministro de equipos* con un coste de 2000€, y una última de *Desarrollo e integración* con un coste de 3000€. Siguiendo la metodología propuesta, a la duración de las tareas se les incluye un error de estimación, que supone su definición como un FDP (y no un valor determinístico), fijado por los márgenes establecidos del 95% de la estimación para el mínimo y el 115% de lo estimado para el máximo [20]. El plan de proyecto se verá afectado por riesgos que comprometerán su duración y coste.

En primer lugar vamos a ver el efecto en los costes de riesgos que comprometen sólo la lógica temporal. Para ello, vamos a introducir en primer lugar un solo riesgo, *Productividad laboral variable*, y lo asignaremos a la tarea de *Desarrollo e integración*. Se tiene como una incertidumbre, ya que su probabilidad de ocurrir es del 100%:

Descripción	Optimista	Probable	Pesimista	Prob. Ocurrencia
Productividad Laboral Variable	95%	105%	120%	100%

Tabla 23. Rango de impacto de la incertidumbre de productividad laboral

Obsérvese que el parámetro que representa el valor más probable se ha fijado un 5 por ciento superior a la estimación realizada. Con esto se trata de mostrar que el Project Manager no solo puede usar los riesgos para definir la horquilla de impacto sobre el elemento, sino para además reajustar ciertos valores (en este caso el probable) si tiene creencia de que no son del todo correctos. Ahora simulamos para obtener una previsión de los costes:

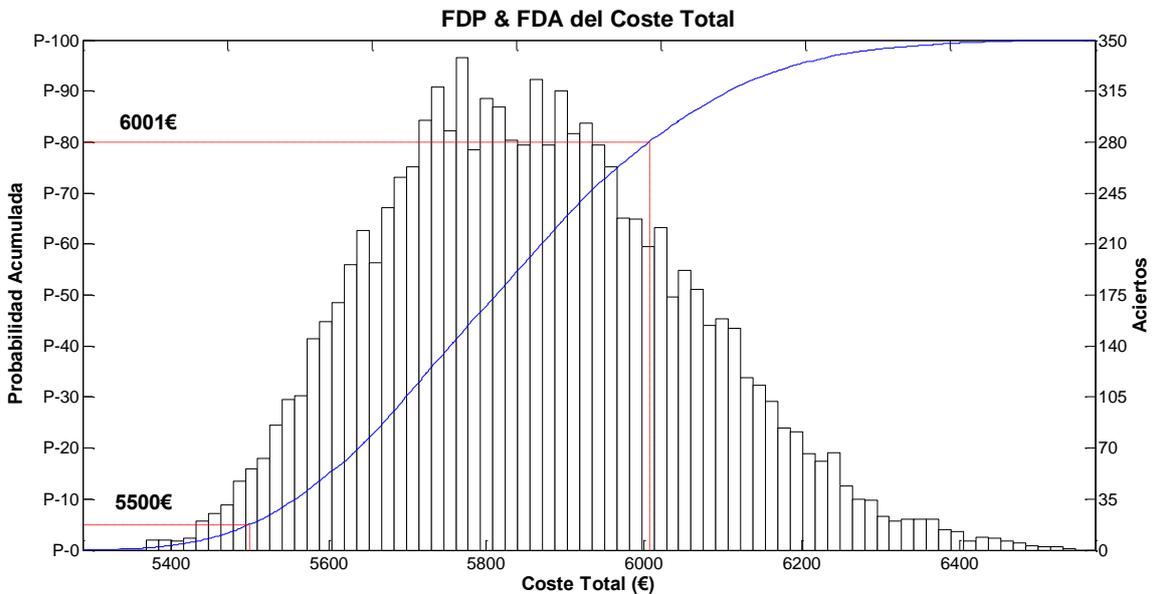


Figura 90. Resultados del coste total del proyecto con incertidumbre temporal

Vemos que se obtiene una probabilidad de 5% de cumplir la premisa inicial de un presupuesto de 5500€. Si fijamos como venimos haciendo un nivel de confianza para la estimación del P-80, el presupuesto requerirá 6001€, que es un incremento superior al 9% sobre lo presupuestado.

Nótese que no se ha asignado ningún riesgo directamente al coste, sino a la duración de la tarea. Como esta tarea tiene asociado un recurso tiempo-dependiente (retribuciones del capital humano), el coste varía de forma proporcional con el tiempo de la tarea, provocando una relación directa. Para ilustrar convenientemente este efecto, se puede usar un diagrama de dispersión:

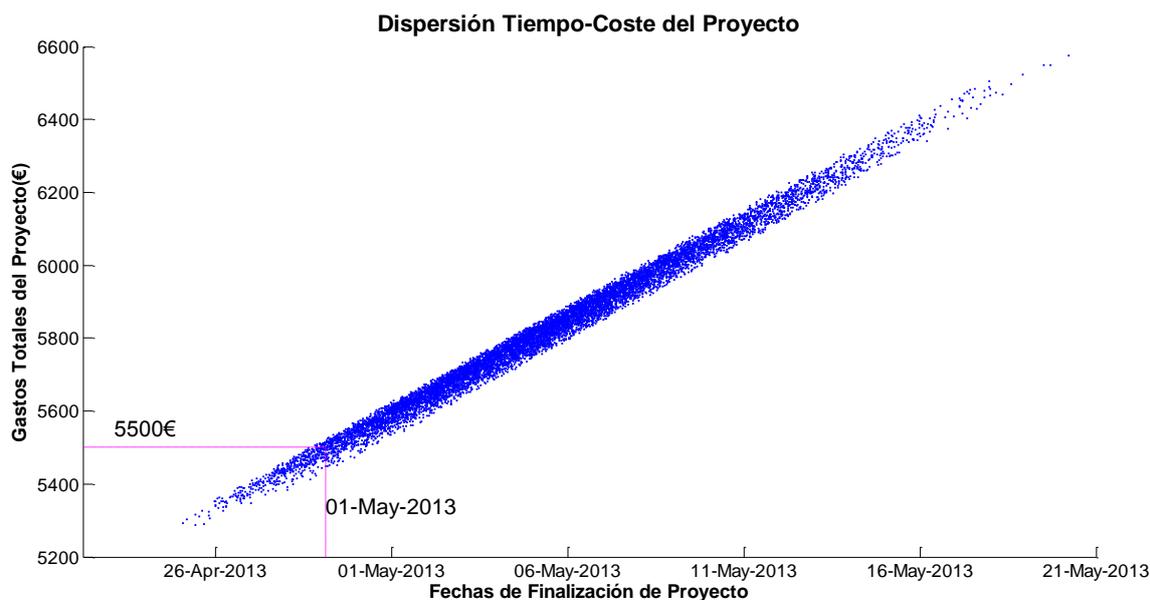


Figura 91. Relación directa del coste del proyecto con una incertidumbre

La variación de los costes viene prácticamente definida por la variación del tiempo del plan (99,5%), al existir solamente riesgos en la lógica temporal. La pequeña varianza de la relación viene provocada por el error de estimación temporal, que tiene un impacto en los recursos tiempo-dependientes. Una de las mayores utilidades de este tipo de diagramas es que se visualiza claramente la relación económico-temporal, así como la porción de iteraciones que están dentro de determinados márgenes, cosa que será de utilidad para métricas que veremos. Se observa que los valores determinísticos, que pertenecen al rectángulo acotado por la líneas de color magenta, comprenden una parte muy pequeña de los resultados (4,2%).

Ahora vamos a añadir al riesgo un impacto respecto al coste de los recursos de la tarea, que comprometerá la cantidad o tasa de gasto por unidad de tiempo, modelando la incertidumbre en los honorarios finales del capital humano:

Descripción	Rango impacto Duración			Rango impacto Coste			Prob. Ocurrencia
	Opti.	Prob.	Pesi.	Opti.	Prob.	Pesi.	
Productividad Laboral Variable	95%	105%	120%	90%	100%	110%	100%

Tabla 24. Rango de impacto de productividad laboral incluido costes

Al ser un recurso con dependencia temporal, el simulador establecerá el coste unitario del recurso a través del coste inicialmente estimado. Es sobre este coste unitario donde se calculan los efectos de los riesgos que afectan al coste o a la tarea que somete. La figura siguiente compara la variación que sufre el proyecto al incluir este riesgo económico:

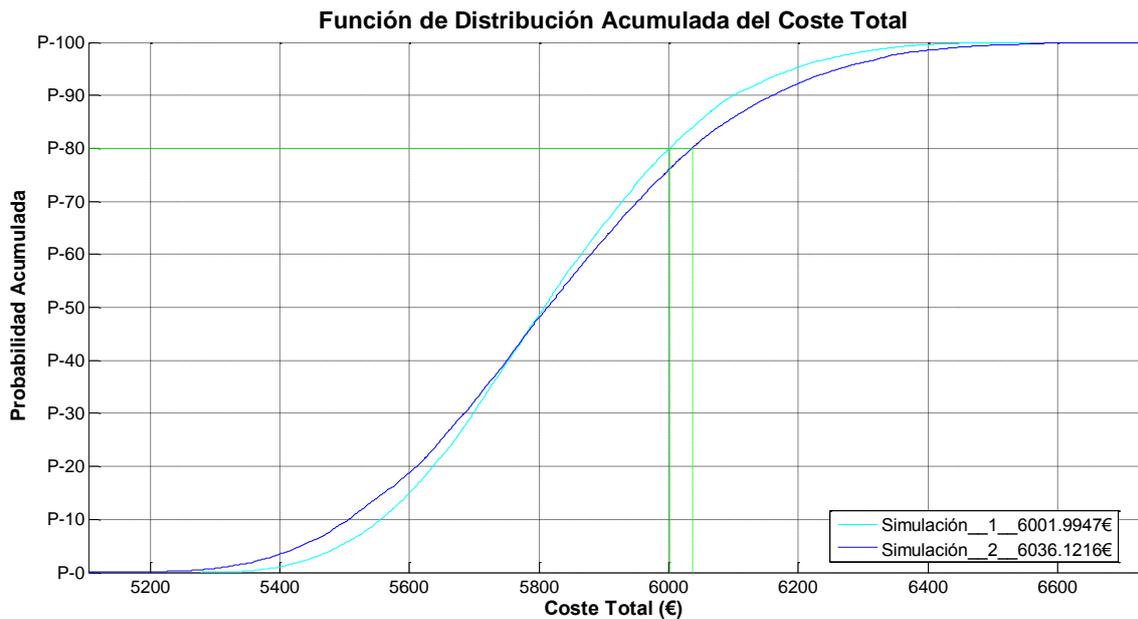


Figura 92. Modificación de la FDA cuando se añade un impacto en la tasa de gasto

La inclusión del riesgo en un recurso tiempo-dependiente ha provocado una extensión de las colas de la distribución (Simulación 2), aunque tiene resultados similares alrededor del P-50 (dada la simetría del riesgo económico), justificando la importancia del nivel de confianza a elegir. Si analizamos esta nueva situación usando un diagrama de dispersión, se ilustra claramente que está ocurriendo:

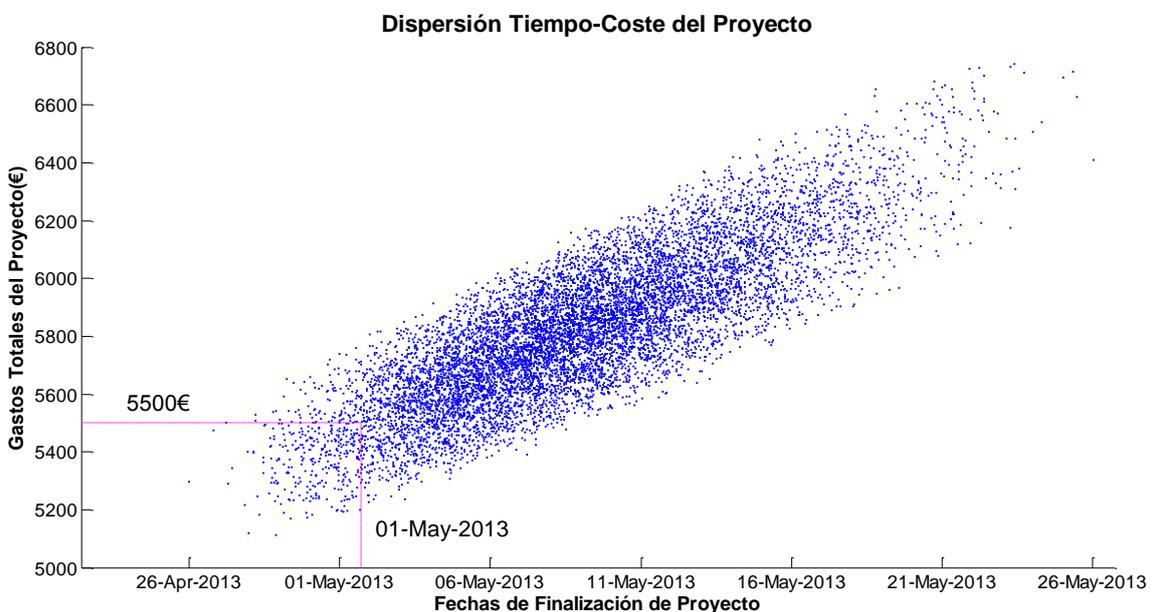


Figura 93. Riesgos en recursos (no correlacionados con el tiempo) disminuyen la relación

En esta ocasión no existe una relación tan estrecha entre el coste y tiempo. Esto se explica con la incorporación del riesgo tiempo-dependiente que afecta al coste de la productividad. Ambos elementos siguen teniendo una correlación notable (el

7. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación económica

simulador precisa un 81%), pero se empieza a constatar que diferentes tipos de riesgos moldearán los resultados finales de formas variadas. Los valores determinísticos siguen siendo una parte muy pequeña de los posibles resultados, quedando fuera de la parte de mayor densidad (sólo un 3%).

Por último, vamos a observar las alteraciones que ocurren cuando aplicamos riesgos en una tarea que compromete a recursos tiempo-independientes, como es *Suministro de equipos*, cuyo coste sólo proviene del equipamiento más su envío. El riesgo que vamos a incorporar va a ser una *Disponibilidad del proveedor*:

Descripción	Rango impacto Duración			Rango impacto Coste			Prob. Ocurrencia
	Opti.	Prob.	Pesi.	Opti.	Prob.	Pesi.	
Productividad Laboral Variable	95%	105%	120%	90%	100%	110%	100%
Disponibilidad del proveedor	100%	100%	100%	90%	100%	130%	100%

Tabla 25. Adición de riesgo que afecta a recurso tiempo-independiente

La disponibilidad variable provocará un efecto según la ley de oferta y demanda que alterará el coste de los equipos que se abastecen. Este riesgo va a afectar exclusivamente al coste del recurso (equipamiento necesario) asociado a la tarea, pero no a la duración de esta. En la siguiente figura comparamos de nuevo el efecto que tiene este riesgo sobre el plan de proyecto:

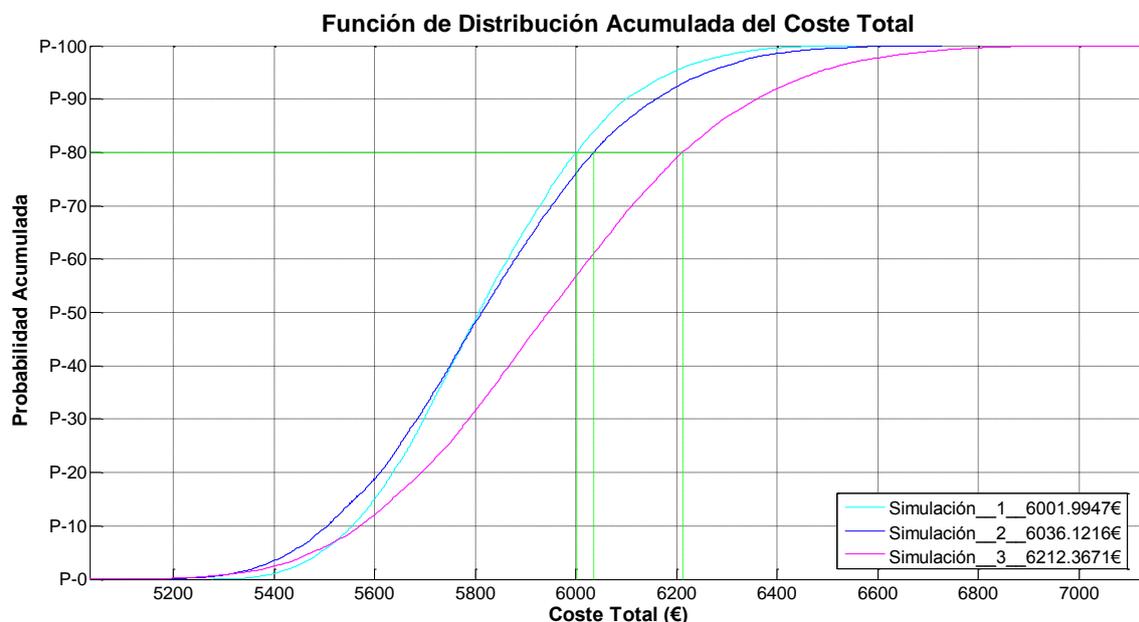


Figura 94. Resultados de un riesgo sobre un recurso tiempo-independiente

En esta ocasión la variación se plasma en una notable modificación de la FDA del coste (Simulación 3), arrastrándola hacia valores más elevados, incrementando los niveles de

confianza altos y su desviación estándar. Si ahora analizamos la relación del tiempo y el coste mediante un diagrama de dispersión, se recoge una mayor dispersión de los resultados, haciendo cada vez más difusa la relación entre ambos elementos:

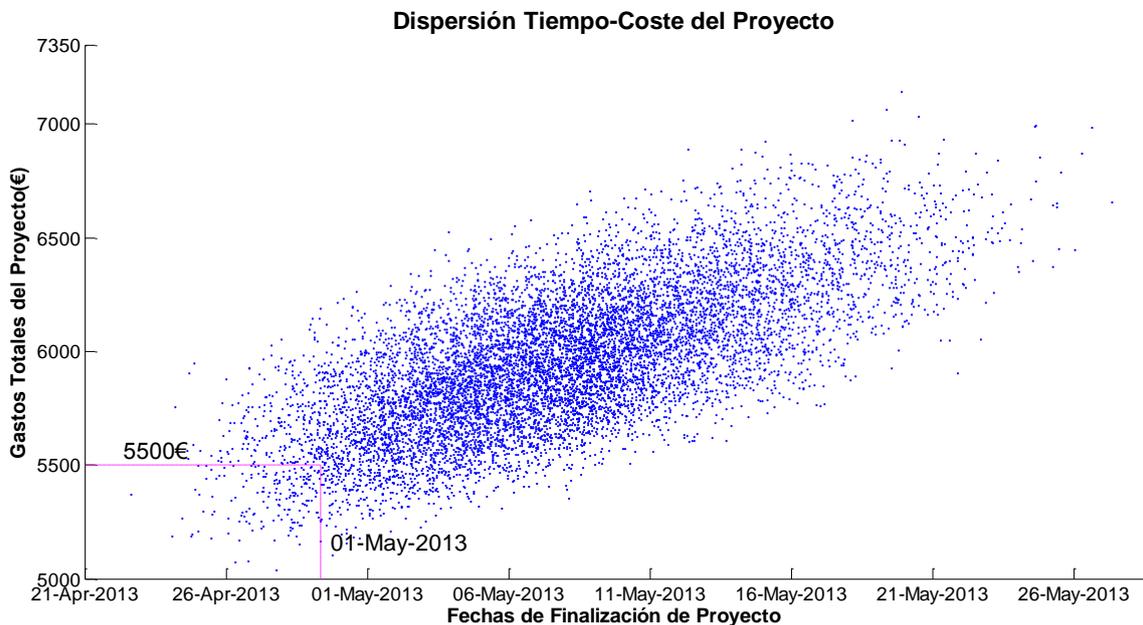


Figura 95. Riesgos sobre recursos tiempo-independientes aumenta la dispersión

Realizando un análisis de regresión, ahora se obtiene una correlación del 70%, frente al 81% anterior. El simulador indica que porción de posibilidades comprendida dentro de los valores determinísticos no tiene gran variación respecto a los anteriores escenarios. Se constata que al incorporar riesgos que no dependen de la lógica temporal del proyecto, tendremos una menor causalidad, por lo que hacer predicciones y proyectar a futuro será cada más complicado e impreciso.

Este ejemplo nos lleva a creer útil la descomposición de los riesgos según su causa para poder ahondar en estrategias más eficaces a la hora de tomar decisiones o establecer planes de contingencias. Este modelo no sólo ayudará a precisar con mayor exactitud los acontecimientos venideros, sino también a cobrar una mayor conciencia de cómo atacar las situaciones. Más adelante veremos la utilidad de poder concretar escenarios económicos según los efectos de diferentes riesgos. Es posible que los resultados obtenidos no rompan con lo que se presupone inicialmente, pero poder cuantificar con precisión ha de verse como un ejercicio de gran valor.

7.1.5 Maneras de modelar otras actividades y sus recursos

El ejemplo expuesto trataba de ilustrar la integración e interacción de los costes con el tiempo de una forma clara. En él, se ha mostrado las principales maneras en que se verá afectado un plan de proyecto, pero es necesario contemplar algunos casos más, en ocasiones importantes.

7. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación económica

En el ejemplo anterior no disponía de un caso especial de actividad con recurso asociado, conocidas como las tareas *hamaca* (la bibliografía se refiere a ellas principalmente de esta manera [8]). Consisten en tareas que “cuelgan” (de ahí lo de hamaca) de una serie de actividades, las cuales requieren el apoyo de las primeras para su consecución.

Para modelarlas, haremos que su duración sea igual a la suma de las tareas a las que presta apoyo, viéndose afectadas por los mismos riesgos temporales que estas. Los riesgos de costes serán específicos para las tareas hamaca, ya que pueden tener riesgos en su tasa de gasto específica, pero no se verán afectadas por los riesgos de costes de las tareas de las que dependen. En cuanto a su papel en la lógica, estas tareas no tienen sentido alguno incluirlas en la ruta crítica del plan de proyecto, ya que nunca alterarán su duración por sí mismas, sino a través de las tareas a las que prestan su apoyo. En realidad se tratan de un camino paralelo plenamente dependiente de otro que se desarrolla concurrentemente, permitiendo cuantificar su coste final al estar integrado dentro de la lógica simulada.

Un ejemplo de esto es la actividad de *Gestión del proyecto* (barra rallada), que por norma se extenderá desde el inicio hasta la finalización, usando dependencias del tipo *CC* y *FF* con las tareas inicial y final de la lógica. Otro ejemplo sería las labores de mantenimiento de un equipamiento (maquinaria, etc.), necesarias durante toda su utilización. El coste y/o tiempo final de esta actividad vendrá determinado por el tiempo que se requiere dicho equipamiento para el desarrollo de la actividad, salvo que existan riesgos directamente asociados al coste de la hamaca.

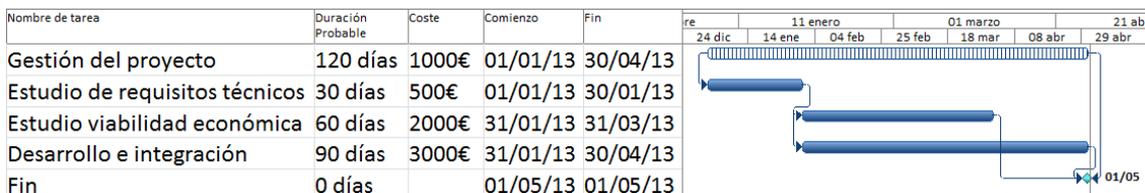


Figura 96. Gantt proyecto básico incluyendo la tarea hamaca de gestión

Como es de esperar, este tipo de tareas son absolutamente tiempo dependientes, con correlaciones de gran nivel sobre sus “tareas maestras”, provocando un aumento de la correlación tiempo-coste en los diagramas de dispersión cuando se incorporan al plan de proyecto.

Por último, debemos de tener en cuenta que ciertos recursos no sólo tienen una dependencia temporal relacionada con las tareas que les competen, sino que además pueden verse alterados por la lógica del proyecto. Estos casos ocurren cuando tenemos lógicas con elementos condicionales que pueden provocar la existencia de nuevos recursos necesarios con sus consecuentes costes; o restricciones de carácter temporal que alterarán la manera (o momentos) en que se emplee en cada uno de ellos. En ocasiones será recomendable realizar simulaciones con planes de proyectos

tentativos con los elementos tiempo-coste de manera conjunta para perfilar la lógica base que se establecerá como hoja de ruta (aunque posteriormente se pueda ver modificada). Estas simulaciones pueden ayudar a definir la necesidad de planes alternativos en función de los costes, creando acciones o planes de contingencias necesarios antes del comienzo del proyecto.

7.2 Profundizando en la integración Tiempo-Coste

7.2.1 Puesta en práctica de la integración

En apartado anterior se ha mostrado los principios fundamentales de la integración del tiempo y el coste. Para modelar casos más complejos se ha de definir de manera más explícita algunos requerimientos, así como indagar cómo puede expresarse el potencial del Método Monte Carlo para obtener más información de utilidad. Se probará un mayor número de opciones de parámetros que establece la metodología para tratar de extraer conclusiones que ayuden a facilitar la labor del Project Manager. Como se ha insistido con anterioridad, todas estas acciones van orientadas a ser una herramienta con la que se mejore la planificación y decisión, no como un mero método de predicción o reporte.

Vamos a plantear de nuevo el plan de proyecto para el despliegue de un nodo radio expuesto anteriormente, añadiéndole el elemento coste para ampliar el análisis. Los recursos con sus costes han sido indicados al comienzo del apartado anterior, después de la preceptiva planificación económico-temporal.

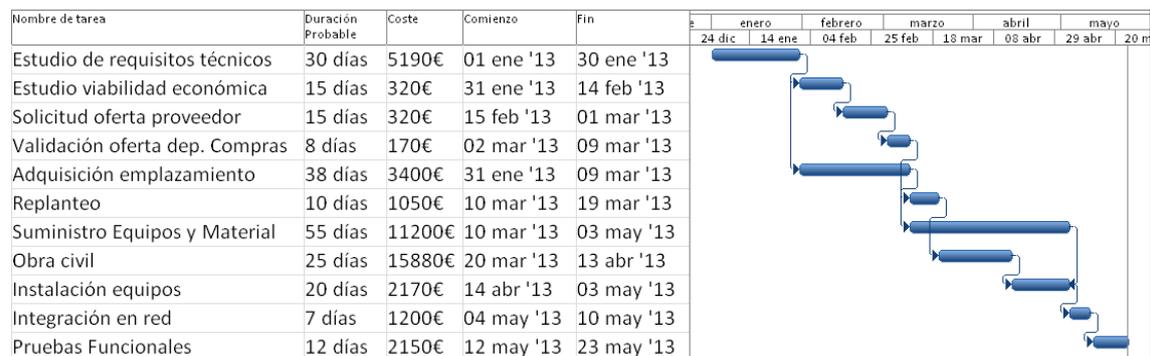


Figura 97. Gantt del despliegue nodo radio incluyendo costes determinísticos

Una vez que se ha definido las tareas y la lógica que conforman el plan, se ha procedido a definir los costes de los recursos necesarios. En ocasiones un recurso irá estrechamente ligado a una actividad concreta, pero en otras, un recurso puede emplear en diferentes tareas. Es por ello que la definición de los costes se realiza de mejor forma desde la perspectiva de los recursos y no de las tareas. Ya hemos visto que no sólo se basa en la estimación del valor, sino también en la asignación del tipo de dependencia temporal.

7. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación económica

En organizaciones con una cultura de gestión de proyecto trabajada sería posible disponer de tablas donde poder consultar datos para agilizar las planificaciones. En estos repositorios de información quedaría establecido el coste medio por unidad temporal o de trabajo de cada recurso (capital humano de un departamento, equipamiento,...) para actividades rutinarias dentro de la ejecución de proyectos, de igual manera que se dispone del SLA (Acuerdo a Nivel de Servicio) temporal de estos recursos para la planificación temporal. Un ejemplo de esto puede ser la tarea de *Estudio de viabilidad económica*, donde podría disponerse del SLA sobre el tiempo medio que se tarda en atender la petición y estudiarla; y el coste medio de dicho estudio, pudiendo ir en función del presupuesto total, requiriendo un mayor número de profesionales y/o tiempo cuanto mayor sea la cuantía del mismo.

Ya se ha hablado de la importancia de la armonía del presupuesto con las actividades, que necesita un nivel de detalle parejo. Esto llevará a tener que hacer hincapié en la correcta provisión de la información, ya que de otra manera será muy difícil integrar el plan de proyecto. Puede ocurrir que cuando una subcontrata facilita un presupuesto sin un esquema muy definido que abarca diferentes actividades, debemos discernir los recursos implícitos para su asignación en el modelo.

A continuación se recapitula la información de los recursos:

Recurso	Tipo de dependencia temporal	Coste (€)
Gestión de proyecto y administrativa	Tiempo-dependiente	5000
Departamento de ingeniería	Tiempo-dependiente	10000
Técnicos de campo	Tiempo-dependiente	3000
Equipos y material técnico	Tiempo-independiente	10000
Obra civil	Tiempo-dependientes	15000

Tabla 26. Recursos del proyecto de despliegue nodo radio

Los tres primeros recursos tendrán su coste establecido siguiendo el procedimiento comentado en el párrafo anterior. Los dos últimos serán producto de presupuestos solicitados a proveedores (de obras civiles, y equipamiento radio), ya que no forman parte de la actividad de la organización (operador de comunicaciones).

Con los recursos definidos, especificamos su asignación. La matriz de asignación consta de la especificación de la cuantía que cada tarea emplea de cada recurso, en base a lo planificación económica. La cuadrícula muestra esta segmentación, sumando el total presupuestado para cada recurso en la fila final. La matriz también contiene el coste total de cada tarea en la columna final, aunando los costes de cada uno de sus recursos involucrados:

Recurso (€) Actividad	Gestión Proyecto	Departamento Ingeniería	Técnicos	Equipos y material	Obra Civil	Total Recursos
Estudio de requisitos técnicos	640	4550	-	-	-	5190
Estudio Viabilidad Económica	320	-	-	-	-	320
Solicitud Oferta Proveedor	320	-	-	-	-	320
Validación Oferta	170	-	-	-	-	170
Adquisición Emplazamiento	800	1400	1200	-	-	3400
Replanteo	200	350	500	-	-	1050
Suministro Material	1200	-	-	10000	-	11200
Obra Civil	530	-	300	-	15000	15880
Instalación	420	750	1000	-	-	2170
Integración en Red	150	1050	-	-	-	1200
Pruebas Funcionales	250	1900	-	-	-	2150
Total Actividades	5000	10000	3000	10000	15000	43000

Tabla 27. Matriz Actividades-Recursos del proyecto de despliegue nodo radio

Este nivel de descomposición podrá verse en ocasiones poco concreto, pero es la mejor manera de poder obtener unos buenos resultados con un nivel de desempeño razonable. Las labores de proyección de diferentes escenarios se orientan más a niveles estratégicos, pero trabajar con una información completa y precisa desde un principio en el día a día siempre tendrá sus beneficios. Hacer una matriz de asignación de recursos sobre las tareas definidas en un plan de proyecto a bajo nivel puede ser muy tedioso, y aportar poco valor en comparación al gran tiempo y esfuerzo que requiere. Por otro lado, aún prestándose a ello, en verdad no sería de gran utilidad, ya que el propio método desfavorece las descripciones detalladas por su propia naturaleza: las varianzas de las distribuciones que modelan la incertidumbre enmascararán los pequeños detalles del presupuesto.

Con la planificación económico-temporal establecida, vamos a incorporar el elemento riesgo. La incorporación del riesgo llevará a la alteración de los elementos del plan y, posiblemente, a la generación de correlaciones entre ellos.

Como se ha fijado en el modelo de la metodología, en cada riesgo diferenciaremos el impacto temporal y económico que pueden tener conjuntamente, y afectando a una o

7. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación económica

varias actividades. Este punto es delicado, ya que si un riesgo va a afectar más de una tarea, habrá de medir muy bien sus efectos en cada una de ellas: si la distribución de tiempo o coste de un riesgo puede no satisfacer el efecto que debiera tener en alguna tarea que se le pretenda asignar, es preferible la creación de un nuevo riesgo específico que la comprometa correctamente.

Ahora definimos los parámetros de impacto de cada uno de los riesgos. Recapitulando esta etapa, se realizará una serie de reuniones personales y colectivas con el equipo de proyecto en los que se realice la identificación y análisis, inicialmente desde un punto de vista estratégico, para pasar posteriormente a detallar cada uno de ellos y desgranar otros subsecuentes si fuera necesario. Fruto de todo este proceso, obtenemos la siguiente información:

Descripción Riesgo	Rango impacto Duración (%)			Rango impacto Coste (%)			Prob. Ocurrencia
	Optim.	Probab.	Pesim.	Optim.	Probab.	Pesim.	
Variación de los requisitos	85	100	130	85	100	125	40%
Dificultad adquisi. emplaz.	90	100	145	90	100	110	100%
Complejidad de la adecuación	90	100	125	85	100	115	60%
Disp. suministro equipos-mat	85	100	135	100	100	100	80%
Problemas en la aceptación	100	110	120	100	100	100	30%
Complejidad de la integración	95	100	115	100	100	100	60%
Errores Pruebas Funcionales	100	105	115	100	100	100	50%
Variación Coste Equipos	100	100	100	95	100	115	100%
Variación Coste Obra Civil	100	100	100	90	100	125	100%

Tabla 28. Riesgos del proyecto despliegue nodo radio con impactos y probabilidades

Se observa que entre todos los riesgos descritos tenemos tres incertidumbres. Estas incertidumbres, a pesar de ser en esencia riesgos, las definimos como tal ya que ocurrirán de cualquiera de las maneras, pero con un impacto desconocido, al contrario de los riesgos, que pueden tener lugar o no.

Se vuelve a recalcar que, pese a desechar el método inicial de la integración de los riesgos de forma implícita en las FDP de la duración de las tareas, el riesgo que modela la incertidumbre de los errores de estimación de estas duraciones se sigue haciendo a través de la FDP (con unos márgenes muy reducidos), ya que asumimos que no será posible eliminar dicha incertidumbre.

Igual que con los recursos, ahora tenemos que plasmar la asignación de cada riesgo a cada tarea. Esto no requiere un trabajo adicional, pues cada uno de los riesgos identificados y sus correspondientes probabilidades e impactos han sido definidos pensando en esta última etapa. La matriz de asignación recoge como queda el portafolio de los riesgos para el proyecto que estamos analizando:

Riesgo Tarea	Complej requisitos	Adqui. emplaz.	Adec. emplaz.	Sumin. Material	Probs Accept.	Comple. Integ.	Prueba Func.	Coste Equip.	Coste Obra
Estudio de requisitos técnicos	X								
Estudio Viabilidad Económica									
Solicitud Oferta Proveedor									
Validación Oferta									
Adquisición Emplazamiento	X	X							
Replanteo	X		X						
Suministro Equipos y Mate.				X				X	
Obra Civil		X	X						X
Instalación	X				X				
Integración en Red	X					X			
Pruebas Funcionales	X					X	X		

Tabla 29. Matriz de asignación riesgos-tareas despliegue nodo radio con costes

La tabla muestra que se han considerado riesgos que representan situaciones de facto, como la habitual *Complejidad de requisitos*, que tanto afecta al alcance de los proyectos en general, y por ello tiene un impacto en una gran variedad de tareas. Otros están concretamente creados para modelar el riesgo de tiempo o coste de una tarea específica, como los riesgos que comprometen en tiempo y coste por separado al *Suministro de equipos y material*.

7.2.1.1 Resultados de la integración Tiempo-Coste

Los nuevos riesgos de costes incorporados no comprometen la planificación temporal, por lo que los resultados de la Figura 81 se mantienen vigentes. En primer lugar vamos a comparar en qué medida contribuyen los riesgos de costes al presupuesto final de un proyecto. Para ello, comenzamos por un escenario donde no se contemplan la parte explícitamente económica de los riesgos, sí la componente de incertidumbre temporal, que afectará a los costes indirectamente:

7. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación económica

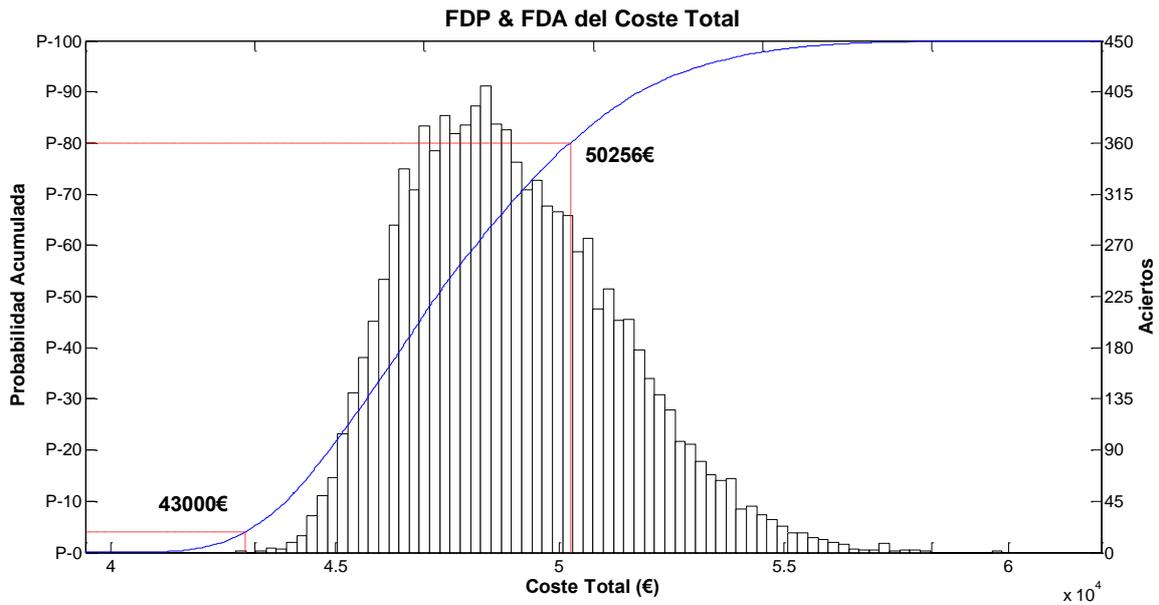


Figura 98. Resultados del coste total del proyecto sin riesgos económicos

Ahora mostramos el escenario que contempla tanto los riesgos asociados a las duraciones de tareas (del escenario anterior), como los riesgos explícitos de costes:

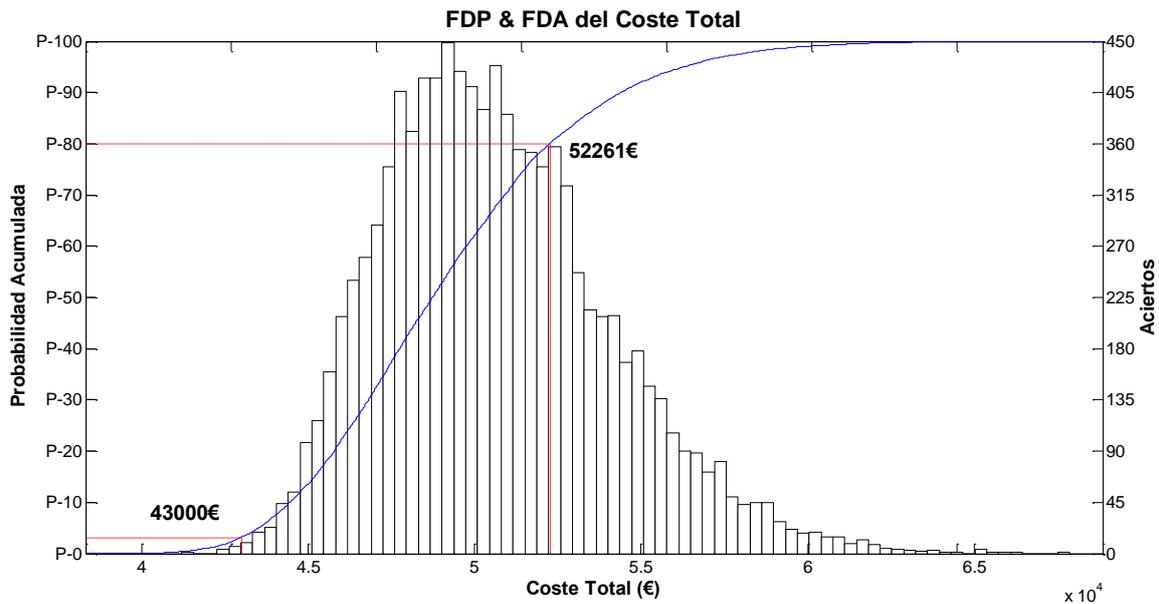


Figura 99. Resultados del coste total del proyecto con todos los riesgos

Vemos que existen notables diferencias entre los dos escenarios, pero en ambos el coste determinístico sólo puede alcanzarse en un 3-4% de las ocasiones, siendo realmente complicado cumplir los objetivos iniciales. Este ejemplo es concreto y no debe de tomarse como una regla fija, pero por normas generales los presupuestos de los proyectos están altamente condicionados por los recursos tiempo-dependientes, y por ende por la duración de las tareas que requieren de tales recursos. Con un nivel de confianza del P-80 para la estimación, el escenario que considera también los riesgos

de costes tiene una diferencia cercana a 2000€ con el que considera sólo riesgos temporales, y 9261€ (o un 21,5%) por encima del estimado de manera determinística (43000€). A pesar de tener un impacto marginal menor, vemos la importancia de considerar los riesgos económicos de manera explícita, ya que tendrán un peso notable de cara a las acciones de contingencias económicas.

Marginar elementos nos hace comprender de mejor manera cómo afectan e interactúan de cara al resultado global de la simulación. Como ahora estamos centrados en temas económicos, vamos a ver cómo podemos llegar a más conclusiones con la ayuda de un análisis discriminatorio.

Vamos a analizar por separado los factores tiempo y coste para poder ver hasta qué punto el presupuesto se ve afectado por cada uno. Para ello, suprimiremos los riesgos relacionados con la duración para evaluar el impacto marginal de los riesgos de costes y viceversa, observando la cuantía final del presupuesto. La siguiente tabla muestra los resultados:

Escenario	Coste en P-80 (€)	Impacto sobre estimación Determin. (€)
Riesgos Tiempo & Coste	52261	9261
Sólo Riesgos Coste	47246	4246
Sólo Riesgos Tiempo	50256	7256
Sólo error estimación	44759	1759

Tabla 30. Cuantía para el coste de contingencias por elemento

La tabla muestra que el error de estimación supone una cuantía considerable. Cuando sólo contabilizáramos en el presupuesto los riesgos relacionados con los costes el margen de cara a contingencias económicas debería ser notablemente inferior al contabilizando a cuando sólo tenemos en cuenta los riesgos propios de la duración de las tareas, evidenciando la dependencia temporal del presupuesto del proyecto. Nótese también que el margen para contingencias requerido para el presupuesto cuando se considera que ambos elementos, tiempo y coste, son susceptibles de incertidumbre, es inferior que la suma de los dos escenarios por separado. Esto se debe al efecto cancelador de las distribuciones de las distintas variables cuando los modelos no representan escenarios realistas, como los discriminados.

De manera más ilustrativa, se muestra los resultados en términos de FDA para los escenarios que contemplan todos los riesgos (cian), sólo los económicos (rosa), sólo los temporales (azul), y el que contempla sólo los errores de estimación sin ningún tipo de riesgo (rojo). Los escenarios que contemplan riesgos (cian, rosa y azul) tienen una mayor varianza, alargando las colas de las distribuciones, como se mostró al introducir el concepto de correlación en el Capítulo 6:

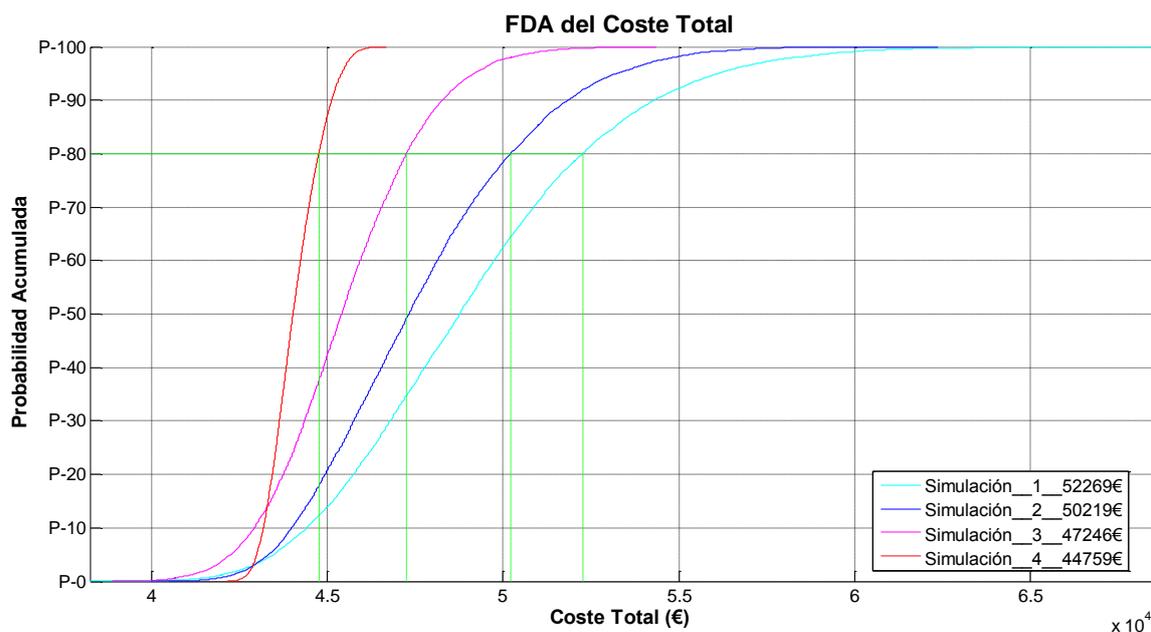


Figura 100. Resultados de contemplar, marginar y eliminar los riesgos

Comparando los resultados del escenario en el que no contempla riesgo alguno más que los errores de estimación (FDA roja) con el que integra todos (FDA cian) se ve la gran variación que hay cuando se subestima la importancia de una integración completa para crear un modelado realista.

Más allá de los resultados específicos que se han obtenido del ejemplo, se ha de hacer énfasis en lo siguiente:

- La importancia a la hora de fijar el nivel de confianza de estimación, ya que las diferencias pueden llegar a ser muy notables (estimaciones a un nivel P-50 pueden muy diferentes al de un nivel P-60).
- La integración de ambos elementos comparada con sus simulaciones marginales (sólo tiempo o coste) provoca un aumento de la incertidumbre importante, variando ampliamente los valores del coste comprendido entre una horquilla de percentiles (desviación estándar).
- La necesidad de realizar una análisis conjunto de los elementos tiempo y coste, ya que el coste total incurrido a un nivel de confianza cualquiera es mayor si se tiene en cuenta los elementos por separado que cuando se simulan conjuntamente. Esto es debido al efecto que tiene un análisis conjunto, que contempla una mayor armonía entre tiempo y coste, evitando simular escenarios irrealistas con valores extremos cuando existe total independencia entre ambos.

7.2.1.2 Sensibilidades del elemento Coste

Con la nueva integración del elemento coste se implementa en el simulador el análisis de sensibilidad respecto a lo económico. El abanico de sensibilidades posibles

se ensancha, ya que poseemos las anteriores entidades y riesgos temporales, junto a las nuevas entidades y riesgos económicos. Esto supone la incorporación de cuatro nuevas sensibilidades a estudiar. El poder cruzar esta información nos otorgará un mayor control sobre todos los elementos existentes en el proyecto, permitiéndonos adelantarnos aún más a las predicciones anteriores. La nueva información ha de evaluarse concienzudamente para poder llegar a conclusiones acertadas y de interés. Para el escenario del ejemplo anterior que contempla todos los riesgos se muestra las gráficas de sensibilidad:

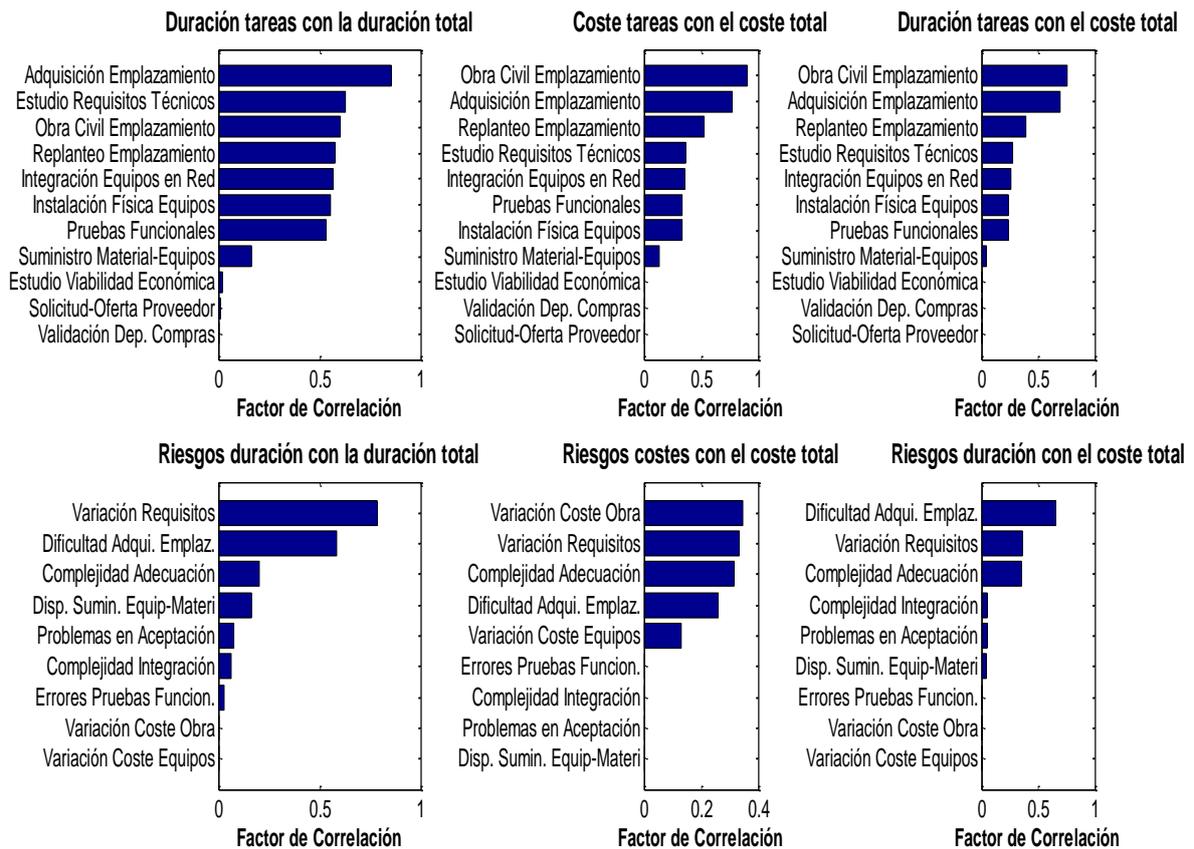


Figura 101. Resultados de las sensibilidades de los diferentes elementos del proyecto

La primera columna de gráficas ya se analizó en el apartado en que sólo contemplábamos el análisis temporal. De cara al análisis económico, se tiene dos tareas cuyo coste y tiempo está altamente relacionado con el presupuesto total, *Obra civil del emplazamiento* y *Adquisición del emplazamiento*, debido principalmente a la gran dependencia temporal y de riesgos de los recursos que comprometen. La cuantía económica es irrelevante de cara a la dependencia, ya que la tarea de *Replanteo del emplazamiento* tiene una alta correlación siendo de un coste y duración pequeña. Estas dependencias están estrechamente ligadas a que los riesgos más relevantes de cara a la duración actúan sobre dichas tareas, remarcando la importancia temporal en términos de contingencias económicas.

7. Aplicaciones del Simulador: El riesgo en la planificación económica

Desde el punto de vista de los riesgos, el efecto de la incertidumbre económica provocada por los riesgos económicos no es especialmente intensa y está más bien repartida, aunque riesgos específicamente económicos como *Variación del coste de los equipos y material* tiene una relación sorprendentemente leve con el presupuesto total.

Uno de los riesgos más determinantes es sin duda la *Variación de los requisitos*, ya que tiene sensibilidades altas tanto en duración como coste, más que por el rango de su impacto, por el espectro de este al comprometer multitud de tareas. Generalmente, riesgos con un espectro de acción mayor (que comprometen a más tareas o recursos), son más determinantes aún con rangos relativamente pequeños o baja probabilidad de ocurrencia, por lo que los mayores esfuerzos de mitigación han de ir dirigidos hacia ellos. No todos los riesgos con capacidad de impactar ampliamente han de ser prioritarios, esto ocurre con el riesgo de *Disponibilidad de suministro de equipos y material*, que a pesar de su alta probabilidad y alto impacto temporal, es poco decisivo en el coste total del proyecto.

Como se demuestra, esta información es de gran utilidad para poder priorizar los riesgos de manera adecuada, pero lo será aún más cuando se introduzca el análisis discriminatorio del impacto marginal de cada uno de ellos que vemos en el siguiente capítulo.

8 Aplicaciones del Simulador avanzadas del modelo integrado

Ya hemos visto cómo integrar la planificación temporal de un proyecto con su parte económica, y los beneficios en cuestión de información que se obtiene. De ello, se ha mostrado como se puede plasmar esta información en las ya habituales gráficas de funciones de probabilidad y sensibilidad, pero si se realiza una mejor minería de datos, podemos extraer aún más conclusiones con la información generada por el simulador.

Los diagramas de dispersión tienen mucha información útil que podemos explotar. Este diagrama muestra el resultado de cada par de valores de duración y coste final de cada iteración. Como es lógico, es difícil saber cuál será la iteración que describa el transcurso final de nuestro proyecto, pero podemos hacer uso de la estadística para tratar de acotar las esperanzas de las diferentes variables.

En un primer vistazo, se puede apreciar que existe una tendencia para el conjunto de las iteraciones simuladas. Existe una pendiente positiva que podemos interpretar como la tasa de incremento del presupuesto por unidad de tiempo extendido, para lo que se deberá trazar una línea que describa de la mejor manera los datos para permitirnos medirlos. Esta tasa es una cuantía orientativa, puesto que la relación entre ambos elementos no es totalmente lineal, pero a un nivel estratégico puede ayudar a establecer objetivos y decisiones. Poniendo como ejemplo el del plan de proyecto del despliegue del nodo radio, obtendríamos los siguientes resultados:

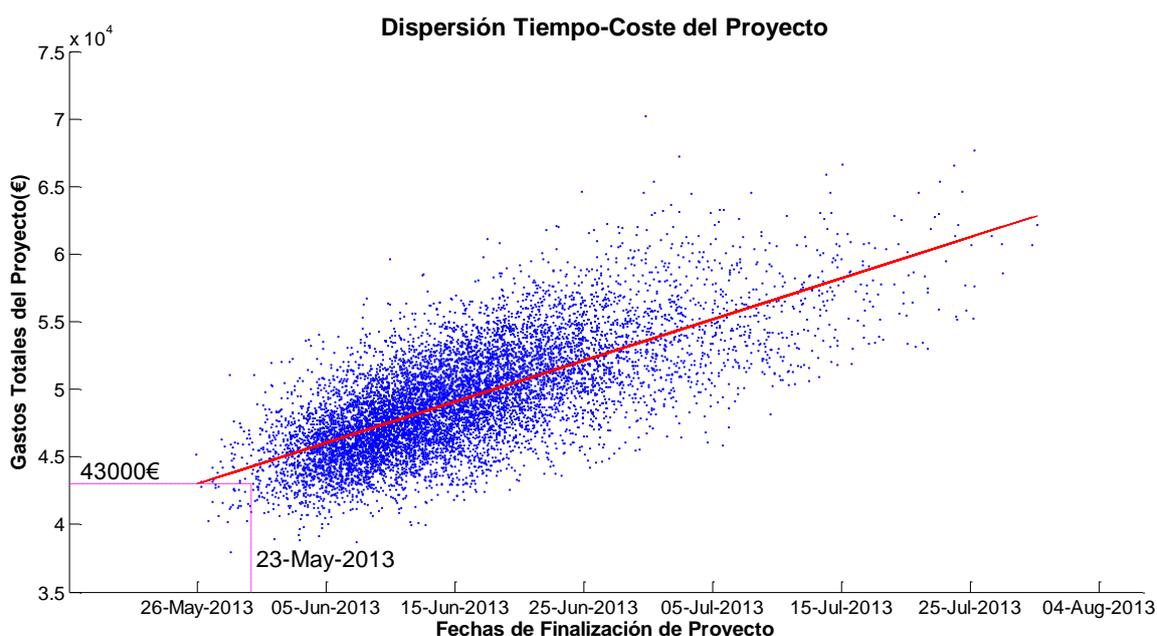


Figura 102. Dispersión del proyecto de despliegue nodo radio con todos sus riesgos

El criterio para la función lineal es el de mínimos cuadrados, ya que no debemos de asumir una total dependencia (aunque existe una parcial provocada por los recursos tiempo-dependientes) del coste sobre el elemento tiempo, tal y como propondría un análisis de regresión lineal [9]. La tasa de incremento del presupuesto por unidad de tiempo que se obtiene es de 253€/día.

Así como se tiene una pendiente creada por la relación temporal de los costes, la dispersión vertical por cada una de las fechas de finalización corresponde a los riesgos de los costes independientes del tiempo. De esta manera, se pueden obtener valores de varianzas para estos riesgos según la fecha de finalización, siendo más coherentes y de mayor utilidad donde se tiene una mayor densidad de iteraciones. El análisis estadístico indica una correlación del 70%, lo que supone una importante causalidad entre el tiempo empleado y el presupuesto final obtenido a pesar del efecto de los riesgos tiempo-independientes (dispersión vertical).

8.1.1 Nivel de Confianza Conjunto (NCC) de estimación

La Agencia Espacial Norteamericana (NASA) propone el uso en su metodología de gestión de proyectos [27] de mucha de la información que podemos evaluar con este modelo y simulador. Este tipo de minería de datos no sólo se debe usar para hacer el seguimiento del proyecto, sino también para establecer criterios en cuanto la viabilidad y alcance inicial.

Una de sus métricas, con un enfoque basado en percentiles, trata de evaluar los resultados del tiempo y del coste conjuntamente, en vez de por separado como hemos hecho hasta el momento. Para esto, el diagrama de dispersión ayuda a ilustrarlo de forma muy clara, como son los percentiles de las estimaciones determinísticas o para un nivel de confianza para la estimación deseado.

El nivel de confianza conjunto implicará una mayor exigencia para las previsiones al involucrar una restricción en ambos elementos, por lo que relajaremos las exigencias para establecer una estimación razonable. Es decir, los resultados obtenidos para cada elemento por separado a un cierto nivel representarían un nivel de confianza conjunto mayor, aumentando la exigencia. Por ello, situaremos en el P-70 el nivel conjunto, de la misma manera que lo estima oportuno en sus prácticas la NASA. En la figura anterior es interesante observar la proporción de iteraciones que cumplen conjuntamente cada uno de los objetivos determinísticos, finalizar 23 de mayo o antes con un presupuesto de 43000€ o inferior (puntos dentro del cuadrante rosa), una manera muy ilustrativa de ver lo muy optimistas que suelen ser los valores determinísticos, ya que sólo comprenden el 0,26% de los resultados obtenidos.

Teniendo la posibilidad de conocer la información conjunta del tiempo y coste de nuestro proyecto, es razonable pensar que se puede valorar de manera más operativa la viabilidad inicial de un proyecto, o su evolución con un correcto seguimiento. Para

ello, deberemos calcular la proporción que el nivel de confianza fijado engloba, y obtener los valores de ambos elementos como referencia para dicho nivel.

Observando el diagrama de dispersión inferior se puede ver que hay numerosas posibilidades de parejas de valores de tiempo y coste que podrían satisfacer un determinado nivel de confianza. La curva de nivel de color negro representa esa sucesión de parejas de valores que contemplan un mismo nivel de confianza para los resultados (P-70). Por cada punto, se trazaría el cuadrante que satisface en número mínimo de iteraciones (por ende una probabilidad) dentro del nivel establecido, mostrando en la figura tres posibilidades (verde, roja y amarilla) entre las muchas existentes:

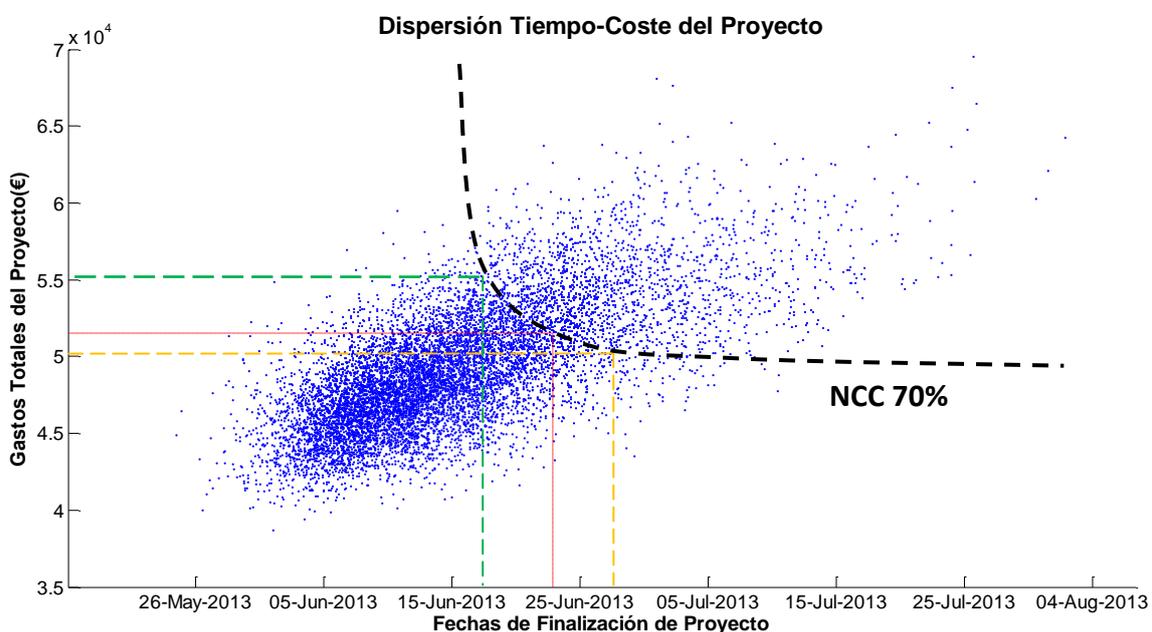


Figura 103. Curva de nivel y cuadrículas para un NCC del proyecto del 70%

Observando la curva de nivel con sus cuadrantes es tentador pensar que es posible considerar los valores más extremos para alcanzar resultados más ventajosos en una de las dos variables. Podría pensarse en la posibilidad de fijar una fecha más temprana asumiendo un mayor coste con tal de acortar la duración, moviéndose hacia la zona noroeste. Esto es tajantemente erróneo, y una mala interpretación de la curva de nivel de confianza conjunta.

La mejor manera de interpretar el diagrama de dispersión es imaginarlo como un diagrama tridimensional, en el cual se obtiene mayores registros en aquellos lugares de mayor densidad de resultados. Habitualmente, esto supondrá que tendremos una cordillera cuyos valores más destacados seguirían un trazado desde la parte inferior izquierda hasta la superior derecha. Esto viene a decirnos que es más probable obtener resultados (combinaciones de tiempo y coste) cerca de estos valores que en

las partes más bajas (y retiradas) de ambas laderas, donde hay una menor concentración:

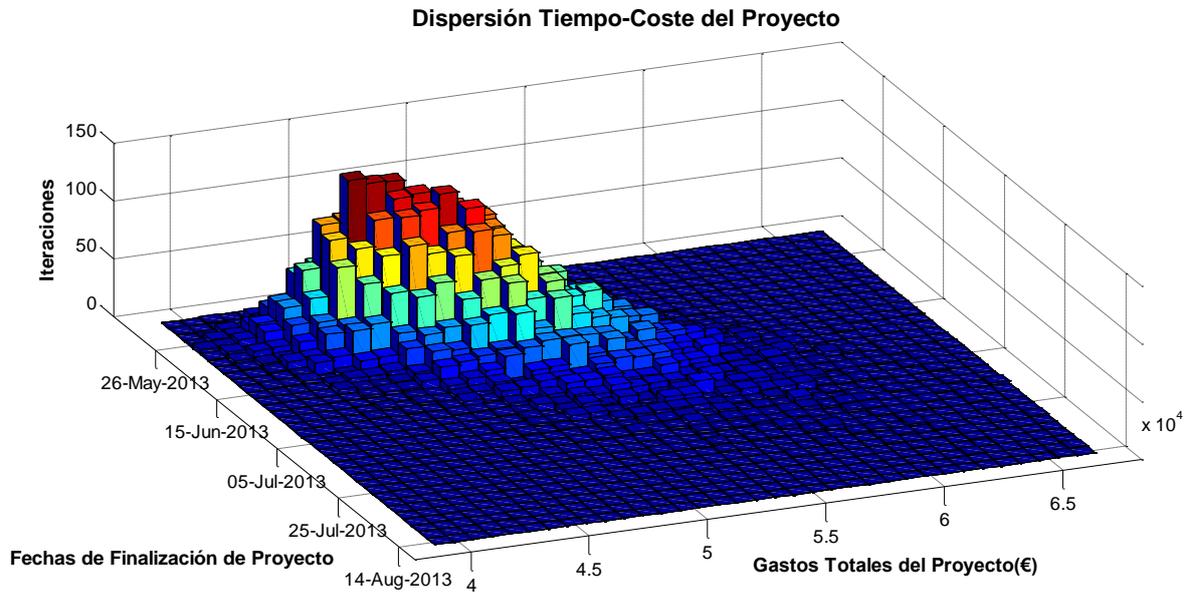


Figura 104. Interpretación tridimensional de la densidad de resultados conjuntos

Esta es la razón por la cual cuando buscamos el NCC, las referencias de tiempo y coste han de obtenerse donde está la intersección de la curva de nivel con la función lineal que define una mayor densidad, correspondiente a la función lineal de mínimos cuadrados anterior, moviéndonos sobre ella reducimos a una sola combinación para cada NCC la pareja de valores de tiempo y coste:

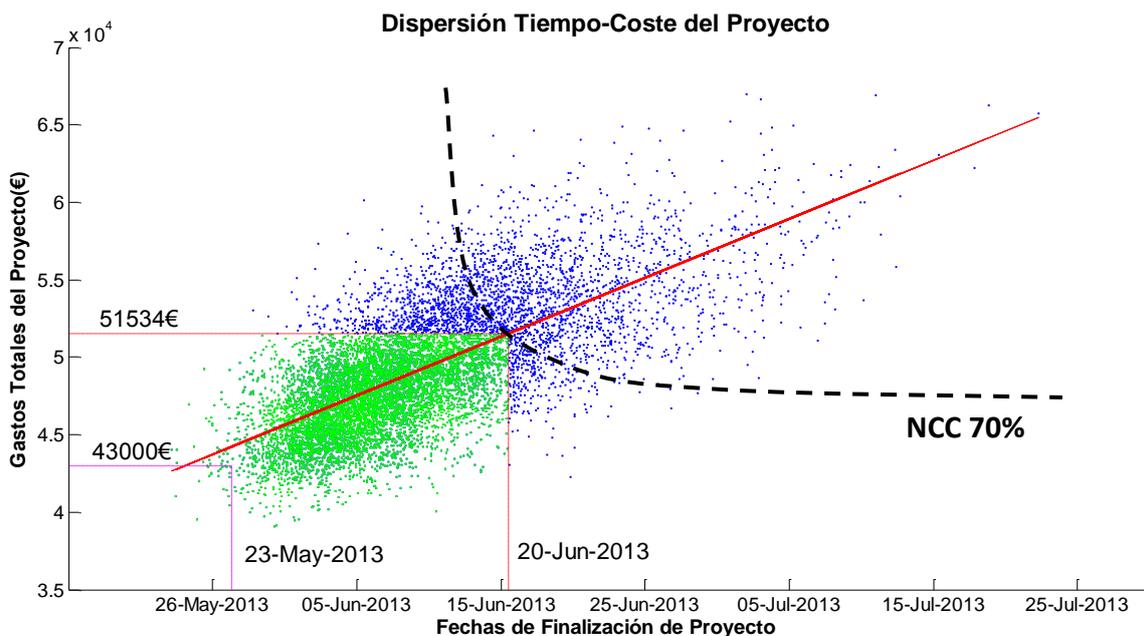


Figura 105. Valores temporal y de coste para un NCC del 70%

8. Aplicaciones del Simulador avanzadas del modelo integrado

La figura muestra las iteraciones (valores de tiempo y coste) previstos para un NCC del 70%, coloreadas en verde. Como es de esperar en la mayoría de las situaciones, las previsiones determinísticas quedan dentro del NCC, y no necesariamente tiene porqué pertenecer a la función lineal de mínimos cuadrados.

Ahora toca hacernos la pregunta de ¿cómo podemos lograr un menor tiempo de finalización, o un menor presupuesto, si no es factible alcanzar todos los registros de la curva de nivel? La respuesta es que no existen mecanismos mágicos que puedan hacernos finalizar en menor tiempo o coste sacrificando uno de los elementos con un mismo plan de proyecto. Si esto se quiere lograr, el Project Manager deberá modificar el plan de proyecto de manera que la simulación obtenga resultados desplazados hacia el sureste en el diagrama de dispersión. Para ello, habrá como mínimo que mitigar los riesgos, asumiendo unos mismos objetivos o alcance. Otras veces será difícil mejorar ambos registros, pues se relajará el tiempo de la nueva versión del plan para reducir el presupuesto, o bien incrementará el presupuesto para agilizar las tareas.

Como apunte, ha de mencionarse que cuando el plan de proyecto contiene rutas en su lógica con gran variación de resultados respecto otras, puede dar lugar no sólo a una gran dispersión, sino a concentración de resultados claramente diferenciados (en términos de FDP sería multimodal). En este caso, se cree oportuno tratar de manera separada estas concentraciones diferenciadas, ya que el simulador hace posible segmentar el análisis, y un tratamiento conjunto podría ofrecer información global pero poco determinante. Como ejemplo mostramos el siguiente diagrama, donde evaluamos dos líneas de regresión diferentes para cada concentración, por lo que el NCC estará siendo hallado para dos escenarios diferenciados, y no para el proyecto en global (algoritmos de *clusterización* como k-medias pueden ser de utilidad):

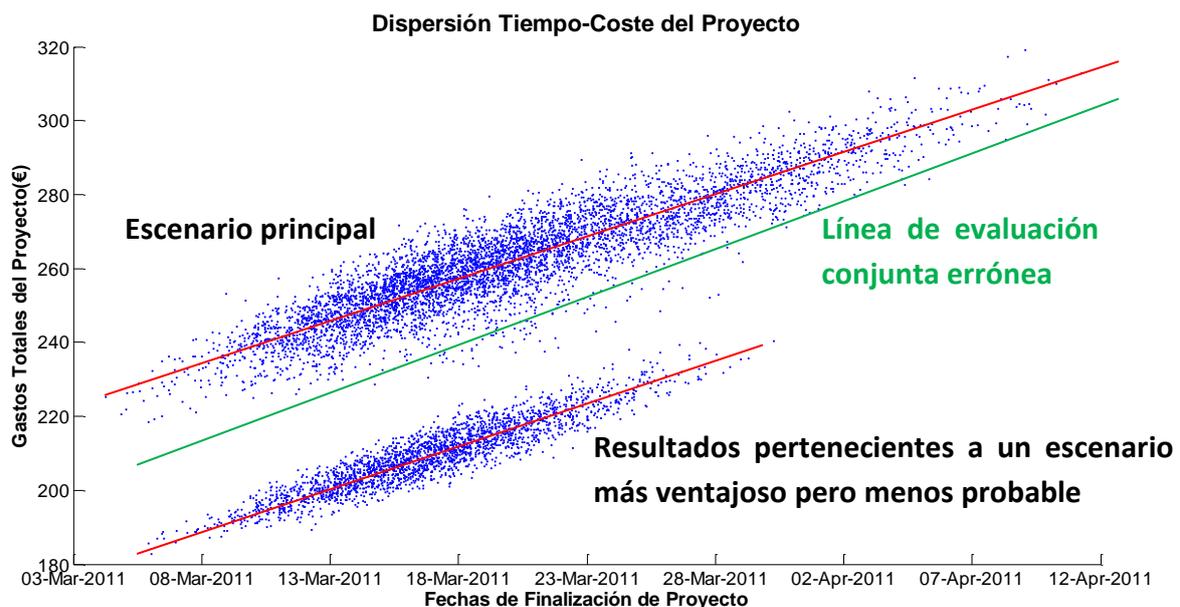


Figura 106. Conveniencia de separar clústeres de escenarios para mejorar el análisis

Es cierto que en general los diagramas de dispersión contienen resultados de todos los diferentes escenarios contenidos en la lógica, que a su vez pueden ser perfectamente filtrados por el simulador, pero se insiste en un tratamiento por separado si estos arrojarán resultados suficientemente diferenciados (muy visual en la gráfica de dispersión). Esto se debe a que estas diferencias muestran la existencia de altas varianzas entre escenarios (y por tanto riesgos), que conviene tratar por separado, en vez de en conjunto con el consecuente enmascaramiento que esto significa. Además, el simulador nos permite obtener una variedad de resultados (duración, coste, flujos de caja,...) de los diferentes escenarios filtrados por el NCC fijado, si se requiere un análisis muy segmentado.

Por último, la información contenida por el diagrama de dispersión conjunta también la cotejaremos cuando procedamos a realizar un análisis de sensibilidad, ya que ahora las variaciones provocadas por el efecto marginal de cada riesgo podrán ser contempladas en el conjunto integrado de resultados del proyecto.

8.1.2 Flujos de Caja Probabilísticos

Hasta el momento hemos tratado con cuantías agregadas de costes del proyecto, o el montante del presupuesto final. El presupuesto final tiene un papel importante en la toma de decisiones por razones obvias, pero si pormenorizamos el elemento coste podemos obtener más información de gran utilidad. La simulación por el método Monte Carlo recrea multitud de situaciones con información muy precisa de cada entidad del modelo. Es posible integrar en el simulador módulos que extraigan y traten esta información para presentarla de manera manipulable, ayudando aún más a la difícil tarea del Project Manager.

Por ello, parece razonable querer profundizar en particularidades económicas de interés, como son los flujos de caja. Los flujos de caja no son otra cosa que las entradas y salidas de activos líquidos en un periodo dado. Con ellos, se puede calcular la cuantía neta de capital en un periodo determinado, una métrica importante para cualquier organización. El estudio de los flujos de caja dentro de una organización puede ser utilizado para:

- Analizar la viabilidad de proyectos de inversión. Los flujos de caja son la base de cálculo del Valor Actual Neto y de la Tasa Interna de Retorno.
- Medir la rentabilidad o crecimiento de un negocio cuando se entienda que las normas contables no representan adecuadamente la realidad económica.
- El ser rentable no significa necesariamente poseer liquidez. Una compañía puede tener problemas de liquidez, aun siendo rentable. Por lo tanto, permite anticipar los saldos futuros y conocer mejor su situación.

8. Aplicaciones del Simulador avanzadas del modelo integrado

Si por cada proyecto que una organización desarrolla o piensa desarrollar puede tener controlados (o al menos acotados) los flujos de caja esperados, se entiende que conseguirá un gran control sobre su situación, tanto actual como futura. Esto lo conseguirá integrando cada uno de estos flujos probabilísticos de caja generados por cada proyecto en sus métricas de estrategia corporativa, como es la tesorería. El presupuesto final de un proyecto es un aspecto de vital importancia, pero saber cómo se van a producir tentativamente los desembolsos provocados por la ejecución de los proyectos puede tener mucha relevancia en un portafolio corporativo.

Para personas poco sensibilizadas con los aspectos financieros podría parecer poco relevante el flujo de caja de un conjunto de proyectos simultáneos. La realidad es que las organizaciones tratan de ajustar al máximo sus posibilidades de inversión, y tener en cuenta la serie temporal de los eventos económicos tiene un papel fundamental. Como ejemplo, es posible que una organización dude en aprobar la ejecución de un proyecto considerado de bajo presupuesto y poco riesgo a fluctuaciones económicas, cuando cuenta con gran parte de su capital asignado a otros proyectos. En principio la situación no hace pensar que puedan surgir problemas, pero un análisis demasiado laxo puede llevar a riesgos. Si este proyecto de bajo presupuesto provoca el desembolso de la mayor parte de su montante económico en una determinada fecha, en la cual el resto de proyectos en ejecución también lo requieren, la organización puede verse en un problema de falta de liquidez, aun siendo una cantidad pequeña en comparación con el resto. Esto puede llevar a tomar la decisión de no proceder con la ejecución de dicho proyecto, o más perspicazmente, a tratar de redefinir el calendario para que los flujos de pago no se vean agrupados en fechas problemáticas. Otro ejemplo sería la conveniencia de incurrir (o no) en gastos (asumimos que la ejecución de un proyecto en su fase de desarrollo no provoca ingresos) por razones fiscales u objetivos organizacionales. Una vez más, la capacidad de extracción de información relevante de planes de proyecto vía simulación Monte Carlo ayuda a decisiones tanto verticales como horizontales desde un punto de vista corporativo.

Para llevar a cabo el desarrollo de este análisis, ha de definirse primero algunos parámetros. El primero es la periodicidad con la que se quiere tener información de los flujos de caja. Una baja periodicidad provocaría demasiada cantidad de información, que se traduce en poca agilidad para discernir fenómenos. Una periodicidad demasiado alta tampoco sería conveniente, ya que causaría imprecisión de mucha de la actividad que tiene lugar, así como enmascaramiento de los periodos exentos de información por falta de actividad. Para este simulador se ha decidido fijar una periodicidad mensual, ya que se ajusta mucho a la gran mayoría de procedimientos empresariales, y asegura una buena cantidad de información sin ser excesiva. En segundo lugar, se ha de acordar cuándo se dará un pago por efectuado. Respecto a esto hay un sinfín de posibilidades, y ninguna es mejor que otra, por lo que habrá siempre que buscar la más conveniente según las necesidades. De hecho, los acuerdos

comerciales entre organizaciones obligan a recepcionar estos pagos de innumerables maneras:

- Un porcentaje al inicio de las tareas y el resto una vez se finalice.
- Por objetivos fijados en el desarrollo.
- De manera periódica independientemente del avance.
- Incluidos dentro de cuotas fijas por un servicio o manteniendo contratado, independiente del proyecto.
- Una vez se finalice los servicios contratados.

Todas estas posibilidades son perfectamente realizables en el simulador desarrollado (requiriendo quizás alguna solución ad-hoc), si bien se ha preferido fijar un criterio común, al menos para los ejemplos incluidos en este documento. La forma que más se ajusta a la mayoría de los casos es la del pago por servicios finalizados. De esta manera, el simulador imputará y acumulará en cada mes el coste de cada actividad que finalice, evaluando el coste mensual total obtenido por cada iteración. La gran ventaja que aporta esta nueva información es que se tiene un mayor control tanto sobre las cuantías como los instantes en que estas tendrán lugar.

En el simulador nos ofrece la posibilidad de hacer comparaciones del flujo del proyecto contra otros flujos, como el determinístico o el fijado por la organización para la financiación, incluso escenarios que reflejan una eventual insolvencia o recortes en el presupuesto del proyecto. De esta manera, podemos ajustar los márgenes de financiación, adelantando planes alternativos. La siguiente figura muestra un ejemplo de un flujo de caja probabilístico:

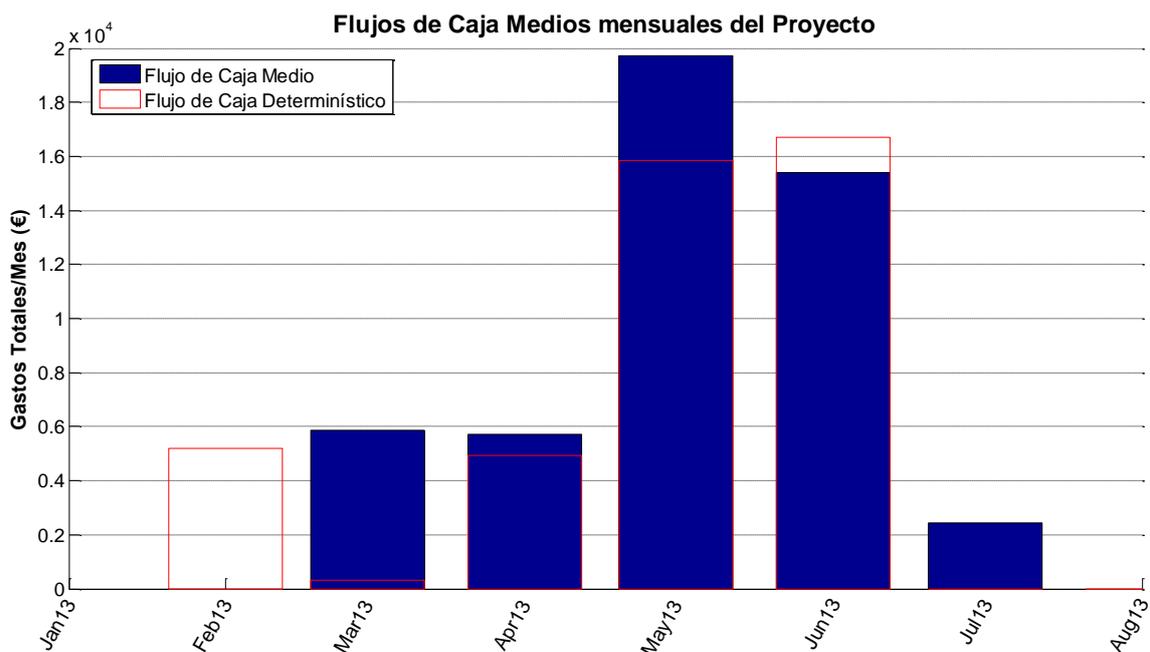


Figura 107. Ejemplo de un flujo de caja probabilístico de un proyecto

8. Aplicaciones del Simulador avanzadas del modelo integrado

En la figura anterior vemos la comparación del flujo de caja medio probabilístico del proyecto contra el determinístico. En general, los flujos probabilísticos medios superan a los estimados inicialmente de manera determinística, así como que no siempre coinciden en los momentos en que se producen. En este caso particular, de manera inicial se estima unos gastos que probabilísticamente tendrán lugar de manera posterior, con cuantías razonablemente dispares.

El simulador permite graficar los flujos de caja acumulados y diferenciales, simplificando el escrutinio visual de instantes y cuantías de situaciones de déficit o superávit presupuestario:

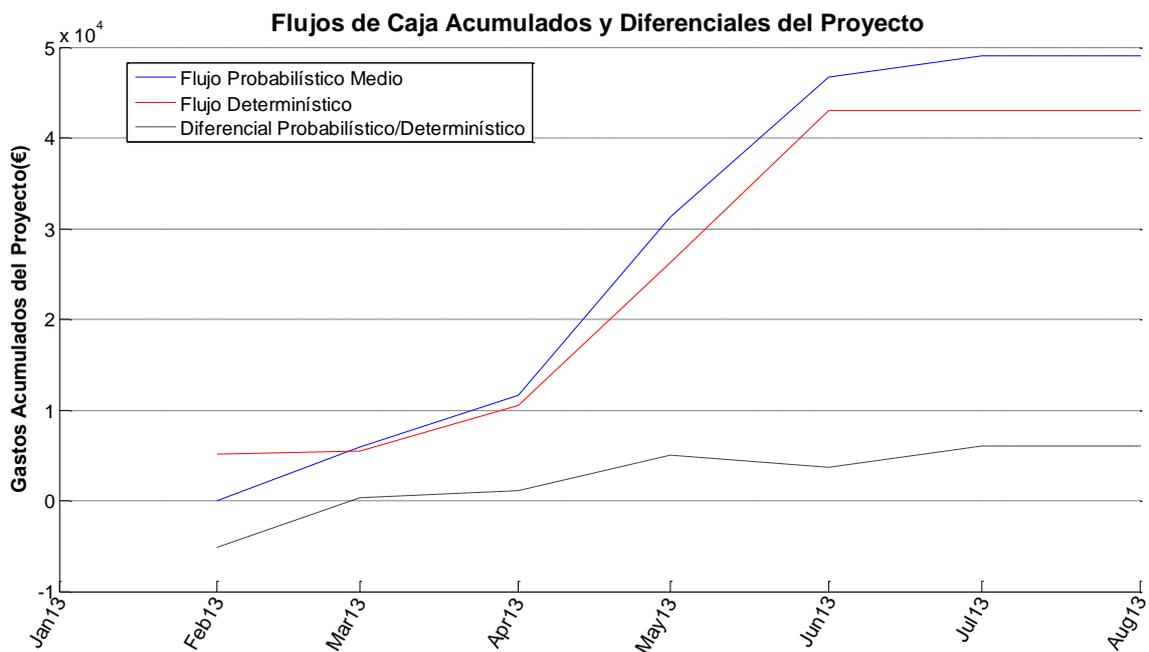


Figura 108. Ejemplo de los flujos de caja acumulados y diferenciales de un proyecto

Arriba se tiene que salvo al comienzo, los requerimientos económicos determinísticos (rojo) periodo a periodo son siempre inferiores a los necesarios según el simulador (azul), y por ende los montantes finales. Concretamente, a partir del segundo mes se estaría en una situación de déficit presupuestario si la financiación se ajustara estrechamente a lo estimado de manera determinística (línea negra > 0).

El superávit presupuestario en rara ocasión representa un problema prioritario en la toma de decisiones, pero en situaciones de déficit esta información es de mucha utilidad ya que ayudará a elaborar acciones como [11]:

- Planificar posibles inyecciones de capital necesarias para respaldar los gastos no cubiertos.
- Valorar la cuantía de posibles recortes para ajustarse a la financiación.
- Replanificación temporal del proyecto para evitar momentos de falta de liquidez.

Siguiendo con otras funcionalidades, de igual manera que se realiza con el flujo determinístico, podemos considerar el flujo de financiación establecido para nuestro proyecto o una propuesta de este, para ver si es capaz de respaldar completamente las necesidades económicas que presenta la ejecución según la evolución:

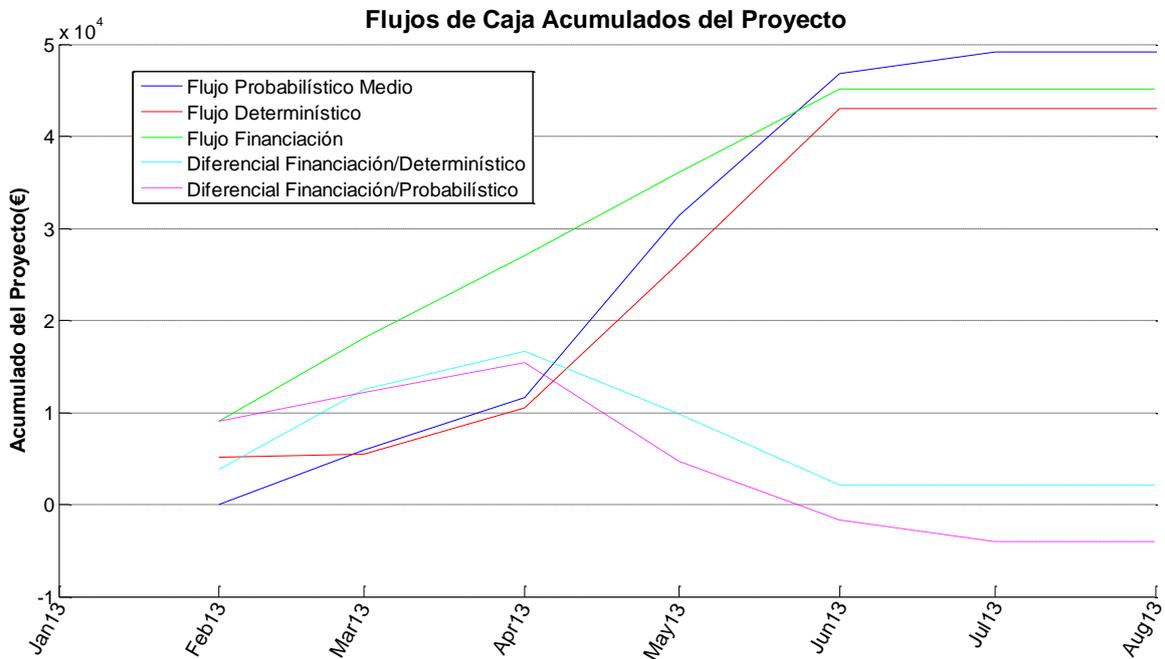


Figura 109. Análisis del flujo financiación

En el ejemplo superior se muestra un típico flujo de financiación constate (verde), a cuya cuantía total se le establece un cierto porcentaje por encima de la estimación determinística. Se tiene que esta financiación es amplia y suficiente a lo largo de la ejecución para esa estimación (cian > 0), reduciéndose el superávit de cara a la finalización. Por el contrario, esta financiación aún contemplando un margen adicional para contingencias (5%), se ve en situación de insuficiencia en la parte final del proyecto (magenta < 0) al compararla con el flujo probabilístico (que considera los riesgos). Esto representaría un escenario especialmente delicado, donde una financiación mal cuantificada resulta ser holgada al comienzo del proyecto pero rápidamente se ve en una situación deficitaria, pudiendo presentar una situación tan inesperada como perjudicial. Cabe resaltar que, incluso considerando un presupuesto con un cierto margen sobre las previsiones, este puede ser insuficiente en momentos puntuales, inclusive para una estimación determinística que es más laxa (al no considerar los riesgos), dependiendo de la generación de picos de financiación.

El abordar la financiación implica que los proyectos entran en el contexto corporativo, requiriendo valorar planes de contingencia a un mayor nivel, para poder satisfacer todo el abanico de actividad de la organización. Por ello, el contexto económico-temporal es determinante tanto para decisiones internas del proyecto, como para las externas que determinen la consecución del mismo.

8.1.2.1 Segmentación de los flujos de caja

Esta información tan relevante hace reflexionar sobre la conveniencia de segmentarla aún más, con el fin de aprovechar todo el potencial que se puede ofrecer. Así, se llega a la idea de que sería muy interesante no sólo ofrecer los flujos de caja del proyecto de forma global, sino adentrarse un poco más para obtener la distinción entre diferentes escenarios que puedan llegarse a dar en el plan de proyecto. Los escenarios contendrán una sucesión de actividades, recursos y tiempos variados, y por ello una serie temporal de flujos de caja diferentes.

Cuando realizamos un análisis de los flujos de caja desde una perspectiva total, podría tener validez en el proceso de toma de decisiones de alto nivel, pero ese nivel de detalle puede resultar insuficiente para analizar esmeradamente un plan de proyecto. Desde el punto de vista práctico, la alteración del orden de finalización de una serie de tareas en paralelo no siempre ha de suponer una variación importante en la previsión de costes. Quizás si sea más dramático un cambio de escenario fruto de eventos condicionales, que normalmente llevan asociados diferencias más grandes. Cuando obtenemos el flujo de caja medio estimado de un proyecto como en la Figura 107, se trata de un flujo creado con componentes de cada posible escenario, prorrateado por el peso (número de iteraciones sobre el total) de cada una de ellos. Esta información no está segmentada, y puede que no refleje de manera fiel lo que cabe esperar que acontezca.

Recuperando de nuevo el ejemplo del despliegue del nodo radio, vamos a estudiar la segmentación de sus flujos de caja. Como muestra su diagrama de Gantt de la Figura 79, la planificación temporal admite cuatro escenarios en el marco de la lógica, donde el criterio para establecerlos son las rutas críticas posibles, dos por cada punto de confluencia de la lógica. Necesariamente esta distinción no tiene por qué ser relevante de cara a la gestión, pudiéndose decidir unificar algunos según su interés. Vamos a simular el plan de proyecto con toda la información económica y temporal, observando qué resultados arroja la posterior segmentación.

La información que corresponde al flujo de caja probabilístico medio (para el proyecto en global) es precisamente la que se muestra en la Figura 107.

A continuación mostramos los resultados, incluyendo tanto los temporales como los económicos, para el primer escenario. Este escenario se decreta que sea la ruta crítica formada cuando existe una duración superior de: las tres tareas de *Estudio viabilidad económica*, *Solicitud oferta proveedor* y *Validación oferta dep. Compras* sobre la de *Adquisición del emplazamiento*; y de la tarea de *Suministro de equipos y material* sobre las tareas que se ejecutan de manera concurrente con esta (*Replanteo*, *Obra civil* e *Instalación equipos*):

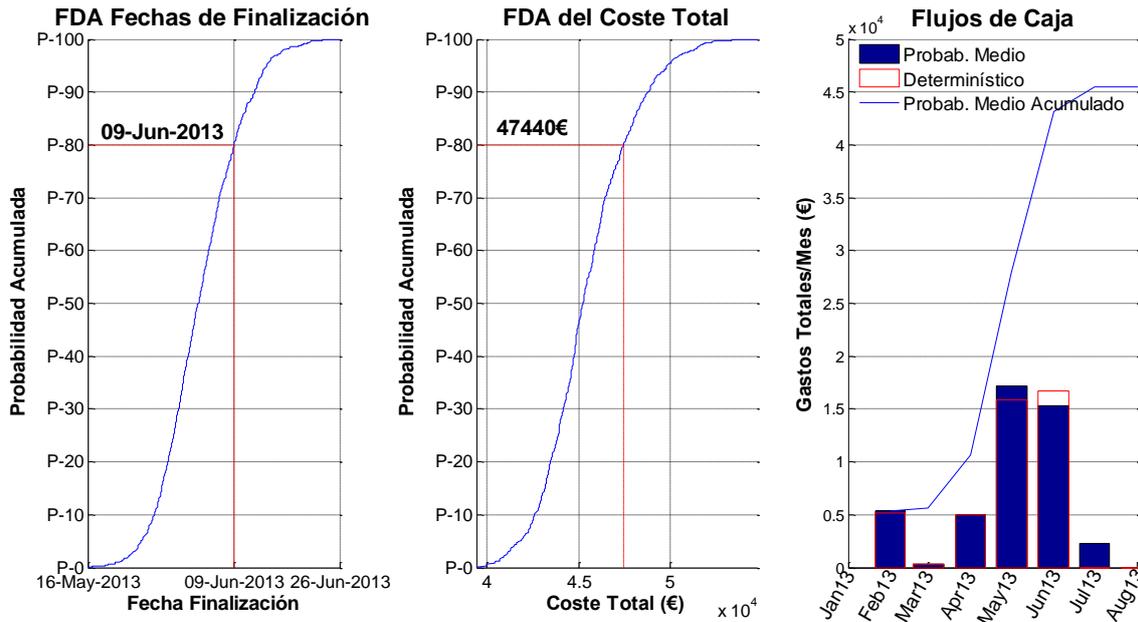


Figura 110. Resultados de la segmentación para el primer escenario

Los resultados muestran que este escenario plantea una distribución de los flujos de caja, y por ende de la ejecución de las tareas, distinta a las propuestas de manera determinística. En media, en este escenario la tarea de *Pruebas Funcionales* se procede a realizar durante el mes de julio en vez de junio, retrasando el último flujo.

Los siguientes resultados corresponden al segundo escenario el cual tiene la misma premisa para el primer punto de confluencia que el escenario anterior, pero contempla un tiempo de ejecución inferior para la tarea de *Suministro de equipos y material* en relación a las que tienen lugar de manera concurrente con esta:

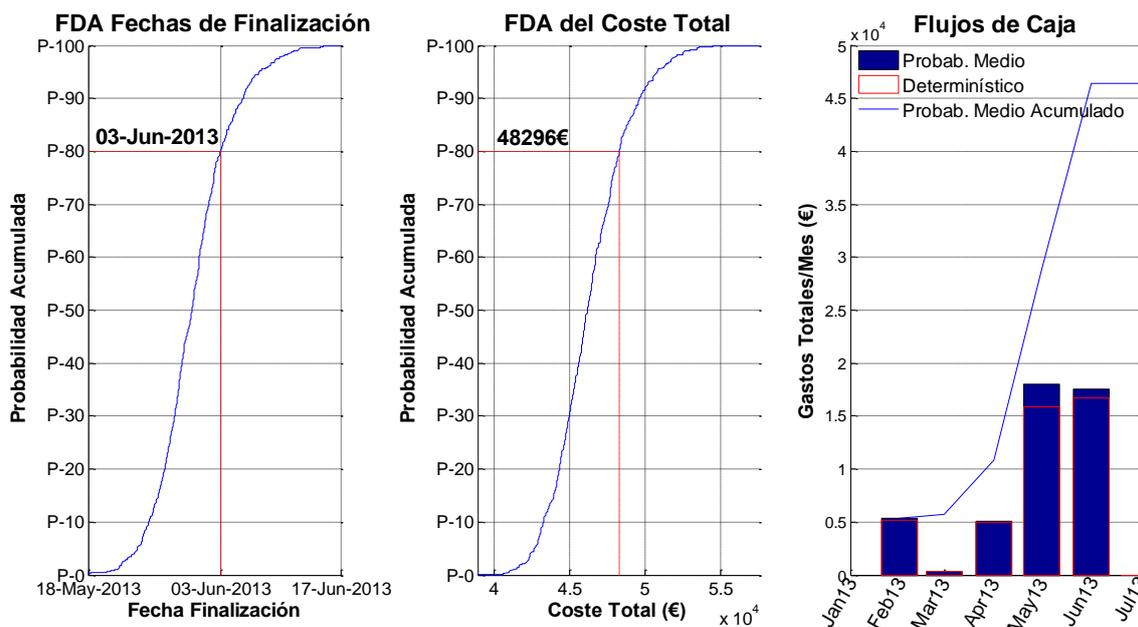


Figura 111. Resultados de la segmentación para el segundo escenario

8. Aplicaciones del Simulador avanzadas del modelo integrado

Para este escenario la distribución de los flujos de caja, y por ende la ejecución de las tareas, corresponde totalmente al determinístico, si bien la cuantía de los últimos flujos es algo superior. Este escenario es notablemente más optimista que el anterior con la estimación temporal, pero penaliza ligeramente la económica. Seguimos con tercero, totalmente opuesto al segundo escenario en cuanto a la ruta crítica:

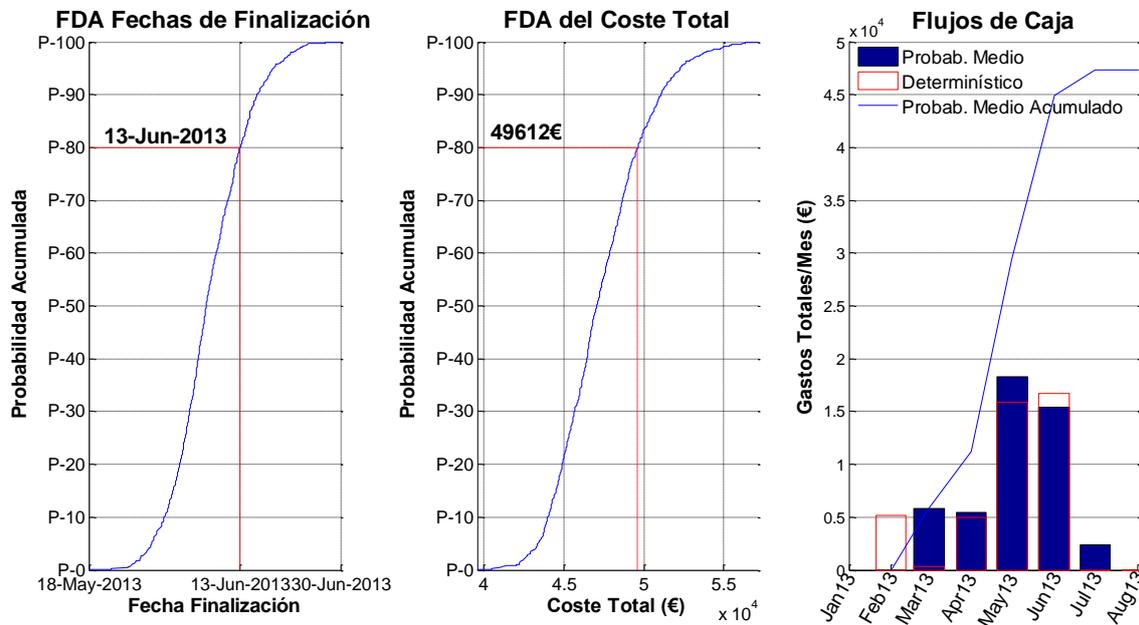


Figura 112. Resultados de la segmentación para el tercer escenario

El tercer escenario contempla peores previsiones temporales y económicas que los dos anteriores, con un esquema de flujos más compacto y posterior al determinístico. Si lo cotejamos, es muy similar al previsto de forma global (sin segmentación). Finalmente, se expone los resultados del cuarto escenario, opuesto a la ruta crítica del primero:

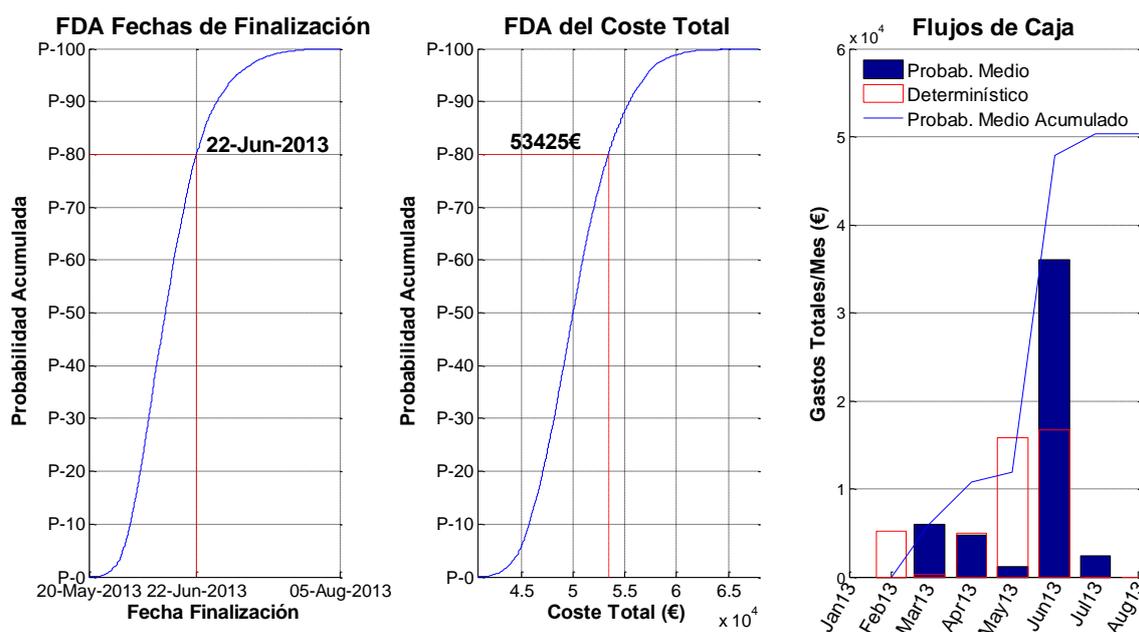


Figura 113. Resultados de la segmentación para el segundo escenario

Las previsiones para el último escenario son las más desalentadoras. La previsión temporal es claramente más pesimista que la de cualquier otra segmentación, así como a la prevista de forma global, retrasándose más de una semana. La cuantía económica es holgadamente mayor ya que este escenario contempla mayoritariamente una duración más prolongada de las tareas de *Replanteo*, *Obra Civil* e *Instalación de equipos*, y toda ellas comprometen recursos tiempo dependientes elevando rápidamente el presupuesto. El tercer escenario tiene como premisa una mayor duración de la tarea de *Suministro de equipos y material* sobre las tres anteriores, pero como esta se basa en un recurso tiempo-independiente, la premisa de una mayor duración no penaliza negativamente su presupuesto final.

De igual manera, la premisa de una mayor duración para las tres tareas anteriores tiene como consecuencia implícita la existencia de un gran impacto negativo del riesgo de *Variación de requisitos*, y al comprometer un abanico de tareas muy amplio, incrementa la cuantía de muchos recursos tiempo-dependientes y duración de tareas. Como vimos en el análisis de sensibilidad, existen otros riesgos con gran influencia en el presupuesto final como *Variación Coste Equipos* y *Variación Coste Obra*, pero no influyen activamente la generación de ningún escenario, actuando por igual en todos ellos.

Los flujos de caja, como el resto de resultados, tienen una naturaleza estadística y por tanto pertenecen a un cierto percentil o nivel de confianza. Igual que con otros elementos, estos resultados puede variar según imponamos criterios más laxos o estrictos. Estos flujos son resultado del empleo de los recursos involucrados en las tareas, y por ello, el simulador permite localizarlos y disponer de un gran control de lo que sucede. El cuarto escenario supone que en media la tarea de *Obra civil* concluye en el mes de mayo, y no el mes de abril como en el resto de escenarios, cuyo efecto es la acumulación del coste de dicho recurso en el mes de junio, provocando la existencia de un pico de financiación que podría comprometer la liquidez disponible si la disposición de la financiación no se ajusta adecuadamente.

Valorando el conjunto de posibles configuraciones para la ruta crítica en la mayoría de los casos un Project Manager trataría de llevar a cabo la ejecución del proyecto como plantea el segundo escenario. Es cierto que el presupuesto final no es el menor, pero solo un 1,3% mayor que el que plantea el escenario más austero, el primero. Por el contrario, en el aspecto temporal es claramente el más beneficioso, suponiendo una mejoría casi de una semana respecto al segundo mejor posicionado, y cerca de tres respecto al más pesimista, el cuarto.

Si comparamos el análisis segmentado con los datos inicialmente ofrecidos por la simulación, vemos que esta prevé en media que tenga lugar el tercer escenario, tanto por la coincidencia de los flujos de caja, como por los valores de duración total y presupuesto final. Es posible que tras esta simulación muchos Project manager se

sientan satisfechos, pero el haber procedido a realizar una minería de datos a desvelado posibilidades más convenientes para su ejecución.

Con la información ya presentada y valorada, conocemos la posibilidad de un escenario que contempla claras ventajas respecto al resto, el segundo. Ahora, la labor del Project Manager será tratar de gestionar el proyecto de manera que lleve tal itinerario, del cual se conocen sus beneficios, aunque no cómo alcanzarlos.

Para tal cometido, el Project Manager debe de conocer sus márgenes de actuación, comprendidos por los elementos fundamentales de la gestión como son el tiempo, el coste, el alcance y la calidad, combinado con los coyunturales, para acertar con las principales acciones como son la valoración y priorización de tales elementos o recursos. Las herramientas que se disponen a través del simulador serán de gran ayuda para conseguirlo, pues este permite contextualizar mejor con información adicional, como el índice crítico. Este nos advierte que escenarios son más probables de ocurrir, permitiendo enfocar mejor el estudio inicial. Como vimos en el apartado 5.4.3 de planificación temporal, podremos usar el simulador para valorar el impacto en términos de índices críticos de las decisiones tomadas, permitiéndonos una cuantificación explícita de los recursos necesarios para alcanzar rutas críticas específicas. En ocasiones los resultados segmentados pueden no ser totalmente concluyentes, con lo que habrá que esperar a ver la evolución del proyecto para proyectar nuevas previsiones con el simulador.

8.1.3 Discriminando los riesgos: Priorización

Como hemos expuesto a lo largo de todo este proyecto, la forma de afrontar tanto las amenazas indeseadas como las oportunidades advertidas en la simulación, siempre manteniendo el alcance del proyecto, pasan por actuar en la fuente de incertidumbre, los riesgos.

Hemos mostrado el método del análisis de sensibilidad como el vehículo para atacar esta incertidumbre. Ahora disponemos de varias herramientas de actuación, que hemos de usar convenientemente para sacar el máximo partido. Deberemos de enfrentarnos a cada problema de la manera correcta, ya que cada caso tendrá sus propias particularidades.

Encontrar el riesgo más relevante en términos de duración en el plan de proyecto tiene una mayor dificultad que esclarecer el riesgo económico más destacado. La dificultad proviene de que la duración se ve afectada por el dinamismo de la planificación temporal, o lógica del plan, que provoca efectos imprevistos:

- La intervención en los riesgos de duración no siempre tiene consecuencias directas, ya que la lógica puede producir efectos inesperados. De manera más clara, si se produce una reducción de un riesgo que recorta mucha la duración de una tarea,

pero esta no forma parte de la ruta crítica, el tiempo neto ganado será mínimo e incluso nulo.

- El modelo de costes no posee semejante complejidad. La intervención en riesgos de costes de tareas no conllevarán necesariamente efectos colaterales, con resultados habitualmente esperados y directos. Una excepción a esto es una restricción en el presupuesto que obligara a variar de forma condicional el plan para ejecutar otro escenario.

Con ambos elementos integrados vamos a comparar las diferencias que surgen según las necesidades del proyecto, dado que criterios temporales pueden distar mucho de los económicos. Para ello, vamos a continuar con el proyecto de despliegue del nodo radio, en la que la parte temporal del procedimiento que realizamos en el apartado 6.3.2 continúa vigente, ya que a pesar de incorporar nuevos riesgos, estos no tienen efecto alguno sobre el tiempo al ser exclusivamente de económicos. Como ya se introdujo, el criterio de priorización será para el riesgo con mayor impacto marginal al nivel de confianza establecido P-80, por ser más completo que basarse meramente en el valor de la sensibilidad medida.

Vamos a discriminar los riesgos, mitigándolos íntegramente (eliminandolos), para que se observe con claridad los impactos marginales, aunque siempre habrá que valorar hasta qué punto se puede actuar sobre un riesgo, labor importante que no se puede obviar. A continuación, recopilamos los resultados obtenidos para la priorización aplicada al elemento temporal, añadiendo los dos nuevos riesgos económicos:

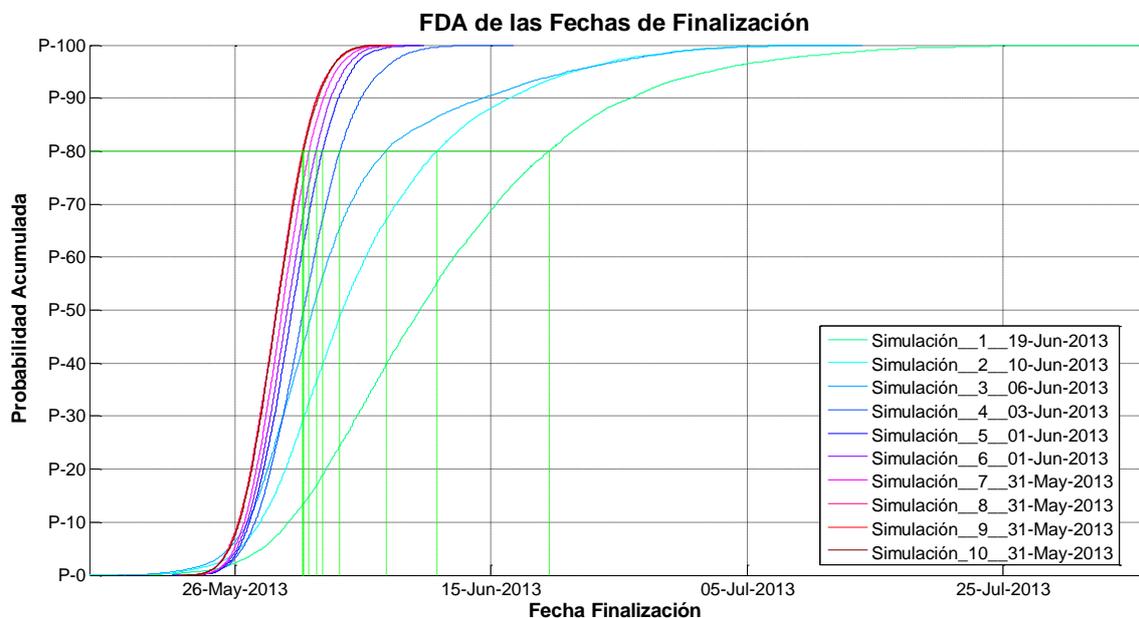


Figura 114. Comparación temporal de priorización de riesgos mitigados con criterio tiempo

Como hemos integrado el elemento económico en la simulación, también podemos ver cómo actúa en los costes esta priorización con criterio temporal:

8. Aplicaciones del Simulador avanzadas del modelo integrado

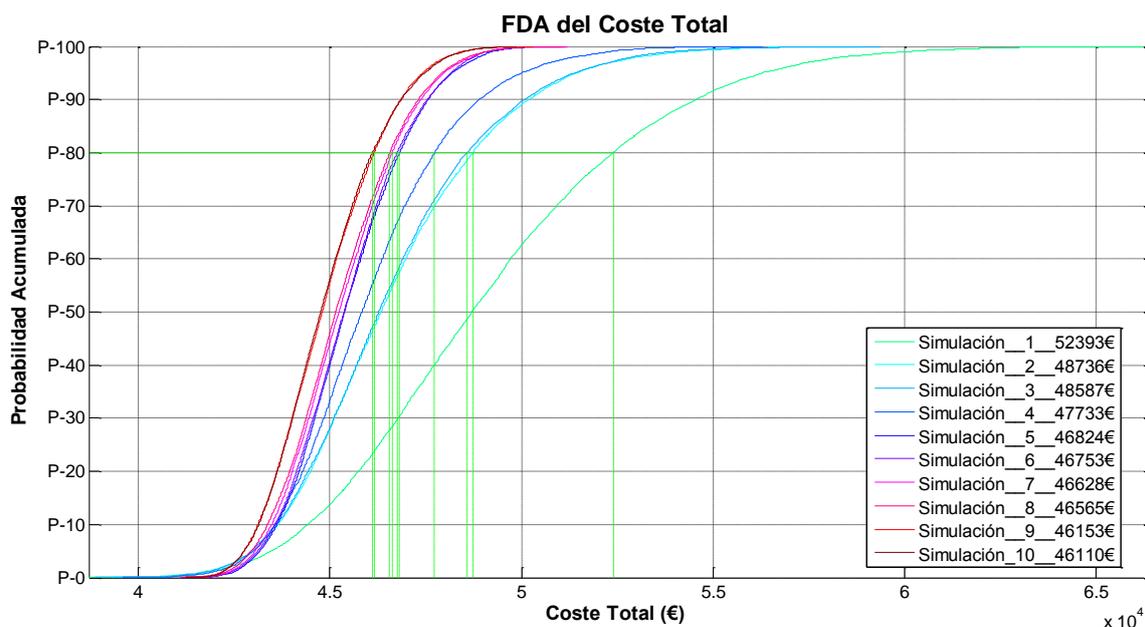


Figura 115. Comparación económica de priorización de riesgos mitigados con criterio tiempo

La siguiente tabla muestra el resumen de los resultados obtenidos para el análisis de sensibilidad aplicando un criterio temporal:

Riesgo Mitigado (Ordenados de arriba a abajo)	Criterio: Fecha P-80	Impacto Marginal en			
		Fecha P-80		Coste P-80	
		Días	% del impacto total	Coste (€)	% del impacto total
Ninguno (Todos contemplados)	19 de junio	-	-	-	-
Dificultad Adquisición Emplaz.	10 de junio	9	33,3	3656	39
Disp. Suministro Equipos-Material	6 de junio	4	14,8	149	1,5
Variación de los Requisitos	3 de junio	3	11,1	854	9,1
Complejidad Adecuación	1 de junio	2	7,4	908	9,7
Complejidad Integración	1 de junio	0	0	71	0,8
Problemas Aceptación	31 de mayo	1	3,7	125	1,3
Errores en Pruebas Funcionales	31 de mayo	0	0	62	0,6
Variación Coste Material Obra Civil	31 de mayo	0	0	412	4,4
Variación Coste Equipos-Material	31 de mayo	0	0	42	0,6
Error de Estimación Inicial	23 de mayo	8	29,7	3080	33

Tabla 31. Priorización de los riesgos a un nivel de confianza del P-80 con criterio tiempo

La novedad en esta ocasión, aparte de poder mostrar el efecto en los costes de la priorización temporal, es poder priorizar por el propio elemento coste como criterio. A continuación se muestran los mismos tipos de resultados que antes, para poder compararlos posteriormente:

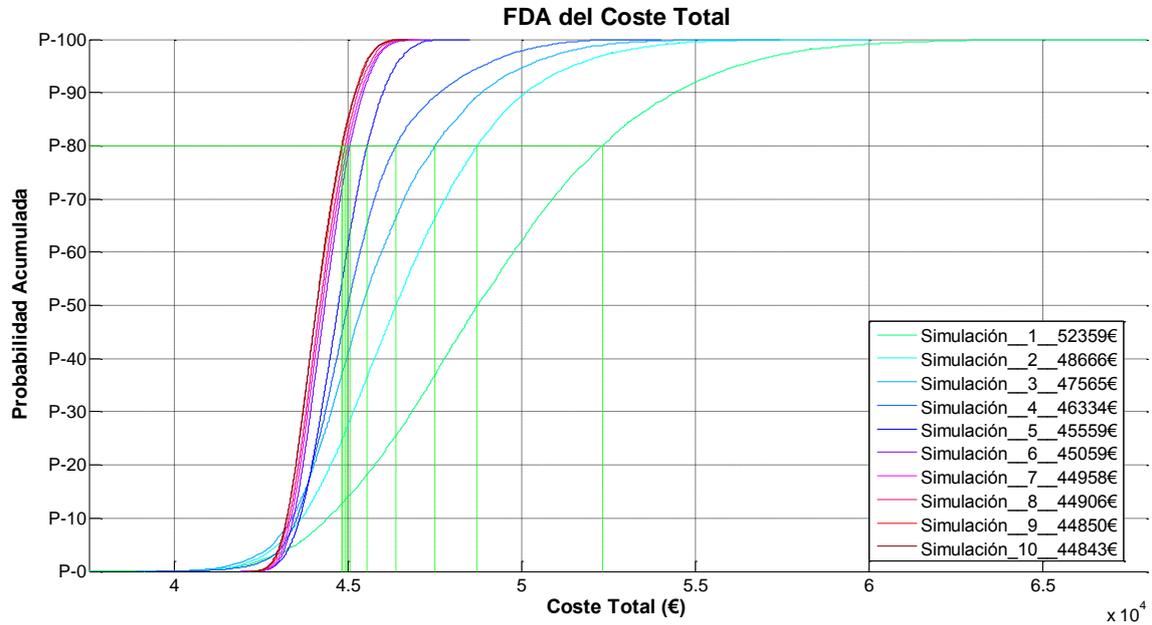


Figura 116. Comparación económica de priorización de riesgos mitigados con criterio coste

Como el criterio ahora es el económico, mostramos como afecta a la planificación temporal esta priorización con criterio económico:

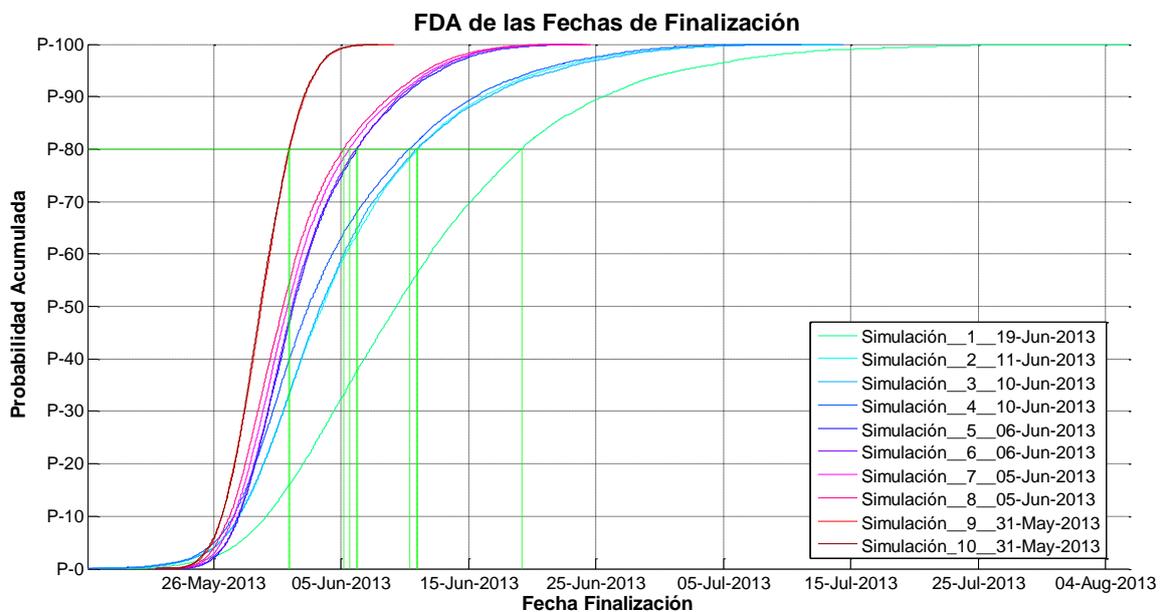


Figura 117. Comparación temporal de priorización de riesgos mitigados con criterio coste

8. Aplicaciones del Simulador avanzadas del modelo integrado

La siguiente tabla muestra el resumen de los resultados obtenidos para el análisis de sensibilidad aplicando un criterio económico:

Riesgo Mitigado (Ordenados de arriba a abajo)	Criterio: Coste P-80 (€)	Impacto Marginal en			
		Coste P-80		Fecha P-80	
		Coste (€)	% del impacto total	Días	% del impacto total
Ninguno (Todos contemplados)	52359	-	-	-	-
Dificultad Adquisición Emplaz.	48666	3692	39,4	8	29,7
Variación Coste Material Obra Civil	47565	1100	11,8	1	3,7
Complejidad Adecuación	46334	1231	13,2	0	0
Variación de los Requisitos	45559	775	8,3	4	14,8
Variación Coste Equipos	45059	499	5,4	0	0
Complejidad Integración	44958	101	1,1	1	3,7
Errores Pruebas Funcionales	44906	52	0,5	0	0
Disp. Suministro Equipos-Material	44850	56	0,5	5	18,4
Problemas Aceptación	44843	7	0,1	0	0
Error de Estimación Inicial	43000	1846	19,7	8	29,7

Tabla 32. Priorización de los riesgos a un nivel de confianza del P-80 con criterio coste

El análisis de sensibilidad realizado con ambos criterios nos muestra como dan lugar a prioridades para la actuación sobre los riesgos muy diferenciadas. Para cada criterio se obtienen resultados nada fáciles de anticipar, pues en ambos observamos cómo no siempre se prioriza los riesgos con mayor rango de impacto, aun cuando afectan a un mayor número de tareas o recursos. También se contempla cómo el riesgo implícito que supone el error de estimación es en términos cuantitativos el que mayor impacto tiene en ambos criterios, sin contar que no se optimiza su priorización en el orden más conveniente, sólo valorando su impacto una vez mitigamos los riesgos explícitos. El no proceder a mitigarlo se debe a que, como medida de prudencia para la proyección de resultados, nunca deberemos dar por válido la posibilidad de reducir esta incertidumbre.

Ambos análisis realizados deberán tomarse como punto de partida para la creación de la hoja de ruta del *Plan de respuesta frente a riesgos* del apartado 2.4.3. Las necesidades de los proyectos u organizaciones que los ejecutan no tendrán siempre como dogma el mismo criterio, tal y como hemos asumido para ambos análisis, ya que

según estos factores, podremos estar más interesados en priorizar riesgos que nos hagan obtener mejores registros temporales, económicos, o un compromiso mutuo de ambos elementos. En primer lugar, siempre se deberá cotejar y consensuar el margen de actuación sobre cada riesgo, contextualizándolo en un escenario realista (recursos disponibles, alcance deseable,...). Posteriormente, con el margen de actuación establecido, se ha de tratar de encontrar el escenario más ventajoso a través de proyecciones en el simulador, permutando las posibles acciones realizables.

El simulador no contempla el momento temporal óptimo del uso de los recursos disponibles para atacar a los riesgos, siendo responsabilidad del Project Manager el ir proyectando cada debido escenario donde los riesgos son abordados de una manera factible, examinando la evolución prevista del plan para poder seguir estableciendo la hoja de ruta más conveniente. La última palabra no estará dicha hasta ver cómo reacciona el plan de proyecto a todos los escenarios planteados, ya que la interrelación de los riesgos puede provocar que al suprimir o atenuar un riesgo se genere una nueva causa de incertidumbre que anteriormente era irrelevante.

De igual manera, la priorización viene del fundamento de que los recursos en todo proyecto son limitados, pero es razonable pensar que riesgos de índole muy dispar será posible atacarlos de manera concurrente, y no de manera secuencial como procede el análisis, bien porque económicamente es viable, o bien porque los recursos humanos lo permiten. Un ejemplo de esto sería los riesgos puramente económicos, como lo es *Variación del Coste de los Equipos*, donde la posible mitigación corresponderá al departamento de compras, liberando al equipo de gestión del proyecto de tal cometido para atender otras labores. Por ello, obviamos la priorización propuesta por el criterio temporal para este riesgo, donde se recomienda una intervención muy tardía. Aunque el simulador agiliza mucho de este trabajo, la multitud de circunstancias y preferencias que rodean a un proyecto hace que este análisis pueda llegar a ser tan importante como laborioso.

De cara a los resultados obtenidos, vemos como la priorización con el criterio temporal tiene resultados económicos muy discretos en las primeras acciones de mitigación de riesgos. Comparándolo con la priorización sobre el coste, esta tiene incluso una peor optimización en los resultados temporales para las primeras acciones, por lo que podemos determinar que el apartado temporal en general tiene un mayor peso a la hora de enfocar las acciones sobre los riesgos, debido a que el tiempo condiciona de gran manera el coste, y no tanto viceversa, algo que ya comprobamos en el análisis de sensibilidad del capítulo anterior.

Para el ejemplo que nos atañe, asumiendo un compromiso equilibrado entre duración y coste, el Project Manager estará interesado en abordar en primer lugar el riesgo que contempla la *Dificultad en la Adquisición Emplazamiento*, ya que para ambos criterios las planificaciones temporales y económicas obtienen grandes mejoras cuando se

8. Aplicaciones del Simulador avanzadas del modelo integrado

prioriza en primer lugar. Por otro lado, en un contexto real este riesgo supone una coyuntura perfectamente abordable en las etapas iniciales del proyecto, ya que el simulador en ocasiones puede proyectar la necesidad de priorizar riesgos imposibles de atacar hasta que no se ha llevado a cabo parte del trabajo, como es el caso de *Complejidad de adecuación*, para el que haría falta disponer del propio emplazamiento, y en verdad, su capacidad de mitigación puede ser escasa. Una forma de tratar de reducir este último riesgo podría ser habilitando un mayor tiempo a la tarea de *Adquisición Emplazamiento* para tratar de encontrar un lugar muy conveniente de adecuar, pero habrá que valorar si la prolongación necesaria para dicha tarea compensa la necesidad de una adecuación más compleja y costosa.

El riesgo de *Variación de los requisitos* es un caso importante por varias razones. En el registro de riesgos puede parecer el riesgo con mayor necesidad de priorización, ya que sus márgenes de impacto son amplios en tiempo y coste, y compromete a numerosas tareas, pero una vez puesto a prueba en el simulador se observa que no es tan determinante como llega a parecer inicialmente. Por otro lado, ambos criterios le posicionan en la parte alta del orden idóneo de priorización, por lo que se asume que dedicarle esfuerzos siempre conllevará buenos resultados. Desde el contexto global del proyecto, por su naturaleza es un riesgo que requiere abordarlo en etapas precoces, ya que define y condiciona las actividades posteriores, lo que nos lleva de nuevo a una prioridad alta.

Otro tipo de riesgos pueden suponer amplias mejoras para un solo criterio, pero los pocos recursos necesarios para su mitigación hacen que la conveniencia de priorizar su mitigación esté más que justificada. Tal caso es el del riesgo de *Disponibilidad para el suministro de equipos y material*, el cual podría mitigarse si se trata de agilizar tareas rutinarias internas que preceden al suministro como el *Estudio de viabilidad económica* y la *Validación de la oferta del proveedor*. El agilizar estas tareas por norma general sólo supone realizar una comunicación eficaz y anticipada con el departamento económico-compras para coordinar el trabajo adecuadamente y evitar que se quede en una cola de espera. Por ello, en esta ocasión obviamos la priorización propuesta por el criterio económico, donde recomienda una intervención tardía.

Algunos de los riesgos identificados tendrán un margen de mitigación muy pequeño, debido a que no se pueda establecer una acción explícita que garantice mejores resultados, pero no deja de ser importante incluirlos en un primer análisis de sensibilidad para evaluar su aportación a la incertidumbre total. Un ejemplo de semejante riesgo es el de *Problemas en la Aceptación*, que contempla la circunstancia de que la instalación física de los equipos (*enracado*, suministro eléctrico, conexión, etiquetado,...) no supere la verificación de los responsables de infraestructuras (departamento competente de los sistemas físicos), requiriendo una nueva intervención y verificación. Se dice que no se puede establecer una acción

explícita dado que los procedimientos establecidos para tales actividades se suponen suficientes, pero cualquier hecho fortuito puede suponer la ocurrencia de tal riesgo. Los riesgos de *Complejidad de integración* y *Errores en pruebas funcionales* también tienen una naturaleza similar.

Cuando modelamos planes de proyecto sencillos o a muy alto nivel, el análisis de sensibilidad para los riesgos tiene como principal activo la determinación de los impactos marginales, puesto que al considerar tan pocos recursos, la priorización de estos para mitigar a los riesgos no siempre entraña un gran problema. La posibilidad de optimizar la priorización de las acciones sobre riesgos viene sacar su máximo potencial cuando el número de recursos y lógica temporal conlleva numerosos conflictos de disponibilidad, tanto por la necesidad de cuantificar los márgenes de actuación, como coordinar la conveniencia temporal de dicha acciones.

Como hemos visto, el análisis de sensibilidad de priorización de riesgos permite enriquecer la información definida en el plan de proyecto en general, y al *Plan de acción frente a riesgos* y contingencias en particular. La posibilidad de cuantificar las acciones que se determinan para la consecución del proyecto permite disminuir la componente subjetiva de las decisiones, aportando mayor precisión y credibilidad para hacer comprender a todo el conjunto de implicados las particularidades y requerimientos. Si el conjunto de implicados de un proyecto puede responder de manera similar a la pregunta *¿qué visión tienes sobre los riesgos?*, mucho trabajo estará adecuadamente encaminado.

8.1.4 Intervención sobre los riesgos

En el apartado anterior hemos visto como el hecho de poder cuantificar para clasificar los riesgos tanto por el criterio de tiempo como coste nos permite de disponer de una información muy operativa para definir estrategias de contingencias. En este punto, no hay métodos de facto para la toma de decisiones, pero parece razonable pensar que los riesgos que tengan una mayor influencia en ambos elementos (esto no tiene por qué ser así siempre) y dispongan de recursos suficientes, serán lo que se tengan que atender con mayor celeridad y ahínco. El alcance del proyecto también es determinante en este punto, puesto que será muy diferente un proyecto orientado a cumplir escuetamente los objetivos, a otro que tenga como meta el completar todo el alcance, sin importar el tiempo o el presupuesto invertido.

En el ejemplo anterior, de manera casi obligada se debería de actuar sobre el riesgo *Dificultad en la Adquisición Emplazamiento*, ya que se encuentra en lo más alto de la clasificación para ambos criterios. La metodología en conjunción con el simulador concreta más ayuda en estas decisiones del Project Manager, puesto que se puede (y debe) hacer uso del simulador para plantear posibles escenarios de mitigación, observando cómo reacciona cada elemento para acotar las posibles estrategias de

8. Aplicaciones del Simulador avanzadas del modelo integrado

éxito. En la realización de este análisis, se requerirá el apoyo de expertos en los diferentes campos que afectan el proyecto, pues se basará en la creación de diferentes propuestas que varían los parámetros iniciales en función de las necesidades. Disponiendo del plan de proyecto inicial con todos los riesgos definidos, se podrán diseñar estrategias que alteren el impacto de estos riesgos, pero de igual manera se deberá alterar los recursos necesarios, temporal como económicamente.

Si para un determinado riesgo conocemos su aportación en coste y tiempo a un nivel de confianza del P-80, podremos recrear escenarios variando los parámetros y comparar resultados con el fin de actuar sobre él de la manera más eficaz. Lamentablemente, esto no siempre será concluyente, pues cuando se define una estrategia para mitigar un riesgo, esta acción tendrá un determinado coste para llevarse a cabo, el cual no siempre justificará de manera objetiva los resultados alcanzados. Se deberá poner en contexto los beneficios obtenidos, ya que existe la posibilidad de que por ejemplo una decisión no sea económicamente prudente, pero el tiempo salvado sea tan beneficioso que convenga tomar dichas medidas.

Supongamos que una vez proyectada la primera previsión del proyecto de despliegue del nodo radio, el Project Manager e implicados del proyecto deciden no estar del todo satisfechos con las estimaciones temporales. Es por ello que se propone plantear un nuevo escenario donde mitigando ciertos riesgos dados ciertos recursos asumibles, se obtengan mejores registros temporales sin penalizar en exceso los económicos. El Project Manager conociendo la información del primer análisis decide intervenir en los riesgos de *Variación de los requisitos* y *Dificultad en la Adquisición Emplazamiento*, para lograr acortar la duración total. Con la colaboración de implicados y expertos se concluye que aportando más capital humano técnico se puede reducir el efecto de ambos riesgos y agilizar de manera directa las tareas comprometidas por estos. Para ello, se reconsideran los parámetros de cada riesgo, modificándolos en consecuencia con la mejora estimada por el plan de acción:

Descripción Riesgo	Rango impacto Duración (%)			Rango impacto Coste (%)			Prob. Ocurrencia
	Optim.	Probab.	Pesim.	Optim.	Probab.	Pesim.	
Variación de los Requisitos	80	90	115	85	100	115	40%
Dificultad Adquisición Emplaz.	85	95	125	80	95	110	100%

Tabla 33. Redefinición de los parámetros de dos riesgos para el plan de acción

El incremento del recursos humanos del departamento de ingeniería y técnicos de campo se estima que mejora tanto el rango temporal completo, como la fecha media probable, de manera que se reduce el segundo parámetro de la FDP del riesgo. En relación al impacto económico del riesgo para el primero solo se establece una mejoría en la cota superior, mientras que para el segundo mejora el valor probable y cota

inferior. La probabilidad de ocurrencia se prevé que no cambie, por lo que las mantenemos igual. El resto de parámetros del proyecto permanecen intactos.

A este plan de acción se le cuantifica un coste de 2650€, que es un incremento del 20% sobre el coste de dichos recursos, quedando el nuevo presupuesto determinístico en 45650€. Este diferencial del coste lo asignamos a los recursos de *Departamento de ingeniería* y los *Técnicos de campo* en las dos tareas que corresponden (verde):

Recurso Actividad	Gestión Proyecto	Dep. Ingeniería	Técnicos de campo	Equipos y material	Obra Civil	Total Recursos
Estudio de requisitos técnicos	640	6000	-	-	-	6640
Adquisición de Emplazamiento	800	2000	1800	-	-	4600

Tabla 34. Modificación del presupuesto por el plan de acción

Ahora simulamos el nuevo plan de proyecto para cotejar los resultados del nuevo escenario planteado. Las siguientes tablas comparan los resultados obtenidos:

Simulación	Fecha P-80	Coste P-80 (€)
Antes de mitigación	19 de junio	52320
Después de mitigación	8 de junio	50306

Tabla 35. Comparación de resultados principales de cada simulación

Vemos que la estrategia es todo un éxito, ya que mejoramos la planificación temporal un 7% sobre el plan anterior (recortando 11 días), y a pesar de aumentar el coste determinístico un 6,2% (2650€), a un nivel de confianza del P-80 el presupuesto total se reduce un 4% (unos 2000€). También, el simulador prevé una probabilidad de alcanzar el coste determinístico en un 30%, que a pesar de ser pequeña, es mucho mayor que la previsión antes del plan de acción (3%). Como se agilizan las duraciones probables de las tareas de *Estudio de requisitos técnicos* y *Adquisición emplazamiento*, la fecha determinística se reduce en 5 días, y el simulador estima que la probabilidad de lograrla se mantiene muy baja, en torno al 1%.

Ahora mostramos la comparación de los resultados de los cuatro escenarios posibles de cada simulación (establecidos por el criterio de puntos de confluencia anterior, en el marco de la lógica), para ver cómo afecta el plan de acción realizado:

Simulación	Escenario 1º		Escenario 2º		Escenario 3º		Escenario 4º	
	Fecha	Coste	Fecha	Coste	Fecha	Coste	Fecha	Coste
Antes de mitigación	9 de junio	47440€	3 de junio	48296€	13 de junio	49612€	22 de junio	53425€
Después de mitigación	7 de junio	47922€	2 de junio	49489€	11 de junio	50485€	11 de junio	52349€

Tabla 36. Comparación de resultados de posibles escenarios de cada simulación

8. Aplicaciones del Simulador avanzadas del modelo integrado

Analizando los posibles escenarios dentro de las lógicas de cada simulación se observa una ligera mejoría en los tres primeros, que contemplaban un menor riesgo que el cuarto. En este último es donde obtenemos una mayor mejora del registro temporal (no tanto económico), y por tanto es el escenario donde tienen un mayor efecto el plan de acción creado, reduciendo notablemente la cola de la distribución de resultados globales. Aunque no se muestra, el flujo de caja probabilístico para este escenario ya no contempla el pico de financiación del mes de julio, algo siempre deseable para la planificación económica. Este es un aspecto importante a tener en cuenta, ya que si tratamos de mejorar escenarios donde ya de por sí las previsiones son buenas, la capacidad de mejora total será muy reducida.

Finalmente vemos la clasificación por impacto marginal que establece el simulador como óptima una vez planteado el nuevo plan de proyecto con los riesgos mitigados, como de costumbre a un nivel de confianza para la estimación del P-80:

Criterio priorización: Tiempo			Criterio priorización: Coste		
Riesgo Mitigado	Fecha P-80	Coste P-80	Riesgo Mitigado	Coste P-80	Fecha P-80
Ninguno (Todos contemplados)	8 junio	50320	Ninguno (Todos contemplados)	50406	8 junio
Disp. Suministro Equipos-Material	5 junio	50320	Variación Coste Material Obra Civil	49338	8 junio
Dificultad Adquisición Emplaz.	3 junio	50320	Complejidad Adecuación	48623	7 junio
Complejidad Adecuación	1 junio	49505	Variación Coste Equipos-Material	48180	7 junio
Complejidad Integración	1 junio	49452	Dificultad Adquisición Emplaz.	47826	6 junio
Problemas Aceptación	31 mayo	49325	Complejidad Integración	47744	5 junio
Errores en Pruebas Funcionales	31 mayo	49231	Problemas Aceptación	47636	5 junio
Variación Coste Material Obra Civil	31 mayo	47979	Disp. Suministro Equipos-Material	47596	31 mayo
Variación Coste Equipos-Material	31 mayo	47529	Errores en Pruebas Funcionales	47529	31 mayo
Variación de los Requisitos	31 mayo	47567	Variación de los Requisitos	47520	31 mayo
Error de Estimación Inicial	18 de mayo	45650	Error de Estimación Inicial	45650	18 de mayo

Tabla 37. Resultados del análisis de priorización de impactos marginales de los riesgos

Para el criterio de priorización temporal el riesgo de *Dificultad adquisición emplazamiento* sigue teniendo un efecto importante en el plan, mientras que la mitigación realizada en *Variación de los requisitos* es suficiente para bajarlo en la cola de prioridades. Con el criterio coste tenemos resultados parejos, donde *Dificultad adquisición emplazamiento* mantiene una relevancia notable, y *Variación de requisitos*

no supone un problema en términos relativos de cara al riesgo del proyecto. Este análisis es un paso intermedio en la continua labor de gestión del riesgo, pues sólo nos es útil para cuantificar las nuevas aportaciones marginales de los riesgos. Esto es así ya que estamos mitigando por completo dos riesgos en los que ya hemos actuado, no siendo válida esta segunda intervención en ellos. Con este paso se volverá a valorar las posibilidades de mitigación de los riesgos en los que no se ha actuado, continuando con la hoja de ruta de la priorización del resto.

Se ha de tener en mente que esta intervención sobre riesgos se ha realizado antes de comenzar la ejecución del proyecto, actuando sobre los riesgos que se considera realista actuar. Durante la ejecución, todos los datos del plan de proyecto han de actualizarse para seguir proyectando los posibles acontecimientos y valorar la necesidad de incluir planes de contingencia que nos permitan lograr mejores resultados dentro de los recursos que se disponen. Ciertos riesgos del un plan de proyecto no se podrá decidir como mitigarlos hasta que no se disponga de la evolución llevada del plan. En ocasiones, las mejoras pueden no cubrir los gastos provocados por los planes de acción sobre riesgos, y por ello habrá que valorar el beneficio implícito que tiene por ejemplo el poder finalizar el proyecto con mayor brevedad, algo no siempre fácil de decidir, y que dependerá de múltiples factores.

Sobre esta labor, la experiencia del Project Manager juega un papel fundamental, pues habitualmente las posibilidades de realizar mejoras son grandes, pero son pocas las que tendrán un resultado exitoso en relación al abanico de objetivos fijados.

9 Conclusiones y trabajo futuro

9.1 Conclusiones

Más allá de la metodología, la experiencia laboral ha constatado la gran subestimación que existe en las organizaciones en materia de riesgos en proyectos. Esta subestimación no está provocada por una laxa o errónea gestión, sino por una cultura de riesgos tan escasa, que relega prácticamente a la resignación sobre los mismos. Esto ha hecho ver que la necesidad de orientar una metodología a la actividad real de las organizaciones es capital, ya que existen numerosos métodos de gran potencial, pero que carecen de la tan necesaria operatividad que demanda la gestión de proyectos real.

Uno de los principales objetivos de la metodología expuesta ha sido ser capaz de aportar una solución útil y ágil, para lo que se ha tenido siempre en cuenta los procesos internos en la cadena de valor de las organizaciones. Sin la posibilidad de haber desarrollado esta metodología en el departamento de *Gestión de Proyectos de Red Central* de Vodafone, que es un ecosistema objetivo, habría sido muy complicado mantener el enfoque necesario. Esta oportunidad ha ido aportando activamente información y requerimientos que han derivado en partes tan importantes de la metodología como la consideración del factor humano en relación con la gestión del riesgo, desde la dificultad en la recolección de información de calidad, hasta la importancia de la implicación organizacional. También ha ratificado las ventajas del enfoque hacia un modelo de riesgos explícitos, mucho más cercano y realista, el cual ha permitido explotar el potencial del simulador desarrollado en materia de actuación sobre el riesgo.

El objetivo inicial de comprobar si el método Monte Carlo podía ser una alternativa a los métodos tradicionales de planificación y previsión queda rápidamente constatado. Tiene una menor subestimación del riesgo, y a parte de facilitar datos muchos más precisos y realistas, el simulador Monte Carlo tiene un amplio abanico de posibilidades en cuanto a tratamiento de la información, algo que hace posible muchas de las funcionalidades y procesos mostrados. Esta capacidad de tratar la información permite al Project Manager tener un mayor conocimiento sobre las previsiones, y capacidad de realizar planes de contingencia respaldados cuantitativamente por resultados objetivos.

En el momento que se empezó a profundizar en modelos estadísticos se vio la total necesidad, también la complejidad, de implementar el efecto de la correlación. Aparte de las dificultades en su implementación, este enfoque soportado por la mayoría del software comercial resulta poco operativo, haciendo ver que la gestión de riesgos en proyectos requiere un enfoque muy específico (con entradas intuitivas de tratar, en

vez de complejas como los coeficientes de correlación), elevando si caben las barreras de entrada hacia una cultura de gestión del riesgo más trabajada. El modelo de riesgos explícitos ayuda a crear el efecto de la correlación de una manera muchas más sencilla y natural. Si bien este enfoque puede tener debilidades, como la necesidad de una menor, pero existente, sensibilidad respecto al factor riesgo para los datos de entrada, se cree mucho más conveniente que el modelo de riesgos implícitos, que impide tratar con el factor riesgo de forma directa. Este enfoque ha permitido dar rigor a la metodología, ya que incide en orientar las acciones de cara al riesgo, no sólo a sus efectos, y esto se traduce en una mejor gestión. También habilita funciones de tanto potencial como el análisis discriminatorio del riesgo, que permite evaluar cómo se comportan en nuestro plan de proyecto las estrategias de acción, reduciendo la componente subjetiva de las decisiones.

La versatilidad del método Monte Carlo en la simulación de modelos estocásticos ha permitido crear un modelo que contempla una gran parte de los elementos que rodean a un proyecto. El poder integrar coherentemente los factores tiempo y coste supone una mejora muy clara respecto métodos tradicionales, y permite extraer una gran variedad de métricas para mejorar la planificación, control y seguimiento. El poder situar con tanta precisión los aspectos económicos en el tiempo realmente supone un valor diferenciador respecto otras técnicas.

Uno de los mayores retos de este Proyecto Fin de Carrera ha sido el desarrollo del simulador que respalda las funcionalidades y procesos expuesto en la metodología. Su implementación ha sido un ejercicio de minucioso estudio de la naturaleza del problema, viéndose modificado y ampliado según se han ido completando todas las necesidades advertidas. La arquitectura y procesos se han tenido que *modularizar* convenientemente para poder incluir tanto las modificaciones del modelo, como la información generada a tratar.

Todas las conclusiones no pueden ser plenamente positivas, pues el hecho de poder desarrollar y poner a prueba la metodología en un ecosistema real también ha arrojado varias consideraciones. La primera es la escasa cultura del riesgo existente en las organizaciones en general, lo cual supone una gran barrera de entrada para estandarizar procedimientos de este tipo. La segunda consideración, trata de incluso cuando existe predisposición a colaborar para la realización de estos métodos, existe cierto escepticismo y escasa sensibilidad, por lo que el proceso de adopción puede no ser muy rápido.

Por otro lado, a pesar de tener un modelo de datos bien definido, el éxito de la metodología recae mucho en su calidad. Esto significa que para alcanzar unos resultados plenamente satisfactorios en su uso se tendrá ineludiblemente que pasar por un proceso de aprendizaje de las habilidades necesarias en la metodología, incluso profesionales con dilatada experiencia en la gestión de proyectos. La experiencia

adquirida para proporcionar los datos necesarios se torna como algo capital, y la documentación de procesos y resultados frecuentes puede ser de gran utilidad para facilitar el uso, proponiéndose como trabajo futuro.

9.2 Trabajo futuro

Si bien los resultados y conclusiones obtenidos en este Proyecto Fin de Carrera se consideran muy satisfactorios, existen líneas de trabajo que amplían el estudio para proporcionar más información en cuanto a la gestión del riesgo en proyectos.

9.2.1 Modelo y simulador

El modelo definido y el simulador desarrollado han ido ampliándose desde el inicio, tanto para mejorar como incluir funcionalidades adicionales advertidas. Esto ha hecho que se tuviera como uno de los principales esfuerzos en la implementación del simulador el estandarizar las entradas y automatizar los procesos. Esto ha sido una labor importante, pero la gran variedad de particularidades que pueden tener lugar en la realidad de los proyectos hace que en ocasiones se haya procedido para algunos casos a realizar desarrollos ad-hoc. Por ello, se tiene como trabajo futuro el ampliar el modelo actual incluyendo factores que, aunque puedan no ser siempre requeridos en una simulación, tengan cierto interés. Algún ejemplo de esto podrían ser factores externos como los económicos (tipo de interés de cara a la financiación, criterio en la recepción de los pagos en los flujos de caja), o competitivos (alteración del precio de un recurso necesario según la oferta-demanda del mercado).

En el documento se habla de la utilidad que tendría incorporar al modelo la asignación de recursos necesarios (capital económico, capital humano, equipamiento, servicios externos,...) para la ejecución de las tareas. La principal ventaja que esto tendría sería el tratar de simular siempre escenarios plenamente realistas, algo a lo que nos acercamos integrando el tiempo y el coste de forma coherente. Este proceso se realiza en parte implícitamente por el Project Manager en la etapa de planificación, pero al no poner en contexto los riesgos, aparte de poder incurrir en amenazas si existe solape de actividades que requieren un mismo recurso (puede ocurrir en caminos paralelos), puede desaprovecharse oportunidades cuando el plan de proyecto las permite. La posibilidad de dejar la gestión de recursos al simulador, y que este los gestionara dinámicamente, podría por un lado aliviar la realización de este trabajo, y por otro sólo considerar escenarios plenamente optimizados a la hora de simular, brindando una mayor calidad para los resultados. El problema que existe con la gestión de los recursos es la dificultad en su implementación, la gran variedad de estos que pueden existir, cada uno con sus propias particularidades de uso y asignación, hace que se puede tener casi como otra materia diferenciada de estudio.

Desde el punto de vista del simulador como herramienta, también cabe la posibilidad de ampliarlo. A pesar de tener un alto grado de automatización y estandarización de la información de entrada, este no cuenta con una interfaz gráfica orientada al usuario final, ya que se nutre de scripts que contienen, eso sí, la información bien estructurada. Por otro lado, sería de utilidad un desarrollo para disponer de los datos generados en un contexto mayor, como un repositorio bien estructurado, para facilitar el uso y gestión de históricos, algo muy provechoso para una metodología de este tipo. Este tipo de repositorios de más alto nivel también habilitarían la posibilidad de sistemas tipo *BigData*, con los que poder entender mejor muchos factores a través de la minería de datos una vez se disponga de un volumen razonable

9.2.2 Metodología

Si algo se ha aprendido en la realización de este proyecto ha sido el peso que tiene la implicación humana en la gestión de proyectos en general, y en la de riesgos en particular. Esta implicación tiene un ámbito grande, desde aspectos tan directos como recabar información de calidad para las simulaciones, como la necesaria cultura organizacional que permite realizar esta labor exitosamente.

La posibilidad de haber desarrollado este Proyecto Fin de Carrera trabajando en el departamento de *Gestión de Proyectos de Red Central* de Vodafone ha permitido comprender muchas de las necesidades y sentar las bases de una metodología que abarca todo el proceso de gestión del riesgo, desde los criterios para recabar la información, pasando por la confección del modelo y el simulador con su variedad de funcionalidades, hasta la interpretación de los datos generados. En verdad esto se debe de considerar como un primer paso, puesto que toda metodología o proceso ha de pasar por una etapa de adaptación y pruebas que permita corregir e incorporar necesidades advertidas fruto de la experiencia.

Una temática tan amplia como la gestión de proyectos siempre se ve beneficiada cuando muchos de los procesos que la conciernen consiguen documentarse y estandarizarse. Un buen ejemplo de esto es el PMI, que desde 1987 cuando lanzó la primera edición del PMBOK ya ha ampliado este en cuatro ocasiones más, la última de ellas en 2012. Cuando una organización incorporase a sus prácticas habituales una metodología de este tipo, podría documentar muchos aspectos subjetivos y lecciones aprendidas durante su uso, agilizando su implantación. El modelo de riesgos explícitos se cree de gran utilidad, pero es necesario seguir estudiando su conveniencia. A estas alturas ya se es consciente de la criticidad de la calidad de la información, pero sin duda es necesario profundizar en los procedimientos para una recolección exitosa de esta. Todo esto llevaría a disminuir las barreras de entrada que tiene una cultura de gestión del riesgo exigente, algo pendiente por el momento.

Referencias

Bibliográficas:

- [1] Project Management Institute, "A guide to the Project Management Body of Knowledge: (PMBOK guide)", Project Management Institute, 2004
- [2] David Vose, "Risk analysis: a quantitative guide", Wiley, 2008
- [3] Mostafa Hashem Sherif , "Managing projects in telecommunication services", Wiley-Interscience, 2006
- [4] Dragan Z. Milosevic, "Project management toolbox: tools and techniques for the practicing project manager" John Wiley & Sons, 2003
- [5] Yacov Y. Haimes , "Risk modeling, assessment, and management", Wiley, 2009
- [6] Reuven Y. Rubinstein, "Simulation and the Monte Carlo method", Wiley-Interscience, 2008
- [7] Hullet, D., "Practical Schedule Risk Analysis", 2009
- [8] Stephen Grey, "Practical risk assessment for project management", Wiley, 1995
- [9] Johnathan Mun, "Modeling risk: applying Monte Carlo simulation, real options analysis, forecasting, and optimization techniques", John Wiley & Sons, 2006
- [10] Huu Tue Huynh, "Stochastic simulation and applications in finance with MATLAB programs", John Wiley & Sons, 2008
- [11] Laurent Condamin, "Risk quantification: management, diagnosis and hedging", John Wiley, 2006
- [12] George G. Angel, "PMP certification: a beginner's guide", McGraw-Hill, 2010

Apuntes, publicaciones y artículos:

- [13] Antonio Aguilar, "Apuntes asignatura Proyectos", E.P.S. U.A.M., '07-'08
- [14] Carlos Aguirre, "Apuntes asignatura Optimización y Simulación", E.P.S. U.A.M., '07-'08
- [15] Jorge Ayllón, "Herramientas para la planificación y control de costes de un proyecto", E.P.S. U.A.M., 2007

- [16] Iman, R.L., Conover, W.J., "A distribution-free approach to inducing rank correlation among input variables". Commun. Statist. Simula. Computa. B11, 311-334, 1982
- [17] Diego Navarro, "Seguimiento de proyectos con el Análisis del Valor Ganado", direccion-proyectos.blogspot.com/, 2006
- [18] Leonel Morales Díaz, "Análisis por Árboles de Decisión", ingenieriasimple.com, 2008
- [19] Campbell, B.; Hullet, D., "Schedule and Cost Analysis", 2010
- [20] Tversky, A.; Kahneman, D., "Judgment under uncertainty: Heuristics and biases", Science 185, 1974
- [21] Riccardo Rebonato, "Methodology to create a valid correlation matrix for risk management", Quantitative Research Centre NatWest Group, octubre 1999
- [22] Nicholas J. Higham, "Computing the Nearest Correlation Matrix", Manchester Institute for Mathematical Sciences, 2002
- [23] Daniel Serra de La Figuera, "Métodos Cuantitativos para la Toma de Decisiones", octubre 2002
- [24] Diego Navarro Pérez, "Seguimiento de proyectos con el Análisis del Valor Ganado", 2006
- [25] Leonel Morales Díaz, "Análisis por Árboles de Decisión", 2008
- [26] "Criticality and Cruciality", www.riskdecisions.com, 2009
- [27] "Joint Confidence Level", NASA Office of Program Analysis and Evaluation, 2009

Enlaces de Internet:

- [28] Red de Optimización de Métodos Computacionales en Estadística, Econometría y Finanzas:

comisef.wikidot.com

- [29] Web de ayuda del software de gestión de proyectos MS Project:

office.microsoft.com/project

- [30] Foros de información y discusión:

*mathworks.com/matlabcentral; math.stackexchange.com; mathkb.com;
wilmott.com*

Apéndice A: Comparación Monte Carlo – PERT

En este apéndice vamos a realizar una comparación directa del método PERT contra el modelo del simulador Monte Carlo desarrollado. PERT se basa en el método de los momentos (MOM), que es fácil y directo, pero esto implica limitaciones. Su sencillez permitía poder ser usado con escasos recursos, y cabe decir que ha tenido una aceptación razonable hasta la actualidad, viéndose apartado por técnicas más modernas como la que se expone en este Proyecto Fin de Carrera.

La problemática con el método PERT reside en que no es consistente la forma en que trata los nodos donde confluyen caminos paralelos en la lógica del plan. En estos puntos, el método PERT establece el camino crítico, que será, y aquí reside el error, inamoviblemente uno de ellos. Esto lleva a que no se considere que, caminos inicialmente con holgura (margen de tiempo sin impacto), puedan pasar a ser caminos críticos con implicación directa en la duración global del proyecto. Lo cierto es que subsanar correctamente este error sin usar el método Monte Carlo y recursos informáticos se vuelve bastante difícil. Por los recursos disponibles en la actualidad y el desarrollo de otras posibilidades, hace que en este momento el uso del PERT sea una decisión errónea, que conllevará la subestimación de factores claves para la gestión del riesgo de un proyecto.

Además del erróneo tratamiento de los puntos de confluencia, PERT tiene otras limitaciones e implicaciones no menos importantes:

- Una integración tiempo-económica eficaz está fuera de su alcance, haciendo de él una herramienta más básica en comparación a la propuesta.
- No es posible definir una distribución Beta de manera unívoca con sólo tres parámetros (habría que definir su *kurtosis* o simetría), que son los que estipula el método. Por el contrario, si es posible definir unívocamente la distribución triangular, como se propone en esta metodología.

Mostrando las diferencias entre Monte Carlo-PERT

Vamos a ilustrar un sencillo ejemplo que muestra lo anteriormente comentado. Para ello, vamos a usar el mismo tipo de distribuciones para ambos, las triangulares, de manera que podamos hacer una comparación directa, a pesar que PERT use la *Beta*.

Para ello, vamos a exponer las ecuaciones requeridas por PERT según los parámetros establecidos cuando se enunció la distribución de probabilidad (apartado 3.2.1.1):

$$\text{Esperanza distribución Triangular} = \frac{\text{Optimista} + \text{Medio} + \text{Pesimista}}{3}$$

$$\text{Varianza distribución Triangular} = \frac{O^2 + P^2 + M^2 - OP - OM - PM^2}{18}$$

Con el uso de estas ecuaciones para establecer la duración de las tareas, y habiendo conformado el diagrama de malla, obtendremos el camino crítico y holguras del resto, si existen. También nos es posible calcular la desviación estándar del camino crítico hallado en el diagrama de malla, usando la ecuación de la desviación estándar para el MOM, que es la raíz cuadrada de la suma de las varianzas de las actividades:

$$\text{Desviación estándar} = (\text{Varianza}_1 + \text{Varianza}_2 + \dots + \text{Varianza}_n)^{1/2}$$

El ejemplo para realizar las pruebas es el expuesto en el apartado 5.2.1, que es un proyecto que consta de 4 tareas ejecutadas de manera consecutiva:

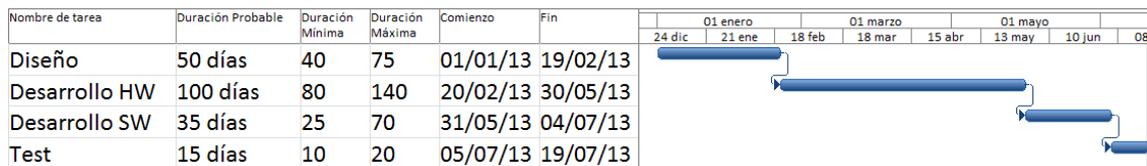


Figura 118. Gantt proyecto simple con 4 tareas consecutivas

Con las ecuaciones anteriores veamos los valores que obtenemos según PERT para la duración de las tareas del proyecto:

Tarea	Esperanza PERT (días)	Varianza PERT (días)
Diseño	55	54,2
Desarrollo HW	107	155,6
Desarrollo SW	43	93,1
Test	15	4.2

Tabla 38. Estimaciones según PERT con distribución triangular

Duración media del proyecto = 220 días

Suma de las varianzas = 306,9

Desviación estándar = 17,5 días

Con estos datos, podemos usarlos para extender la información que PERT nos puede aportar. Para ello, PERT se apoya en el *Teorema Central del Límite*, estableciendo la distribución del tiempo de finalización del proyecto como una Gausiana. Esto será en muchos casos una suposición fuertemente cuestionable, pero simplifica en gran medida el método de obtención de resultados. Con la información hallada podemos plasmar dicha distribución. La siguiente figura muestra los resultados:

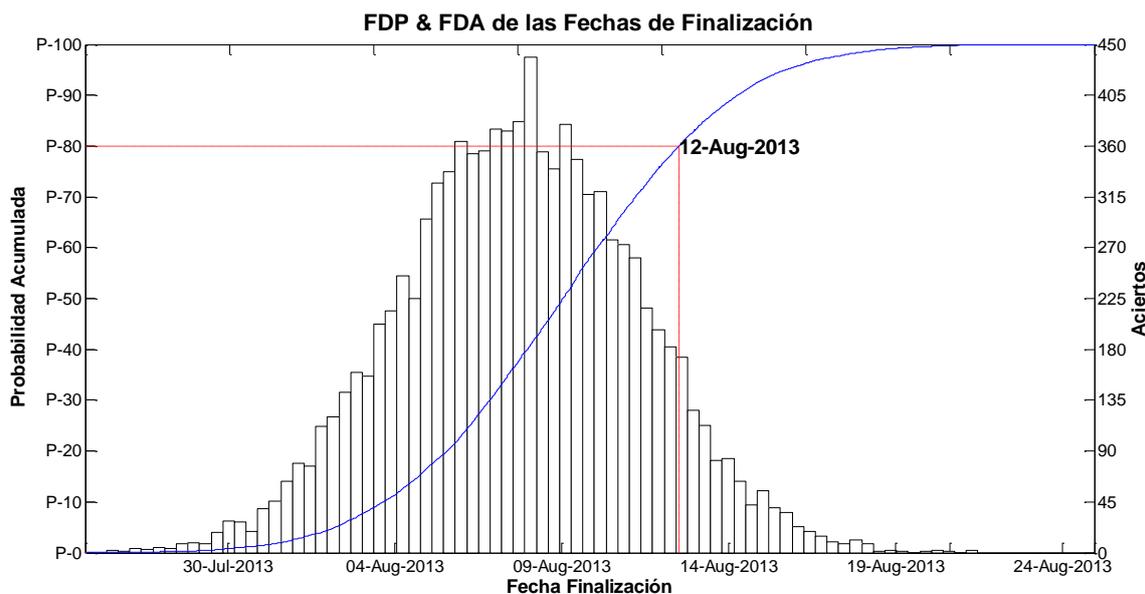


Figura 119. Resultados de las fechas de finalización usando PERT

Ahora mostramos los resultados de la simulación con el método Monte Carlo:

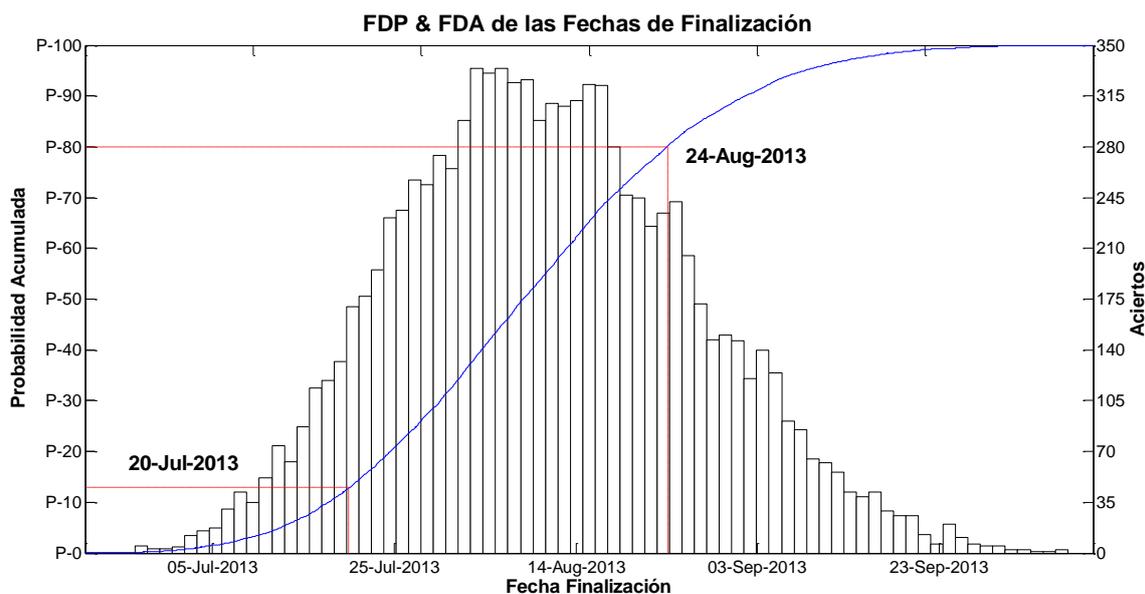


Figura 120. Resultados de las fechas de finalización usando Monte Carlo

Si comparamos estos resultados con los obtenidos con la simulación Monte Carlo, vemos que ambos métodos tienen resultados razonablemente similares:

	PERT	Monte Carlo
Media	8 de agosto	8 de agosto
P-80	12 de agosto	24 de agosto
Desviación estándar	17,5	17,49

Tabla 39. Comparación resultados PERT-Monte Carlo en lógica simple

Cuando comparamos ambos métodos tenemos resultados muy similares en los parámetros de media y desviación estándar, no tanto así en el P-80, donde Monte Carlo modela mejor las colas de las distribuciones. De cualquier manera, viendo estos resultados no cabría esperar grandes diferencias entre ambos.

Tratamiento de caminos paralelos: El talón de Aquiles de PERT

Ahora vamos a poner a prueba y comparar PERT en el supuesto que tenemos un plan de proyecto con caminos paralelos en su lógica, que es lo habitual en casos reales. Concretamente vamos a ponerlo a prueba con el ejemplo de tres caminos paralelos idénticos del apartado 5.2.1 (Figura 30), del cual disponemos los resultados de simulado Monte Carlo. La siguiente tabla muestra los cálculos realizados para el método PERT, en los cuales se puede apreciar el problema rápidamente:

Tareas Componentes 1, 2 y 3	Esperanza PERT (días)	Varianza PERT (días)
Diseño	55	54,2
Desarrollo HW	107	155,6
Desarrollo SW	43	93,1
Test	15	4.2

Tabla 40. Estimaciones según PERT para los tres componentes

Duración media componentes 1, 2 y 3 = 220 días

Desviación estándar componentes 1, 2 y 3 = 17,5 días

La tabla muestra que usando PERT se obtiene exactamente los mismos resultados por cada una de las rutas (componentes) del plan, sin tener en cuenta las implicaciones que supone un punto de confluencia de caminos paralelos. Según PERT, el plan de proyecto finalizaría en el mismo plazo con tres caminos paralelos que con uno, sin importar el incremento lógico de fuentes de riesgo de los dos nuevos componentes:

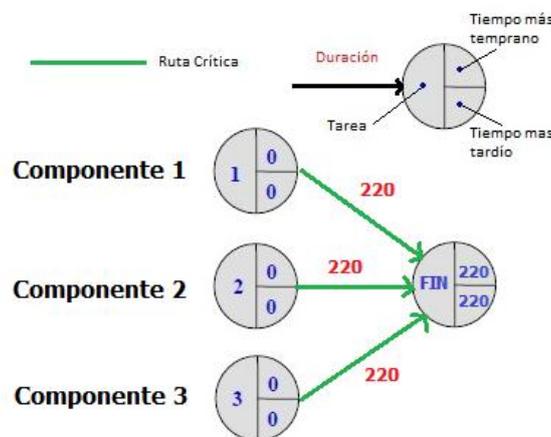


Figura 121. Subestimación de PERT cuando existen caminos paralelos

En el apartado 5.2.1 se demostró que la inclusión de un camino concurrente, aún idéntico al existente, siempre incrementará el riesgo. En definitiva, según el método PERT, no se incurre en riesgos cuando se incluye caminos paralelos al plan de proyecto, algo que el simple sentido común nos hace reprobar. La tabla a continuación sintetiza la comparación:

	PERT	Monte Carlo
Media	8 de agosto	23 de agosto
P-80	12 de agosto	4 de septiembre
Desviación estándar	17,5	13,65

Tabla 41. Comparación resultados PERT-Monte Carlo con caminos paralelos

Todo el espectro de fechas candidatas con sus probabilidades está erróneamente cuantificado en PERT, puesto que no acierta en los valores medios y colas de la distribución, sobreestimando también la posibilidad de finalizar en la fecha de determinística con valores del 13% (Monte Carlo lo fija menor al 1%). De esta manera, se muestra el error de base que tiene el método PERT, y la ventaja que supone el uso de Monte Carlo, incluso en los escenarios más simples. Además de la mejoría en las estimaciones, el potencial que puede alcanzar Monte Carlo con el resto de funcionalidades desarrolladas en este proyecto justifica sobradamente el reemplazo del método.

Apéndice B: Generación de la correlación

Como se expuso en el Capítulo 6, en el momento que se empieza a profundizar en la gestión de proyectos nos percatamos que existe un trasfondo de dependencia entre los elementos que conforman un plan de proyecto, como son el tiempo entre las tareas o su coste, el cual provoca una correlación. Durante la realización de este Proyecto Fin de Carrera, ya desde el momento que se pretendió implementar un desarrollo para modelar este fenómeno se empezó a observar la complejidad que infiere lo métodos estadísticos necesarios para recrearlo, tanto teórica como prácticamente, teniendo que buscar otras alternativas, como se acaba concluyendo con el cambio de enfoque hacia riesgos explícitos como elemento generador de correlaciones.

Dando por válido el método que concluye el uso de los riesgos explícitos como generadores de correlación, este anexo expone las consideraciones del método matemático con el que se modela la correlación en primera instancia. El interés de este anexo es mostrar la complejidad y poca conveniencia que tienen estas técnicas, debido en parte a la subjetividad que requiere su uso, justificando la búsqueda de otras alternativas como se acaba realizando.

La generación de variables correlacionadas no es en absoluto una tarea trivial. La literatura expone diferentes métodos para implementar este proceso, pero en su mayoría están sujetos a estrictas restricciones sobre los datos de entrada o salida. Para atacar esta necesidad, en primer lugar definiremos de qué información disponemos para modelar el problema:

- Los elementos que queremos correlacionar, tiempo y coste, son variables aleatorias independientes con una función de distribución de probabilidad marginal triangular. Esta distribución marginal triangular está definida por tres parámetros, como vemos en el apartado 3.2.1.1.
- Cada una de estas distribuciones pueden ser (generalmente lo son) diferentes entre sí.
- Se desea correlacionarlas según una matriz de correlación definida expresamente, aunque puede estar sujeta a una ligera modificación. Esta modificación tendrá lugar si la matriz no cumple la norma de ser definida positiva, ya que los métodos de generación de variables correlacionadas requieren operaciones matemáticas que sólo se puede realizar sobre este tipo de matrices.

Con estos datos de entrada, se estudió las diferentes posibilidades para generar la correlación. Es ampliamente conocido, y muy citado a lo largo de la bibliografía consultada [9] [29], la posibilidad de generación de variables correlacionadas de distribución normal, independientes y idénticamente distribuidas mediante la

Factorización de Cholesky (expuesta al final del apéndice). Estos requisitos son demasiado estrictos, ya que las distribuciones que nos competen son triangulares heterogéneas, impidiéndonos hacer uso de esta técnica, aunque usaremos la operación que la da nombre por necesidad de otras técnicas.

A lo largo de la búsqueda se han estudiado algunos métodos que respetan los datos de entrada para la generación de la correlación, pero cada uno con su coste de oportunidad:

- *Transformaciones*: Dado que el anterior método sólo tiene capacidad para distribuciones normales, sería posible realizar operaciones con las transformaciones inversas para obtener los resultados con las marginales deseadas. El problema de abordarlo de esta manera es que las transformaciones generalmente alterarán la correlación, por lo que este proceso carece de la rigurosidad necesaria.
- *Muestreo de Gibbs*: Es un algoritmo para generar una muestra aleatoria a partir de la distribución de probabilidad conjunta de dos o más variables aleatorias. El contrapunto de este método es que requiere una entrada de la que no se dispone (o no se puede conocer), como es la FDP conjunta de las variables. La información que modela los elementos no define una distribución conjunta unívocamente, siendo imposible su cálculo [8].
- *Cóputas*: Se usan para describir la dependencia entre variables aleatorias. La función de distribución acumulada de un vector aleatorio se puede escribir en términos de funciones de distribución marginales y una cópula [2]. Las funciones de distribución marginales describen la distribución marginal de cada componente del vector aleatorio, y la cópula describe la estructura de dependencia entre los componentes. Existen muchas familias paramétricas de cópulas disponibles, que tienen parámetros que controlan la fuerza de la dependencia. Este método tiene como inconvenientes un grado razonable de complejidad de desarrollo, pero esencialmente, la necesidad de existencia de familias de cópulas que se ajusten expresamente a los fenómenos que se requiere simular, algo no siempre fácil de conseguir.

Todos estos métodos tienen sus desventajas e inconvenientes, requiriendo en algunos casos una cierta complejidad de desarrollo sin garantizar los resultados deseados. En ellos, las distribuciones marginales de cada variable después de correlacionarlas no suele preservarse, así como las propias correlaciones fijadas en el proceso. La tarea de recabar la información para modelar este fenómeno requiere un esfuerzo considerable y no siempre exitoso, y si estas técnicas suponen resultados poco óptimos haría que carezca todo su sentido.

Aproximándose al método más conveniente

Tratando de buscar alguna otra alternativa, se ha de razonar cómo funciona la correlación y las distintas necesidades, como es que las distribuciones marginales de las variables se mantengan intactas después de generar la correlación. De esta manera, se llega a discernir otra posibilidad para abordar el problema.

Teniendo en cuenta que nuestras variables aleatorias son series que conforman una determinada distribución marginal, cuando computamos la correlación de una serie frente a otra para obtener la medida de dependencia (coeficiente de correlación ρ_{xy}) existente entre las dos, la ordenación de sus elementos juega un papel fundamental. Esta relación se obtiene mediante la comparación por parejas de elementos (se realiza con dos variables):

$$\rho_{xy} = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n\sigma_x\sigma_y}$$

Esto nos ha de llevar a pensar que la permutación de los elementos de cada variable hará posible la alteración de la correlación entre ellas, manteniendo las distribuciones marginales, ya que en sí las variables no son modificadas, solo el orden de sus elementos. Cuantos más elementos tengan estas variables aleatorias, más fácilmente se podrá aproximarse al deseado factor de correlación, puesto que existirá un mayor número de combinaciones cercanas al coeficiente deseado. Un número insuficiente de elementos por cada variable podrá incluso no permitir que cualquier combinación posible converja al deseado coeficiente, por lo que esto afecta directamente al número de iteraciones necesarias para generar correlación en el simulador.

A la hora de llevar a cabo la ejecución de las permutaciones, es posible el uso de algoritmos de fuerza bruta para la obtención del deseado coeficiente, pero en un entorno real de simulación sería muy ineficiente. Cuando definimos la matriz de correlaciones, en ella existen más que un par de actividades, pudiendo haber multitud de relaciones cruzadas entre todas las variables definidas. Esto significa que no sólo se ha de permutar entre los elementos de dos variables, sino que se trata de un ejercicio iterativo de aproximación, puesto que al tratar de buscar todos los factores cruzados, se alterará series de elementos ordenados previamente. Dado el número de operaciones que puede suponer, proporcional al número de elementos del plan de proyecto, enfocar este propósito con algoritmos de fuerza bruta puede disparar los tiempos de ejecución.

El hecho de que no sea recomendable el uso de algoritmos de fuerza bruta no hace que se deseché este enfoque de permutar para la generación de la correlación deseada. Para ello, se ha buscado activamente en la bibliografía algoritmos desarrollados para tal cometido, y a pesar de ser un problema ciertamente específico,

fue planteado con anterioridad. Los matemáticos Ronald L. Iman y W. J. Conover ya expusieron en 1982 en su libro "A Modern Approach to Statistics" un algoritmo para la generación de correlación entre un grupo de variables aleatorias mediante la permuta de sus elementos.

El método Iman-Conover

El método planteado por los matemáticos Ronald L. Iman y W. J. Conover cumple perfectamente las especificaciones necesarias (entradas disponibles – salidas requeridas), desempeñando el trabajo eficientemente, del orden de segundos para un número de variables del orden de decenas, cada una con algunos miles de elementos. El algoritmo abreviado se describe a continuación [15] [27]:

Tenemos como entradas la matriz \mathbf{X} de dimensiones n por r , donde n es el número de muestras de cada una de las r distribuciones marginales, y la matriz de correlación deseada \mathbf{S} . Los pasos son los siguientes:

1. Creamos un vector de resultados $a_i = \Phi^{-1}(i / (n + 1))$ para $i = 1, \dots, N$, y *reescalamos* para tener una desviación estándar unidad.
2. Copiamos los resultados r veces para crear la matriz \mathbf{M} .
3. Permutamos al azar los valores de cada columna de \mathbf{M} .
4. Calculamos la matriz de correlación $\mathbf{E} = n^{-1}\mathbf{M}'\mathbf{M}$ de \mathbf{M} .
5. Calculamos la *Factorización de Cholesky* $\mathbf{E} = \mathbf{F}'\mathbf{F}$ de \mathbf{E} .
6. Calculamos la *Factorización de Cholesky* $\mathbf{S} = \mathbf{C}'\mathbf{C}$ de la matriz de correlación deseada \mathbf{S} .
7. Calculamos $\mathbf{T} = \mathbf{M}\mathbf{F}^{-1}\mathbf{C}$.
8. Permutamos iterativamente los elementos de la matriz de entrada \mathbf{X} de manera que se logra tener el mismo ranking que la correspondiente columna de la matriz \mathbf{T} .

El algoritmo detallado tiene algunas consideraciones necesarias adicionales para su implementación, que igual que el simulador, forman parte del código MATLABTM.

Algunos requerimientos y ajustes adicionales

Se ha comentado la necesidad sobre algunos elementos que bien han de tener ciertas propiedades (matriz de correlación ha de ser coherente), o ha de mantenerlas (como las distribuciones marginales de las variables). El segundo punto se ha conseguido con el algoritmo descrito, pero el requisito de la matriz de correlación es algo que hemos asumido posible hasta el momento.

Una matriz de correlaciones es coherente si es definida positiva, ya que es la forma normalizada de la matriz de covarianzas, y esta matriz está construida por las varianzas de variables aleatorias reales (que no son negativas) y es simétrica, requiriendo el

mismo criterio (definida positiva). Esto es una matriz hermitiana, que en muchos aspectos es similar a un número real positivo, definiéndose como [20]:

Sea \mathbf{M} una matriz hermitiana cuadrada n por n . De ahora en adelante denotaremos la transpuesta de una matriz o vector a como a^T , y el conjugado transpuesto, a^* . Esta matriz \mathbf{M} se dice definida positiva si cumple con una (y por lo tanto, las demás) de las siguientes formulaciones equivalentes:

- Para todos los vectores no nulos $z \in \mathbb{C}^n$ tenemos que $z^* \mathbf{M} z > 0$. Nótese que $z^* \mathbf{M} z$ es siempre real.
- Todos los autovalores λ_i de \mathbf{M} son positivos (recordamos que los autovalores de una matriz hermitiana o en su defecto simétrica, son reales).
- La función $\langle x, y \rangle = x^* \mathbf{M} y$ define un producto interno \mathbb{C}^n .
- Todos los determinantes de los menores principales de \mathbf{M} son positivos. O lo que es equivalente, todas las siguientes matrices tienen determinantes positivos.

Con la definición del tipo de matriz que requerimos, en caso de que la matriz no cumpla los requisitos, deberemos realizar un ajuste para convertirla en definida positiva. No existe una forma comúnmente reconocida, la literatura expone varios métodos o algoritmos que producirán, en muchos casos, resultados diferentes. La razón de la existencia de varias formas recala en la naturaleza del problema, donde sabemos que una matriz incoherente tendrá múltiples soluciones para ajustarla a la condición de definida y positiva, dentro de una cierta holgura definida por el propio sistema de coeficientes. Ejecutar una tarea de tal subjetividad como la que nos compete tiene tanto de arte como de ciencia. Dentro del abanico de posibilidades, en el desarrollo del simulador para este proyecto se ha optado por el *Método de la descomposición espectral* [20] por su claridad y eficiencia:

Este método es una versión del *Análisis de componentes principales*, el cual es usado para la reducción del número de variables que dan una mayor información en términos estadísticos. A continuación lo detallamos:

Dado el sistema \mathbf{S} de la matriz real y simétrica \mathbf{C} y su conjunto de autovalores $\{\lambda_i\}$ tal que,

$$\mathbf{C} \cdot \mathbf{S} = \mathbf{\Lambda} \cdot \mathbf{S} \quad \text{con } \mathbf{\Lambda} = \text{diag}(\lambda_i)$$

Definimos los elementos no nulos de la diagonal de la matriz $\mathbf{\Lambda}^{-1}$ como,

$$\mathbf{\Lambda}^{-1}: \lambda'_i = \begin{cases} \lambda_i & : \lambda_i \geq 0 \\ 0 & : \lambda_i < 0 \end{cases}$$

Si la matriz objetivo \mathbf{C} no es definida positiva, este tiene al menos un autovalor negativo y al menos uno de los λ'_i será nulo (*Test de los autovalores*).

A su vez, definimos los elementos no nulos de la diagonal ajustando la matriz **T** con respecto al sistema **S** por,

$$\mathbf{T}: t_i = \left[\sum_m s_{im}^2 \lambda'_m \right]^{-1}$$

Ahora, dejemos,

$$\mathbf{B}': = \mathbf{S} \sqrt{\Lambda'}$$

Y,

$$\mathbf{B}: = \sqrt{\mathbf{T}\mathbf{B}'} = \sqrt{\mathbf{T}\mathbf{S}} \sqrt{\Lambda'}$$

Por lo tanto,

$$\hat{\mathbf{C}}: = \mathbf{B}\mathbf{B}^T$$

Esta matriz es *positiva semidefinida* y tiene los elementos de la diagonal de valor unidad, válida para ser usada en la labor de correlacionar.

Este procedimiento consigue matrices aceptablemente similares a la inicial, dependiendo del número de autovalores negativos que existan. Como contra partida, este procedimiento, puede tener detractores debido a que:

- Se está convencido del valor asignado a algún coeficiente que ha sido ampliamente modificado por el método de ajuste.
- Los coeficientes que inicialmente reflejaban total independencia, pueden ser modificados, aunque de manera leve, eliminándola ($\neq 0$).

Estos dos puntos expuestos hacen ver que el proceso de modelar las correlaciones entre elementos del plan de proyecto sea una tarea, en parte, frustrante. La definición de cada uno de los coeficientes necesita generalmente un cuidadoso proceso de reuniones, valoraciones y conocimientos, para luego existir la posibilidad de verse sesgada por procesos posteriores como este. Lógicamente, esto lleva a los Project Mangares a plantearse dudas de cuanto merece la pena invertir recursos para este cometido dentro del desarrollo del plan.

La Factorización de Cholesky

En este capítulo referente a la generación de variables correlacionadas se ha venido haciendo mención de manera frecuente a la *Factorización de Cholesky*. Toma su nombre del matemático André-Louis Cholesky, quien encontró que una matriz simétrica definida positiva puede ser descompuesta como el producto de una matriz triangular inferior y la traspuesta de la matriz triangular inferior. La matriz triangular inferior es el triángulo de Cholesky de la matriz original positiva definida [21].

Cualquier matriz cuadrada \mathbf{A} con pivotes (elementos delanteros de cada fila) no nulos puede ser escrita como el producto de una matriz triangular inferior \mathbf{L} y una matriz triangular superior \mathbf{U} ; esto recibe el nombre de factorización \mathbf{LU} . Sin embargo, si \mathbf{A} es simétrica y definida positiva, se pueden escoger los factores tales que \mathbf{U} es la traspuesta de \mathbf{L} :

$$\mathbf{A} = \mathbf{L}\mathbf{L}^*$$

A esto se le llama *Factorización de Cholesky*, donde \mathbf{L} es una matriz triangular inferior con entradas diagonales estrictamente positivas y \mathbf{L}^* representa la conjugada traspuesta de \mathbf{L} .

La *Factorización de Cholesky* es única: dada una matriz hermitiana positiva definida \mathbf{A} , hay una única matriz triangular inferior \mathbf{L} con entradas diagonales estrictamente positivas tales que $\mathbf{A} = \mathbf{L}\mathbf{L}^*$. El recíproco se tiene trivialmente: si \mathbf{A} se puede escribir como $\mathbf{L}\mathbf{L}^*$ para alguna matriz invertible \mathbf{L} , triangular inferior o no, entonces \mathbf{A} es Hermitiana y definida positiva.

Ahora ya tenemos la explicación por la cual la matriz de correlación que necesitamos para generar la correlación ha de ser del tipo definida positiva. El algoritmo para hallar la *Factorización de Cholesky* es una modificación del algoritmo de *Eliminación de Gauss-Jordan*. La elección de MATLABTM como entorno de desarrollo del simulador resulta de nuevo muy conveniente, ya que tiene muchas funciones que realizan algunas de estas operaciones de manera nativa.

Otras técnicas para modelar la correlación

La correlación se puede aplicar a los costes del plan de proyecto de una manera similar a la que hemos mostrado a la duración de las tareas. De manera análoga, se definiría los costes con una dependencia común, se fijaría los coeficientes para conformar la matriz y se procedería a obtener las variables correlacionadas para simularlas mediante el método Monte Carlo con similares conclusiones.

Se ha visto que contemplar el efecto de la correlación no es una labor fácil, existiendo otras alternativas, aunque con menor potencial. Anteriormente, para el método PERT, se habló del *Método de los momentos* (MOM). Para los costes, también se puede hacer uso de él incluyendo el efecto de la correlación si se trata de un sistema puramente aditivo (sin relaciones multiplicativas, restricciones o condicionales), típico en los costes. Sus capacidades son muy limitadas comparadas con el enfoque de riesgos explícitos como generadores de correlación, pero se le hace mención ya que en ocasiones podría ser útil para hacer rápidas (pero vagas) estimaciones para fases iniciales, pero por lo general no se recomienda su uso.

Con este método, se obtiene resultados sólo un poco más realistas que los determinísticos, y es por eso de que sólo puede tener validez en etapas muy precoces del proyecto. EL MOM se basa en el *Teorema central del límite* para establecer la distribución Gausiana a la que pertenecerán los parámetros a calcular (media y desviación estándar), una suposición cuanto menos cuestionable. La incorporación de correlación no tendrá efecto sobre la media de las variables aleatorias, manteniéndose el valor obtenido para el cálculo previo (sin correlación), pero altera el valor de la desviación estándar de la distribución final.

A continuación, se muestra la fórmula completa del MOM, incluyendo el efecto de la correlación [8]:

$$\text{Sigma}_{TOT} = \sqrt{(\text{Varianza}_1 + \text{Varianza}_2 + (2 * \rho * \text{Sigma}_1 * \text{Sigma}_2))}$$

Donde,

Varianza x = Varianza del coste del elemento X

Sigma x = Desviación estándar del elemento X

ρ = Coeficiente de correlación entre elementos

En la tabla siguiente vemos qué resultados obtenemos para un ejemplo del coste de dos tareas para el caso de alta correlación ($\rho = 0,9$), y sin ella ($\rho = 0$):

	Optimista	Probable	Pesimista	Media	Varianza	Sigma
Diseño	210	250	400	287	1672	40,9
Implementación	250	300	500	350	2917	54

Tabla 42. Resultados para la correlación usando el MOM

$$\text{Sigma}_{\text{Sin Correl}} = \sqrt{(1672 + 2917 + (2 * 0 * 40,9 * 54))} = 67,7$$

$$\text{Sigma}_{\text{Con Correl}} = \sqrt{(1672 + 2917 + (2 * 0,9 * 40,9 * 54))} = 92,5$$

Esencialmente, la inclusión de la correlación en el MOM ensancha la FDP de los costes, haciéndonos una idea más realista de los rangos factibles, pero se insiste en desaconsejar su uso para un análisis riguroso, ya que es un modelo muy simple para el comportamiento que cabe esperar en las distribuciones.

Apéndice C: Planificación temporal y lógica

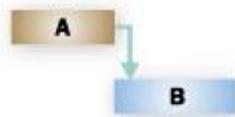
Para que se pueda explotar el potencial del método Monte Carlo, hemos tenido que modelar todos los elementos (variables, relaciones y restricciones) que se pueden dar en un plan de proyecto, tratando de conservar el dinamismo del mundo real. En el Capítulo 3 mostramos las dependencias más elementales que requiere una lógica de un plan de proyecto, y aquí ampliaremos al resto de existentes.

En este apéndice también veremos la necesidad de conformar rigurosamente la lógica del plan de proyecto. Para ello, es fundamental seguir las reglas de una correcta construcción, y no caer en los abusos. Con una definición vaga o incorrecta no será posible realizar una simulación veraz, impidiéndonos extraer todo el potencial que abarca una simulación Monte Carlo.

Modelado y construcción de la lógica

Vamos a comenzar con las dependencias básicas ya comentadas, e iremos ampliando hasta exponer el resto de posibilidades:

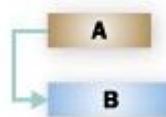
Fin a comienzo (FC): La tarea **B** no puede comenzar hasta que su tarea predecesora **A** no finalice:



Dependencia Fin a Comienzo [28]

Codificación: El momento de empuce de la tarea **B** será: Tiempo de finalización de **A** + **retraso** (si existe).

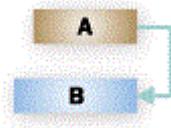
Comienzo a comienzo (CC): La tarea dependiente **B** no puede comenzar hasta que comience la tarea **A**, de la que depende. La tarea dependiente puede comenzar en cualquier momento después de comenzar la tarea para la que depende. El tipo de vínculo **CC** no requiere que ambas tareas comiencen simultáneamente (puede existir un retraso).



Dependencia Comienzo a Comienzo [28]

Codificación: Siendo **C** la tarea predecesora de **A**, se ajusta **B** al final de **C** teniendo en cuenta la existencia de retrasos de **C** con **A**. El comienzo de **B** será: Tiempo de finalización de **C** + **retraso** (si existe).

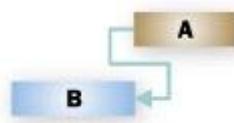
Fin a fin (FF): La tarea dependiente **B** no se puede completar hasta que se haya completado la tarea **A**, de la que depende. La tarea dependiente se puede completar en cualquier momento después de completarse la tarea para la que depende. El tipo de vínculo **FF** no requiere que ambas tareas se completen simultáneamente (si existe un **retraso**).



Dependencia Fin a Fin [28]

Codificación: Independientemente del tiempo que tarden **A** y **B**, se pospone el fin de **B** al final de **A**, mediante la condición de elección del máximo: Tiempo de finalización de **B** será: $\text{Max}(\text{A}, \text{B} (+ \text{retraso si existe}))$.

Comienzo a fin (CF): La tarea dependiente **B** no se puede completar hasta que comience la tarea **A**, de la que depende. La tarea dependiente se puede completar en cualquier momento después de que comience la tarea para la que depende (si existe un **retraso**). El tipo de vínculo **CF** no requiere que la finalización de la tarea dependiente sea simultánea al comienzo de la tarea en la que depende.



Dependencia Comienzo a Fin [28]

Codificación: Esto se modela mediante el uso de condicionales:

```
if final B < comienzo A + retraso
    final B = comienzo A + retraso
else (final B > comienzo A + retraso)
    final B = final B
```

En la definición vemos como para estas relaciones se puede introducir un tiempo de posposición para representar un retraso entre tareas *maestras* y *esclavas*. Por ejemplo, si se tiene dos tareas tales como "Verter cemento" y "Desmontar encofrado", se necesitará un retraso entre el fin de la primera y el comienzo de la segunda para modelar la necesidad de que el cemento fragüe. Recordar que durante el desarrollo de la metodología se expone una mejor modelación a través de una distribución en lugar de retrasos fijos, ya que se ajustan más a la realidad.

Como se ha visto a lo largo del documento, en algunas ocasiones existirá relaciones más complejas que una simple dependencia directa como las expuestas. Ahora se va a mostrar dependencias menos directas, pero igualmente útiles y realistas para la planificación temporal de proyectos. Cuando es necesario controlar la fecha de comienzo o de fin de una tarea, se puede agregar una restricción a la misma, que podemos separar en dos tipos:

- Las *restricciones flexibles* funcionan con las dependencias de la tarea para que se realice cuando la dependencia lo permita. Por ejemplo, una tarea con una delimitación del tipo *Lo antes posible* y una dependencia *Fin a comienzo* se programarán tan pronto como la tarea predecesora finalice.
- Las *restricciones no flexibles* anulan las dependencias y restringen una tarea a la fecha que establecida. Por ejemplo, una tarea con una restricción *Debe comenzar el* (DCE) para el 30 de septiembre y una dependencia *Fin a comienzo* a otra tarea, siempre se programará para el 30 de septiembre, con independencia de que su predecesora termine antes o después.

A continuación mostramos cuales son estas restricciones y cómo las codificamos para su modelado. Los tipos flexibles son:

No comenzar antes del (NCAD): Esta restricción indica la fecha más temprana posible en la que se desea comenzar la tarea **B**. La tarea no se puede ejecutar cualquier momento antes de la fecha especificada o finalización de su predecesora **A**:

Codificación:

```
if fecha NCAD < final A
    Inicio B = final A
else (fecha NCAD > final A)
    Inicio B = comienzo B
```

No comenzar después del (NCDD): Esta restricción indica la fecha más tardía en la que desea comenzar la tarea **B**. La tarea se puede programar para que comience antes o en la fecha especificada. Una predecesora **A** no podrá hacer

que una tarea sucesora **B** con una restricción **NCDD** incumpla la fecha especificada:

Codificación:

```
if fecha NCDD < final A
    Inicio B = comienzo B
else (fecha NCDD > final A)
    Inicio B = final A
```

No finalizar antes del (NFAD): Esta restricción indica la fecha más temprana posible en la que desea finalizar la tarea **A**. La tarea no se puede programar para que finalice en cualquier momento antes de la fecha especificada:

Codificación:

```
if fecha NFAD < final A
    final A = final A
else (fecha NFAD > final A)
    final A = fecha NFAD
```

No finalizar después del (NFDD): Esta restricción indica la fecha más tardía posible en la que desea finalizar la tarea **A**. Se puede programar para que finalice antes o en la fecha especificada. Una predecesora no podrá hacer que una tarea sucesora con una restricción **NFDD** incumpla la fecha especificada:

Codificación:

```
if fecha NFDD < final A
    final A = fecha NFDD
else (fecha NFDD > final A)
    final A = final A
```

Como se puede observar estas delimitaciones tienen una componente no flexible, por lo que cabe la posibilidad de que representen escenarios irrealistas según las circunstancias que se den en la lógica. Por ello, sólo se recomienda su uso en etapas tempranas cuando se quiere establecer estimaciones y calendarios tentativos. Una vez el proyecto esté avanzando, si se desea proyectar previsiones realistas se ha de reconsiderar su uso debido a su componente forzosa.

Finalmente tenemos el último tipo de restricciones, las no flexibles. Este tipo de delimitaciones se recomienda encarecidamente no usarlas. De un modo superficial,

podrían parecer de utilidad, pero su uso es propio de un Project Manager tanto poco experimentado como concienciado con previsiones realistas.

Esta restricción indica la fecha exacta en que se debe programar el comienzo o fin de una tarea (*Debe comenzar/finalizar*). El principal problema con esto es que su uso tiene dos grandes implicaciones. Por un lado, no aprovecha las ventajas de poder adelantar la tarea en cuestión si el plan de proyecto lo permitiera. En segundo lugar, si el plan de proyecto sufre retrasos y estos sobrepasan cierta fecha, puede existir una incongruencia, al querer ejecutar una tarea que no tiene completadas sus fases predecesoras.

Por esta razón, estas restricciones no deberán ser usadas. Habitualmente la intención de usar este tipo de restricción puede ser sustituida por un mayor estudio de la problemática, definiendo un plan de proyecto más robusto, realista y, sobretodo dinámico para su simulación, más allá de forzar cualquier elemento.

Todas estas dependencias y restricciones son combinadas con condiciones y eventos probabilísticos para crear lógicas de planes de proyecto totalmente realistas. Estas circunstancias de un plan de proyecto se modelan con instrucciones condicionales, que tendrán multitud de estructuras según demande el plan de proyecto. Vamos a ver las expresiones básicas para modelar estas necesidades:

Un *evento condicional* en la lógica de un plan de proyecto, más allá de modelar restricciones de las propias tareas, permite incluir rutas alternativas pertenecientes a planes de contingencia diseñados después del estudio del proyecto. Los elementos condicionales son aplicables cuando, por ejemplo, un retraso en la finalización de una tarea o un incumplimiento del presupuesto puede tener consecuencias como un cambio de estrategia, variando las actividades o recursos a ejecutar. La declaración en la lógica será del tipo:

```
if (condición ocurre)
    Alternativa A
else
    Alternativa B
```

Por otro lado, un *evento probabilístico* puede tener lugar cuando lo acontecido en un hito es posible cuantificarlo y definirlo con una variable aleatoria. Ejemplos de esto puede ser el hito de validación de una prueba de aceptación sobre un entregable. De esta manera, según las previsiones y estimaciones de los expertos e implicados se puede modelar la posibilidad de superarlo exitosamente o de perecer. Otros ejemplos de eventos probabilísticos podrían ser la disponibilidad o coste de un determinado recurso, o un acontecimiento socioeconómico, que serán reflejados en el modelo como una distribución de probabilidad (establecida por los expertos), estipulándose las diferentes alternativas con condicionales:

Switch (valor variable)

Case (condición 1ª)

Alternativa 1ª

.

.

.

Case (condición n)

Alternativa n

La verdadera dificultad en la implementación del simulador no está en la codificación de la lógica del plan de proyecto (que requiere sentencias razonablemente sencillas), sino en que los módulos y el modelo estén diseñados del modo que sea posible incluir y extraer la información relativa a cualquier elemento, desde tareas, a los diferentes caminos paralelos que se crean cuando existen en ejecución simultánea, información de la rutas, la ruta crítica de cada iteración, riesgos, sensibilidades, recursos económicos y todas las demás funcionalidades y entidades expuestas. Esto ha requerido un estudio previo para el diseño de la estructura de todo el conjunto de módulos, y en cómo ha de tratarse el proceso de ejecución del código para la minería de datos, más allá de que se logre representar el plan de proyecto correctamente y ofrezca los resultados esperados.

Lógica incompleta en el plan de proyecto

El hecho de disponer de un modelo cuidadosamente definido no garantiza siempre buenos resultados. Desde un punto de vista práctico, a la hora de construir un plan de proyecto, se ha de tener especial cuidado en conformar la lógica de la manera más rigurosa posible para que pueda reflejar la realidad con fidelidad, y proporcionar resultados correctos en la simulación. Para simular un plan se ha de codificar una lógica no sólo correcta, sino también completa para disponer de un modelo que responderá con absoluto dinamismo a las diferentes variaciones posibles en sus parámetros. Esta falta de robustez viene a menudo dada por tareas que no se han relacionado adecuadamente en la lógica. A continuación se expondrá las consideraciones a la hora de construir una lógica de un plan de proyecto que requiere simular, fruto de la experiencia profesional adquirida y de la realización de este Proyecto Fin de Carrera.

Un ejemplo común es la tarea que carece de sucesor, o no está lógicamente relacionada con todos sus sucesores en disposiciones lógicas de caminos paralelos, producto de la existencia de tareas ejecutas concurrentemente en el plan de proyecto. En principio se puede pensar en una falta grave en la construcción de un plan, pero es posible subestimar la lógica de finalización entre algunas tareas por su débil implicación, o por que las diferencias en sus distribuciones de fechas de finalización hacen pensar que difícilmente podrán causar algún efecto colateral. Si se tiene

presente el funcionamiento de las simulaciones con el método Monte Carlo, ha de tenerse en cuenta que todas las relaciones han de existir, ya que las iteraciones localizadas en las colas de las distribuciones (que representan los escenarios más inverosímiles) pueden requerir de una lógica robusta para ofrecer resultados correctos. En cierto modo, en este *abuso* estaremos teniendo en cuenta implícitamente factores como la correlación entre tareas, pero esto va en contra de la metodología propuesta, ya que se busca por encima de todo rigurosidad a través de una modelación claramente definida.

Vamos a mostrar gráficamente la problemática haciendo uso de diagramas de Gantt creados con MS Project™, aunque este es un aspecto que concierne a la codificación del plan de proyecto en el simulador. Abajo se muestra el ejemplo más básico de lógica incompleta, donde la tarea *Diseño del Componente A* no tiene sucesor, aún cuando su finalización es requerida para el comienzo de la tarea *Integración del sistema*:



Figura 122. Ejemplo de lógica incompleta, *Diseño Componente A* sin un sucesor

El problema ocurre cuando esta tarea comienza a extenderse, y esta variación no puede tener efecto en la distribución de tiempos de finalización del plan de proyecto, ya que la lógica incompleta no permite relacionarlo correctamente. La tarea de *Integración del Sistema* seguirá viéndose afectada sólo por la duración del diseño del componente B, pero debería de ser por la finalización de ambos:

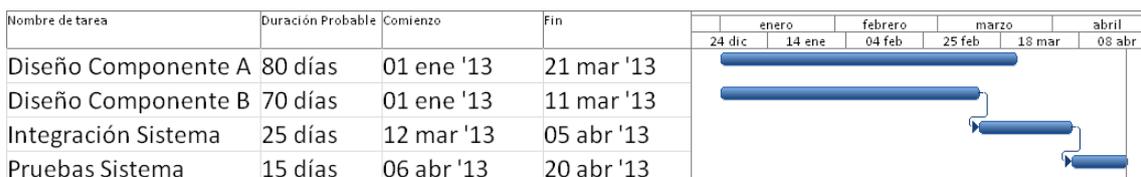


Figura 123. La variación temporal de la lógica incompleta no tiene impacto en el plan

Según lo expuesto, se podría pensar que la condición de la necesidad de un sucesor es suficiente, pero las diferentes disposiciones de la lógica del plan hacen que esto no sea así. Los diferentes tipos de relaciones posibles entre tareas crean en algunos casos necesidades especiales para que se siga manteniendo una lógica robusta capaz de contemplar un total dinamismo en las simulaciones.

Supongamos que tenemos una tarea que está relacionada con su sucesora de una manera *Comienzo a Comienzo*. Los resultados son similares a los descritos anteriormente, ya que si el predecesor se prolongara, no veríamos ningún efecto en el plan de proyecto. Si esto ocurriera, la tarea de integración debería ser atrasada hasta

que ambos productos estén completamente diseñados, pero la lógica impide trasladar estos efectos de la manera adecuada, ya que la dependencia sólo viene dada por el empuje, y no por su final:



Figura 124. Dependencias del tipo CC pueden no ser robustas

La opción de trasladar la dependencia a la finalización de las tareas tampoco resuelve el problema, ya que de nuevo, si alguna de ellas sufre de una prolongación, estaremos provocando la necesidad de un comienzo prematuro, y esto puede ser algo imposible de llevar a cabo en la realidad:



Figura 125. Dependencias del tipo FF también pueden no ser robustas

Esto nos conduce a la conclusión de que es necesario imponer una lógica que blinde cualquier variación en las tareas, proporcionando una robustez apta para el dinamismo necesario. Esto se consigue acotando tanto por los comienzos como por los finales las dependencias de las tareas, por lo que usaremos lógicas del tipo *Comienzo a Comienzo* y *Fin a Fin* entre ambas. Como se muestra en las figuras siguientes, dependiendo de la duración relativa de las tareas, se pospone correctamente la tarea de *Integración del Sistema*.



Figura 126. Lógica robusta: Variaciones en el predecesor son correctamente tratadas

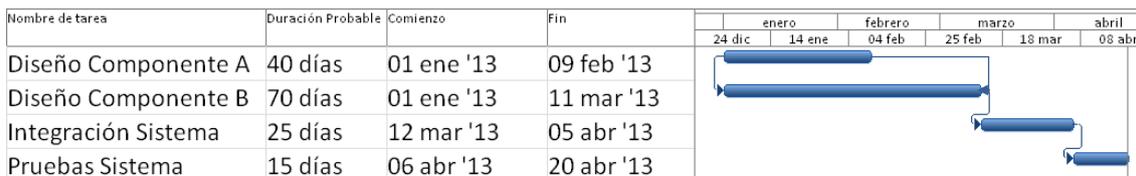


Figura 127. Lógica robusta: Variaciones en el sucesor son correctamente tratadas

En definitiva, podemos extraer las siguientes conclusiones para crear una codificación correcta de la lógica cuando existen caminos paralelos:

- Dependencias del tipo *Comienzo a Comienzo* no contemplan la prolongación del predecesor, mientras que las *Fin a Fin* tienen el mismo problema con el sucesor.
- Esto hace que toda actividad concurrente (excepto la inicial) tenga que tener una dependencia del tipo *Fin a Comienzo* o *Comienzo a Comienzo* con su predecesor.
- A su vez, toda actividad concurrente (excepto la final) tendrá que tener una dependencia del tipo *Fin a Comienzo* o *Fin a Fin* con su sucesor.

Planificación temporal aplicada

Restricciones en fechas de finalización

A la hora de simular un plan de proyecto se puede contar con restricciones de varios tipos. Habitualmente suelen ser fechas concretas cuando se requiere de ciertos hitos como revisiones, decisiones, entregas o finalizaciones tengan lugar imperiosamente. Es habitual que ciertas tareas acaben sobrepasando las estimaciones iniciales, tentando al Project Manager a imponer restricciones para que, al menos sobre el papel, los hitos no se desplacen indeseadamente en el tiempo.

La opción más común es la de establecer restricciones del tipo *Debe Comenzar/Finalizar* para tareas que se identifican como críticas, ya sea por complejidad, importancia o riesgo estimado. Este tipo de restricciones causan graves problemas desde el punto de vista de la ruta crítica, ya que para que se cumpla el plan se realizará una corrección a la inversa en las tareas predecesoras, alterando la tarea en cuestión y sus dependientes.

Al igual que no se recomienda en absoluto el establecer este tipo de restricción en el plan de proyecto, si puede ser de gran ayuda para concretar el grado de estrés que han de soportar las tareas predecesoras, o dimensionar correctamente los recursos necesarios, definiendo un plan de proyecto de prueba más o menos exigente, pero siempre realista. El conocimiento de estas particularidades del proyecto debe de enfocarse en la creación de estrategias de contingencias factibles, o en el reporte de dicha información a tiempo, y no rediseñando un plan con elementos artificiales (como restricciones inflexibles) sin ningún tipo de credibilidad.

Es importante resaltar que este tipo de restricciones forman parte de la lógica de una manera estática, con los consecuentes problemas que esto acarrea. Si por cualquier razón una nueva información reportada prolonga o acorta los tiempos, podemos estar abusando aún más de lo establecido inicialmente, o desperdiciando una oportunidad de reducir tiempos, ya que esta lógica inflexible tampoco permitirá tomar ventaja de las oportunidades.

Para ilustrar este efecto vamos hacer uso del simulador. Para ello vamos a introducir como entrada un plan de proyecto representado en la siguiente figura:

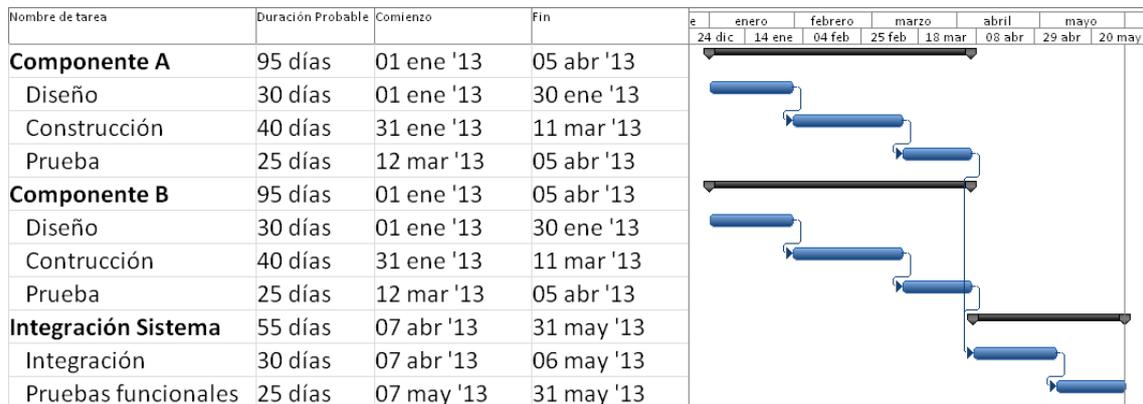


Figura 128. Proyecto con dos caminos paralelos y un punto de confluencia en su lógica

En primer lugar simulamos el plan sin restricción alguna para la siguiente figura, obteniendo en la distribución una fecha media de finalización del 2 de julio en el P-80. Se observa que es altamente improbable conseguir finalizar en un tiempo igual o inferior a la fecha determinística (31 de mayo):

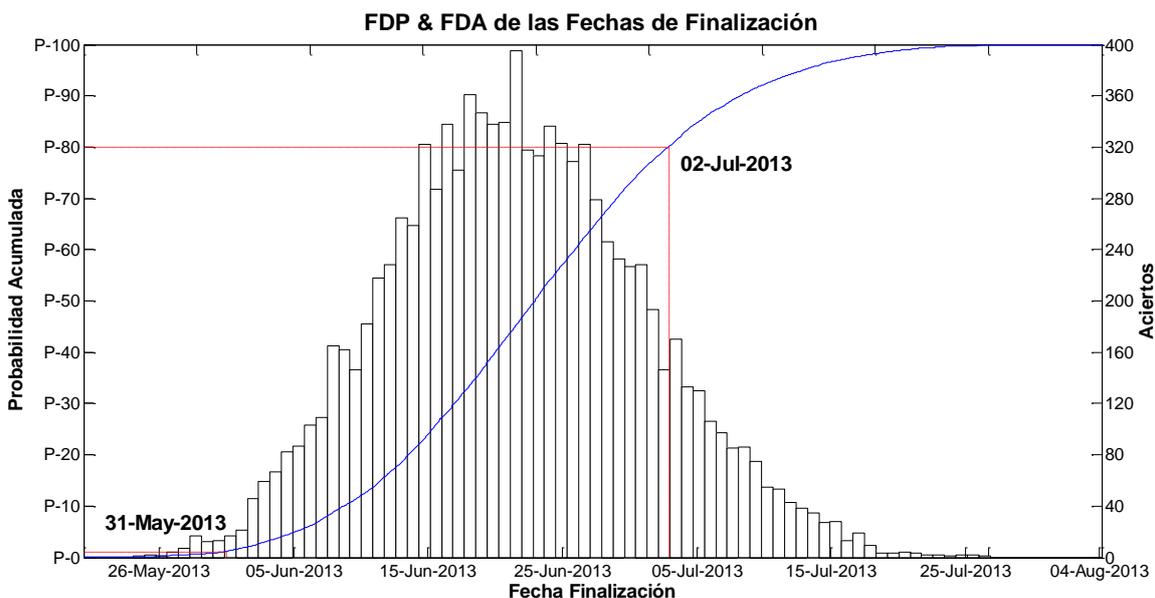


Figura 129. Resultados de fechas de finalización sin restricciones

Si por cualquier razón la fecha determinística fuera una condición imperiosa, y colocáramos en dicho hito una restricción del tipo *No finalizar después del* (NFDD), obtendríamos los siguientes resultados:

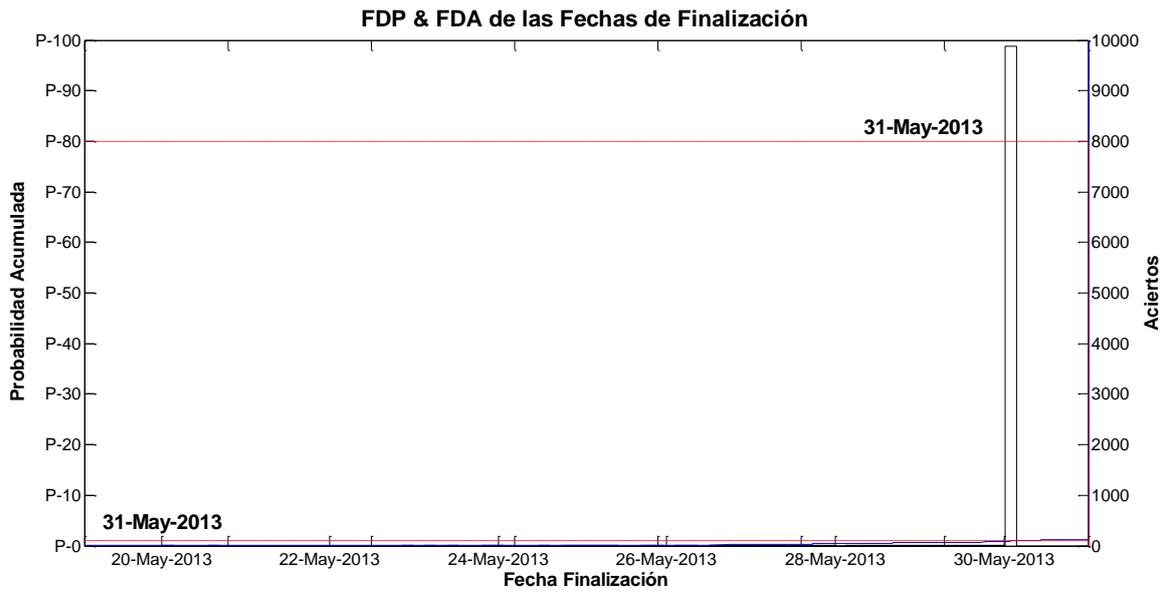


Figura 130. Resultados de fechas de finalización con la restricción

Como se puede observar, el efecto es dramático en la distribución de las fechas de finalización, y claramente erróneo. Afortunadamente, el hecho de haber fijado esta restricción en un hito como la finalización del proyecto lleva a localizar con facilidad tal error. El problema se vuelve especialmente peligroso cuando estas restricciones se fijan en algún lugar en medio de la lógica del proyecto. En este caso, los resultados pueden parecer válidos a simple vista, pero en realidad son tan erróneos como el mostrado anteriormente. Este efecto podemos observarlo a continuación:

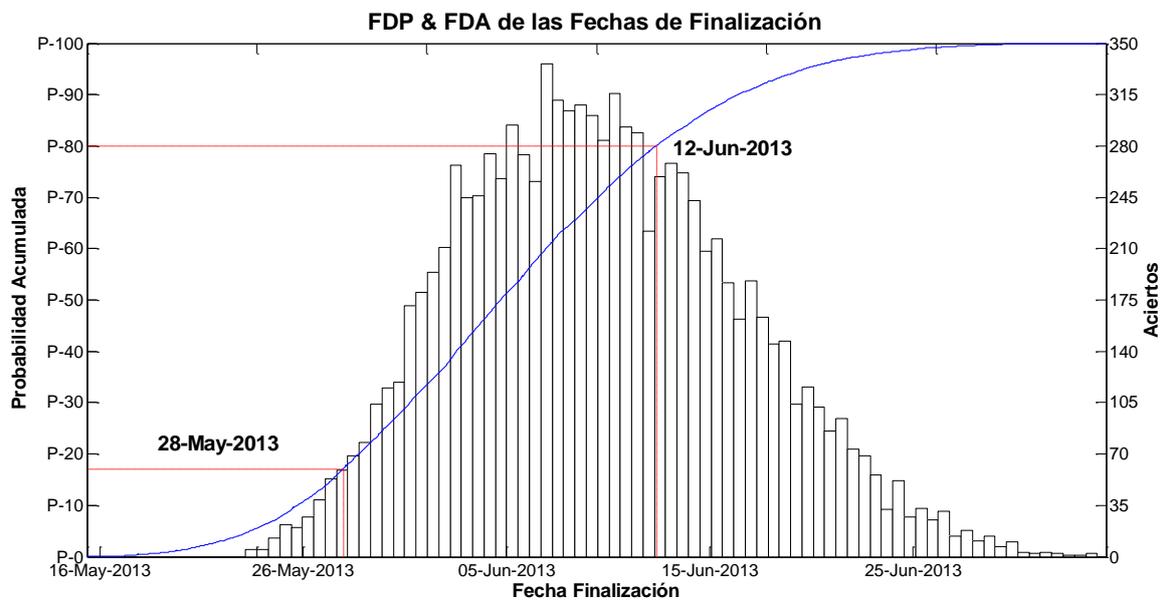


Figura 131. Resultados de fechas de finalización con la restricción enmascarada

En este caso hemos colocado la restricción al inicio de la actividad de integración, forzando para que finalice no más tarde del 3 de abril, que es su fecha de finalización

determinística. A primera vista se observa una distribución razonable, muy similar a la normal, y nada parece indicar tan grave error. Una vez inspeccionamos los resultados obtenidos, se observa que las tareas antecesoras están siendo gravemente forzadas a acabar en fechas que no se estiman posibles en la mayoría de las iteraciones. Esto lleva claramente a la infravaloración de los riesgos existentes, incluso en planes de proyecto tan simples como el discutido.

Retrasos en el modelado del plan

Los retrasos son usados para indicar que una actividad sucesora comenzará o finalizará después de un tiempo fijado tras el inicio o fin de su predecesora. Es un recurso a menudo necesario para representar ciertos fenómenos que requieren de un tiempo intermedio, como el tiempo necesario en una obra civil para que el cemento fragüe completamente y se pueda proseguir con otras tareas.

Así como hay usos legítimos para el uso de retrasos, es tan erróneo como común el uso de estos para encuadrar actividades sucesoras en fechas específicas. Esto ocurre a menudo cuando el Project Manager no tiene total conocimiento de las tareas predecesoras o de la lógica que comparte con el resto (por cambios inesperados o exigencias impuestas). Habría que profundizar en las necesidades de estos retrasos ya que en algún momento será necesario tener constancia de qué mantiene una tarea pendiente de empezar o terminar para hacer un correcto seguimiento y control. Estos retrasos no pueden ser puestos en el contexto del riesgo en una simulación Monte Carlo, ya que su duración es fija e inoperativa con el resto de la lógica.

El gran problema con el mal uso de los retrasos en las simulaciones se produce cuando son usados para ajustar actividades en determinadas fechas. A la hora de realizar una simulación su naturaleza estática puede causar problemas en los resultados de las distribuciones de las fechas. Esto ocurre cuando la tarea predecesora está sujeta a cualquier variación temporal, los retrasos o adelantos conducirán el plan de proyecto a fechas posiblemente erróneas. Si la fecha de finalización de la tarea predecesora se atrasa respecto a lo estimado, el retraso fijado empujará más de lo necesario a la tarea sucesora, incluso cuando esta es apta para empezar antes, creando una falsa situación de riesgo. La otra posibilidad es que el adelanto en la tarea predecesora obligue a la lógica a adelantar el empuje de la sucesora, aun cuando cabe la posibilidad de que está no esté lista para su comienzo.

Tenemos dos formas de abordar este problema:

- Usar la restricción del tipo *No comenzar antes del* (NCAD). De esta manera no importa las variaciones en la finalización de la tarea predecesora para que su sucesora comience convenientemente. Esta condición es perfectamente compatible con la posibilidad de que la fecha fijada por la restricción se quede

corta por la finalización del predecesor, a partir del cual la lógica impondrá la condición de *Fin a Comienzo*.

- Cuando el Project Manager se ve obligado al uso de retrasos para crear el plan, por cualquier tipo de causa, la forma más correcta de proceder es tratar de buscar y crear una tarea alternativa (o ficticia) que puede modelar esa necesidad. También, esto permite hacer una valoración del riesgo que supone dicha incorporación, con lo que se tendrá un mayor control.

Hitos externos del plan de proyecto

Los hitos representan momentos importantes a lo largo del desarrollo de un proyecto. Algunos de ellos solo tendrán carácter meramente informativo, pero otros serán de absoluta necesidad, ya que informan de algún acontecimiento del que depende el transcurso de las tareas. Este tipo de hitos suelen ser aquellos que representan cualquier tipo de entrada de necesidad, como pudiera ser la entrega de material, o la finalización de un módulo dentro de un desarrollo.

Este tipo de entradas pueden ser fechas comprometidas por agentes externos al proyecto, y es común tomarlas como hitos en el proyecto. Esta forma de tratar estos acontecimientos tiene implicaciones negativas desde el punto de vista del riesgo, ya que no necesariamente el Project Manager tiene (o puede) conocer los procesos internos que llevan a comprometer una determinada fecha por parte de los implicados externos, como son los proveedores.

Cualquier persona que acostumbre a tratar con proveedores sabrá que estas fechas no siempre se cumplen, al igual que tendrá conocimiento de cuáles de ellos acostumbran a cumplir en mayor o menor medida con los compromisos. La figura siguiente mostraría el ejemplo del proyecto del despliegue del nodo radio utilizado a la largo del documento si se aplicara un hito externo para el *Suministro de Equipos*:

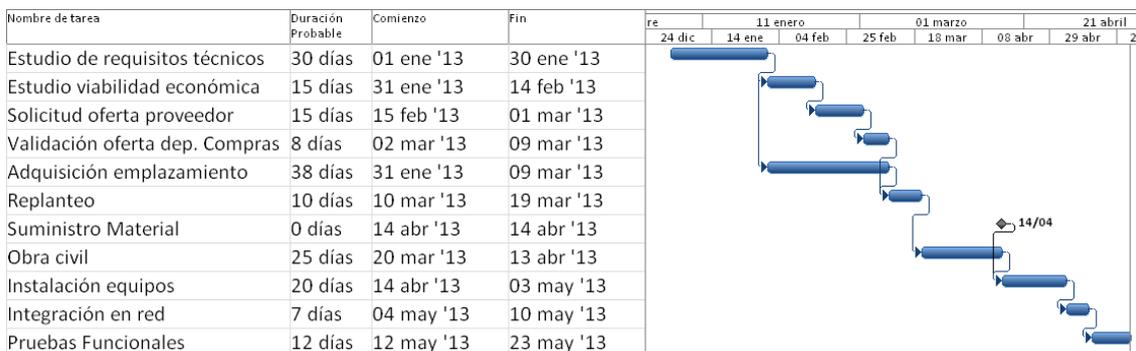


Figura 132. Ejemplo de hito externo en el proyecto de despliegue nodo radio

Tratar estos eventos como fechas fijas puede ser poco apropiado, alterando con facilidad los resultados de las simulaciones. Es problema se puede abordar tratando estos eventos como tareas del propio proyecto, de manera que se debería de ver

como una tarea que empieza después de por ejemplo una orden de compra y termina con la entrega del material, calibrado por una mayor exigencia en la facilitación de información y justificación de los procesos internos, y por la experiencia anterior con el propio proveedor. Es por esta razón por la que en el ejemplo del despliegue del nodo radio siempre se consideró como una tarea el *Suministro de Equipos y Material* como se observa en la Figura 79, y no como un hito.

De esta manera obtenemos dos grandes ventajas:

- Podemos incluir en el análisis del riesgo la actividad, permitiéndonos extraer información sobre su distribución de tiempos.
- Motivamos su seguimiento y control como en el resto de tareas por el equipo.

Gestión de recursos limitados

Para la consecución de cada una de las tareas de un proyecto se requiere los recursos asociados a cada una de ellas, de todos los tipos necesarios (capital humano, equipamiento, económicos,...). En el intento de lograr la mayor eficiencia, cuando se intenta paralelizar el mayor número de tareas posibles, es posible que la disponibilidad de recursos compartidos por varias tareas imposibilite la continuación de algunas. Para crear situaciones de riesgo innecesarias deberemos:

- Identificar los recursos limitados.
- Calcular el número de unidades o cuantía necesaria por cada tarea que lo requiere.
- Realizar una asignación equilibrada según el plan de proyecto que permita no comprometer en exceso estos recursos, disponiendo de un margen suficiente para poder cubrir una hipotética contingencia.

El último punto descrito es de aquellos que hacen de la gestión de proyectos algo tan metódico como intuitivo, ya que es probable que no haya una manera única de asignar estos recursos, existiendo múltiples planes de proyecto con enfoques muy diferentes. Es en este caso donde un profundo conocimiento de la casuística del proyecto marca la diferencia entre un plan de proyecto cumplidor y uno brillante. Si a la hora de crear la planificación temporal se contempla estas situaciones, las variaciones temporales de las tareas no comprometerán los recursos disponibles a pesar de los cambios. Un ejemplo de esto es considerar y limitar la exigencia adecuadamente en desarrollo paralelo de tareas, ya que si es posible una realización en serie, se habrá mitigado el riesgo. Para ejemplificar esto podemos considerar que el plan de proyecto anterior de la Figura 128 tenemos recursos humanos limitados para desarrollar la tarea de *Pruebas*, por lo que deberemos crear una dependencia que considera adecuadamente la imposibilidad de realizar esta tarea de manera concurrente para los dos componentes como se muestra a continuación:

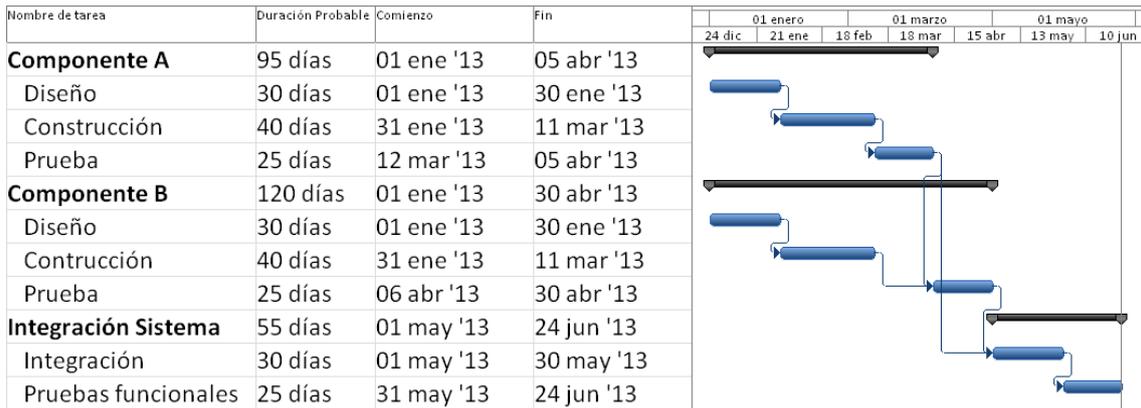


Figura 133. Prueba Componente B pospuesta para no comprometer recursos limitados

Una problemática tan importante ha hecho pensar en la posibilidad de incorporar los recursos a los parámetros modelables, con el ánimo de que el plan de proyecto contemplara estas variables para poder tomar ventaja de la más eficiente utilización de estos, optimizando el plan de proyecto. Finalmente se descartó por dos razones principales:

- La multitud de tipos de recursos y de cómo estos interactúan con las tareas de un proyecto dependiendo de su naturaleza.
- La dificultad para recabar rigurosamente esta información de parte de los implicados, que por lo general acostumbrarán a dar vagas estimaciones, valorando la variable *recursos* como algo implícito.

Una de las máximas en el desarrollo de la metodología es que se trate de algo claro, concreto y conciso. La posibilidad de incluir en el modelo los recursos podría llevar a que la tarea de simulación del plan por parte del Project Manager sea muy poco operativa y tediosa, algo que va en contra de la agilidad requerida por las organizaciones actuales en el día a día. Es tal el nivel de profundidad necesario para estandarizar la variable recursos que se propone como trabajo futuro.

Presupuesto

1)	Ejecución Material	
	• Compra de ordenador personal (Software incluido).....	2.000 €
	• Alquiler de impresora láser durante 6 meses.....	200€
	• Material de oficina.....	150€
	• Total de ejecución material	2.350€
2)	Gastos generales	
	• 16 % sobre Ejecución Material.....	376€
3)	Beneficio Industrial	
	• 6 % sobre Ejecución Material.....	141€
4)	Honorarios Proyecto	
	• 1500 horas a 15 € / hora.....	22500 €
5)	Material fungible	
	• Gastos de impresión	150 €
	• Encuadernación	20 €
6)	Subtotal del presupuesto	
	• Subtotal Presupuesto.....	25020€
7)	I.V.A. aplicable	
	• 21% Subtotal Presupuesto.....	5254,2€
8)	Total presupuesto	
	• Total Presupuesto.....	30274,2€

Madrid, Septiembre 2012

El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo.: Sergio Sebastián Rodríguez

Ingeniero Superior de Telecomunicación

Pliego de Condiciones

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto: *Metodología para la gestión del riesgo en proyectos*. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho sistema. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

Condiciones generales

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.

2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.

3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.

4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.

5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.

6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.

7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a

los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.

8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.

9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.

11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.

13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.

14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.

15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.

16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.

17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.

18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.

19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.

20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.

21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.

22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.

23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad "Presupuesto de Ejecución de Contrata" y anteriormente llamado "Presupuesto de Ejecución Material" que hoy designa otro concepto.

Condiciones particulares

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.

2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.

3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.

4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.

5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.

6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.

7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.

8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.

9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.

10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.

11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación

industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.

12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.