



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

TESIS DOCTORAL

MODELIZACIÓN DE LA EVOLUCIÓN
DE PROYECTOS SOFTWARE
MEDIANTE FUNCIONES
MATEMÁTICAS CONTINUAS

AUTOR: D. José Luis Cuadrado García

DIRECTOR: Dr. D. Juan José Cuadrado Gallego

Alcalá de Henares, junio 2011

Una vez concluido el trabajo de tesis doctoral titulado: "*MODELIZACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE PROYECTOS SOFTWARE MEDIANTE FUNCIONES MATEMÁTICAS CONTINUAS*", realizado por D. José Luis Cuadrado García y del que soy director, estimo que dicho trabajo tiene suficientes méritos teóricos, que se han contrastado adecuadamente mediante validaciones experimentales y son altamente novedosos. Por ello considero que procede su defensa pública.

Y para que así conste, firmo la presente en Alcalá de Henares, a de junio de 2011.

Atentamente,

El director de la tesis:

Dr. D. Juan José Cuadrado Gallego.

Dr. D. **José Javier Martínez Herráiz**, Profesor Titular de Universidad del Área de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, en calidad de Director del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Alcalá.

CERTIFICA

Que la Tesis Doctoral titulada "**MODELIZACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE PROYECTOS SOFTWARE MEDIANTE FUNCIONES MATEMÁTICAS CONTINUAS**", realizado por D. José Luis Cuadrado García y dirigida por el Dr. D. Juan José Cuadrado Gallego, reúne los requisitos para su presentación y defensa pública.

Y para que así conste, firmo la presente en Alcalá de Henares, a de junio de 2011.

El Director del Departamento



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

TESIS DOCTORAL

MODELIZACIÓN DE LA EVOLUCIÓN
DE PROYECTOS SOFTWARE
MEDIANTE FUNCIONES
MATEMÁTICAS CONTINUAS

JOSÉ LUIS CUADRADO GARCÍA

Alcalá de Henares, junio 2011.

Copyright © José Luis Cuadrado García.
Reservados todos los derechos.

*A mi querida familia
y
a ti, lector carísimo*

Agradecimientos

"Es tan grande el placer que se experimenta al encontrar un hombre agradecido que vale la pena arriesgarse a no ser un ingrato."

Séneca

Mis primeras palabras tienen que ser de gratitud a las personas que han hecho posible la culminación de este trabajo.

En primer lugar, mi reconocimiento y profundo agradecimiento a mi director, profesor Juan José Cuadrado Gallego por sus consejos, paciencia y dedicación que han demostrado permanentemente conmigo. También quiero hacer mención a mi compañero de doctorado Miguel Ángel Herranz Martínez, sin su ayuda la tesis habría sido mucho más difícil.

A la Universidad de Alcalá, al Departamento de Ciencias de la Computación y a todos mis compañeros del Departamento por permitirme pertenecer a él y facilitarme su constante ayuda.

Especialmente, me gustaría expresar mi sincera gratitud a mis compañeros de docencia y amigos: José Raúl Fernández del Castillo Díez, Antonio Navidad Pineda y Alfonso López Baca que no se cansan de darme ánimos constantemente. Igualmente debo agradecer el apoyo y aliento que me ha ofrecido durante todo este periodo al profesor León A. González Sotos.

También quiero extender mi agradecimiento a mis compañeros de trabajo del Ejército del Aire, siempre ha sido un placer compartir mis tareas diarias con ellos.

Pero por encima de cualquier persona, se lo debo agradecer a mi familia, mi esposa Pilar, que haría cualquier cosa por la felicidad de los suyos, y a unas ejemplares hijas, Mónica y Ángela, por lograr que tenga ganas de levantarme por las mañanas. Ellas siempre creyeron en mí, incluso más que yo mismo.

Índice

Agradecimientos	XI
Resumen	XXIII
Abstract	XXV
1. Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Declaración del Problema y Objetivos de la Investigación . . .	3
1.3. Hipótesis de investigación	4
1.4. Ámbito de Investigación	4
1.5. Organización de la tesis	5
2. Marco teórico en la Gestión de Proyectos	7
2.1. Introducción	7
2.2. Definición de Proyecto	9
2.2.1. Elementos y características en los proyectos	10
2.2.2. Ciclo de vida de los proyectos	13
2.2.3. Planificación de Proyectos	16
2.2.4. Control de Proyectos	20
2.3. Herramientas y Técnicas en la Gestión de Proyectos	21
3. Marco teórico en la Gestión de Proyectos Software	25
3.1. Introducción	25
3.2. Marco de los Proyectos de Software	27
3.3. Gestión de Proyectos Software	30
3.3.1. Planificación en los proyectos software	31
3.3.2. Estimación del esfuerzo en los proyectos software . . .	32

4. Gestión del Seguimiento y Control de los Costes de Proyectos	37
4.1. Introducción	37
4.2. Concepto de EARNED VALUE	39
4.3. Implementar Earned Value Management	40
4.3.1. Varianzas	43
4.3.2. Índices	46
4.3.3. Plazo de tiempo Ganado	49
4.3.4. Estimaciones	50
4.4. Variaciones sobre EVM	55
4.5. Resumen de EVM	55
5. Análisis y parametrización de la curva en S	57
5.1. Introducción	57
5.2. Modelos de Crecimiento	60
5.3. Modelo Logístico Compuestos	64
5.4. Novedades en el control	65
5.5. Aplicación a EVM	66
6. Resultados experimentales	69
6.1. Introducción	69
6.2. Investigación experimental	70
6.3. Descripción del experimento 1	70
6.3.1. Proyecto 01	74
6.3.2. Proyecto 02	76
6.3.3. Proyecto 03	78
6.3.4. Proyecto 04	80
6.3.5. Proyecto 05	82
6.3.6. Proyecto 06	84
6.3.7. Proyecto 07	86
6.3.8. Proyecto 08	88
6.3.9. Proyecto 09	90
6.3.10. Proyecto 10	92
6.3.11. Proyecto 11	94
6.3.12. Proyecto 12	96
6.3.13. Proyecto 13	98
6.3.14. Proyecto 14	100
6.3.15. Proyecto 15	102
6.3.16. Proyecto 16	104
6.3.17. Proyecto 17	106

6.3.18. Proyecto 18	108
6.3.19. Valoración de los resultados	110
6.4. Descripción del experimento 2	110
6.4.1. Caso 1	111
6.4.2. Caso 2	113
6.4.3. Caso 3	115
6.4.4. Caso 4	117
6.4.5. Caso 5	119
6.4.6. Valoración de los resultados	121
6.5. Valoración Final	121
7. Conclusiones	123
7.1. Introducción	123
7.1.1. Conclusiones y Aportaciones	123
7.2. Líneas y Trabajos futuros	126
A. ANSI/EIA-748-A Earned Value Management Systems	129
A.1. Criterios de Organización	129
A.2. Criterios de Planificación, Calendario y Presupuestación . . .	130
A.3. Criterios de Contabilidad	131
A.4. Criterios de Análisis y Gestión de Informes	132
A.5. Criterios de Revisión y Mantenimiento de Datos	133
B. Glosario de Términos y Acrónimos en EVM	135
C. Ecuaciones Sigmoidales	145
Bibliografía	149
Índice alfabético	157

Índice de figuras

2.1. Ciclo de vida de un Proyecto según PMBOK®	14
2.2. Esquema de componentes en la Gestión de Proyectos	16
2.3. Ejemplo de Work Breakdown Structure (WBS)	17
2.4. Ejemplo de Work Breakdown Structure y Organization Break-down Structure concatenados	18
2.5. Áreas de conocimiento de un proyecto, según PMBOK®	21
2.6. Correspondencia entre Procesos y Áreas en PMBOK®	24
3.1. Hardware and Software Cost Trends (fuente [42])	28
4.1. Descripción General de la Gestión de los Costes del Proyecto en PMBOK®	38
4.2. Earned Value Time Line (fuente [42])	40
4.3. Representación de los conceptos EV , PV , AC sobre la “línea base” en un instante t_0 y el punto BAC (Budgeted Cost at Completion)	42
4.4. Representación de la Varianza de Planificación (SV) en un instante t_0	43
4.5. Ejemplo de un proyecto con los valores de PV, EV y AC, al sexto mes.	44
4.6. Representación de la Varianza de Coste (CV) en un instante t_0	45
4.7. Evolución del CPI del proyecto de la figura 4.5	46
4.8. Evolución del SPI del proyecto de la figura 4.5	47
4.9. Plazo Ganado (Earned Schedule) en un instante t_0	49
4.10. EAC_c en un instante t_0	50
4.11. EAC_t en un instante $AT = t_0$	51
4.12. Evolución del VAC_c hasta t_0	52
4.13. Evolución del VAC_c % hasta t_0	53
4.14. Diagrama de Gantt del proyecto del ejemplo 4.9	54

5.1. Curvas de crecimiento Exponencial y Logístico	61
5.2. EAC_c y EAC_s en un instante t_0 con indicación de la <i>zona desatendida</i>	66
5.3. Modelo de ajuste del proyecto planificado del ejemplo 4.1 (figura 4.5).	67
5.4. Predicción realizada al ejemplo 4.1 con el nuevo EAC, en $t = 6$	68
6.1. Histograma de frecuencias de los proyectos	71
6.2. Gráficas del Proyecto 01	75
6.3. Gráficas del Proyecto 02	77
6.4. Gráficas del Proyecto 03	79
6.5. Gráficas del Proyecto 04	81
6.6. Gráficas del Proyecto 05	83
6.7. Gráficas del Proyecto 06	85
6.8. Gráficas del Proyecto 07	87
6.9. Gráficas del Proyecto 08	89
6.10. Gráficas del Proyecto 09	91
6.11. Gráficas del Proyecto 10.	93
6.12. Gráficas del Proyecto 11	95
6.13. Gráficas del Proyecto 12	97
6.14. Gráficas del Proyecto 13	99
6.15. Gráficas del Proyecto 14	101
6.16. Gráficas del Proyecto 15	103
6.17. Gráficas del Proyecto 16	105
6.18. Gráficas del Proyecto 17	107
6.19. Gráficas del Proyecto 18	109
6.20. Caso 1.1 (Proyecto 03). Predicción con el 25 % de los datos de ejecución del proyecto.	111
6.21. Caso 1.2 (Proyecto 03). Predicción con el 50 % de los datos de ejecución del proyecto.	112
6.22. Caso 1.3 (Proyecto 03). Predicción con el 75 % de los datos de ejecución del proyecto.	112
6.23. Caso 2.1 (Proyecto 04). Predicción con el 25 % de los datos de ejecución del proyecto.	113
6.24. Caso 2.2 (Proyecto 04). Predicción con el 50 % de los datos de ejecución del proyecto.	114
6.25. Caso 2.3 (Proyecto 04). Predicción con el 75 % de los datos de ejecución del proyecto.	114
6.26. Caso 3.1 (Proyecto 07). Predicción con el 25 % de los datos de ejecución del proyecto.	115

6.27. Caso 3.2 (Proyecto 07). Predicción con el 50 % de los datos de ejecución del proyecto.	116
6.28. Caso 3.3 (Proyecto 07). Predicción con el 75 % de los datos de ejecución del proyecto.	116
6.29. Caso 4.1 (Proyecto 14). Predicción con el 25 % de los datos de ejecución del proyecto.	117
6.30. Caso 4.2 (Proyecto 14). Predicción con el 50 % de los datos de ejecución del proyecto.	118
6.31. Caso 4.3 (Proyecto 14). Predicción con el 75 % de los datos de ejecución del proyecto.	118
6.32. Caso 5.1 (Proyecto 16). Predicción con el 25 % de los datos de ejecución del proyecto.	119
6.33. Caso 5.2 (Proyecto 16). Predicción con el 50 % de los datos de ejecución del proyecto.	120
6.34. Caso 5.3 (Proyecto 16). Predicción con el 75 % de los datos de ejecución del proyecto.	120

Índice de Tablas

3.1. Evolución de porcentajes de proyectos por estado según el <i>Standish Group</i>	26
4.1. Variaciones en el 4º mes del ejemplo 4.9.	54
4.2. Resumen de nomenclatura utilizada en EVM y su relación con el estándar ANSI/EIA-748-A	56
6.1. Resumen estadístico de los proyectos analizados.	70
6.2. Resumen de los parámetros t_μ , Δt y P_f en los proyectos analizados.	73
6.3. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 01	74
6.4. Parámetros obtenidos del Proyecto 01	74
6.5. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 02	76
6.6. Parámetros obtenidos del Proyecto 02	76
6.7. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 03	78
6.8. Parámetros obtenidos del Proyecto 03	78
6.9. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 04	80
6.10. Parámetros obtenidos del Proyecto 04	80
6.11. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 05	82
6.12. Parámetros obtenidos del Proyecto 05	82
6.13. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 06	84
6.14. Parámetros obtenidos del Proyecto 06	84
6.15. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 07	86
6.16. Parámetros obtenidos del Proyecto 07	86
6.17. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 08	88
6.18. Parámetros obtenidos del Proyecto 08	88
6.19. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 09	90
6.20. Parámetros obtenidos del Proyecto 09	90
6.21. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 10	92

6.22. Parámetros obtenidos del Proyecto 10	92
6.23. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 11	94
6.24. Parámetros obtenidos del Proyecto 11	94
6.25. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 12	96
6.26. Parámetros obtenidos del Proyecto 12	96
6.27. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 13	98
6.28. Parámetros obtenidos del Proyecto 13	98
6.29. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 14	100
6.30. Parámetros obtenidos del Proyecto 14	100
6.31. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 15	102
6.32. Parámetros obtenidos del Proyecto 15	102
6.33. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 16	104
6.34. Parámetros obtenidos del Proyecto 16	104
6.35. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 17	106
6.36. Parámetros obtenidos del Proyecto 17	106
6.37. Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 18	108
6.38. Parámetros obtenidos del Proyecto 18	108

Resumen

Una correcta planificación es uno de los principales aspectos en los que descansa el éxito de un proyecto software. No obstante de nada sirve una planificación perfecta sin no se realiza un seguimiento adecuado del proyecto, el cual implica no sólo controlar en cada momento que las actividades y los costes previstos están siendo cumplidos correctamente, sino tener la capacidad de anticiparse al impacto que las desviaciones de lo planificado tendrán sobre el desarrollo futuro del proyecto.

Los métodos de seguimiento que se pueden encontrar en la literatura permiten obtener fotografías fijas del estado del proyecto en un momento dado de la evolución del mismo y permiten proyectar cual será el resultado en costes y tiempo final del proyecto, obtenidos a partir de dichos estados puntuales, pero esta instantánea no indica cómo será la evolución del proyecto desde el momento en el que estamos auditándolo hasta la finalización del mismo.

Esta tesis resuelve este problema. Mediante la utilización de la familia de curvas denominadas sigmoidales o curvas de S, parametrizadas adecuadamente y con la utilización de la técnica de seguimiento EVM (Earned Value Management), se modeliza matemáticamente la evolución que tendrá el proyecto como una función continua, lo cual permite obtener no una foto sino una película de la evolución completa que tendrá el proyecto hasta su final.

La modelización de la evolución de los proyectos mediante estas ecuaciones matemáticas continuas ha permitido también introducir y calcular por primera vez dos nuevos conceptos: velocidad de ejecución del proyecto y aceleración en la ejecución del proyecto. Los cuales se espera que sean de gran utilidad para los directores de proyectos

Para la validación de la función propuesta, se ha dispuesto de un conjunto

de dieciocho proyectos del área del software con diferentes características que han permitido enfrentar la propuesta a gran variedad de situaciones, todas reales, lo cual facilita el diseño y realización de los experimentos que validasen las tesis propuestas. Los resultados de dichos experimentos han puesto de manifiesto la robustez de la fórmula, obteniendo los resultados deseados de forma inequívoca.

Abstract

A proper planning is one of the main points on which lies the success of a software project. However there is no use planning is not made perfect without appropriate monitoring of the project, which involves not only control at all times that the activities and the anticipated costs are being met properly, but having the ability to anticipate the impact that deviations from the plan will have on the future development of the project.

Monitoring methods that can be found in the literature can obtain stationary photos of the state of the project at any given time of its evolution, and also allow project which will result in costs and final project time obtained from these states point, but do not tell us how the project will evolve from the time when we are auditing to completion.

This thesis resolves this problem. By using the family of curves called sigmoidal or S curves, parameterized properly and using monitoring technique EVM (Earned Value Management), it is mathematically modeled the the project evolution given as a continuous function, which allows not only getting a picture but also a movie that will have the full evolution to its final draft.

Modelling the evolution of the project using these continue mathematical equations also allowed to enter and calculate for the first time two new concepts: the project speed and acceleration in project implementation. Which are expected to be useful for project managers

Order to validate the proposed function, and always has been available a set of eighteen projects in the area of software with different characteristics that have allowed the proposal address a wide variety of situations, all from the real worldwide, and proceed to conducting of two experiments with the data set to validate the thesis proposals. The results of these experiments have demonstrated the robustness of the formula, obtaining the desired results unambiguously.

Capítulo 1

Introducción

“En lo tocante a la ciencia, la autoridad de un millar no es superior al humilde razonamiento de una sola persona.”

Galileo Galilei.

RESUMEN: Este capítulo comienza presentando la motivación e interés que ha dado lugar a la realización de esta tesis doctoral. A continuación se enuncian los objetivos planteados y finalmente se muestra la estructura del documento.

1.1. Introducción

El principal objetivo del estudio científico es el de revelar y describir regularidades que se pueden utilizar para predecir el futuro. Entre sus muchos logros el inventor e investigador, Galileo Galilei (1564-1642), llamado el “padre de la ciencia moderna”, hizo un pronóstico excelente sobre la rotación periódica y la naturaleza de un cometa. El pronóstico se basó en observaciones y un modelo matemático. De hecho, la predicción desempeña un papel importante en el desarrollo de la ciencia en cuanto se emplea como un método para verificar de hipótesis y teorías propuestas.

Esta investigación se centra en el problema de predicción de calendario y costes de los proyectos, en particular los proyectos software, en curso. Por lo general, los administradores de proyectos poseen tres alternativas de actualización de las estimaciones originales realizadas, en función de la relación entre el desempeño pasado y el futuro: (1) pronósticos basados en la estimación original, (2) pronóstico basado en una nueva estimación; y (3) previsión basada en la estimación original, modificada por la información sobre el desempeño pasado [76].

La predicción fiable es un componente crítico de la planificación de proyectos, control y gestión de los mismos. La finalización del proyecto y el coste se estima antes del inicio de un proyecto, este proceso de estimación se lleva a cabo como parte de la planificación del proyecto y sus resultados proporcionan el plan previsto con el objeto de completar el proyecto a tiempo y dentro del presupuesto. Una vez que un proyecto se inicia, el rendimiento real es monitorizado y analizado para estimar el trabajo restante. El propósito principal del control o monitorización es obtener señales de alerta y aplicar las acciones correctivas o preventivas de manera oportuna. Estas nuevas revisiones deben ser chequeadas y comparadas con el tiempo de finalización previsto y el presupuesto disponible.

Los dos primeros enfoques, mencionados anteriormente, son válidos sólo cuando los datos de rendimiento real de un proyecto observado se consideran irrelevantes para el futuro desempeño del trabajo restante. En tales casos, el trabajo restante se supone un proyecto independiente. Mientras que los dos primeros tipos se conocen como “previsión estimativa”, el tercer tipo de previsión se conoce como “previsión proyectiva”.

Es este tercer enfoque, en el que la duración del proyecto y el costo de la terminación se actualizan utilizando la estimación original y los datos reales de rendimiento hasta el momento es el entorno en el que se moverá esta tesis.

Uno de los objetivos de esta tesis es aumentar la eficiencia de los controles del proyecto a través de la mejora de la capacidad de los directores de proyectos para pronosticar el coste final y el tiempo total en el momento oportuno.

La forma más común de medir el nivel de confianza que tiene un director de proyecto sería poner en valor un intervalo de predicción esperado. Los enfoques más extendidos, como el Critical Path Method (CPM) y el método del Valor Ganado (Earned Value Management - EVM) son modelos deterministas a la hora de proporcionar pronósticos. El uso simultaneo de EVM y CPM en el mismo proyecto podrían dar lugar a predicciones de costes incompatibles, debido a que estos enfoques se basan en supuestos sobre la relación entre el desempeño del rendimiento pasado y futuro diferentes. Por ejemplo, una técnica común de previsión de costes de EVM se basa en el supuesto de que la productividad en el futuro (Costo Índice de Rendimiento) será el mismo que la productividad en el pasado. En el método del camino crítico (CPM), sin embargo, las duraciones de las actividades de trabajo restantes se han fijado en las estimaciones iniciales. Otra herramienta de evaluación es Program Evaluation and Review Technique (PERT) que proporciona una predicción semi-probabilística de la duración del proyecto.

La segunda motivación de esta investigación es la falta de herramientas de seguimiento de proyectos a disposición de los contratistas, los directores de proyectos, o los directores de programas. Los enfoques tradicionales, PERT y CPM, no proporcionan métodos de control que sean aplicables tanto a las predicciones de tiempo como a las del coste. Y teniendo en cuenta el

hecho de que la técnica EVM, para pronosticar el costo final al término del proyecto, ha sido criticada tanto por los investigadores Short, Vandevoorde y Vanhoucke [84, 89] y por los profesionales Leach y Lipke [55, 56], se echa en falta, pues, un marco de previsión integral e integrador, que aglutine toda la información relevante para proyectar predicciones de desempeño. La explotación de los beneficios potenciales de información de pre-construcción sobre planificación, tales como curvas de referencia del progreso del proyecto, actualmente curvas discretas, y las estimaciones de la duración del proyecto y el coste son críticas para los pronósticos, sobre todo durante la primera fase de la ejecución del proyecto, debido a la falta de datos suficientes sobre rendimientos reales.

1.2. Declaración del Problema y Objetivos de la Investigación

Siguiendo con las motivaciones de investigación, el planteamiento del problema de esta investigación es:

Hay una necesidad de métodos de seguimiento y predicción seguros en la gestión de proyectos, especialmente en los proyectos software. En la actualidad los métodos disponibles son casi deterministas, excesivamente simplificados, que los hacen poco fiables o poco prácticos. Un método avanzado de predicción que integre toda la información pertinente en las predicciones de rendimiento de manera matemática, permitiría a los directores de proyectos tomar decisiones de manera más eficiente.

El objetivo de esta tesis es mejorar la capacidad predictiva disponible de los métodos de seguimiento de proyectos mediante el desarrollo de nuevos indicadores y la mejora del seguimiento y predicción a través de la integración de toda la información pertinente en las previsiones que se basará en procedimientos matemáticos consistentes que puedan utilizarse en la práctica de manera simple.

Para lograr este propósito, los objetivos concretos de investigación son los siguientes:

1. En la metodología de predicción: Mejorar la predicción de los proyectos de forma explícita identificando la situación actual del proyecto y proporcionando predicciones de los valores previstos.
2. En las metodologías de previsión integrativa: Integrar toda la información pertinente de diferentes fuentes en una formula matemática. Las metodologías que se desarrollen deben estar basadas en información proporcionada por los sistemas estándar de gestión de proyectos, tales como la estructura de división del trabajo, la planificación de calendario, CPM, y principalmente EVM.

3. En la metodología de predicción coherente: Utilizando métodos de predicción que se pueden aplicar tanto al tiempo como a los costes de una manera coherente.

1.3. Hipótesis de investigación

Para alcanzar los objetivos de la investigación se parte de los métodos de toma de decisiones y predicción así como de los métodos EVM que son descritos en el estado de la cuestión, se realiza una adaptación de los pronósticos mediante la utilización de curvas de S (curvas sigmoides) permitiendo pasar de modelos de seguimiento discretos a modelos de seguimiento continuos. A continuación se lleva a cabo una serie de estudios para probar la calidad del ajuste y las mejoras en las capacidades predictivas con la nueva modelización continua.

Hipótesis 1

El modelo EVM y su adaptación al modelo logístico (Curva de S) parametrizado, mejora la representación respecto a los métodos convencionales, al estar modelizado con una función continua.

Además, debido a la continuidad de la función matriz, permite obtener nuevas variables referidas a la ejecución de los proyectos (velocidad, aceleración, etc.). Por lo tanto, el nuevo modelo paramétrico continuo propuesto proporcionará nuevos indicadores o niveles de alerta aplicables durante la ejecución de los proyectos.

Hipótesis 2

Respecto a la validez de las predicciones, el comportamiento relativo de las predicciones del modelo propuesto varía en función de la cantidad y tipo de información disponibles en el momento de la predicción.

Los resultados del estudio proporcionará información útil para el desarrollo de nuevas directrices para los usuarios de la propuesta, proporcionando una herramienta más fiable y con información de calidad.

1.4. Ámbito de Investigación

Esta tesis se centra en la previsión de calendario y coste de proyectos con los métodos generales, haciendo un viaje a través del tiempo por la gestión de proyectos y focalizándose sobre la problemática asociada a los proyectos de TI (Tecnologías de la Información) y los proyectos software en particular.

Durante la revisión bibliográfica, se ha puesto de manifiesto que, a pesar de la extensa literatura sobre las previsiones en distintos ámbitos como

el marketing y la gestión de ingeniería, existe muy poca investigación que hubiese abordado la cuestión de la previsión en el contexto de la gestión de proyectos y aun menos en el área del desarrollo software, la literatura acerca de proyectos y su área de previsión y control es muy limitada.

Por lo tanto, los objetivos de investigación y otras cuestiones abordadas requieren un tratamiento distinto, en términos de aplicación de métodos, la recogida de datos, la evaluación del desarrollo y el diseño de pruebas de hipótesis.

1.5. Organización de la tesis

El Capítulo 1 se refiere al resumen introductorio de esta investigación, incluyendo las motivaciones, planteamiento del problema, los objetivos y alcances de este trabajo.

En el Capítulo 2 se realiza una revisión de la literatura sobre la Gestión de Proyectos, de manera general y se revisa el método más extendido actualmente en la industria.

En el Capítulo 3, de especialización del capítulo anterior, se estudia el caso particular de la Gestión de Proyectos Software.

En el Capítulo 4 se hace un análisis de la metodología EVM (Earned Value Management) o estándar ANSI/EIA748A, propuesta por Project Management Institute (PMI®) y ampliamente difundida.

En el Capítulo 5 se realiza un análisis de la utilización, en el mundo científico, de las curvas de S o sigmoide y su parametrización, así como su adaptación a EVM.

En el Capítulo 6 se aplican de forma experimental los resultados obtenidos en el capítulo anterior a dieciocho proyectos reales de TI, ejecutados en el año 2011, realizando un análisis de los resultados obtenidos.

Para finalizar, en el en el Capítulo 7 se realiza un resumen de las principales conclusiones de la investigación y se proponen algunas líneas de investigación futura.

Este trabajo incluye también una capítulo con las referencias bibliográficas citadas a lo largo de la tesis y tres apéndices.

RELACIÓN DE APÉNDICES.

Apéndice A Lista de los treinta y dos criterios o pautas que han sido establecidos en el ANSI/EIA-748-A, haciendo referencia a los puntos concretos que en los que se describen el el mencionado estándar.

Apéndice B Glosario de Términos y Acrónimos en EVM.

Apéndice C Relación de ecuaciones de curvas Sigmoidales o curvas de S más conocidas.

Marco teórico en la Gestión de Proyectos

“Dejamos de temer aquello que se ha aprendido a entender”.

Marie Curie.

RESUMEN: Este capítulo se resumen los enfoques para la gestión de proyectos. Se estudian las definiciones del concepto de proyecto, los elementos que lo componen y su terminología particular. Se ve el estándar de gestión de proyectos definido por el Project Management Institute (PMI) y se enumeran las diferentes fases o procesos y herramientas que propone dicho estándar.

2.1. Introducción

Los proyectos en gran escala han existido desde tiempos antiguos. Este hecho lo atestigua la construcción de las pirámides de Egipto, los acueductos de Roma o las construcciones de Chichén Itzá en Yucatan. Pero sólo desde hace relativamente poco se han analizado, por parte de los investigadores, los problemas gerenciales asociados con dichos proyectos.

Fue Frederick Taylor(1856-1915) quien comenzó estudios del trabajo detallado, aplicó el razonamiento científico a la gestión del trabajo, mostrando que este puede ser analizado y mejorado si nos centramos sobre su partes elementales [88]. Antes de eso, la única manera de mejorar la productividad era aumentar más y más las horas de trabajo.

El socio de Taylor, Henry L. Gantt(1861-1919), estudió en detalle el orden de las operaciones en el trabajo [33]. Su estudios sobre la gestión de proyectos se centró en la construcción de buques de la Marina Americana durante la Primera Guerra Mundial. Sus diagramas, de Gantt, con las *barras*

de tareas y los marcadores de *hito*, el esquema de la secuencia y la duración de todas las tareas en un proceso, han demostrado ser una eficaz herramienta analítica para los directores de proyectos que se ha mantenido prácticamente sin cambios durante casi cien años. No fue hasta 1990 cuando las líneas de enlace se agregaron a las barras de tareas, representando las dependencias entre las tareas de forma más precisa.

La gestión de proyectos, en su forma moderna, comenzó a echar raíces a partir de principios de los años 60, del siglo XX. Las empresas y otras organizaciones empezaron a ver los beneficios de organizar el trabajo en los proyectos.

El problema de la administración y gestión de proyectos surgió con los grandes proyectos, un ejemplo de estos es el proyecto de armamento *Polaris* en 1958 [66], con tantas componentes y subcomponentes juntos y producidos por diversos fabricantes, se necesitaba una nueva herramienta para programar y controlar el proyecto. El PERT (evaluación de programa y técnica de revisión - Program, Evaluation and Review Technique) fue desarrollado por los científicos, de la oficina Naval de Proyectos Especiales, Booz, Allen y Hamilton conjuntamente con la División de Sistemas de Armamentos de la Corporación Lockheed Aircraft para este fin. La técnica demostró tanta utilidad que ganó rápidamente amplia aceptación tanto en los gobiernos como en los sectores privados.

El método PERT deriva de la Teoría Grafos o Redes, ya que utiliza una representación basada en grafos [74]. El análisis que este método revela la existencia de un *camino crítico*, cuya duración condiciona la ejecución de todo el proyecto, siendo una nueva aplicación del PERT el estudio económico de la reducción del camino crítico, es decir, la reducción del tiempo o coste de la ejecución del proyecto [30].

Los objetivos del PERT son los siguientes[66]:

1. Conocimiento del tiempo de ejecución del proyecto y de todas las actividades que lo integran (PERT-Time).
2. Mejora u optimización en la ejecución del proyecto y en el empleo de los medios disponibles, así como criterios de incorporación de nuevos recursos (PERT-Cost).
3. Control de la ejecución del proyecto (PERT-Control).

El método PERT, en sus distintos tipos y aplicaciones [47], pretende optimizar, también desde el punto de vista económico, la ejecución de un proyecto.

Casi al mismo tiempo que se desarrolla el PERT (1958), la compañía DuPont, junto con la División UNIVAC de la Remington Rand, dirigida por los ingenieros J. E. Kelly y M. R. Walker, desarrolló el método del camino crítico (CPM - Critical Path Method) para controlar el mantenimiento de proyectos de plantas químicas de DuPont [48]. El CPM es muy similar

al PERT en concepto y metodología. La diferencia principal entre ellos es simplemente el método de estimación del tiempo para las actividades del proyecto. Con CPM, los tiempos de las actividades son determinísticos. Con PERT, los tiempos de las actividades son probabilísticos o estocásticos.

Fruto de la fusión de ambos se obtuvo el PERT/CPM diseñado para proporcionar diversas herramientas de información útiles para los administradores del proyecto. El PERT/CPM expone el camino crítico de un proyecto. Esto es, las actividades que limitan la duración del proyecto. De tal forma que, para lograr que el proyecto se realice adecuadamente, las actividades que forman parte del camino señalado deben realizarse de acuerdo a lo planificado. Si una actividad de este camino crítico se retarda, el proyecto como un todo, se retrasa en la misma cantidad, el resto de actividades, que no están en él, tienen una cierta de holgura y pueden empezarse más tarde en cierta medida, permitiendo que el proyecto como un todo se mantenga en programa. El método identifica las actividades con holgura y la cantidad de tiempo disponible para retrasos.

En muchos proyectos, las limitaciones en mano de obra y equipos hacen que la programación no sea fácil. El PERT/CPM tiene en consideración los recursos necesarios para completar las actividades e identifica los instantes del proyecto en que estas restricciones causarán problemas y de acuerdo a la flexibilidad permitida por los tiempos de holgura de las actividades no críticas, permite que el gestor manipule ciertas actividades para aliviar o minimizar estos problemas.

Finalmente, PERT/CPM proporciona una herramienta para controlar y monitorizar el progreso de los proyectos. Cada actividad tiene su propio papel en éste y su importancia en la terminación del proyecto se manifiesta inmediatamente. Las actividades del camino crítico, por consiguiente, pueden recibir la mayor parte de la atención, debido a que la terminación del proyecto, depende sustancialmente de ellas. Las actividades no críticas se pueden manipular y remplazar en respuesta a la disponibilidad de recursos.

2.2. Definición de Proyecto

Antes de afrontar los temas clave del presente capítulo y entrar en los detalles de los distintos puntos, es preciso ubicar al lector en el contexto del problema, mostrando y explicando una serie de conceptos principales que son la base del problema estudiado, y aunque son sencillos, ya que son ideas y nociones tratados con asiduidad en el día a día de cualquier organización, será necesario que sean expuestos y definidos formalmente con objeto de no caer en un errores, muy frecuente, en estos casos.

Se define PROYECTO como un conjunto de actividades interdependientes orientadas a un fin específico, con una duración predeterminada, unos recursos asignados (económicos, humanos y materiales, energía, espacio, co-

municación, calidad, riesgo, etc.) y sujeto a influencias externas (requisitos que cambian continuamente, costes, plazos y recursos) y/o internas (dificultades técnicas de producción, de estimación, de productividad, etc.) [63, 85].

Por lo tanto, un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único [76]. El término temporal significa que los proyectos tienen un inicio y una finalización determinado. El carácter único significa que los resultados obtenidos del proyecto, el producto final o el servicio prestado, tienen alguna característica distintiva de otros productos y/o servicios.

2.2.1. Elementos y características en los proyectos

Los elementos y características comunes que intervienen en un proyecto, según McConell [63] son:

- *Objetivos*: Principios que dirigen los esfuerzos del equipo de proyecto en su contribución a la meta principal. Los objetivos a alcanzar deben ser tangibles, concretos, precisos, medibles, alcanzables, consensuados y ajustados en el tiempo.
- *Metas*: Los objetivos son partes del total de la meta, y la consecución de todos ellos implica la consecución de ésta.
- *Estrategias*: Formas de expresar cómo conseguir los objetivos. Detallan qué acciones deben tomarse para conseguir los objetivos.
- *Plan estratégico*: Permite a la organización evaluar de manera lógica y sistemática su potencial (de crecimiento y rentabilidad a largo plazo). El plan estratégico articula las metas y los objetivos, dotándole de una estrategia para alcanzarlo.
- *Planificación-Calendario de Actividades*: Todo proyecto debe tener un plan de trabajo, donde se identifiquen y refieran las distintas tareas o grupos de tareas de que consta cada actividad, los eventos, las fechas entre las cuales se debe llevar a cabo cada una de las tareas, los hitos y las dependencias temporales entre cualquiera de los anteriores elementos.

Una ACTIVIDAD es una unidad de trabajo para alcanzar un resultado específico. Requiere unas entradas para producir y/o modificar unos artefactos produciendo una salida (productos o resultado del trabajo que se hace en la ejecución de un proceso). Una actividad normalmente tiene una duración determinada, un coste y unos recursos asignados. Las actividades pueden ser subdivididas en tareas [76].

Un EVENTO se trata de una actividad externa, por ejemplo: la entrega de un proveedor, un enlace con otro proyecto, etc.

Una TAREA representa una instancia en el tiempo de una actividad del proceso. Es una actividad que produce un resultado entregable único. Supone el nivel de detalle mínimo. Tiene una fecha de inicio y una fecha de finalización. Las tareas almacenan el porcentaje (pc) de trabajo completado. Una tarea puede estar en los siguientes estados:

- Sin iniciar (pc = 0 %),
- En progreso ($0 \% < pc < 100 \%$),
- Completada (pc = 100 %),
- Parada o Abandonada.

Una tarea implica un ESFUERZO (medida por ejemplo en días · persona), una duración (por ejemplo en días) y unidades asignadas (personas o recursos que desarrollan las tareas).

$$\text{Esfuerzo} = \text{Duración} * \text{Unidades}$$

Un HITO representa un hecho o el logro de un objetivo que es relevante en el curso del proyecto. Es un tipo especial de tarea en la que la duración es cero (fecha de inicio = fecha de fin).

De esta forma, podríamos definir PROYECTO como un conjunto de actividades, tareas e hitos entrelazados para la consecución de un resultado final.

Otro concepto importante por definir es el de DEPENDENCIA: se trata de la relación de subordinación temporal entre dos elementos del proyecto (tarea, hito o grupo de tareas), en la que uno es el elemento predecesor y otro el elemento sucesor. La dependencia se expresa en términos de la fecha de inicio y de fin de los elementos.

Los RECURSOS son los elementos o insumos utilizados para poder realizar la ejecución de cada una de las tareas. La disponibilidad de recursos, hace que la consecución de tareas pueda variar en el tiempo, dependiendo de los recursos de los que se disponga.

Un proyecto requiere una serie de recursos: humanos (personas), económicos, logísticos (instalaciones), insumos (materiales, energía, servicios, etc.) e información. Para lograr el objetivo final los proyectos se deben dotar de una estructura y sistemas organizativos conducentes a la obtención del fin deseado, así podremos decir que un proyecto, de forma genérica, deberá tener:

- Estructura organizacional: Dentro del equipo de trabajo, se debe establecer una estructura de la organización, diferenciándose en distintos roles, los cuales tendrán asociadas determinadas responsabilidades y funciones.

- Sistema de Configuración y Control: La configuración de un proyecto es el conjunto de *ítems*, elementos o productos que se generan en un proyecto, como parte de la solución diseñada.
- Sistema de Comunicación y Relaciones Humanas: Mecanismos organizativos y de comunicación que vinculan el trabajo del equipo del proyecto con los usuarios, tanto a nivel de Dirección como a niveles más bajos.
- Sistema de Aprovisionamiento: El abastecimiento o aprovisionamiento es la función logística mediante la cual una organización se provee de todo el material necesario para su funcionamiento. La función de aprovisionamiento existe a partir del momento en que un objeto o servicio debe ser buscado fuera de la organización.
- Sistema de Gestión de Riesgos: El riesgo de un proyecto es un evento o condición incierta que, si ocurre, tiene un efecto positivo o negativo en al menos un objetivo de dicho proyecto, como tiempo, coste, alcance o calidad. Los riesgos, que pueden ser amenazas u oportunidades, en general ejercen un impacto tanto en la actividad del cronograma como en los costes del proyecto.
- Sistema de Gestión de Calidad: La calidad se define como el “grado en que un conjunto de características inherentes cumple con unos requisitos”. El Sistema de la Calidad pretende asegurar que el producto reúne las características necesarias para satisfacer todos los requisitos del sistema.

Los estándares son adoptados por muchas organizaciones como la base para el desarrollo de metodologías acordes a sus necesidades específicas, ya que son prácticas validadas por la experiencia de los miembros de las Oficinas de Gestión de Proyectos (OGP). Los estándares tienen como objetivo mejorar las competencias de los profesionales, y entre otros los de gestión de proyectos, al documentar, aceptar y validar conceptos y métodos generalmente aceptados y reconocidos como mejores prácticas. De esta forma se busca la excelencia en la práctica de la profesión.

El Project Management Institute (PMI) ha desarrollado varios estándares de validez mundial, que buscan un marco común para el desarrollo de proyectos con necesidades específicas. La institución PMI ofrece los siguientes documentos relativos a la gestión de proyectos:

- A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide).
- Construction Extension to the PMBOK® Guide.
- Government Extension to the PMBOK® Guide.

- Project Manager Competency Development Framework.
- Practice Standard for Earned Value Management.
- Practice Standard for Project Configuration Management.
- Practice Standard for Work Breakdown Structures.
- Organizational Project Management Maturity Model (OPM3®).
- The Standard for Portfolio Management.
- The Standard for Program Management.

Uno de los enfoques más sistemático y estructurado sobre la gestión de proyectos “Project Management” es el denominado “Cuerpo de conocimiento” que ha elaborado el Project Management Institute (PMI),¹ con la finalidad de estandarizar o normalizar los conocimientos, habilidades y prácticas de los gerentes de proyectos en la mayor parte de los proyectos en el mundo. La Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK®) se ha convertido en el estándar de facto para la gestión de proyectos de cualquier tipo. Es un conjunto de cuarenta y cuatro procesos² que se distribuyen a lo largo de las etapas de Inicio, Planificación, Ejecución, Control y Cierre (figura 2.1).

2.2.2. Ciclo de vida de los proyectos

El PMI, en su documento guía de dirección de proyectos [76], estructura el ciclo de vida de un proyecto en cinco etapas principales (figura 2.1), que a su vez se pueden sub-dividir. Existe una relación entre los grupos de procesos específicos de la dirección de proyectos y las áreas de conocimiento de la dirección de proyectos, que se verán después. Las etapas principales son:

- *Iniciación*: En esta etapa es donde se crean las bases del proyecto. Contiene, entre otras actividades, la definición de las metas y los objetivos, un estudio de viabilidad, el establecimiento de los esquemas de autoridad, los supuestos en los que se basa el proyecto y la caracterización de los recursos necesarios para su ejecución. Una gran parte del éxito o el fracaso del proyecto depende principalmente en estas etapas iniciales que, junto con una buena planificación, algunos gestores tienden a minusvalorar, impacientes por querer ver resultados con rapidez.

¹PMBOK®: Project Management Body of Knowledge (PMI, 1996). La cuarta edición ha sido publicada en 2008.

²Un proceso es un conjunto de acciones y actividades interrelacionadas realizadas para obtener un producto, resultado o servicio predefinido. Cada proceso se caracteriza por sus entradas, por las herramientas y técnicas que puedan aplicarse y por las salidas que se obtienen.

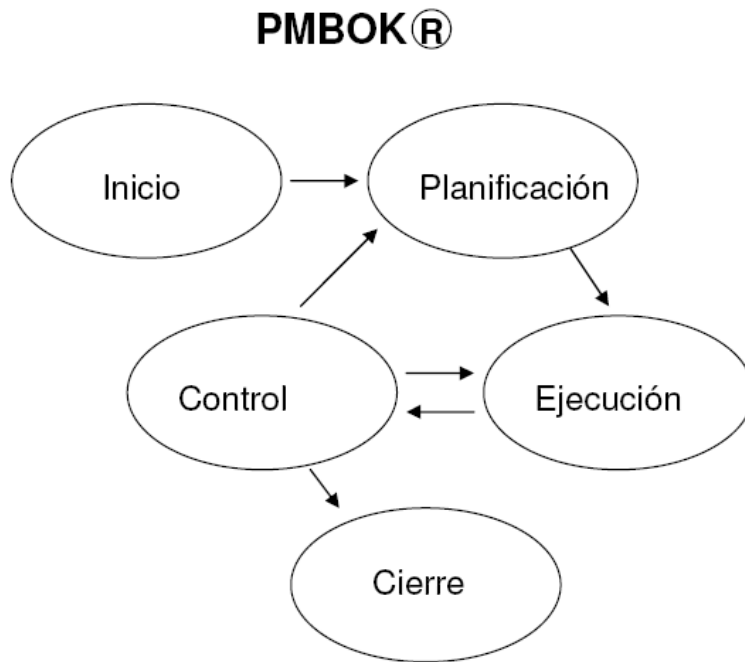


Figura 2.1: Ciclo de vida de un Proyecto según PMBOK®

- **Planificación:** En esta etapa se realizan las siguientes actividades: Definir el alcance del proyecto, Depurar los objetivos, Definir los entregables requeridos, Crear el marco para el cronograma del proyecto, Definir las actividades requeridas del proyecto, Ordenar temporalmente las actividades, Identificar los recursos necesarios, Estimar el esfuerzo de trabajo, Efectuar el análisis de riesgos y de contingencia, Identificar y estimar los costes, Obtener la aprobación de financiación del proyecto y Establecer el Plan de Comunicación.
- **Ejecución (diseño y desarrollo):** En esta etapa, se trata de llevar a la práctica lo previsto e identificado en las anteriores etapas. El proceso principal de ejecución representa el conjunto de tareas y actividades que conjugan la realización propiamente dicha del proyecto. Por tanto, requiere de capacidad para programar, gestionar y coordinar las actividades y tomar las decisiones de manera correcta.

En esta etapa se diseñan los planes operativos, se realiza el aseguramiento de la calidad y se refinan las funciones y roles de cada uno de los participantes en el proyecto. Esta es una etapa en la que la buena comunicación entre todas las partes se convierte en una baluarte para el proyecto.

Los planes operativos pueden confeccionarse para todo el período de ejecución en su conjunto o para cada una de las etapas en que se dividió el proyecto. De cualquier forma, se deben dejar creadas las pautas

de actuación y sus funciones respecto a la dirección del proyecto; organización de los recursos materiales y humanos que se emplearán; la administración del proyecto y la definición de su propio marco jurídico, esto es, las normas o leyes que se deben cumplir y aplicar para no poner en riesgo el propio proyecto; las estrategias de comunicación interna y externa y el calendario y las fechas de entrega de los productos o resultados.

- *Control* (Seguimiento): En esta etapa se realizan actividades de seguimiento que consiste en el análisis continuado de la ejecución del proyecto en todos sus aspectos, vigilando que se ajuste a lo planificado y promoviendo las acciones correctivas que sean precisas y, actividades de evaluación que permiten supervisar la situación inicial con la final y sacar las conclusiones sobre el éxito o fracaso del proyecto.

El objetivo de las funciones de seguimiento y evaluación es mejorar las oportunidades de corrección durante la ejecución o mejorar la capacidad de actuación en el futuro a partir de la reflexión sobre los aprendizajes obtenidos en los procesos previos. Además se debe realizar la gestión del equipo, *stakeholders*³ y subcontratistas, gestionar los cambios solicitados, los riesgos y redactar los informes de desempeño y seguimiento.

Existe un error bastante frecuente que hay que evitar, como es que a los proyectos no se les realice ni seguimiento ni evaluación o que estos se realicen de forma testimonial. Se ha de hacer que los gestores sean conscientes de la importancia de estas actividades para re-alimentar la información que siguen los proyectos.

- *Cierre*: Esta última etapa se centra en formalizar la terminación del proyecto (se deben finalizar todas las actividades en todos los grupos de procesos del proyecto) y en rescatar las "lecciones aprendidas" para evitar incurrir en los mismos errores en futuros proyectos.

Estas etapas presentan, no obstante, características diferentes según el tipo de proyecto de que se trate (internos o externos). La diferencia aparece en la etapa de planificación, en el proyecto externo aparecen un conjunto de acciones que se relacionan con la necesidad de presentar una oferta al cliente y lograr la adjudicación del contrato en competencia con otras empresas o personas.

El ÉXITO de un proyecto significa cumplir con los objetivos dentro de las especificaciones técnicas, de coste y de plazo de terminación, y con un nivel

³Stakeholder es un término inglés utilizado por R. E. Freeman en su obra: "Strategic Management: A Stakeholder Approach", (Pitman, 1984) para referirse a «quienes pueden afectar o son afectados por las actividades de una empresa». Según Freeman deben ser considerados como un elemento esencial en la planificación estratégica de negocios.

de calidad adecuado que satisfaga las necesidades del usuario, asumiendo, además, una serie de riesgos [63].

Seguidamente se verán con mayor detalle las etapas de Planificación y Control de proyectos.

2.2.3. Planificación de Proyectos

La segunda tarea en la gestión de proyectos es la planificación. Durante esta tarea se produce la asignación de personas, tiempos, recursos, etc. Con el objeto de construir el producto. Los objetivos fundamentales que debe satisfacer la gestión de proyectos, figura 2.2, y que serán utilizados para evaluarlo son:

1. El cumplimiento de los plazos previstos para completarlo.
2. Cumplimiento del presupuesto del proyecto
3. La obtención de los resultados previstos (conforme a las especificaciones), es decir, conseguir la calidad requerida del proyecto.

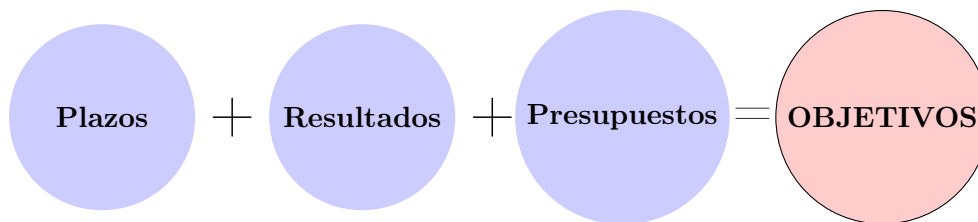


Figura 2.2: Esquema de componentes en la Gestión de Proyectos

Por tanto, lo primero que se deberá hacer es descomponer las fases del proyecto en actividades y tareas. A continuación se estimará la duración para cada tarea, posteriormente se establecerán las dependencias entre ellas y consecutivamente se asignarán los recursos disponibles previstos para ser utilizados en su desarrollo. Finalmente debe comprobarse y ajustar lo planificado obteniendo, además, un presupuesto. De lo expuesto se puede deducir que el PRESUPUESTO es la visión financiera de la utilización de los recursos que se han planificado.

Para la gestión adecuada de un proyecto, resulta esencial definir claramente los objetivos del proyecto. Esta etapa de definición del proyecto, denominada alcance del proyecto, debe contribuir a minimizar la incertidumbre que envuelve al propio proyecto, así como a fijar los criterios que definirán los criterios de éxito o fracaso.

En la definición del alcance del proyecto habitualmente se suele utilizarse la técnica de estructuración de proyectos denominada WBS (Work Breakdown Structure)[77] o Estructura de Desglose del Trabajo, en ella se

realiza una descomposición funcional de las actividades y tareas del proyecto, creando un listado de tareas organizadas en forma árbol jerárquico (figura 2.3 [fuentes FAA⁴]).

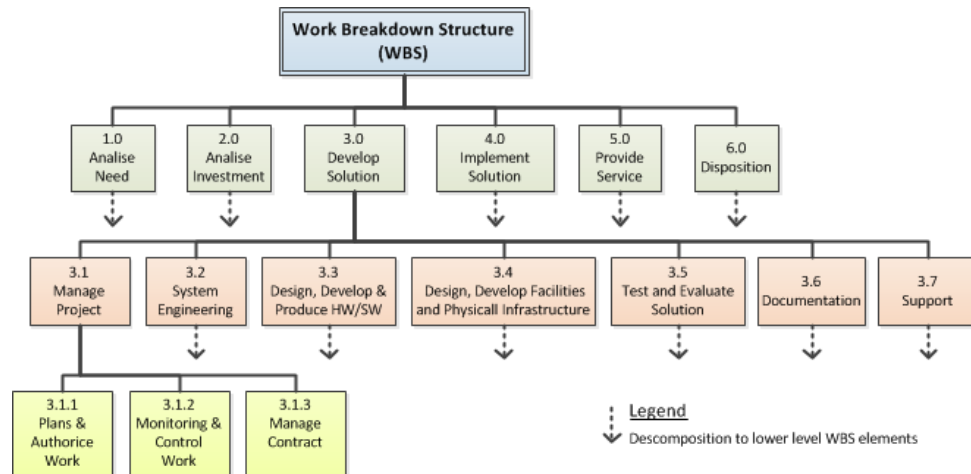


Figura 2.3: Ejemplo de Work Breakdown Structure (WBS)

El WBS no es únicamente una lista exhaustiva de los trabajos, más bien será una clasificación comprensiva que incluye a todos los trabajos del proyecto. Su objetivo es reducir la complejidad del proyecto, de manera que éste quede descompuesto en fragmentos constituidos por bloques de tareas hasta alcanzar el nivel de detalle deseado aun a riesgo de llegar a generar un gran volumen de tareas. Son ejemplos particulares de WBS las normas NPG 5600.2B, “Statements of Work (SOW): Guidance for Writing Work Statements” de la NASA⁵, el MIL-STD-881, “Work Breakdown Structure for Defense Material Items” del DoD⁶ de EE.UU. o el “Software Project Management” de la ESA⁷ (ESA PSS-05-08 Issue 1 Rev 1 - March 1995).

El trabajo del proyecto debe ser programado asignándole recursos de forma lógica dentro de un plan de trabajo. Se debe asignar la mano de obra al trabajo para su ejecución usando la Estructura de Descomposición de la Organización (Organization Breakdown Structure - OBS)(figura 2.4), dando así origen a la matriz de asignación de responsabilidades. Es el formalismo asociado a “Quién hace Qué”. Se representa en forma de una tabla y permite

⁴FAA (Federal Aviation Administration) es una agencia dependiente de *United States Department of Transportation* con autoridad para regular todos los aspectos relativos a la aviación civil en los EE.UU. (National Airworthiness Authority)

⁵NASA (National Aeronautics and Space Administration) es una agencia gubernamental del gobierno de los EE.UU., responsable de los programas espaciales de carácter civil nacionales.

⁶DoD (The United States Department of Defense) es la agencia departamental federal encargada de coordinar y supervisar todas las agencias y funciones relacionadas directamente con la seguridad nacional y militar en los EE.UU.

⁷ESA (European Space Agency) es una organización inter-gubernamental dedicada a la exploración del espacio.

asegurar que para cada elemento terminal existe, al menos, un responsable de su ejecución.

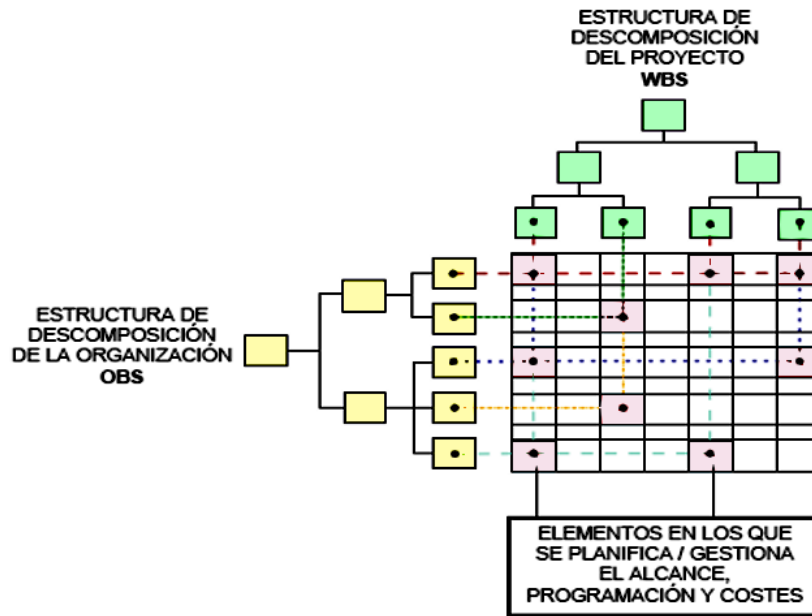


Figura 2.4: Ejemplo de Work Breakdown Structure y Organization Break-down Structure concatenados

Posteriormente el alcance, programación y costes, deben ser integrados y almacenados en un presupuesto, y luego se representa este presupuesto en la “línea base”. Cada elemento de trabajo debe ser dirigido por un individuo o equipo.

Si se utilizan esfuerzos discretos, es decir, aquellos que pueden ser medidos periódicamente, se puede utilizar el método 50/50. Con este método, se atribuye el 50 por ciento del trabajo a ser completado en el período en el que éste comienza. El 50 % restante se asigna cuando el trabajo esté concluido. La técnica 50/50 es la más eficiente en tareas pequeñas, de duración corta.

También se pueden usar los métodos 0/100 o el método 25/75. Para tareas de mayor duración, se pueden utilizar los HITOS, o la técnica del porcentaje total. Los hitos dividen el trabajo en varios segmentos que finalicen como eventos observables y se les asigna un valor a la terminación de cada uno de ellos. La técnica del porcentaje total es una de las más simples y fáciles, pero puede ser la más subjetiva de las técnicas de medición, ya que hace un estimado del porcentaje de trabajo completado para cada período.

Estimación de Proyectos Más que nunca y en todos los sectores, la “pérdida de control” de los procesos y de las aplicaciones que se desarrollan conlleva un número de consecuencias negativas.

Es muy difícil calcular con absoluta precisión el esfuerzo requerido para

desarrollar cualquier proyecto y en especial los de software, como se verá en el siguiente capítulo, debido a la gran cantidad de factores que intervienen en su realización, algunos de ellos inciertos o desconocidos. Sin embargo, las técnicas existentes para realizar los cálculos proporcionan un valor aproximado suficiente para el alcance del desarrollo del proyecto. Será siempre útil la experiencia previa en proyectos similares en la organización, así como la existencia de una base de datos con información relativa a métricas.

La primera tarea en la gestión de proyectos, como se mencionó, es la estimación. Para poder planificar un proyecto, es imprescindible previamente valorar su tamaño y el esfuerzo que se emplea para lograrlo, por lo tanto cobra una gran importancia esta tarea.

En la estimación debemos tener presente que se realiza una mirada al futuro, y en consecuencia tendremos un cierto grado de incertidumbre.

En muchos casos, las estimaciones se hacen valiéndose de la experiencia. Si un nuevo proyecto es bastante similar en tamaño y función a un proyecto del pasado, es muy posible y probable que el nuevo proyecto sea prácticamente lo mismo que el anterior.

Esta técnica de estimación basada únicamente en las experiencias pasadas, tomando situaciones y casos similares, no es siempre posible, y en especial en proyectos con características muy distintas.

Clasificación de Costes y Gastos Una vez estimada la duración y asignados los recursos disponibles para cada una de las tareas, se hace viable calcular el coste de las tareas y el coste total del proyecto. Estos costes se pueden dividir en directos e indirectos.

Los costes directos, y su importe puede obtenerse por suma de costes de cada una de las tareas y estos son:

- a. *Coste de materiales*: Este coste se determinará a partir de la lista de materiales definida en el proyecto. Sumando los costes de todos los materiales para todas las tareas se obtendrá este capitulado del presupuesto final.
- b. *Coste de recursos humanos*: Para cada tarea se calculará las horas de recurso planificadas y multiplicado por su precio resulta el coste de dicho recurso en la tarea en cuestión. Sumando los diferentes recursos se obtienen el coste de la tarea. Sumando los costes de todas las tareas se obtiene el presupuesto de recursos humanos.
- c. *Coste de equipamiento*: Se contabilizará, también, el alquiler de equipos, fungibles, etc. para el período de tiempo en que sea necesario su uso. Para el equipamiento propio se considerarán los gastos de mantenimiento y amortización.

También, se debe tener en cuenta, en el cálculo del presupuesto, unos

costes que podríamos denominar indirectos, y que son inherentes a la organización que soporta el proyecto y podríamos dividirlos en:

- a. *Gastos administrativos*: Son gastos derivados del uso de la infraestructura de la organización con la que se da soporte al proyecto, es habitual proponer un porcentaje fijo.
- b. *Gastos financieros*: Aquéllos en los que se incurra para la obtención, uso o devolución de capitales financieros puestos a la disposición del proyecto por terceras personas. Estos son función del capital financiado y del periodo desde que se realicen los desembolsos hasta la obtención de ingresos por el proyecto. Se deberá realizarse un plan de desembolsos y cobros, dependiente de la programación del proyecto y del tipo de contrato.

2.2.4. Control de Proyectos

Consiste en medir periódicamente el progreso del proyecto, a lo largo de todo el ciclo de vida del mismo. Dicho seguimiento debe establecer una visión adecuada del avance real del proyecto, de forma que la dirección pueda tomar las medidas oportunas cuando el desarrollo del proyecto se desvíe notablemente de los planes establecidos. El seguimiento es el proceso de obtención de información acerca del progreso, estado y trayectoria. Se deben identificar diferencias entre lo planificado y lo real, evaluar el avance del proyecto, adaptar el plan de acción, prever desviaciones y buscar soluciones a las mismas, crear históricos y contabilizar costes de cada actividad.

Una vez abordado el proyecto ha de realizarse un control de costes, plazos y trabajo realizado y llevar a cabo un seguimiento periódico de estos aspectos, comparando los valores programados con los datos reales, para constatar posibles desviaciones y poder tomar las acciones oportunas.

- Control de costes: A la hora de analizar los costes de un proyecto puede ser interesante poder analizar las curvas de costes tanto directos, indirectos como de costes totales. La creación de gráficos puede ayudar a detectar el mínimo de costes totales y analizar como aumentan los costes si se disminuye el tiempo. Así partiendo de la duración normal del proyecto se puede tratar de reducir la duración actuando sobre tareas del camino crítico con el menor incremento de coste. También puede resultar interesante contar con la información referente a los flujos de caja o *cash-flow*.

Técnica EVM (Earned Value Management): Un método de gran ayuda para realizar el seguimiento y control de proyectos es la Gestión del Valor Ganado. Dicho método permite conocer el progreso o grado de avance del proyecto y establecer previsiones (se verá de forma detallada en el capítulo 4).

- Gestión de riesgos: Es importante contar con una ficha estándar de definición de riesgos asociados a un proyecto en la que se recoja información detallada acerca de las causas, impactos o la probabilidad de aparición de cada uno de los riesgos identificados.
- Otras técnicas: Reuniones, entrevistas, encuestas, observación directa, catalogación, etc.

2.3. Herramientas y Técnicas en la Gestión de Proyectos

Para PMBOK®, la dirección y gestión de proyectos abarca nueve grandes áreas de conocimientos de la dirección de proyectos las cuales apoyan a los procesos de dirección de proyectos y define las entradas, herramientas, técnicas y salidas. Cada una de estas se centra en un área de conocimiento específica, ver figura 2.5, que seguidamente se enumeran:

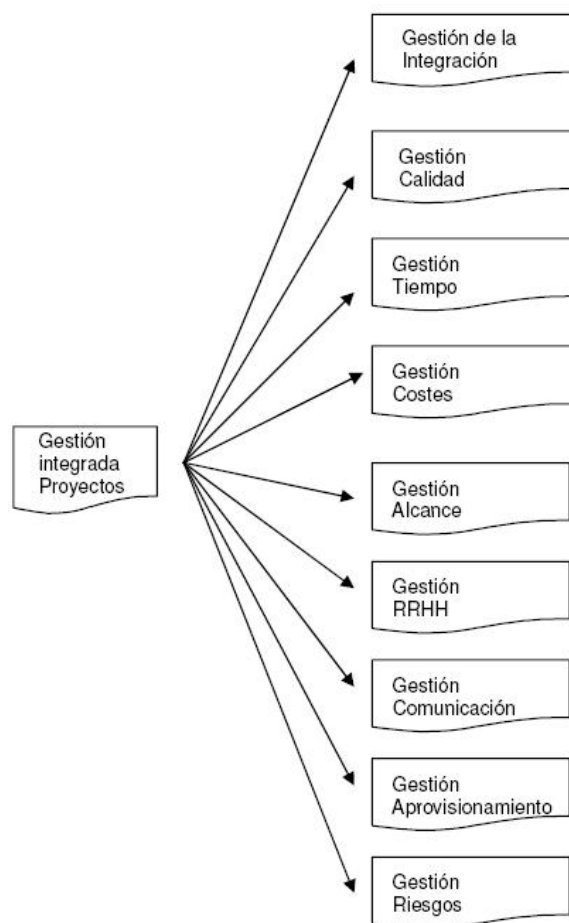


Figura 2.5: Áreas de conocimiento de un proyecto, según PMBOK®

- a. Integración del proyecto: Estudia las necesidades de coordinación entre los diferentes elementos del proyecto. Para ello resulta fundamental la planificación global del proyecto, el seguimiento de su desarrollo, y el control de los cambios, a lo largo del diseño, planificación y ejecución del proyecto. Es decir, comprende todos los procesos necesarios para asegurar que los distintos elementos del proyecto van a ser coordinados adecuadamente. La integración de proyectos tiene un carácter genérico (es transversal al resto), debiendo estar presente en todas las áreas de la dirección y gestión del proyecto.
- b. Definición y alcance del proyecto: Tiene por objeto asegurar que todos los trabajos necesarios para terminar con éxito el proyecto sean considerados y previstos. Debe analizarse completamente el ciclo de vida del proyecto. Comprende los procesos de planificación, definición, verificación y control de cambios en el alcance.
- c. Plazos del proyecto: Tratará de conseguir que el proyecto termine en los plazos establecidos. Incluye la definición de las actividades, su ordenación, la estimación de la duración de las actividades, el desarrollo de estas y el control del cumplimiento del programa.
- d. Costes del proyecto: Tiene como objetivo asegurarse que el proyecto se concluya con el presupuesto aprobado. Necesita de la planificación de recursos, estimación de costes, cálculo de costes y control de los mismos.
- e. Calidad del proyecto: Incluye los procesos necesarios para asegurar que el proyecto cubrirá las necesidades y especificaciones para las que fue diseñado. Consta de planificación de la calidad y el aseguramiento de la calidad y control de la misma.
- f. Recursos humanos del proyecto: Su objeto es optimizar el aprovechamiento de la labor de las personas asignadas al proyecto. Requiere estudiar la organización de dichas personas, su selección y contratación, y la dirección del funcionamiento del equipo.
- g. Información y comunicaciones en el proyecto: Su objetivo es facilitar la adecuada generación, recepción, difusión, almacenamiento y archivo de la información del proyecto. Requiere la planificación de comunicaciones, la distribución de información, la elaboración de informes, así como la documentación necesaria para el cierre administrativo del proyecto.
- h. Riesgos del proyecto: Tiene como objetivo identificar los factores de riesgo en el proyecto, analizar sus posibles repercusiones, y preparar la posible respuesta ante los mismos. Requiere definir las causas de riesgo, cuantificar su impacto, desarrollar las respuestas ante los riesgos existentes, y controlar la implementación de las respuestas previstas

- i. Compras, suministradores y contratos en el proyecto: Estudia los procesos necesarios para adquirir bienes y servicios fuera de la organización donde se desarrolla el proyecto. Requiere la planificación de los aprovisionamientos, la selección de los proveedores, la elaboración y tramitación de las ofertas y contratos, y el cierre de los mismos.

Basta con haber enumerado estas grandes áreas, para comprender el enorme campo de conocimientos que abarca la dirección y gestión de proyectos.

La correspondencia entre grupos de procesos y áreas de conocimiento de la dirección de proyectos puede verse en la figura 2.6.

Knowledge Areas	Project Management Process Groups				
	Initiating Process Group	Planning Process Group	Executing Process Group	Monitoring & Controlling Process Group	Closing Process Group
Project Integration Management	4.1 Develop Project Charter	4.2 Develop Project Management Plan	4.3 Direct and Manage Project Execution	4.4 Monitor and Control Project Work 4.5 Perform Integrated Change Control	4.6 Close Project or Phase
Project Scope Management		5.1 Collect Requirements 5.2 Define Scope 5.3 Create WBS		5.4 Verify Scope 5.5 Control Scope	
Project Time Management		6.1 Define Activities 6.2 Sequence Activities 6.3 Estimate Activity Resources 6.4 Estimate Activity Durations 6.5 Develop Schedule		6.6 Control Schedule	
Project Cost Management		7.1 Estimate Costs 7.2 Determine Budget		7.3 Control Costs	
Project Quality Management		8.1 Plan Quality	8.2 Perform Quality Assurance	8.3 Perform Quality Control	
Project Human Resource Management		9.1 Develop Human Resource Plan	9.2 Acquire Project Team 9.3 Develop Project Team 9.4 Manage Project Team		
Project Communications Management	10.1 Identify Stakeholders	10.2 Plan Communications	10.3 Distribute Information 10.4 Manage Stakeholder Expectations	10.5 Report Performance	
Project Risk Management		11.1 Plan Risk Management 11.2 Identify Risks 11.3 Perform Qualitative Risk Analysis 11.4 Perform Quantitative Risk Analysis 11.5 Plan Risk Responses		11.6 Monitor and Control Risks	
Project Procurement Management		12.1 Plan Procurements	12.2 Conduct Procurements	12.3 Administer Procurements	12.4 Close Procurements

Figura 2.6: Correspondencia entre Procesos y Áreas en PMBOK®

Marco teórico en la Gestión de Proyectos Software

"Calidad significa hacer lo correcto cuando nadie está mirando."

Henry Ford.

RESUMEN: En este capítulo se realiza análisis de la situación actual de los proyectos relacionados con el software, de dónde se viene, haciendo énfasis en la importancia de la planificación, como paso previo a la gestión y seguimiento de los proyectos.

Para finalizar se indican las técnicas utilizadas en la planificación y estimación de los proyectos, con el objeto de llevarlos a buen puerto.

3.1. Introducción

Es conocido el grado de importancia del software en la sociedad actual, como señala Pressman [78]: *"El software de computadora se ha convertido en el alma mater. Es la máquina que conduce a la toma de decisiones comerciales. Sirve de base para la investigación científica moderna y de resolución de problemas de ingeniería. Es el factor clave que diferencia los productos y servicios modernos. Está inmerso en sistemas de todo tipo: de transportes, médicos, de telecomunicaciones, militares, procesos industriales, entretenimientos, productos de oficina, la lista es casi interminable. El software es casi ineludible en un mundo moderno. A medida que nos adentremos en el siglo XXI, será el que nos conduzca a nuevos avances en todo, desde la educación elemental a la ingeniería genética"*.

Las inversiones en software no han parado de aumentar. Boehm [12] estimó que el gasto en Estados Unidos para el desarrollo y mantenimiento del software fue de 70 billones de dólares en el año 1985 y alcanzó la cantidad de

225 billones en 1995, y los 450 billones para todo el mundo [13]. Las cantidades son análogos en los inicios del siglo XXI [78], según un estudio realizado por Gartner, Inc. en este año [34], los gastos globales en IT ascienden a un total de 3.575'8 billones de dólares. Estos gastos son sobradamente elevados como para prestar una especial atención a los proyectos que los generan.

Y es que el desarrollo de software está afectado por tres graves problemas: costes muy por encima de lo calculado, entrega fuera de vencimiento y escasa calidad del producto. El número de fracasos en el desarrollo de software no desciende suficientemente. Según Reel en Pressman [78] en 1988 los datos de la industria del software indicaron que el 26 % de los proyectos software fallaron completamente y que el 46 % experimentaron un desbordamiento en el plazo de ejecución y en el coste.

A finales del año 2001, Daniel Piorum realizó un estudio con aproximadamente cincuenta responsables de proyectos, con objeto de estudiar las causas que originan los fracasos en los proyectos informáticos. En el mencionado estudio indicó que cerca de un 20 % de los proyectos informáticos iniciados finalizan de forma correcta mientras que el restante 80 % se terminan con algún tipo de problema.

Según C.A. Dekkers, dos tercios de los proyectos de software que se ejecutan duran más y gastan más presupuesto, es importante que la alta dirección comprender el valor de las técnicas de estimación correcta, y que sus estimadores sean tan precisos como sea posible. Dekkers [25] describe las técnicas de estimación formal, las herramientas de estimación precisa de software, la mala interpretación de la estimación, la fijación de objetivos y la exactitud de las estimaciones.

	Año 1994	Año 2001	Año 2009
% Proyectos finalizados con éxito	16 %	28 %	32 %
% Proyectos no satisfactorios	53 %	49 %	44 %
% Proyectos finalizados con fracaso	31 %	23 %	24 %
Desviación media en costes	189 %	45 %	55 %
Desviación media en tiempo	222 %	63 %	80 %

Tabla 3.1: Evolución de porcentajes de proyectos por estado según el *Standish Group*

Otras fuentes que realizan informes y análisis estadísticos de los resultados de los proyectos informáticos, los informes de las investigaciones CHAOS Report (Standish Group 1994, 2001 y 2010) [38] (tabla 3.1) son los más contrastados y aceptados a nivel mundial en la industria de las TI (tecnologías de la información) y representan décadas de datos que indican resultados de éxito o fracaso de los proyectos. Estos informes indican la alta tasa de fracasos o cancelaciones (tabla 3.1) en los proyectos software. Según este estudio, los proyectos se clasifican en tres tipos:

- a. Finalizado con éxito (*succeeded*): Si se completa a tiempo, dentro de presupuesto y cumpliendo con todas sus características y funciones descritas.
- b. No satisfactorio (*challenged*): El proyecto se completa y es operacional, pero con desvío en presupuesto y tiempo y con menos características y funciones de las que fueron definidas originariamente.
- c. Finalizado con fracaso (*failed*): El proyecto fue cancelado antes de completarse.

Como puede observarse en la tabla 3.1, a pesar del porcentaje de proyectos que han terminado con éxito en el año 2001 sigue siendo muy bajo (28 %) y continua siendo desalentador (32 %) en el año 2009. Por otro lado, el resto de los parámetros continúan siendo malos a pesar de los años transcurridos.

Otras de las causas de fracaso en la gestión de proyectos son los cambios en la gestión de personal, los hallazgos más significativos realizados por Parker [73], indican que el cambio en el volumen de negocios se presenta predominantemente en la fase de ejecución del ciclo de vida del proyecto. Los resultados confirman que la alteración del volumen de negocios y por replanificación cambios de los eventos afecta negativamente al rendimiento del equipo del proyecto.

Con todos estos datos, se hace clara la necesidad de contribuciones que permitan construir software de forma que se garantice no solo su calidad, fiabilidad, sencillez y robustez, sino que presente un coste razonable y plazos de entrega acertados.

Según indica Zavala [93], en el año 2004, a pesar de que una gran parte de los proyectos de software son llevados por personal altamente especializado y cualificado, “*la percepción que se tiene de la industria del software es que es una industria sólida pero sorprendentemente no se caracteriza por la alta calidad generalizada de sus productos y servicios*”.

Los proyectos de software son notoriamente complejos y difíciles de estimar con precisión. Muchos autores se han referido a la estimación como un arte oscuro. La estimación precisa de un proyecto consiste en analizar cuidadosamente los datos desde muchos aspectos diferentes del proyecto, y utilizando una serie de técnicas diferentes para obtener la mejor estimación posible con la información disponible o suministrada. Incluso entonces, en función de la exactitud de la información del proyecto y en qué punto de su ciclo de vida del proyecto se encuentra este, la estimación puede no ser todavía muy cercana a los valores reales de la finalización del proyecto.

3.2. Marco de los Proyectos de Software

Durante largo tiempo el proceso de desarrollo de software fue considerado como un arte y dejado a la experiencia propia del jefe del proyecto. Los

proyectos eran gestionados más por consideraciones técnicas, que las propias de gestión. Las fases de estimación y de planificación eran más un mero acto formal al principio del proyecto que una técnica necesaria para llevar a buen fin el objetivo del proyecto.

Después, el seguimiento y control se llevaba a cabo sin un mínimo de rigor, dada la baja calidad de la estimación y la planificación hecha. Mientras los proyectos no han tenido una complejidad alta, la embriaguez de la tecnología ha dominado el mercado. Se ha considerado como aceptable y natural los errores y desviaciones en costes y tiempo en la estimación de los proyectos. La realidad era que nadie estaba obligado a saber exactamente cuándo se terminará el proyecto ni cuánto costaría.

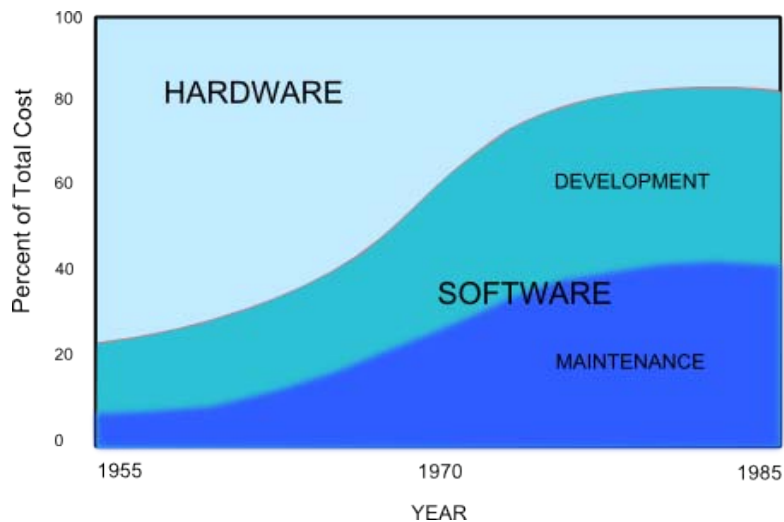


Figura 3.1: Hardware and Software Cost Trends (fuente [42])

A medida que los costes de desarrollo y mantenimiento del software se incrementan se hace necesario predecirlos y vigilarlos (figuras 3.1). Esto es algo que hasta no hace mucho los técnicos de software han realizado con mucha dificultad. En la medida que ha crecido la experiencia, se han diseñado técnicas (métricas) para el desarrollo de las especificaciones y de diseño.

Estas métricas están relacionadas con el desarrollo del software como funcionalidad, complejidad, eficiencia y podríamos agruparlas como sigue:

- **Métricas Técnicas:** Se centran en las características de software, por ejemplo: la complejidad lógica, el grado de modularidad, etc. Este tipo de métricas miden la estructura del sistema (el cómo esta hecho).
- **Métricas de Calidad:** Proporcionan una indicación de cómo se ajusta el software a los requisitos implícitos y explícitos del cliente. Es decir, cómo se mide para que el sistema diseñado se adapte a los requisitos que pide el cliente.

- Métricas de Productividad: Se centran en el rendimiento del proceso de la ingeniería del software. Esto es, que tan productivo va a ser el software que se diseña.
- Métricas Orientadas a la Persona: Proporcionan medidas e información sobre la forma que el equipo desarrolla el software y sobre todo el punto de vista humano de la efectividad de las herramientas y métodos. Son las medidas que se realizarán del personal que realiza el sistema.
- Métricas Orientadas al Tamaño: Determinan el tiempo que se utilizará en desarrollar el software y cuantos recursos humanos serán necesarios (LDC - Líneas De Código). Son medidas directas al software y el proceso por el cual se desarrolla.
- Métricas Orientadas a la Función: Son medidas indirectas del software y del proceso por el cual se desarrolla. En lugar de calcular las LDC, las métricas orientadas a la función se centran en la funcionalidad o utilidad del programa producido.

En la actualidad, estas técnicas pueden enseñarse y emplearse según pautas muy concretas. No obstante, se ha puesto de manifiesto que el uso sistemático de estas técnicas para la especificación y el diseño de software no ha resuelto en la actualidad el problema de la elaboración del software. La consecuencia es que no es condición suficiente aplicar las etapas del proceso de construcción de software y esperar un producto satisfactorio al final del mismo.

El proceso de producción del software tiene que ser dirigido y gestionado de una forma rigurosa y cuantitativa. Así, se podrá comprobar que el trabajo realizado en cada fase se ejecutó totalmente y dentro de los plazos de coste y tiempo señalados y de acuerdo con modelos de calidad especificados.

Un Proyecto Software, aun siendo un tipo especial de proyecto [63], como cualquier otro proyecto, puede considerarse como un proceso que consume recursos, que está unido a una serie de objetivos y limitado por una serie de restricciones de tipo temporal o económico dentro de unos parámetros pactados de calidad.

Sin embargo los productos software tienen una serie de características diferenciadoras que los hacen distintos a los otros tipos de proyectos:

- Invisibilidad: El producto software no es un producto tangible o palpable.
- Complejidad: En ocasiones, el producto software puede resultar muy complejo de realizar en todas sus fases.
- Requiere mayor flexibilidad.
- Uso de técnicas y métodos se puede considerar aun inmaduros.

- Posee mayores dificultades para determinar la calidad.
- Difícil estimación: En ocasiones puede resultar difícil realizar una estimación del esfuerzo que supone llevar adelante un proyecto software dentro de los parámetros estándar.
- Esta englobado en medios cambiantes, variados e importantes.

Existen diferentes clasificaciones en los proyectos de software, por ejemplo centrándose en el tamaño, se podrían tener Proyectos pequeños, medianos y grandes. Otra clasificación posible atendiendo al criterio del grado de libertad de los objetivos perseguidos y el riesgo de ejecución, es: Proyectos de investigación básica, proyectos de investigación aplicada, proyectos de investigación y desarrollo y proyectos de construcción de cualquier elemento.

En función de la clasificación establecida, se pueden distinguir distintos tipos de proyectos informáticos. Grompone [37], en 1996, propone una clasificación de los proyectos de software, dada la naturaleza del trabajo desde el punto de vista de su gestión:

- Diseño y Desarrollo: Es el proceso de creación de un sistema o software.
- Equipamiento: Es el proceso de adquisición de equipos, software, hardware o de determinados servicios.
- Implantación: Es el proceso de verificar e instalar nuevos equipos, entrenar a los usuarios, instalar la aplicación y construir todos los archivos de datos necesarios para utilizarla.
- Parametrización: Es el proceso de configuración de determinados parámetros para adaptar el software o el sistema a los requerimientos de los usuarios.
- Mejoramiento, ampliación o reposición: Es el proceso de mejora y optimización del sistema (mantenimiento perfectivo), así como también, corrección de los defectos (mantenimiento correctivo) y realización de modificaciones para la adaptación a nuevas necesidades (mantenimiento adaptativo).
- Ingeniería de procesos: Se diseñan, desarrollan y evalúan los procesos productivos. *“Proceso o conjunto de procesos usados por una organización o proyecto, para planificar, gestionar, ejecutar, monitorizar, controlar y mejorar sus actividades software relacionadas”* [ISO/IEC 15504]

3.3. Gestión de Proyectos Software

¿Qué entendemos por gestión del proyecto de desarrollo de software? *“La gestión del proyecto consiste en la utilización de las técnicas y actividades*

de gestión requeridas para conseguir un producto software de alta calidad, de acuerdo con las necesidades de los usuarios, dentro de un presupuesto y con una planificación de tiempos establecidos previamente” [69].

El número de tareas posible en el área de gestión de un proyecto es muy numerosas, como pudimos ver en el capítulo anterior. Sin embargo tres, de estas, deben ser desarrolladas correctamente y en el orden adecuado si se desea que el proyecto termine correctamente, Planeamiento, Estimación y Seguimiento.

Las dos primeras tareas se verán de manera genérica seguidamente y la tercera se verá en detalle en el capítulo siguiente.

3.3.1. Planificación en los proyectos software

La planificación efectiva de un proyecto de software depende de la planificación detallada de su avance, anticipado problemas que puedan surgir y preparando con anticipación soluciones tentativas a ellos. Se supondrá que el director del proyecto es responsable de la planificación desde la definición de requisitos hasta la entrega del sistema terminado y están relacionados con las estructuras organizativas mencionadas en el capítulo anterior (Punto 2.2.1) y los planes construidos para la ejecución del proyecto.

Los planes mencionados, a continuación, generalmente son obligatorios para los grandes sistemas, sin embargo estos también son validos para sistemas pequeños.

- Plan de fases. Se analiza el ciclo de desarrollo del proyecto como es: análisis de requisitos, fase de diseño de alto nivel, fase de diseño de bajo nivel, etc. Asociada con cada fase debe de haber una fecha que especifique cuando se debe terminar estas fases y una indicación de como se pueden solapar las distintas fases del proyecto.
- Plan de organización. Se definen las responsabilidades especificas de los grupos que intervienen en el proyecto.
- Plan de pruebas. Se hace un esbozo general de las pruebas y de las herramientas, procedimientos y responsabilidades para realizar las pruebas del sistema.
- Plan de control de modificaciones. Se establece un mecanismo para aplicar las modificaciones que se requieran a medida que se desarrolle el sistema.
- Plan de documentación. Su función es definir y controlar la documentación asociada con el proyecto.
- Plan de capacitación. Se describe la preparación de los programadores que participan en el proyecto y la formación a los usuarios para la utilización del sistema que se les entregue.

- Plan de revisión e informes. Se analiza cómo se informa del estado del proyecto y se definen las revisiones formales asociadas con el avance de proyecto.
- Plan de instalación y operación. Se describe el procedimiento para instalar el sistema en la localización definida por el cliente.
- Plan de recursos y entregas. Se resumen los detalles críticos del proyecto como fechas programadas, marcas de logros y todos los artículos que deben entrar bajo contrato.
- Plan de mantenimiento. Se establecen los tipos de mantenimientos que se tienen que dar al nuevo sistema.

3.3.2. Estimación del esfuerzo en los proyectos software

Dado el progreso actual, los avances tecnológicos que disminuyen cada vez más los dispositivos hardware, se invirtió el escenario de tiempos atrás, el coste del software proporcionaba la porción menor del coste final de un sistema informático, no se requería mayores exactitud ya que con un error considerable en las estimaciones iniciales del coste software tenía relativamente poco peso en el monto final. Hoy en día, el desarrollo del software es el elemento más gravoso de la mayoría de los sistemas informáticos. Un error en la apreciación de los coste de su puesta en producción puede ser inexcusable en términos económicos y puede suponer la diferencia entre beneficios y pérdidas.

La estimación del tamaño de un proyecto software, del esfuerzo y de los costes, no constituirá nunca una ciencia exacta; no obstante a través de la Ingeniería del Software pueden desarrollarse prácticas que traten de delimitar la incertidumbre y en consecuencia disminuir los posibles fallos en la estimación que pueden producir grandes perjuicios económicos.

En este apartado podremos obtener una visión de algunos modelos que se describen en la documentación científica, y que se utilizan o se han utilizado en la estimación del coste del software. Muchos de ellos ya han sido mencionados en las clasificaciones de las citas [9, 11, 16, 24, 26, 28, 52, 90].

- a. *SDC - System Development Corporation (1965-1967)* En 1964, la USAF (United States Air Force) junto con la empresa SDC, trabajaron juntas para estimar el coste de un proyecto. El propósito era obtener una serie de ecuaciones que permitieran estimar el coste de diseño, codificación y prueba de un programa. En 1967 ya tenían recopilado 104 atributos obtenidos de 169 proyectos de software completados.

- b. *Modelo de Farr and Zagorski (1965)* Este modelo los autores [29] enunciaron trece factores de productividad, los cuales influyen sobre la productividad del programador. Estos factores se determinarían mediante análisis de regresión de los datos de coste. Los factores dominantes fueron el número de instrucciones entregadas, documentos de uso interno y externo, y el número de palabras de la base de datos. Para estimar el esfuerzo en persona-mes (*men-month*), se desarrollaron tres ecuaciones lineales similares a las del modelo SDC.
- c. *Aron (1969)* J. D. Aron, de IBM, estudió diferentes métodos para estimar el coste del software [6]. Observó que el equipo de desarrollo de un proyecto de software se va incrementando gradualmente hasta que alcanza un máximo, que se encuentra aproximadamente en la fase de pruebas, y luego disminuye hasta la terminación del producto. Aron propuso varios métodos (basado en la experiencia, en restricciones, en unidades de trabajo y en estimación cuantitativa) para estimar los costes del software.
- d. *Modelo NAVAIR - NAVal AIR Development Center Model (1971)* Este modelo se usó para predecir el coste total en investigación, desarrollo, test y evaluación de nuevos sistemas de aviónica [17]. Utiliza una ecuación lineal parecida a la segunda ecuación del modelo de Farr-Zagorski para estimar el esfuerzo requerido en persona-mes. La diferencia principal estriba en que el esfuerzo en documentación se triplica.
- e. *PRICE H - RCA (1973)* Se trata de una herramienta de estimación del coste hardware desarrollada en la década de los 60, del siglo pasado, por Frank Freiman en RCA PRICE Systems. Estuvo disponible comercialmente a partir de 1973. PRICE H fue la primera herramienta de estimación del coste implementada en ordenador, y se extendió para manejar la estimación de software en 1979 (PRICE S).
- f. *Walston y Felix / IBM-FSD (1977)* En 1972 Walston y Felix comenzaron un proyecto de medidas software en la Federal Systems Division de IBM, con el objetivo de valorar los efectos del uso de la programación estructurada sobre el proceso de desarrollo software. Se recogieron datos de 60 proyectos, se trazaron las relaciones entre las líneas de código desarrolladas y el esfuerzo, y mediante regresión de mínimos cuadrados se obtuvieron las ecuación que lo modelaban [91].
- g. *SLICE - System Life Cycle Estimation (1977)* Este modelo fue desarrollado por A. L. Kustanowitz [54]. Se fundamenta en el desarrollo de

un perfil del proyecto, determinando las fases más importantes del proceso de desarrollo y asignando un porcentaje del esfuerzo total a cada una de esas fases. Se determinan los rangos (valor máximo y mínimo) de productividad esperada en MM basándose en el tipo de aplicación desarrollada, la experiencia, el entorno de desarrollo y el lenguaje de programación utilizado en cada una de esas fases.

- h. *Modelo de Putnam (1978)* Larry Putnam basó su modelo [81] en el trabajo de Norden y Aron. Tras diferentes estudios, observó la existencia de relaciones entre el esfuerzo y el tiempo. Conte [24] criticó este modelo, ya que diversas propiedades controvertidas del mismo lo hacen poco exacto. Aún así, este modelo fue la base de SLIM, que fue la segunda herramienta de estimación del coste que salió al mercado. Actualmente SLIM se comercializa como SLIM-Estimate por la compañía de Larry Putnam, Quantitative Software Management.
- i. *Modelo COCOMO - COConstructive COst MOdel(1979)* El modelo fue desarrollado por Barry Boehm en 1979 y descrito en su libro Software Engineering Economics [11], se le conoce como COCOMO 81 para diferenciarlo del modelo COCOMO II, desarrollado posteriormente. Se trata de uno de los modelos de coste del software más conocidos y mejor documentados, estando formado tanto por ecuaciones de estimación de esfuerzo como de estimación de tiempo.
- j. *Modelo PRICE S - RCA (1979)* PRICE S (Programming Review of Information Costing and Evaluation - Software) fue desarrollado por Frank Freiman y Robert Park en RCA para uso interno. En 1977 fue lanzado como modelo propietario y usado por el DoD (Department of Defense) de EEUU, la NASA, y otros proyectos de software del gobierno estadounidense. Las ecuaciones del modelo no se hicieron públicas. En 1979 se convirtió en la primera herramienta software de estimación del coste.
- k. *FPA - Function Point Analysis (1979)* Desarrollado por Alan Albrecht y John Gaffney de IBM [2] para estimar el tamaño y el esfuerzo de desarrollo para un sistema de información de gestión. Se crea como una alternativa a la estimación del tamaño de un producto software mediante líneas de código fuente (SLOC - Source Lines Of Code). Los puntos de función tienen mayor nivel de abstracción que las SLOC, teniendo en cuenta aspectos como el número de tipos de transacciones de entrada o el número de informes distintos generados por el sistema. FPA fue adaptándose y ha sido reconocido como método de medición

del tamaño de la funcionalidad del software que satisfacen las normas ISO/IEC 14143 en : MK II FPA (ISO/IEC 20968, 2002), NESMA FPA (ISO/IEC 24570, 2005), IFPUG FPA (ISO/IEC 20926, 2009), FISMA 1.1 (ISO/IEC 29881, 2010) y COSMIC FFP (ISO/IEC 19761, 2011) [23, 62].

- l. *Putnam SLIM (1979)* SLIM (Software Lifecycle Management) fue desarrollado por Larry Putnam y Ann Fitzsimmons [82][83] en Quantitative Software Management (QSM) en 1979, empresa fundada por ellos mismos. Se trata de la segunda herramienta comercial de estimación del coste del software, y puede encontrarse en SLIM-Estimate by QSM.
- m. *Modelo Jensen (1979)* Desarrollado por Randall Jensen en Hughes Aircraft Co. [44]. Usa una ecuación de escalado nominal, similar a la de Putnam, y un conjunto de “cost drivers” muy parecidos a los usados en los modelos Doty y COCOMO. Este modelo fue la base de una serie de herramientas comerciales de estimación, tales como CEI, JS1, JS2, JS3 (Jensen Systems 1, 2 y 3), y el producto GAI SEER-SEM (1989). El modelo Jensen II finalizó en 1995, y es la base de la herramienta SAGE, comercializada por Software Engineering Institute.
- n. *COCOMO II (1995)* Se trata de la segunda versión de COCOMO 81, y aunque tienen el mismo nombre están sometidos a grandes diferencias [10]. Este modelo está compuesto, a su vez, por tres submodelos. Existen varias herramientas basadas en este modelo: COCOMO II. 1999.0 desarrollada por el equipo de la Universidad del Sur de California que ha automatizado el modelo teórico y es gratuita y COSTAR, desarrollada por Costar16, es una herramienta interactiva que permite realizar seguimientos de proyectos, así como realizar experimentos de simulación.
- ñ. *SPR Checkpoint (1996)* Checkpoint es una herramienta de Software Productivity Research (SPR), y desarrollada por Capers Jones [45][46]. Las ecuaciones de estimación han sido inferidas a partir de una base de datos propietaria de 8000 proyectos de software, centrando su atención en cuatro tareas que necesitan gestionarse para mejorar la calidad software y la productividad. Checkpoint usa puntos de función como variable principal de tamaño. SPR Checkpoint tuvo su continuación en SPR Knowledge PLAN perteneciente a Software Productivity Research.

- o. *COBRA (1998)* Se trata de un modelo de estimación híbrido, que combina aspectos algorítmicos y experimentales [15]. El núcleo de COBRA está formado por dos componentes. El primer componente es un modelo que produce una sobre-estimación del coste. Y el segundo componente es un modelo de productividad que estima la productividad a partir de esa sobre-estimación.
- p. *SELECT (1998)* SELECT procede del nombre de la empresa que la ha desarrollado The Object Factory SELECT Software Tools¹⁸ (SELECT Software Tools 1998). Este modelo ha sido diseñado para sistemas distribuidos de gran tamaño. Está orientado a objetos y fundamenta sus estimaciones en componentes. Utiliza un ciclo de vida de desarrollo incremental, pero puede ser adaptado para otros modos de desarrollo.

Las prácticas anteriormente mencionadas permiten estimar el esfuerzo y en función de este, calcular, por lo tanto, el coste de forma precisa [23, 62], facilitando las siguientes fases en la ejecución de un proyecto.

En conclusión, la llave del éxito en la gestión del desarrollo de software son: una correcta estimación del proyecto de desarrollo de software y una adecuada gestión del mismo.

Gestión del Seguimiento y Control de los Costes de Proyectos

“Los que emplean mal su tiempo son los primeros en quejarse de su brevedad”.

Jean de la Bruyere

RESUMEN: En este capítulo se analiza la técnica de seguimiento y control de proyectos denominada Earned Value Management (EVM), sus conceptos principales y cómo se implementa dentro del control de proyectos. Se describe su utilización en el capítulo siete (apartado 7.3.2) del PMBOK® (4ª edic. - 2008) del Project Management Institute (PMI®) y se ha plasmado en un estándar (ANSI¹/EIA²-748-A-1998).

Earned Value Management es una de las herramientas de medición de desempeño y de retroalimentación más efectivas para gestionar los proyectos y uno de los métodos más eficaces para diagnosticar a tiempo variaciones de coste y de plazo de ejecución.

4.1. Introducción

El control del coste y medición del desempeño es un arma vital para los equipos de gestión del proyecto ya que la información obtenida puede revelar

¹American National Standards Institute (ANSI) .- Organización sin ánimo de lucro que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos.

²Electronic Industries Alliance (EIA) .- Organización privada para las industrias de productos electrónicos en los Estados Unidos.

tendencias del proyecto con la suficiente antelación como para advertir posibles desviaciones y aplicar los planes establecidos para estos casos. Si esta información no estuviera disponible, los problemas con los costes no serían detectables.

Según el Project Management Institute (PMI®), el Earned Value Management (EVM) ha demostrado ser uno de los métodos más eficaces para la medición del rendimiento y una buena herramienta de retroalimentación para la gestión de proyectos [5], permitiendo que el director del proyecto detecte los problemas, reales o potenciales, desde la fase inicial de ejecución del mismo.

El capítulo siete del PMBOK® (4ª edic. - 2008) plantea como un elemento a considerar la Gestión de los Costos del Proyecto, que incluye los procesos involucrados en estimar, presupuestar y controlar los costes de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado. En la figura 4.1 se puede observar un esquema general del capítulo 7, sobre la Gestión de los Costes del Proyecto. También, se establecen pautas para el cálculo del desempeño proponiendo la utilización de la gestión del valor ganado (EVM) que integra las mediciones del alcance del proyecto, coste y cronograma para ayudar al equipo de dirección del proyecto a evaluar y medir el desempeño y el avance del proyecto durante la ejecución del mismo.

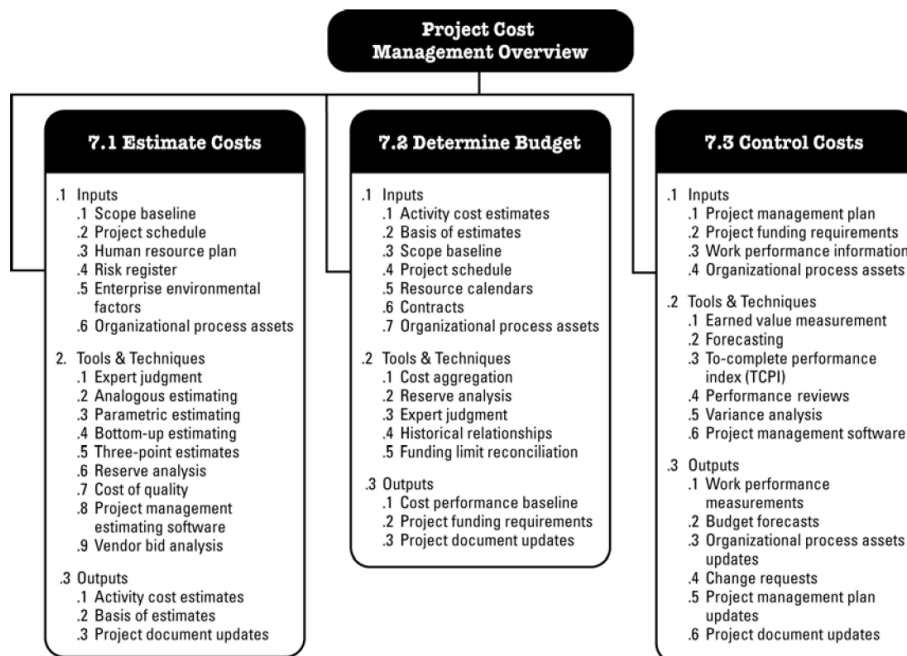


Figura 4.1: Descripción General de la Gestión de los Costes del Proyecto en PMBOK®

A su vez define el Controlar los Costes como *“el proceso por el que se monitoriza la situación del proyecto para actualizar el presupuesto del mismo y gestionar cambios a la línea base de coste”*.

Los principios del Earned Value Management pueden aplicarse a todos los proyectos, en cualquier tipo de industria.

El Project Management Institute es un firme impulsor del Earned Value Management, por su capacidad de monitorizar con exactitud el tiempo y las variaciones de costes para proyectos complejos. Permite la combinación de criterios en el estudio de los resultados del proyecto, dado que se obtienen apreciaciones diferentes al solicitar información del rendimiento de diferentes miembros o equipos, resultado del hecho porque posiblemente calculan de distinta manera su tiempo y su progreso. Utilizando Earned Value, se establece un método uniforme para determinar del avance y grado de cumplimiento del plan del proyecto hasta el momento actual y proporciona el Valor del Trabajo Realizado (medición del desempeño).

4.2. Concepto de EARNED VALUE

Podemos definir Earned Value como un enfoque en el que se supervisa el plan del proyecto, el trabajo real y el valor del trabajo realizado de un proyecto en ejecución. Earned Value es un concepto que en los últimos tiempos ha alcanzado una notable popularidad en el campo de la gestión de proyectos a nivel mundial.

El Valor Acumulado indica qué parte del presupuesto y del tiempo se ha gastado, en el trabajo realizado hasta la fecha.

En Earned Value Management (EVM) se define comúnmente como una técnica de gestión que se relaciona con la planificación de recursos y el uso de la programación temporal y los requisitos técnicos de funcionamiento [1]. Este concepto, se ha utilizado desde 1960, por el Department of Defense (USDOD, DOD o DoD) de los Estados Unidos, como parte central de la C/SCSC (Cost/Schedule Control Systems Criteria) (figura 4.2). Recientemente, el DoD ha revisado los treinta y cinco criterios que figuran en el C/SCSC y ha producido los treinta y dos criterios para EVMS (Earned Value Management Systems) [32]. Los treinta y dos criterios³ consisten en una serie premisas o propuestas que definen los requisitos mínimos que debía cumplir un sistema de control de gestión de proyectos aceptable (buenas prácticas), fueron desarrollados tras un estudio de las mejores prácticas de gestión norteamericanas del momento.

Para el DoD, el Earned Value Management surgió originalmente como una extensión de la metodología de planificación utilizada en 1960, pero se convirtió en su propia metodología en 1967 con la introducción de los

³En el Anexo I - se puede ver un resumen de los criterios proporcionados por ANSI/EIA-748

criterios y políticas de control de coste/tiempo para la adquisición de nuevos sistemas. La metodología se aplicó ampliamente por varios organismos del Gobierno Federal de los Estados Unidos, especialmente para proyectos a gran escala. Sin embargo, no se adoptó por el sector privado durante las décadas siguientes [27], aunque el aumento de la competencia global y los rápidos avances tecnológicos están empujando a muchas empresas a prestar más atención en la mejora del control tanto de sus proyectos internos como los que se hace para los clientes externos.

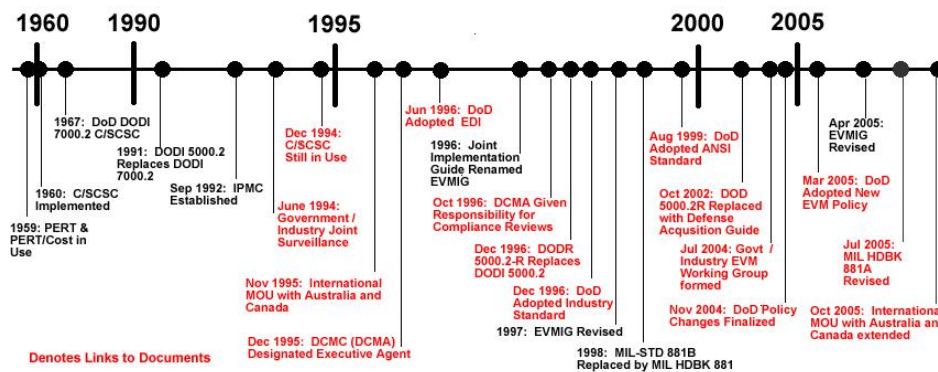


Figura 4.2: Earned Value Time Line (fuente [42])

Las propuestas iniciales han ido evolucionando a lo largo del tiempo y la experiencia hasta la actual norma ANSI/EIA 748-A-1998 ⁴. Durante el proceso de maduración, algunos de los acrónimos han cambiado y los criterios han sido racionalizados, pero prevalecen los fundamentos iniciales.

Earned Value Project Management (EVP) es una parte de Earned Value Management System (EVMS) y tiene los objetivos de mejorar el proyecto, la eficiencia de la organización y proporcionar información coherente y precisa sobre el estado del proyecto.

4.3. Implementar Earned Value Management

El EVM consiste en el cálculo de una serie de desviaciones temporales, índices de rendimiento, porcentajes de avance y estimaciones de coste final, con el objeto de poder contestar a la duda usuales, como por ejemplo: “Si hemos pagado el 25 % del proyecto, ¿cómo sabemos si se ha realizado el 25 % de lo proyectado o si sólo se ha realizado el 20 % y hemos pagado un sobre coste del 5 %?”.

Cuando hablamos de Earned Value, habitualmente hablamos de una metodología a la vez que dicha expresión es también el componente clave de

⁴ANSI/EIA-748-A: American National Standards Institute (ANSI)/Electronic Industries Alliance (EIA) Standard, Earned Value Management Systems (ANSI/EIA-748-A), aprobado el 19 de Mayo de 1998 (Revisado en Enero 2002)

esta metodología. Es la forma más sencilla de confrontar el valor ganado con el progreso físico. En el seguimiento del proyecto, este valor es el obtenido cuando las actividades se llevan a cabo, y nos permite:

- Establecer un método para determinar cuál es el estado del proyecto y el progreso conseguido hasta la fecha respecto a lo planificado previamente
- Facilitar la base para el análisis de rendimiento de costes.
- Permitir estar al tanto del coste del proyecto antes que este termine, al poder determinar cuál era el coste planificado y el coste del trabajo realizado en cualquier momento del proyecto.

En consecuencia, el Earned Value es también una medida de avance. Hay una relación directa entre Earned Value y el tanto por ciento del trabajo completado. Se podrían determinar los atributos de éste como:

- Una medida del progreso del proyecto total o para cualquier parte del proyecto.
- Un método coherente para el análisis de los logros del proyecto y los resultados.
- Una plataforma para el análisis de rendimiento de coste de un proyecto.

La metodología del Earned Value maneja su propia simbología y conceptos, pero parte de tres básicos e importantes (figura 4.3):

Coste Presupuestado del Trabajo Planificado (Planned Value o PV)⁵.

Equivalente al sumatorio de las tareas planificadas inicialmente para ese periodo por el precio presupuestado de cada unidad de trabajo. Representa el coste previsto del proyecto en una fecha determinada, suponiendo que se cumplan tanto los plazos como los costes. El presupuesto de ejecución es la suma de todos los presupuestos (PV) asignados al proyecto. Es lo que debe costar el total de los esfuerzos programados.

La curva que representa la evolución del PV, o expresión acumulativa de estos presupuestos, que se denomina “*Línea de base*” de medición del desempeño, y según define PMBOK (referencia en punto 5.1), adquiere una característica *curva en forma de “S” o Sigmoide* [4, 76], estas curvas en forma de S o curvas de S serán objeto de estudio en el capítulo 5.

⁵En las primeras versiones del EVMS (ANSI/EIA 748) se denominaba Budgeted Cost for Work Scheduled (BCWS), referida, también, como curva de S, Sigmoide o Spendein-curve, por su parecido a la letra S.

Coste Presupuestado del Trabajo Realizado (Earned Value o EV).

Equivalente al sumatorio de las tareas ejecutadas en el periodo presupuestado por el precio de cada unidad de trabajo. Representa el coste previsto del proyecto en una fecha determinada, suponiendo que no se cumplen los plazos pero sí los costes. El Valor Ganado representa una fotografía del progreso del trabajo en un determinado momento del proyecto y se expresa en las unidades del Valor Planificado, con objeto de poder establecer comparaciones con el resto de valores.

El valor presupuestado se “gana” cuando el trabajo que ha sido planificado se cumple.

Coste Actual del Trabajo Realizado (Actual Cost o AC)⁶

Equivalente al sumatorio de las tareas ejecutadas en el periodo por el precio real de cada unidad de trabajo. Representa el coste real del proyecto en una fecha determinada, suponiendo que no se cumplen los plazos ni los costes. Es, en resumen, el valor acumulado de lo que ha costado el proyecto hasta la fecha. Para determinar el coste actual (AC), es necesario que la organización tenga implementado y funcionando un proceso que registre los costes de los diferentes componentes que conforman el proyecto.

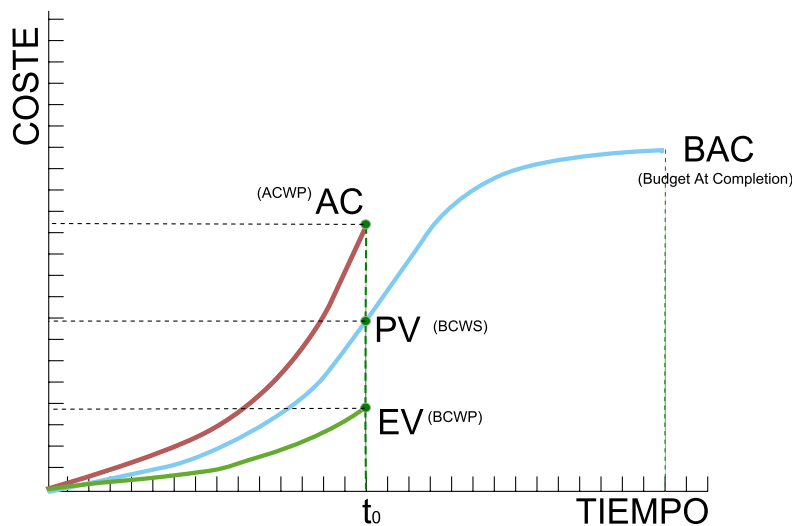


Figura 4.3: Representación de los conceptos *EV*, *PV*, *AC* sobre la “línea base” en un instante t_0 y el punto BAC (Budgeted Cost at Completion)

El punto final de la línea de base, denominado el **Presupuesto a la Finalización** (Budgeted Cost at Completion - **BAC**), representa el presu-

⁶En las primeras versiones del EVMS (ANSI/EIA 748) se denominaba Actual Cost for Work Performed (ACWP).

puesto total de todo el trabajo que están identificado en el Proyecto (figura 4.3).

Las comparaciones entre los valores del gasto, del generado y del presupuestado (“*Línea de base*”) a la misma fecha permitirán un análisis *tiempo-coste* del proyecto [4]. Si estas curvas pueden ayudar en el análisis sobre la marcha del proyecto habrá que tener estos valores disponible de manera regular durante la ejecución del proyecto.

4.3.1. Varianzas

Una vez calculado el *Earned Value*, con la diferencia entre éste y los otros dos valores (PV y AC) se obtendrán dos variaciones denominadas Varianzas, bien del trabajo o bien del coste.

Varianza de Planificación o de Plazos (Schedule Variance - SV).

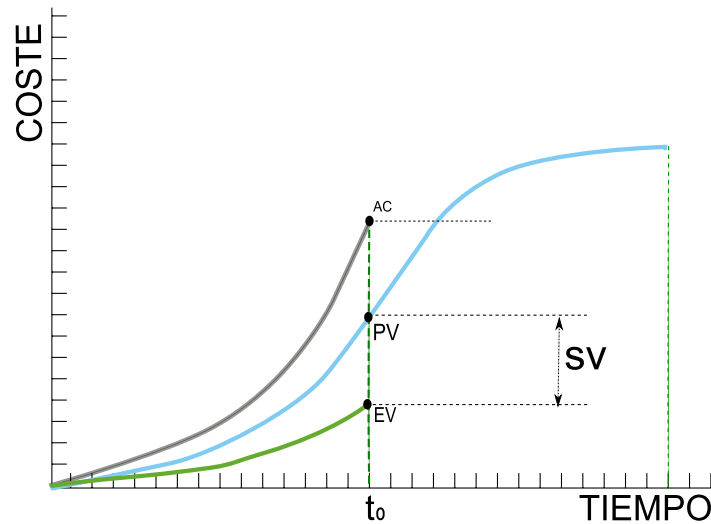


Figura 4.4: Representación de la Varianza de Planificación (SV) en un instante t_0

El EV y el PV son costes presupuestado de trabajo, la única diferencia está en el momento de su obtención. El PV se obtiene cuando los trabajos se programan para ser realizados y EV se toma cuando el trabajo es realmente realizado. Si el trabajo se ha completado en un momento diferente de cuando se prevé que esté terminado, entonces se detecta una “*Varianza de Planificación*” (eq. 4.1). Ver Figura 4.4.

$$SV = EV - PV \quad (4.1)$$

obteniendo una variación absoluta de la variación del plazo.

Pero se puede poner de forma relativa.

$$SV \% = \frac{EV - PV}{PV} * 100 \quad (4.2)$$

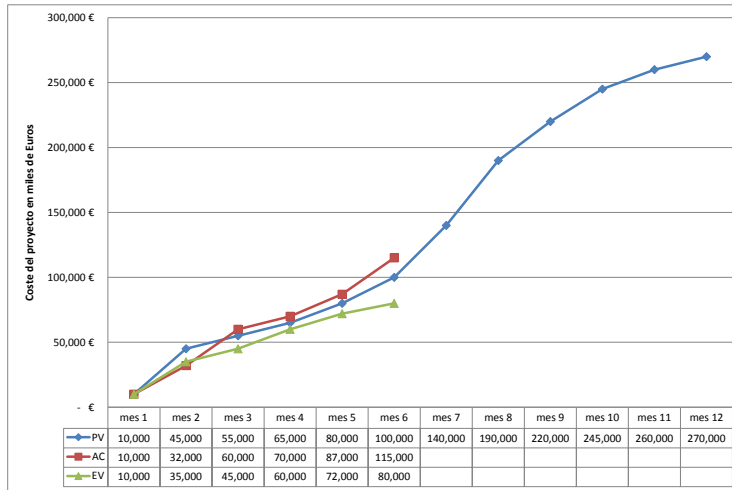


Figura 4.5: Ejemplo de un proyecto con los valores de PV, EV y AC, al sexto mes.

Ejemplo 4.1 Si aplicamos esto al ejemplo propuesto los valores serán $EV=80$ y $PV=100$ tendríamos que:

$$SV = EV - PV = 80 - 100 = -20$$

El proyecto se está retrasando.

$$SV \% = \frac{EV - PV}{PV} * 100 = \frac{80 - 100}{100} * 100 = -20 \%$$

Se está un 20 % por debajo de lo planificado.

Varianza de Coste (Cost Variance - CV).

Por otra parte, el EV y el AC, podríamos decir que, son dos expresiones del coste, diferenciándose en momento de su obtención, el primero se obtiene de la planificación inicial, y el segundo de la situación real en el momento de su toma. De forma similar que en SV, si el coste del trabajo realizado difiere del presupuestado, entonces se detecta una “*Varianza de Coste*”(eq. 4.3) (figura 4.6). Es particularmente crítica porque indica la relación entre el desempeño real y los costes gastados.

$$CV = EV - AC \quad (4.3)$$

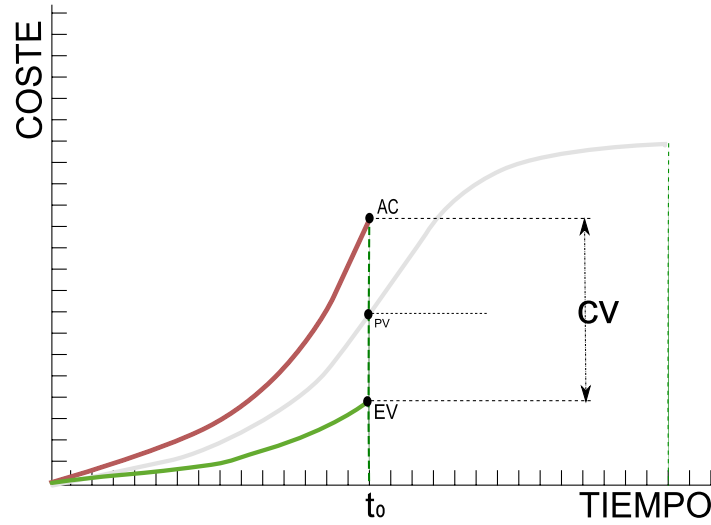


Figura 4.6: Representación de la Varianza de Coste (CV) en un instante t_0

De igual manera que con SV, podremos expresar CV de forma relativa.

$$CV \% = \frac{EV - AC}{EV} * 100 \quad (4.4)$$

Ejemplo 4.2 Si aplicamos esto al ejemplo anterior (figura 4.5) con $AC=115$, tendríamos que:

$$CV = EV - AC = 80 - 115 = -35$$

El proyecto gasta más de lo previsto.

$$CV \% = \frac{EV - AC}{EV} * 100 = \frac{80 - 115}{80} * 100 = -43'75 \%$$

Se está gastado un 43'75 % más de lo planificado.

Los valores de SV y CV pueden convertirse en indicadores de eficiencia para reflejar el desempeño del costo y del cronograma de cualquier proyecto. Las varianzas son útiles para determinar el estado de un proyecto y proporcionar una base creíble para la estimación del costo y del cronograma al final del proyecto.

En el caso que $CV < 0$ indicará que en este proyecto incurrirá en sobrecostes, mientras que en el segundo caso la variación negativa del SV indica una sobre-asignación de recursos.

En el análisis de ambas variaciones (costes y tiempo), los costes se utilizan como el denominador común más bajo. Esto quiere decir que la variación del programa se da en función del coste.

La variación del programa puede ser representada en horas, días, semanas (unidades temporales), o bien, en euros o dólares (unidades monetarias).

4.3.2. Índices

Además de poder calcular las variaciones de coste y programa, también se debería saber el nivel de eficiencia del trabajo que se ha completado. Para calcularlo se utiliza un porcentaje del EV mediante dos índices de rendimiento o desempeño:

Índice de Rendimiento del Coste Realizado (Cost Performance Index - CPI).

El índice CPI es una medida del valor del trabajo completado, en comparación con el costo o avance reales del proyecto. Se considera la métrica más importante de la EVM y mide la eficiencia de la gestión del costo para el trabajo completado (eq .4.5).

Un valor de CPI inferior a 1.0 indica un sobre-costo con respecto al trabajo completado. Un valor de CPI superior a 1.0 indica un costo inferior con respecto al desempeño a la fecha.

$$CPI = \frac{EV}{AC} \quad (4.5)$$

Ejemplo 4.3 Siguiendo con el ejemplo de la figura 4.5 se obtendría:

$$CPI = \frac{EV}{AC} = \frac{80}{160} = 0'695$$

Lo que quiere decir que tenemos una eficiencia del 69'5 % o, dicho de otra manera, por cada € invertido obtenemos ≈ 70 céntimos (figura 4.7).

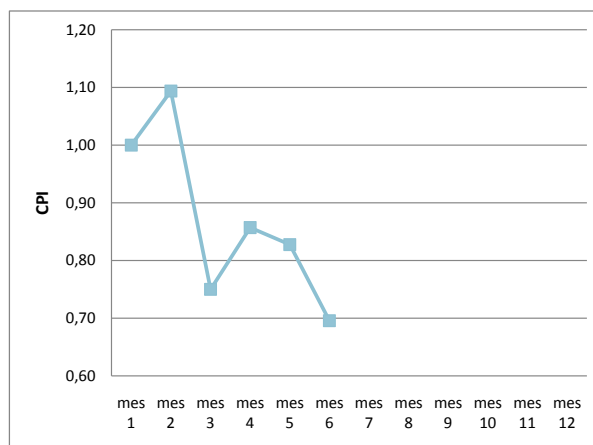


Figura 4.7: Evolución del CPI del proyecto de la figura 4.5

Índice de Rendimiento del Programa (Schedule Performance Index - SPI).

El índice SPI es una medida del avance logrado en un proyecto en comparación con el avance planificado. En ocasiones se utiliza en combinación con el índice CPI para proyectar las estimaciones finales de conclusión del proyecto (eq. 4.6).

Un valor de SPI inferior a 1 indica que la cantidad de trabajo efectuada es menor a la prevista. Un valor de SPI superior a 1 indica que la cantidad de trabajo efectuada es mayor a la prevista. Puesto que el SPI mide todo el trabajo del proyecto, el desempeño en la ruta crítica también debe analizarse, para determinar si el proyecto terminará antes o después de la fecha de finalización programada.

$$SPI = \frac{EV}{PV} \quad (4.6)$$

Ejemplo 4.4 Aplicando los datos del ejemplo de la figura 4.5 se obtendría:

$$SPI = \frac{EV}{PV} = \frac{80}{100} = 0'80$$

Se posee una eficiencia de un 80 % (ver figura 4.8) y se puede interpretar que se va mal de tiempo.

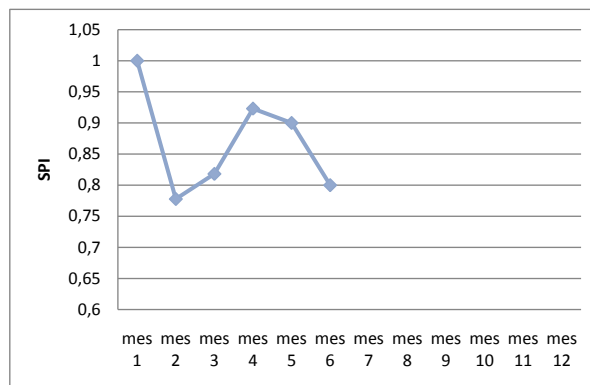


Figura 4.8: Evolución del SPI del proyecto de la figura 4.5

El análisis para ambos índices es similar. Si el índice es igual a 1, tenemos que el trabajo se ha realizado de acuerdo a las previsiones. Si el índice es menor a 1, la realización del trabajo no ha sido eficiente ya que $AC > EV$. Por otro lado, si el índice es mayor a 1 tenemos una realización por encima de los niveles inicialmente esperados.

El índice **CPI**, quizás, sea el más utilizado de los dos, este muestra realmente el trabajo que ha sido realizado en el proyecto, así un valor de CPI de 0'70 indica que por cada unidad de esfuerzo realizado (monetario o de recursos), solamente el 70 % ha sido utilizado en la realización de trabajo respecto del presupuesto original.

Índice de eficiencia para concluir en coste (To Complete Performance Index - **TCPI**).

A través del TCPI conoceremos con que eficiencia se debería trabajar, de ahora en adelante, para terminar el trabajo restante con el objeto que el proyecto no cueste más de lo planificado. Este índice (eq. 4.7) se obtiene de la fórmula :

$$TCPI = \frac{BAC - EV}{BAC - AC} \quad (4.7)$$

Ejemplo 4.5 Aplicando los datos del ejemplo de la figura 4.5 se obtendría:

$$TCPI = \frac{BAC - EV}{BAC - AC} = \frac{270 - 80}{270 - 115} = 1'22$$

En nuestro proyecto de ejemplo, el CPI debería pasar a 1'22 con objeto de terminar con el coste planificado inicialmente.

Índice de eficiencia para concluir en plazo (To Complete Schedule Performance Index - **TSPI**).

Este índice nos la eficiencia que debería tener la ejecución del proyecto, de ahora en adelante, para terminar el trabajo restante con el objeto que termine el proyecto en el plazo planificado inicialmente (Planned Duration - PD). Este índice de (eq. 4.8)⁷ [58].

$$TSPI = \frac{PD - ES}{PD - AT} \quad (4.8)$$

Si se desease saber con qué índice de eficiencia se debería trabajar para otros plazo, Estimación de duración (Estimated Duration - ED), bastaría modificar (eq. 4.8) como sigue:

$$TSPI = \frac{PD - ES}{ED - AT} \quad (4.9)$$

⁷El concepto de ES (Plazo de tiempo Ganado) y AT (Tiempo actual) se explica en el apartado 4.3.3

4.3.3. Plazo de tiempo Ganado

Como se ha visto anteriormente, la Varianza de Plazo refleja el desvío en plazo al principio del proyecto, pero no ocurre lo mismo hacia el final del mismo, ya que dicha varianza de plazo, cuando ya se ha ganado todo el coste planificado para el proyecto (es decir, cuando se ha terminado éste) es cero, y el índice de Eficiencia de Plazo es uno.

El Earned Schedule **ES** (Plazo de tiempo Ganado) se puede considerar como una extensión a la teoría del EVM. Fue introducido inicialmente en el año 2003 por Walter Lipke en el artículo denominado “*Schedule is Different*” [56]. En él se propone la utilización de una Varianza de Plazo y un índice de Eficiencia de Plazo basados en el tiempo (figura 4.9), que para distinguirlos de los hasta el momento definidos, basados en el coste, se denominarán SV_t y SPI_t .

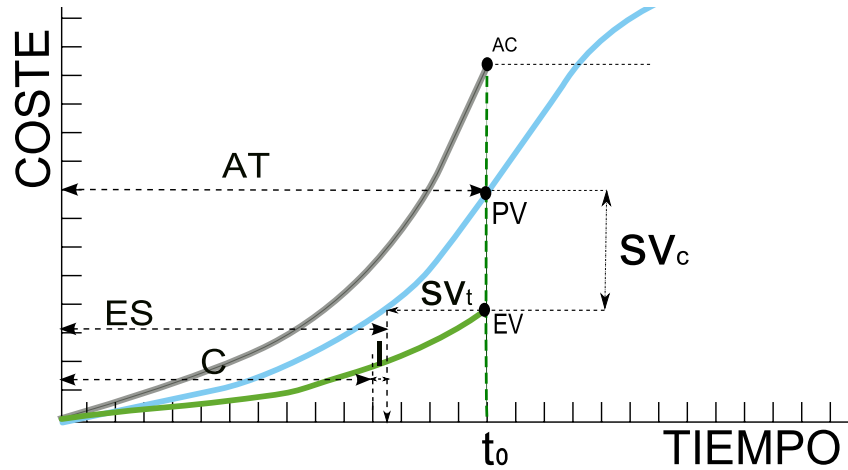


Figura 4.9: Plazo Ganado (Earned Schedule) en un instante t_0

Se define la Varianza de Plazo, basada en el tiempo, (SV_t) como el EV menos el tiempo actual (AT).

$$SV_t = EV - AT \quad (4.10)$$

También, se define el Índice de Eficiencia de Plazo, basado en el tiempo, (SPI_t) como el EV dividido por el tiempo actual (AT)

$$SPI_t = \frac{EV}{AT} \quad (4.11)$$

AT es el tiempo actual en unidades de media (días, semanas, quincenas, meses, etc...). El valor de ES tendrá que ser calculado extrapolando. Lo cual se podrá hacer con mayor o menor precisión según el método utilizado. Un método sugerido por Lipke [58] es el de la extrapolación lineal.

Si

$$ES = C + I$$

y

$$I = \frac{EV - PV_c}{PV_{c+1} - PV_c}$$

Entonces

$$ES = C + \frac{EV - PV_c}{PV_{c+1} - PV_c} \quad (4.12)$$

4.3.4. Estimaciones

La estimación para la ejecución del proyecto identifica las unidades monetarias u horas que representan una valoración realista del trabajo cuando está realizado. Es la suma de todos los costes directos e indirectos hasta la fecha más la estimación de todo el trabajo restante autorizado.

Para completar el análisis del estado de un proyecto, se debería determinar:

Coste Estimado del Proyecto a su finalización (Estimated Cost at Completion - **EAC_c**).

Para este cálculo dividiremos la fórmula en dos partes, el coste ya gastado más los futuros costes estimados, asumiendo las tendencias actuales (eq. 4.13) (Figura 4.10).

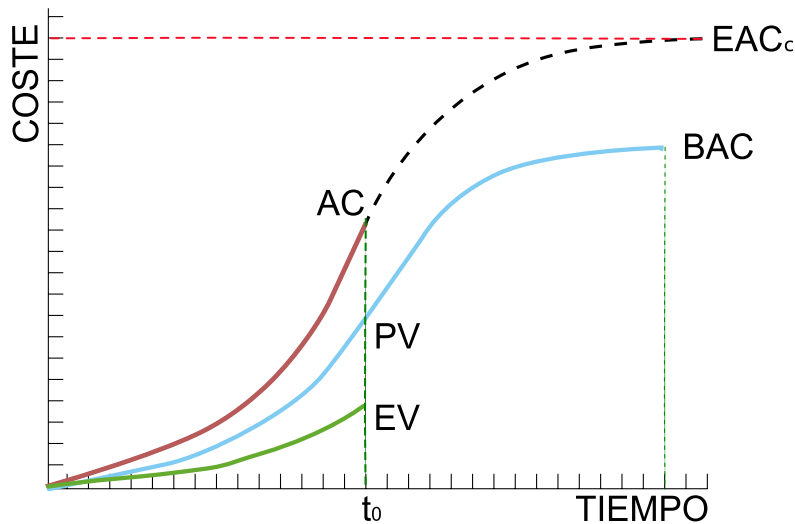


Figura 4.10: EAC_c en un instante t_0

$$EAC_c = AC + \frac{BAC - EV}{CPI} \quad (4.13)$$

Ejemplo 4.6 Siguiendo con el ejemplo de la figura 4.5 se obtendría:

$$EAC_c = AC + \frac{BAC - EV}{CPI} = 115 + \frac{270 - 80}{0'695} = 388'38$$

Se obtiene un coste total de 388.380 €, luego se tendría que el proyecto costaría 118'38 € más de lo previsto inicialmente.

Lógicamente esta no es la única forma de estimar el coste final de proyecto, se puede utilizar la tendencia de la evolución del índice de eficiencia del coste u otros resultados procedentes de los análisis del equipo del proyecto.

Tiempo Estimado de finalización del Proyecto (Estimated Scheduled at Completion - EACs).

Para este cálculo dividiremos, también, la fórmula en dos partes, el tiempo ya gastado más los futuros tiempos estimados, asumiendo las tendencias actuales (eq. 4.14)(Figura 4.11). Para ello utilizamos el punto donde el valor ganado, EV, iguala el presupuesto total, BAC. Este punto estará desplazado, en el tiempo con respecto al momento actual.

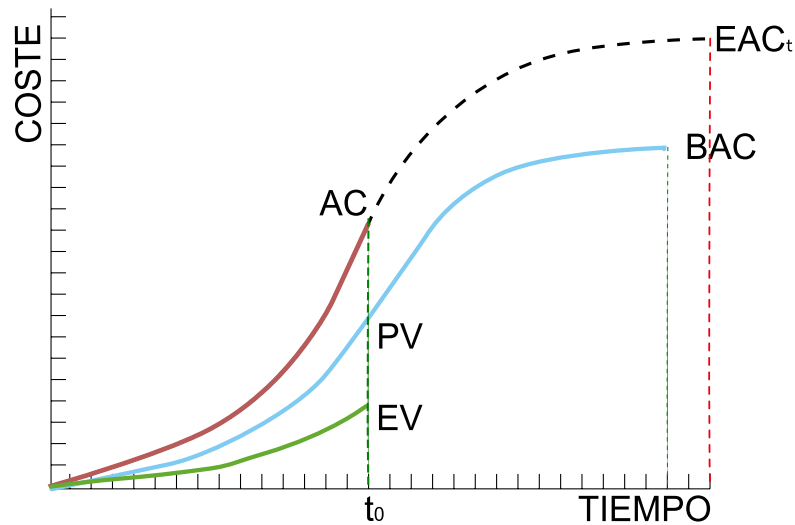


Figura 4.11: EAC_t en un instante $AT = t_0$

$$EAC_s = AT + \left(\frac{BAC - EV}{SPI} / \frac{BAC}{\text{unidades de tiempo}} \right) \quad (4.14)$$

Ejemplo 4.7 Siguiendo con el ejemplo de la figura 4.5 se obtendría:

$$EAC_s = 6 + \left(\frac{270 - 80}{0'80} / \frac{270}{12} \right) = 6 \text{ meses} + 10'55 \text{ meses}$$

Se obtiene un tiempo total de 16'55 meses, y por lo tanto tendría que el proyecto se alargaría, en el tiempo 4'55 meses más de lo previsto inicialmente.

Variación del coste final del Proyecto (Variance At Completion VAC_c).

Al igual que la Varianza del coste compara el EV con los que se ha gastado (AC), también se puede comparar el coste final del proyecto (BAC) con las estimación de coste al final del proyecto (EAC_c). A esta varianza se la denomina Varianza al Completar (Variance At Completion VAC_c). la formula será:

$$VAC_c = BAC - EAC_c \quad (4.15)$$

Se podría expresar esta varianza en forma porcentual respecto del presupuesto total (BAC) con la siguiente fórmula:

$$VAC_c \% = \frac{BAC - EAC_c}{BAC} * 100 \quad (4.16)$$

Ejemplo 4.8 Siguiendo con el ejemplo de la figura 4.5 se obtendría la gráfica de figura 4.12:

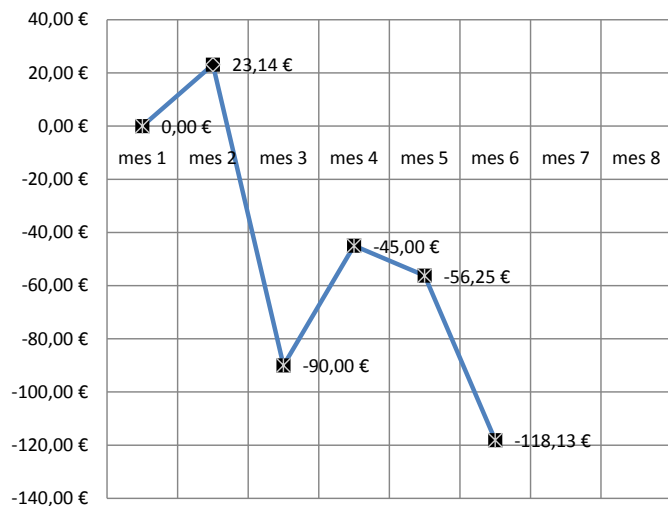


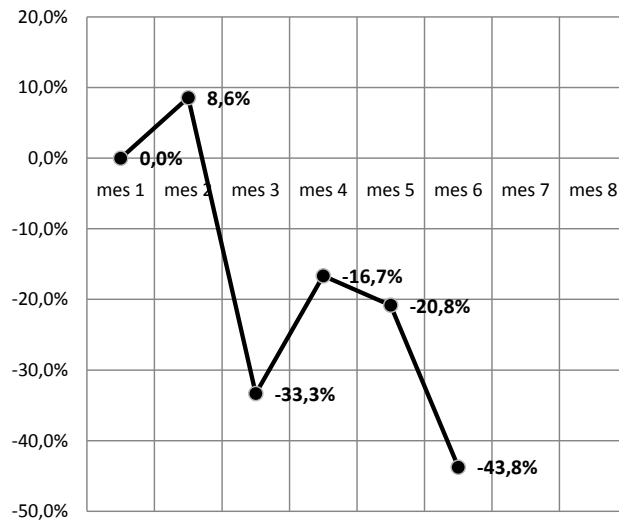
Figura 4.12: Evolución del VAC_c hasta t_0

Para $t_0 = 6$ tendríamos

$$VAC_c = 270,000 - 388,125 = -118,125 \text{ €}$$

Se interpreta que el proyecto, asumiendo la tendencia actual, tendría un sobre-coste de 118.125 €.

Si lo expresamos en porcentajes, se tendría:

Figura 4.13: Evolución del VAC_c % hasta t_0

$$VAC_c \% = \frac{270,000 - 388,125}{270,000} * 100 = -43'8 \%$$

Se tendría, con la tendencia actual, un sobre-coste de un 43'8 % .

La Estimación de la Ejecución (Estimated at Completion - **EAC**) es la mejor estimación del coste total al final del proyecto. El EAC es una evaluación periódica del estado del proyecto o también puede realizarse cuando suceda un cambio significativo que fuese identificado en la vida del proyecto [4, 92]. Es la propia organización la encargada de preparar y ejecutar el EAC. El cálculo de un nuevo EAC y sus posteriores revisiones no implica que se hayan tomado las acciones correctas.

Ejemplo 4.9 En este otro ejemplo con la tabla 4.1 muestra el informe de variaciones para el cuarto mes. En este mes hay cuatro tareas completadas y una empezada según lo previsto (Figura 4.14) deberían haberse empezado dos tareas más (Tareas 4 y 6). Esto indica que tenemos problemas en el programa y además, a la vista de la tabla hay problemas.

Consideremos una tarea de 3 meses de duración que se completó en un 99% y fue presupuestada en 400.000 € (PV). Los costes a la fecha de hoy son de 395.000 € (AC). Usando la regla del 50/50⁸ tenemos un EV de 200.000 €. Por estos datos, tenemos que la estimación de ejecución es de 395.000 € / 200.000 €, lo que implicaría que tenemos unos sobre-costes de casi el 100 %.

⁸Esta regla dice: "la mitad del presupuesto para cada elemento se registra en el momento en que el trabajo está programado que empiece, y la otra mitad al momento en que el trabajo está previsto que acabe"

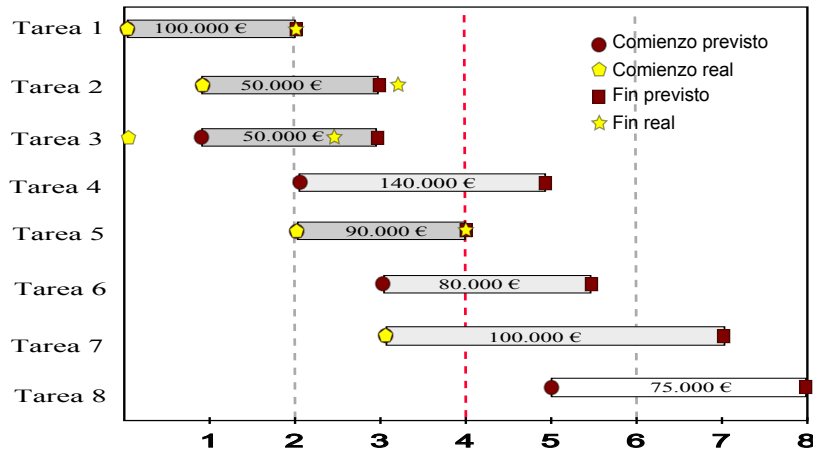


Figura 4.14: Diagrama de Gantt del proyecto del ejemplo 4.9

Tarea	Estado	PV (BCWS)	EV (BCWP)	AC (ACWP)
1	Completada	100.000	100.000	100.000
2	Completada	50.000	50.000	50.000
3	Completada	50.000	50.000	40.000
4	No Empezada	70.000	0.000	0.000
5	Completada	90.000	90.000	140.000
6	No Empezada	40.000	0.000	0.000
7	Empezada	50.000	50.000	25.000
8	No Empezada	75.000	-	-
Total		450.000	340.000	360.000

Tabla 4.1: Variaciones en el 4º mes del ejemplo 4.9.

Obviamente no es este el caso. Utilizando los datos de Tabla 4.1, podemos calcular la estimación (EAC) mediante la siguiente expresión (siendo $BAC = PV$ al final del proyecto):

$$EAC = \frac{AC}{EV} \cdot BAC = \frac{360}{340} \cdot 579,000 = 613,059 \quad (4.17)$$

Esto implica que hay sobre-coste por valor del 5.88 % sobre lo previsto y el coste final excederá de lo presupuestado en 34.059 € (VAC). En todo ello, no se ha considerado el margen de gestión que lógicamente reducirá este coste.

El análisis final es que el trabajo se está logrando dentro del programa, pero tenemos que los costes están por encima ($\approx 6\%$) de lo planificado en la estimación inicial.

4.4. Variaciones sobre EVM

Al extenderse el EVM como “mejor práctica” numerosas instituciones, tanto públicas como privadas, se decidieron incluir EVM como uno de sus procesos de gestión. Esto dió lugar a que la compañía Management Concepts sacó un modelo de cinco niveles, emulando al CMMI, para el EVM. Es conocido como Earned Value Management Maturity Model ® [87] [86], o EVM³ ®, que es un modelo de madurez para que utilicen las organizaciones en la implementación y mejora del método de Valor Ganado. Al ser un producto estadounidense se orienta hacia el cumplimiento de la norma EIA/ANSI 748, y proporciona métricas de procesos y ayuda a crear planes de mejora.

Otro producto denominado “Surveillance” [80], del Program Management Systems Committee del National Defense Industrial Association (NDIA)⁹ y Defense Acquisition University (DAU), es el proceso de revisar la salud de la Gestión del Sistema de Valor Ganado que se aplica a uno o más programas. El propósito del “surveillance” es comprobar que el enfoque del EVM realmente se utiliza para gestionar la eficiencia de coste, de plazo y técnica. Un proceso efectivo de “Surveillance” asegura que los elementos clave del proceso se mantienen en el tiempo y en aplicaciones posteriores. Tiene un doble objetivo: En primer lugar, asegura a la compañía que los procesos y procedimientos se siguen adecuadamente. En segundo lugar, confirma que los procesos y procedimientos continúan satisfaciendo los requisitos del American National Standards Institute/Electronic Industry Alliance’s (ANSI/EIA) 748-A Standard for EVMS.

4.5. Resumen de EVM

Seguidamente se ofrece una tabla resumen de las definiciones y nomenclaturas utilizada en EVM y su relación con el estándar ANSI/EIA-748-A (fuente [18]).

Nomenclatura PMBOK® - PMI		Nomenclatura ANSI 748	
<i>Generales</i>			
PV	Valor Planificado (Planned Value)	BCWS	Budgeted Cost for Work Scheduled
EV	Valor Ganado (Earned Value)	BCWP	Budgeted Cost for Work Performed
AC	Coste Actual (Actual Cost)	ACWP	Actual Cost for Work Performed

Continúa en la siguiente página →

⁹El Program Management Systems Committee (PMSC), comité dentro de Procurement Division de la NDIA, es un foro de trabajo Industria/Gobierno, de los Estados Unidos, con objeto de promover la integración de la gestión de proyectos usando EVM.

← Continuación de la página anterior

Nomenclatura PMBOK® - PMI		Nomenclatura ANSI 748	
BAC	Presupuesto a la finalización	BAC	Budgeted Cost At Completion
ES	Plazo ganado	ES	Earned Schedule
AT	Tiempo Actual	AT	Actual Time
Varianzas			
SV	Varianza de plazo	SV	Schedule Variance
SV %	Varianza de plazo relativa	SV %	Relative Schedule Variance
CV	Varianza de coste	CV	Cost Variance
CV %	Varianza de coste relativa	CV %	Relative Cost Variance
VAC_c	Varianza a la terminación	VACC	Variance at Completion
$VAC_c \%$	Varianza a la terminación relativa	%VACC	Relative Variance at Completion
SV_t	Varianza de plazo basada en el tiempo	SV_t	Schedule Variance based in time
Índices			
CPI	Índice de Rendimiento del Coste Realizado	CPI	Cost Performance Index
SPI	Índice de Rendimiento del Programa	SPI	Schedule Performance Index
TCPI	Índice de eficiencia para concluir el coste	TCPI	To Complete Performance Index
SPI_t	Índice de eficiencia de plazo basado en el tiempo	SPI_t	Schedule Performance Index based in time
TSPI	Índice de eficiencia para concluir en tiempo	TSPI	To Complete Schedule Performance Index
Estimaciones			
EAC_c	Coste Estimado al finalizar	EAC	Estimated At Completion
EAC_c calc.	Coste Estimado al finalizar, calculado	EAC_c calc.	Estimated At Completion, calculated
EAC_c revs.	Coste Estimado al finalizar, revisado	EAC_c revs.	Estimated At Completion, revised
EAC_t	Estimación de plazo de finalización	EAC_s	Estimated At Completion (Schedule)
IECD	Estimación Independiente de fecha de finalización	IECD	Independent Estimate of Completion Date
		ETC ded.	Estimate To Complete (Decided)
		ETC calc.	Estimate To Complete (calculated)

Tabla 4.2: Resumen de nomenclatura utilizada en EVM y su relación con el estándar ANSI/EIA-748-A

Análisis y parametrización de la curva en S

“No basta saber, se debe también aplicar. No es suficiente querer, se debe también hacer”.

Johann Wolfgang Goethe

RESUMEN: En este capítulo explicaremos de los modelos de crecimiento, las curvas logísticas y su utilización en el mundo científico.

Posteriormente indicaremos la asociación propuesta de estas curvas con la gestión de proyectos y para terminar propondremos una ecuación logística adaptada paramétricamente a la gestión de proyectos, con sus implicaciones y su aplicación al EVM.

5.1. Introducción

Todos estamos acostumbrados a la idea de crecimiento. Por ejemplo, la velocidad de crecimiento de una planta, el número de personas que enferman en una epidemia, cómo aumentan los habitantes de una población, región o país determinado, etc. De hecho, los observadores han registrado miles de ejemplos de tales crecimientos en situaciones tan diversas como poblaciones de animales [61], energía e infraestructura de transportes [7, 36, 71] adquisición de lenguaje [60], funcionamiento tecnológico [31, 64, 72], etc.

El ganador del Premio Nobel de Química de 1977, Ilya Prigogine, en el trabajo *“From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Science”* [79], analiza la “estabilidad estructural” en Ecología y escribe acerca de una población P en un medio dado, destaca que a menudo el crecimiento de la población se describe mediante una ecuación diferencial que lo relaciona con la tasa de nacimiento, la mortalidad y la capacidad total de la población.

Esta descripción del crecimiento no proporciona una solución analítica a la ecuación, sino que se refiere a una cifra que cualquier estudiante o profesional reconoce inmediatamente como un prototipo de la curva S, (más plano al principio y al final y más pronunciada en el centro) [4, 75, 76]. Esta curva, conocida como la “Curva Logística”, se utilizó por Hubbert, para hacer los primeros cálculos de la duración finita de los combustibles fósiles ([39, 40]).

Comenzaremos con una breve historia del modelo logístico

- 1825 - Benjamín Gompertz publicó el trabajo que desarrolla el modelo de crecimiento demográfico del zorro (la ley de mortalidad).
- 1838, 1845, 1847 - La curva logística fue introducida por el matemático belga Pierre-Francois Verhulst como un modelo de crecimiento de la población.
- 1923 - T.B. Robertson fue el primero en utilizar la función logística para describir el proceso de crecimiento en un solo organismo o individuo.
- 1924, 1925 - R. Pearl redescubre la función y lo utilizó ampliamente para describir el crecimiento de la población, incluyendo la población humana.
- 1925, 1926 - A.J. Lotka y V. Volterra, independiente, generalizan la ecuación de crecimiento para modelar la competencia entre diferentes especies (las ecuaciones de depredador-presa).
- 1957 - Z. Griliches mostró que la sustitución tecnológica puede ser descrita por una curva en forma de S.
- 1961 - E. Mansfield, desarrolla un modelo para explicar la tasa de variación tecnológica que afecta a las empresas como consecuencia de un innovador.
- 1971 - Fisher y Pry, crean el modelo HR formulada de sustitución tecnológica binario, el cual utiliza la función logística de dos parámetros para describir el proceso de sustitución.
- 1979 - C. Marchetti, propone modelo de sustitución logística para describir varias tecnologías en la dinámica de la competencia.
- 1994 - P.S. Meyer, hace una propuesta del modelo de componentes logísticos.

A menudo la cantidad medida (población de una especie, altura de una planta, potencia de un motor, ...) crece, en el principio, de forma exponencial. Sin embargo, los sistemas naturales no pueden mantener este crecimiento indefinidamente. Más bien, los mecanismos de regeneración negativos o

las señales del entorno reducen este crecimiento, produciendo lo que denominamos curva en forma de S. Así, para un proceso de crecimiento, una curva sigmoideal¹ es a menudo un modelo bastante útil. Sin embargo, muchos sistemas poseen un crecimiento más complejo, con múltiples procesos que ocurren secuencial o simultáneamente. Kindleberger [50], en una historia económica del mundo desde 1500, escribió: “*En el mundo real hay muchos serpenteos, aceleraciones, y retrasos, nuevas curvas de S que resurgen, curvas separadas para sectores diferentes y regiones de una economía nacional, todas ellas presentan dificultades cuando se intenta agregar sobre una base ponderada.*” Muchos de estos fenómenos, resulta que se pueden describir con elegancia, con un modelo matemático simple.

La curva también fue utilizada en los modelos de la tasa de crecimiento de la población de las nubes interestelares [22]. Esas simulaciones determinaron la tasa de natalidad y mortalidad de manera intrínseca.

Cuando se muestra Earned Value Management como una función del tiempo, los esfuerzos acumulados o los costos de un proyecto suelen tener una forma determinada, descrita como curva de S o sigmoide [4, 75, 76] define el término únicamente por su apariencia: “Representación gráfica de los costos acumulados, las horas de trabajo, el porcentaje de trabajo, o de otras cantidades, en función del tiempo”.

En trabajos precios realizados por Murmis [70], sobre la gestión de proyectos, se mostró cómo construir numéricamente una curva desde una distribución normal y forzándolo a través del punto fijo de 5 % de avance en el 10 % de la duración del proyecto. La curva fue utilizada para supervisar el progreso en una serie de proyectos en Argentina.

En comparación, la forma más flexible que aquí se presentará debe tener uso en diferentes contextos y en diferentes tipos de proyectos. Pero la primera pregunta que viene a la mente ¿Si el proyecto en curvas de S tienen características comunes dentro de un sector específico (por ejemplo, la construcción de software [18]) o en la industria (la construcción en su conjunto)?. La existencia de esta característica facilitaría en gran medida el futuro de simulación específica de la planificación.

A modo de ejemplo, dentro de un proyecto una curva de S ayudará al análisis de los costes del proyecto, mostrando las tasas a modificar y el gasto necesario para lograr la terminación en fechas alternativas. El progreso de un proyecto, por comparación con las previsiones a través de la curva S, puede influir en los ajustes de la programación. Además, los recursos del proyecto, tanto humanos como materiales, muestran evolución similar, por lo que, también, las curvas se podrían aplicar a estos datos.

¹La función sigmoide permite describir muchos procesos naturales y curvas de aprendizaje de sistemas complejos muestran una progresión temporal desde unos niveles bajos al inicio, hasta acercarse a un clímax transcurrido un cierto tiempo; la transición se produce en una región caracterizada por una fuerte aceleración intermedia de esta evolución. A menudo la función sigmoide se refiere al caso particular de la función Logística.

Finalmente, una vez obtenido el resultado del cálculo del valor ganado (EV), y por lo tanto disponemos de diferentes curvas de S, podemos representar los costes reales, el gasto previsto, y el costo presupuestado del trabajo realizado (véase, por ejemplo [19]). Con esta nueva formalización, y produciendo diferentes curvas para ilustrar diferentes posibilidades el análisis de las diferentes alternativas no es muy complicado.

En primer lugar se verá la solución a la ecuación diferencial que genera una curva en forma de S en estudios de poblaciones, para después aplicar los datos a la gestión de proyectos. Luego, las aproximaciones a la solución producirán una expresión que se puede utilizar con mayor facilidad, y esta solución aproximada se utilizará en la gestión de las necesidades del proyecto. Lo más importante, con esta aproximación puede estimarse la evolución del coste total de cualquier proyecto caracterizada por dos datos: la pendiente de la subida de la curva y el momento en que se ha gastado la mitad del total de fondos.

5.2. Modelos de Crecimiento

Los modelos matemáticos usados en esta tesis están basados en Ecuaciones Diferenciales Ordinarias - EDO (Ordinary Differential Equations - ODEs). En el campo de la Física se usan las EDO para modelar las trayectorias de objetos móviles y aplicadas a las poblaciones o tecnologías, estas describen “trayectorias” continuas de crecimiento o decrecimiento frente al tiempo. Aunque las poblaciones humanas y muchas variables tecnológicas crezcan o decrezcan en números discretos, los modelos continuos, son usados con objeto de simplificar el modelado de grandes conjuntos. Fue Montroll [68] quien postuló la conexión entre “trayectorias” físicas y demográficas a través de la propuesta de “las leyes de dinámica social” basada en las leyes mecánica de Newton.

El crecimiento exponencial de organismos que se multiplican, que crece sin control o con límites, es representado por un modelo simple y extensamente usado tal como ilustra la figura (5.1).

En terminología matemática, el índice de crecimiento de una población $P(t)$ es proporcional a la población. El índice de crecimiento en un tiempo t es definido como la derivada $dP(t)/dt$.

El modelo de crecimiento exponencial escrito como una ecuación diferencial será,

$$\frac{dP(t)}{dt} = \alpha P(t) \quad (5.1)$$

que ser solucionada por introducción del número e (la base del logaritmo natural o neperiano, aproximadamente 2.718...).

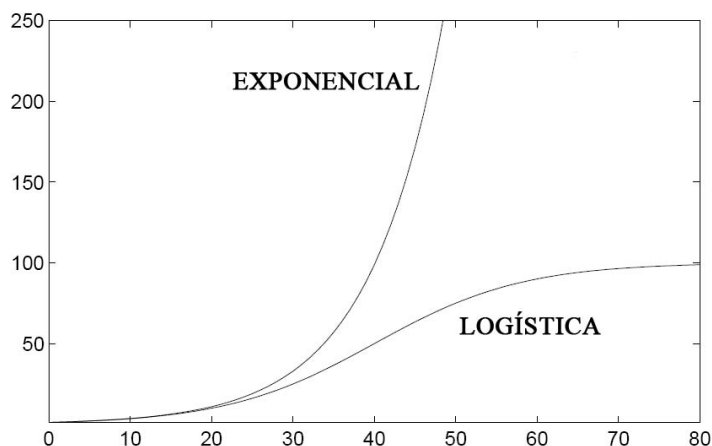


Figura 5.1: Curvas de crecimiento Exponencial y Logístico

La solución común de la ecuación (eq. 5.1) es

$$P(t) = \beta e^{\alpha t} \quad (5.2)$$

donde α es el índice de crecimiento constante es la población inicial $P(0)$, en ocasiones expresado en porcentaje. Un α con un valor de 0'02 es equivalente a decir “la población crecía continuamente en un 2 %”.

Aunque muchas poblaciones crezcan exponencialmente durante un tiempo, ningún sistema puede sostener el crecimiento exponencial indefinidamente. Si el sistema está limitado, la ecuación (eq. 5.1) debe ser modificada con un límite o una capacidad que le da una forma sigmoideal, más realista, curva logística en la figura 5.1.

La modificación del modelo de crecimiento exponencial más extensamente usada es la Logística. Esta fue introducida por Verhulst en 1838, pero fue popularizada por la biología-matemática por Lotka [59] en los años 20 del siglo XX y, también, Kingsland en 1985 [51] escribe sobre ella, en su obra “Ecología demográfica”.

La Ecuación Logística comienza con el $P(t)$ y un α de función exponencial, pero añade un término de “retroalimentación” negativo que reduce la progresión del índice de crecimiento de la población cuando se acerca al valor de κ o capacidad del sistema.

$$\frac{dP(t)}{dt} = \alpha P(t) \underbrace{\left(1 - \frac{P(t)}{\kappa}\right)}_{\text{retroalimentación}} \quad (5.3)$$

Nótese que la expresión de la “retroalimentación” $(1 - P(t)/\kappa)$ está cercana a 1 cuando $P(t) \ll \kappa$ y se aproxima a cero cuando $P(t) \rightarrow \kappa$. Así, el

índice de crecimiento comienza exponencialmente, pero luego decrece hasta llegar a cero cuando la población $P(t)$ se acerca al límite κ , produciendo una trayectoria de crecimiento en forma de S.

En ocasiones, las ecuaciones diferenciales complicadas no tienen soluciones analíticas, y deben ser simplificadas o resueltas numéricamente [41]. Es posible solucionar la ecuación logística diferencial (eq. 5.2) para encontrar una solución analítica (algebraica).

La solución con la ecuación logística diferencial (eq. 5.2) [53, 65] será:

$$P(t) = P_0 + \frac{\kappa}{1 + e^{-\alpha(t-\beta)}} \quad (5.4)$$

La ecuación (eq. 5.4) posee tres parámetros, que son necesarios para especificar la curva α , β y κ y produce una curva de la familia en forma de S.

El parámetro o índice de crecimiento α especifica “la anchura” o “pendiente” de la curva. A menudo es aconsejable la sustitución de α por una variable especificando el tiempo necesario para, siguiendo la trayectoria, llegar desde el 10 % al 90 % del límite κ , un período denominado “*duración característica*”, o Δt . El parámetro Δt es, por lo general, más útil para el análisis de datos de serie de tiempo, porque las unidades son más fácilmente apreciables. Por álgebra simple, la duración característica está relacionada con α a través de $\Delta t = \ln(81)/\alpha$ [19, 64, 65].

El parámetro β especifica el instante en el que la curva alcanza 1/2 de κ , o punto medio de la trayectoria creciente, también denominada como t_μ .

El parámetro κ o límite de capacidad, como se comentó, es el límite asintótico cercano de la curva de crecimiento. p.e. cumplimiento de objetivos o presupuesto total.

El modelo logístico es simétrico alrededor de la t_μ de punto medio. Existen otros modelos que describen crecimientos no simétricos o sesgados p.e. Gompertz [14, 35, 43, 49] pero los modelos crecimientos no simétricos no serán objeto de este análisis.

En la figura (5.1) se presentan los modelos de crecimiento exponencial y logístico. En los ejemplos, ambos modelos tienen idéntico parámetro de índice de crecimiento $\alpha=0.11$, (aproximadamente el 11 %) y una población de partida de 1.22 en $t=0$. Durante las 20 primeras unidades las curvas exponenciales y logísticas son apenas distinguibles, y sólo divergen significativamente después de 30 unidades. Pero después, tan solo 20 unidades más, la curva exponencial ha salido del gráfico mientras que la logística se estabiliza cerca de la capacidad de crecimiento κ , en este caso 100. La duración característica de este logístico, el tiempo necesario para la población pase del 10 % al 90 % de κ , es 50 unidades, con una t_μ de punto medio = 40.

Los tres parámetros κ , t_μ y Δt definen la parametrización del Modelo Logístico, ($P(t)$), usado como componente básico para el análisis, quedando:

$$P(t) = P_0 + \frac{\kappa}{1 + e^{-\frac{\ln(81)}{\Delta t}(t-t_\mu)}} \quad (5.5)$$

El modelo logístico simple es útil, en parte, porque los parámetros obtenidos por ajuste del modelo a los datos son fáciles de calcular y pueden ser comparados. Estos parámetros también ayudan en la formulación de modelos complejos, para los cuales estos proporcionan un marco de referencia.

Para el caso del crecimiento biológico de una población P , se parte de algunos individuos pre-existentes, el estado de la población inicial, por lo que en el tiempo cero ($t = 0$) la condición de frontera inicial de la ecuación de la ecología requiere una cantidad diferente a cero, $P = P_0$. Pero en la gestión de proyectos, la cantidad de P representa el costo o esfuerzo (duración de la tarea multiplicado por la cantidad de recursos, ejemplo en [20]). La confección de un plan de proyecto permite una buena gestión del coste acumulado del proyecto sólo después de iniciado el proyecto, y por lo tanto quitando P_0 de la solución ecológica, los cambios, para un más adecuada condición inicial serán: $P = 0$ en $t = 0$.

Al principio, es decir $t \approx 0$, el crecimiento es lineal. Al final, cuando t se hace muy grande, $P \approx P_\infty$. Sin embargo, esta ecuación será más útil para la planificación y gestión de proyectos si la suma de los costes se iguala al coste total del proyecto al final del mismo ($t = t_f$), y no a el tiempo infinito. Luego podríamos decir que $\kappa \approx P_f$.

Aplicando las premisas anteriores a la ecuación (eq. 5.5) obtendríamos :

$$P(t) = \frac{P_f}{1 + e^{-\frac{\ln(81)}{\Delta t}(t-t_\mu)}} \quad (5.6)$$

En la forma clásica, la curva en S está descrita por tres partes: una subida suave, una empinada cuesta, y un camino gradual a la asíntota. Para empezar, podemos suponer que estas tres partes se producen en intervalos de tiempo iguales, cada una de las partes ocupa $1/3$ de t , luego la curva sería simétrica. También podemos asumir, temporalmente, que la pendiente en la parte central se compone de dos tercios del aumento desde $P = 0$ hasta $P = P_\infty$. El tercio restante de la subida se produce a lo largo de las dos partes periféricas suavemente ascendente.

El índice de crecimiento α de la ecuación (eq. 5.5), sustituido por Δt como se indicó anteriormente, modela el comportamiento en los extremos temporales de la curva, según se señala en el capítulo 1, PM-BOK® y Barraza en [8].

La Ecuación Logística, según Cioffi [21], funciona bien con los datos del proyecto, y es posible determinar numéricamente los tres parámetros necesarios para un buen ajuste.

Con la estimación de estos tres parámetros P_f , Δt y t_μ se puede escribir una ecuación de la curva S que puede indicar la forma en que podrían comportarse los trabajos o los fondos en un proyecto.

5.3. Modelo Logístico Compuestos

Para definir un sistema es necesario establecer sus límites y describir sus características, las que le afectan desde fuera, y las interacciones entre el universo y el dicho sistema. Con frecuencia, debido a las dificultades con la definición del sistema, no se pueden limpiar y separar correctamente los datos de series de tiempo. Esto conlleva problemas con el ajuste de las curvas de S a los datos. Sin embargo, si la evolución de un proyecto o sistema deseamos que sea descrita por funciones logísticas simples de tres parámetros, se podrá proporcionar una clara interpretación física de la información y permitira compararla con la evolución de otro proyecto o sistema.

Perrin Meyer [53, 64] propuso modelos n-logísticos, funciones complejas de múltiples parámetros que son aplicadas para la extrapolación de este tipo de datos. El mecanismo se asemeja al principio de “muñecas anidadas” (muñecas rusas) [53] en combinación con el concepto de función fractal de crecimiento natural [67].

Muchos procesos logísticos se pueden descomponen en varios subprocesos. Inicialmente, se modelará un sistema que experimenta el crecimiento en dos fases discretas para posteriormente generalizar el modelo.

Los sistemas logísticos con dos fases o pulsos de crecimiento se han denominado “2-Logístico”, por estar definidos por dos ecuaciones logísticas. En estos modelos, el crecimiento es la suma de dos curvas, cada una de las cuales posee sus tres parámetros logísticos propios:

$$P(t) = P_1(t) + P_2(t) \quad (5.7)$$

donde

$$P_1(t) = \frac{P_{f1}}{1 + e^{-\frac{\ln(81)}{\Delta t_1}(t-t_{\mu 1})}}$$

$$P_2(t) = \frac{P_{f2}}{1 + e^{-\frac{\ln(81)}{\Delta t_2}(t-t_{\mu 2})}}$$

Se podría examinar el comportamiento del sistema (p.e. $P(t)$), o se podría descomponer el modelo y examinar los componentes individualmente (cualquiera de las dos, $P_1(t)$ o $P_2(t)$). De hecho, se podrían trazar $P_1(t)$ o $P_2(t)$ en el mismo gráfico.

Si generalizásemos el modelo 2-Logístico a un modelo “n-Logístico”, donde el crecimiento es la suma de n curvas logísticas obtendríamos:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) \quad (5.8)$$

donde

$$P_n(t) = \frac{P_{fn}}{1 + e^{-\frac{\ln(81)}{\Delta t_i}(t-t_{\mu i})}}$$

5.4. Novedades en el control

Una vez obtenida una función continua que represente el comportamiento y evolución de un proyecto, le son de aplicación todas las características y propiedades de las funciones continuas, pudiendo obtener algunos valores que tendrán interpretación en el campo de la gestión de proyectos.

Utilizando estas características se propondrán “Velocidad” y “Aceleración” de crecimiento, dos nuevos indicadores, que nacen como consecuencia de la característica de continuidad. Estos indicadores definirán la evolución de un proyecto y proporcionarán a los gestores de proyectos la posibilidad de establecer novedosos niveles de alertas en la vigilancia de la ejecución de los proyectos. Así podrá combatir, o al menos mitigar, las desviaciones en la ejecución de los presupuestos con la suficiente antelación y mitigando los riesgos negativos.

Velocidad del proyecto La gestión de proyectos tiene una rica historia afrontando dificultades en la recuperación de la programación perdida, interrupciones y demoras. En la ejecución de un proyecto aparecen errores simples, especificaciones erróneas o cambiantes, pérdida en la sincronización de tareas, personal enfermo o incompetente, estimaciones excesivamente optimistas, dificultades de seguimiento, etc. Los sucesos que acabamos de describir surgen una vez que los proyectos ya han comenzado.

Este primer indicador propuesto proporcionará la información de nivel de alerta para poder reaccionar sobre la planificación con la suficiente antelación y reconducir el proyecto a los cauces establecidos en el momento en que se detecte la anomalía, o establecer puntos de vigilancia especial en los momentos críticos del proyecto.

Este parámetro es una cuestión de definición, si retomamos la ecuación (eq. 5.6) donde se define la ecuación Logística propuesta, la simple derivada respecto del tiempo nos proporcionará la velocidad de desarrollo del mismo.

$$V_p(t) = P'(t) \tag{5.9}$$

si sustituimos, se obtendrá

$$V_p(t) = \ln(81) \cdot \frac{P_f \cdot e^{\left(\ln(81) \frac{(t_{\mu}-t)}{\Delta t}\right)}}{\Delta t \cdot \left(1 + e^{\left(\ln(81) \frac{(t_{\mu}-t)}{\Delta t}\right)}\right)^2}$$

Aunque la derivación se produce en el espacio temporal, este nuevo indicador se puede calcular también en el dominio del trabajo, mediante una aproximación analítica a la evolución prototipo de curva de S.

Aceleración del proyecto El segundo indicador propuesto proporcionará otra información de nivel de alerta.

El indicador es otra cuestión de definición, si retomamos la ecuación (eq. 5.6), la segunda derivada respecto del tiempo nos proporcionará la aceleración del mismo estableciendo otros puntos críticos o de especial vigilancia.

$$A_p(t) = P''(t) \quad (5.10)$$

Estos dos nuevos indicadores nos proporcionan información sobre la *tasa de cambio* que sufre el desempeño del proyecto. Nos permiten establecer puntos de especial interés sobre los que los directores de proyectos deberán tener atención particular, dado que suministran información relacionada con los mecanismos motrices de la ecuación logística.

5.5. Aplicación a EVM

En el EVM se utilizan estimadores (EAC_c y EAC_s) para realizar las predicciones, utilizando las variaciones que está sufriendo un proyecto, y anticipar las variaciones en la terminación del proyecto (EAC') (punto 4.3.4). Estos estimadores no son más que aproximaciones puntuales, utilizando los datos del pasado, en la inferencia de la finalización.

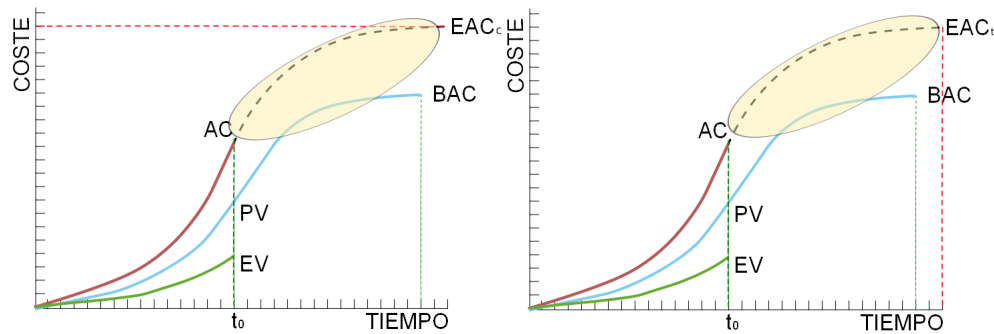


Figura 5.2: EAC_c y EAC_s en un instante t_0 con indicación de la *zona desatendida*.

Con la aplicación de nuestra propuesta (ecuación logística) se podrá realizar una aproximación más real, utilizando tanto la curva en forma de S en su representación gráfica como una simulación aproximada del comportamiento del proyecto hasta su finalización, en la zona en la que los directores de proyectos se encuentran más desamparados.

Aplicando estas nuevas propuestas al ejemplo 4.1 del capítulo 4, con un $P_f = 270.000 \text{ €}$ realizando los cálculos EV en el sexto mes ($t=6$).

Si aplicamos la mejor aproximación con la función propuesta al ejemplo 4.1 y los doce datos disponibles obtendremos la representación gráfica de la figura 5.3 lo cual representará la curva de S resultante de la ejecución al fin del proyecto.

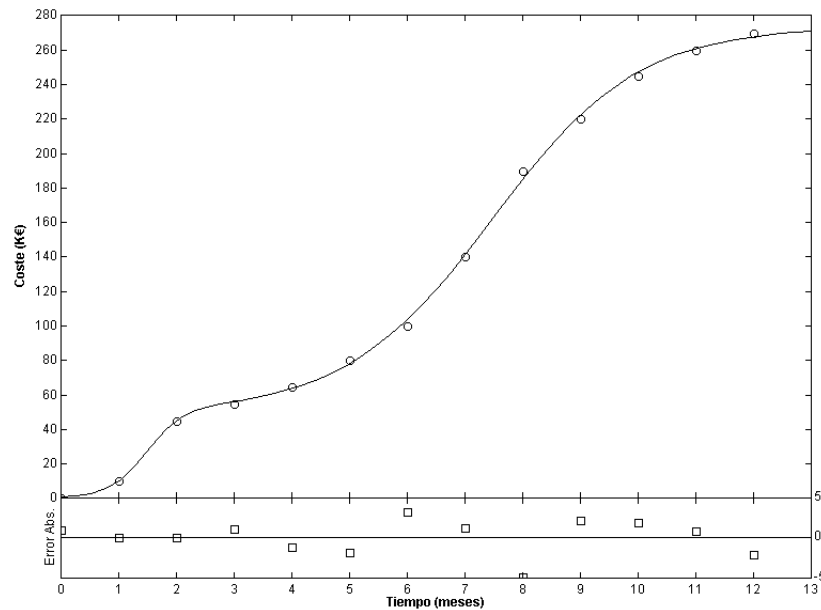
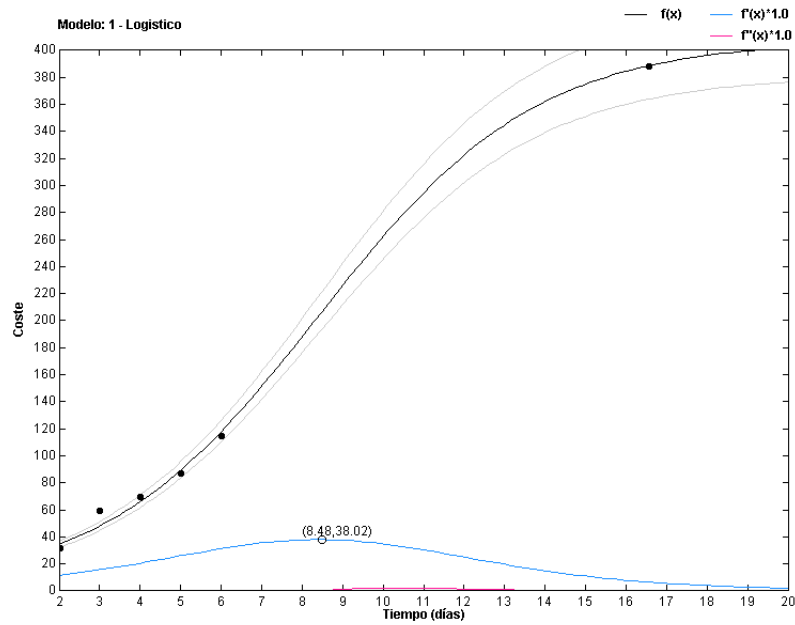
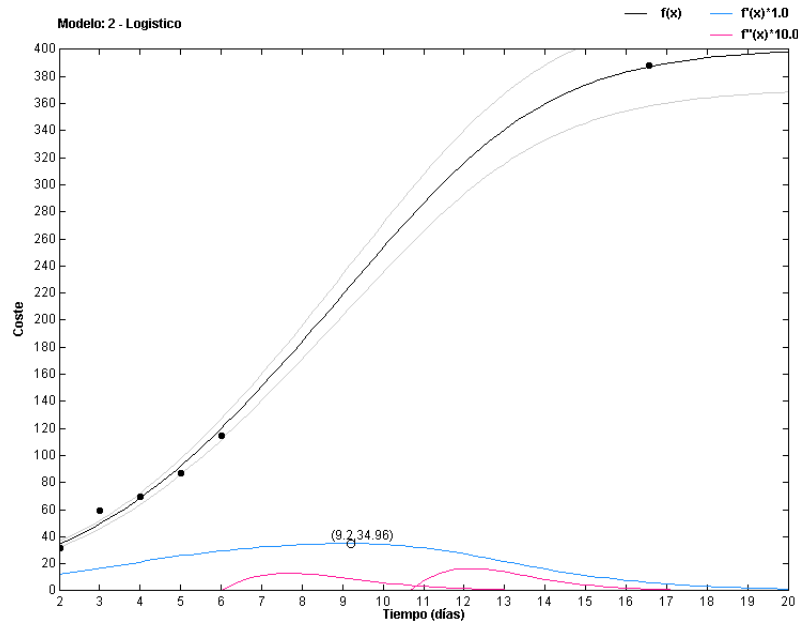


Figura 5.3: Modelo de ajuste del proyecto planificado del ejemplo 4.1 (figura 4.5).

Si hipotéticamente retrocediésemos en el tiempo y se hubiese aplicado la función logística propuesta en $t = 6$, se habrían obtenido, en función del logístico aplicada (1 y 2-Logística), predicciones para la *zona desatendida*.

Como se puede observar en las figuras 5.4 (a y b)² obtenemos una nueva curva en forma de S, con los dos nuevos indicadores de alerta disponibles, similar a la planificada pero con el nuevo EAC calculado posibilitando una nueva aproximación similar a la proyectada inicialmente (figura 5.3) que permite nuevos planteamientos al director del proyecto.

²La línea negra es la aproximación logística. La línea en rojo es la velocidad. La línea en azul es la aceleración. La línea gris informa sobre el intervalo de confianza al 95 % .

(a) Ajuste 1-Logístico, con $t = 6$ (b) Ajuste 2-Logístico, con $t = 6$ Figura 5.4: Predicción realizada al ejemplo 4.1 con el nuevo EAC, en $t = 6$.

Resultados experimentales

“Un buen ejemplo es el mejor sermón”.

Benjamin Franklin

RESUMEN: En este capítulo se presentan dos experimentos cuyo objetivo es la validación de la ecuación logística propuesta y las hipótesis presentadas en el primer capítulo de esta tesis.

Los datos de los proyectos utilizados para los experimentos realizados son reales, todos relacionados con proyectos de software y las TI, *objetivo* de este trabajo.

Los resultados obtenidos, tras los experimentos propuestos, nos llevan a corroborar las hipótesis planteadas inicialmente.

6.1. Introducción

En los capítulos anteriores se expone la importancia del problema de la gestión de proyectos y en particular la gestión coste/tiempo. También, se hace una revisión bibliográfica sobre la literatura al respecto.

Se ha querido verificar el comportamiento del modelo logístico propuesto con perfiles de proyectos extraídos de la realidad. La información es de una determinada Organización (Ingeniería de TI) que ha venido desarrollando proyectos en las últimas décadas. En particular sólo ha sido posible obtener información de los proyectos desarrollados más recientemente, correspondiéndose con la etapa en que se ha aplicado un control exhaustivo de los mismos. Concretamente la información obtenida corresponde a proyectos ejecutados recientemente (año 2011).

De esta forma en el presente capítulo se describen los resultados experimentales, con la siguiente estructura :

- Presentación de las características de los datos de los experimentos.

- Presentación de los resultados, tanto generales como detallados.
- Valoración de los resultados obtenidos.
- Conclusiones extraídas de los experimentos.

Usamos dos técnicas complementarias de investigación experimental: en primer lugar, un análisis estadístico para ubicar el entorno del experimento; posteriormente, la constatación directa sobre un número relativamente grande de casos, donde evaluamos nuestras hipótesis.

6.2. Investigación experimental

Para la validación de la tesis se ha dispuesto de una cantidad de datos suficientemente amplia (18 proyectos) para estudiar a fondo las propuestas realizadas.

Las características de los proyectos se muestran en la tabla 6.1 mostrada a continuación, esta es una recopilación de los proyectos reales analizados.

Número de proyectos analizados	18
Duración media de los proyectos	29,2 días
Suma de la duración de los proyectos	525 días
Proyectos de mayor duración	59 días
Proyectos de menor duración	4 días
Mediana de la duración de los proyectos	31 días
Moda de la duración de los proyectos	48 días
Desviación estándar de la duración de los proyectos	16
Coefficiente de asimetría	10 %
Q1 (25 %)	14'5 días
Q2 (50 %)	31'0 días
Q3 (75 %)	40'8 días

Tabla 6.1: Resumen estadístico de los proyectos analizados.

6.3. Descripción del experimento 1

En esta sección se presenta una recopilación de los proyectos analizados y de los resultados obtenidos con el modelo logístico propuesto. En subsecciones sucesivas se muestran cada uno de los proyectos por separado.

A modo de resumen y según el tipo de logístico aplicado se clasifican en:

- 5 proyectos del tipo 1-Logístico (Proy. 02, Proy. 06, Proy. 07, Proy. 13 y Proy. 15).
- 13 proyectos del tipo 2-Logístico (Proy. 01, Proy. 03, Proy. 04, Proy. 05, Proy. 08, Proy. 09, Proy. 10, Proy. 11, Proy. 12, Proy. 14, Proy. 16, Proy. 17 y Proy. 18).

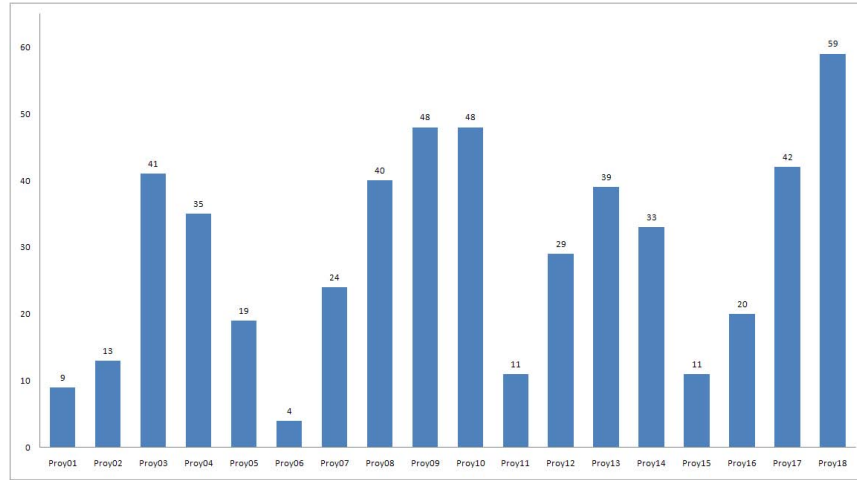


Figura 6.1: Histograma de frecuencias de los proyectos

Seguidamente se presenta, en forma de tabla (6.2), un resumen de datos (parámetros utilizados y medidas de error obtenidas) de los diferentes proyectos:

Proyecto 01	Tipo: 2-Logístico	
t_{μ}	0'9466796357390	6'5646386159412
Δt	0'2611635921009	1'7111790246644
P_f	10'276299305891	4'9004125567913
Error medio	6'032283E-04	
Desv. Estand	0'024532	
Proyecto 02	Tipo: 1-Logístico	
t_{μ}	11'701	-
Δt	5'8064989300539	-
P_f	21'023	-
Error medio	0'124268	
Desv. Estand	0'402353	
Proyecto 03	Tipo: 2-Logístico	
t_{μ}	7'9603434	30'5931326
Δt	92'1539841	20'3373512
P_f	41'0691813	198'419438
Error medio	4'851965E-04	
Desv. Estand	0'669659	
Proyecto 04	Tipo: 2-Logístico	
t_{μ}	10'697442196353	20'146374329334
Δt	9'29452709901592	17'452595737261
P_f	121'37758035994	150'22216593678
Error medio	0'1821647	
Desv. Estand	1'064403	
Proyecto 05	Tipo: 2-Logístico	
t_{μ}	4'491374087	16'26909479

Continúa en la página siguiente ...

Continuación de la página anterior

Δt	3'766043631	20'92241742
P_f	51'40141573	262'7084989
Error medio	0'053302	
Desv. Estand	0'671048	
Proyecto 06	Tipo: 1-Logístico	
t_μ	2'50376984657676	-
Δt	5'05551954169259	-
P_f	38'1283414843321	-
Error medio	0'013823	
Desv. Estand	0'192213	
Proyecto 07	Tipo: 1-Logístico	
t_μ	19'3186079307191	-
Δt	12'1710427759166	-
P_f	88'5191435152462	-
Error medio	0'516261	
Desv. Estand	2'346594	
Proyecto 08	Tipo: 2-Logístico	
t_μ	8'12071148849059	23'566321912367
Δt	12'1560502126468	31'027751666804
P_f	187'787678994009	399'87001663454
Error medio	0'644147	
Desv. Estand	4'081695	
Proyecto 09	Tipo: 2-Logístico	
t_μ	15'0677154812373	34'873076665475
Δt	31'6211018662518	15'023897295155
P_f	149'777782981721	108'36298648841
Error medio	0'024982	
Desv. Estand	0'624258	
Proyecto 10	Tipo: 2-Logístico	
t_μ	7'35009580194696	40'621300072157
Δt	9'50775141394179	6'6206802891528
P_f	83'7883057413369	56'867547303228
Error medio	0'013159	
Desv. Estand	0'286986	
Proyecto 11	Tipo: 2-Logístico	
t_μ	1'81071777041667	8'602204250816
Δt	15'5811274746892	44'74967744612
P_f	1'8889727789937	5'457673931156
Error medio	0'054928	
Desv. Estand	0'523271	
Proyecto 12	Tipo: 2-Logístico	
t_μ	6'51164655726926	27'32861476825
Δt	11'4950485207256	3'493937142812
P_f	108'729918834717	47'71819137041
Error medio	0'002166	
Desv. Estand	0'402947	
Proyecto 13	Tipo: 1-Logístico	

Continúa en la página siguiente ...

Continuación de la página anterior

t_μ	25'6508382692462	-
Δt	19'9145979058246	-
P_f	53'3061198427286	-
Error medio	0'192618	
Desv. Estand	1'113625	
Proyecto 14	Tipo: 2-Logístico	
t_μ	7'32684166261113	26'082042551
Δt	8'185968342	4'7412909108
P_f	39'66007187	17'002246345
Error medio	0'005633	
Desv. Estand	0'159068	
Proyecto 15	Tipo: 1-Logístico	
t_μ	7'19089660572374	-
Δt	9'10109101187644	-
P_f	225'876460184034	-
Error medio	0'278183	
Desv. Estand	1'136126	
Proyecto 16	Tipo: 2-Logístico	
t_μ	6'239028575	16'24076073
Δt	9'077416355	6'362531636
P_f	123'5532303	66'77830966
Error medio	0'003371	
Desv. Estand	0'327596	
Proyecto 17	Tipo: 2-Logístico	
t_μ	18'05538072	29'60281977
Δt	4'231270285	20'46061665
P_f	24'698925	161'5463401
Error medio	0'504746	
Desv. Estand	3'162658	
Proyecto 18	Tipo: 2-Logístico	
t_μ	12'060208065609	72'04650453799
Δt	5'5113843545975	93'78814001024
P_f	7'7958202953644	100'0201467930
Error medio	0'033965	
Desv. Estand	0'286243	

Tabla 6.2: Resumen de los parámetros t_μ , Δt y P_f en los proyectos analizados.

6.3.1. Proyecto 01

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 01 es la siguiente:

01/02/2011	02/02/2011	03/02/2011	04/02/2011	07/02/2011
7'3	10'3	10'3	10'3	10'3
08/02/2011	09/02/2011	10/02/2011	11/02/2011	-
11'2	14	14'9	15'3	-

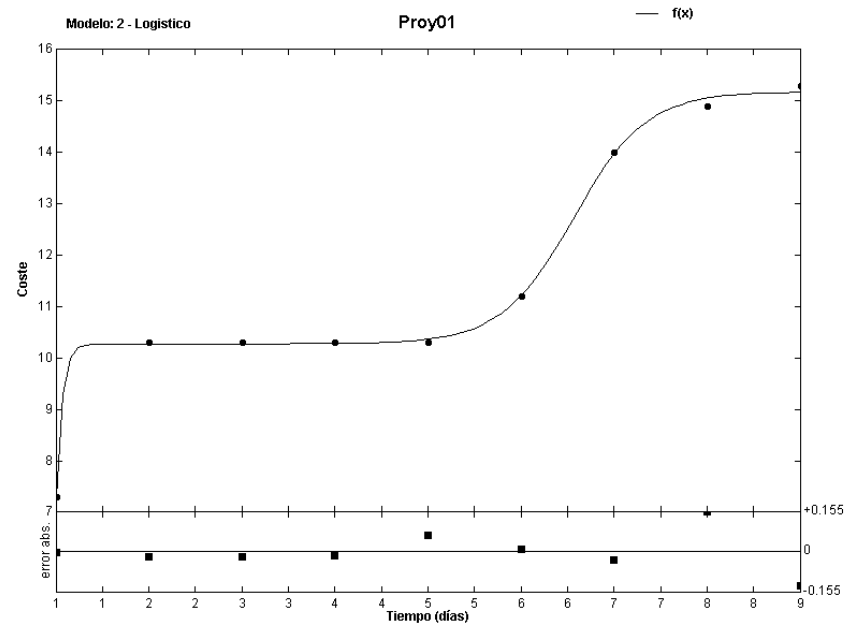
Tabla 6.3: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 01

Proyecto 01		Tipo: 2-Logístico	
t_μ		0'9466796357390	6'56463861594
$t_\mu(0)$ desv. estandar		0'0012312804766	
$t_\mu(0)$ media		0'9465573710720	
cv(0)		0 %	
$t_\mu(1)$ desv. estándar		0'0257035100043	
$t_\mu(1)$ media		6'5667637024417	
cv(1)		0 %	
Δt		0'2611635921009	1'71117902466
$\Delta t(0)$ desv. estándar		0'3955915045259	
$\Delta t(0)$ media		16'912630055561	
cv(0)		2 %	
$\Delta t(1)$ desv. estándar		0'1022553684606	
$\Delta t(1)$ media		2'5783460374628	
cv(1)		4 %	
P_f		10'276299305891	4'90041255679
$P_f(0)$ desv. estándar		0'0405368850659	
$P_f(0)$ media		10'277991660544	
cv(0)		0 %	
$P_f(1)$ desv. estándar		0'0639076814719	
$P_f(1)$ media		4'9050327016504	
cv(1)		1 %	
rango		7'3 - 15'3	
dominio		9	
error máximo		1'04 % (Punto 8)	

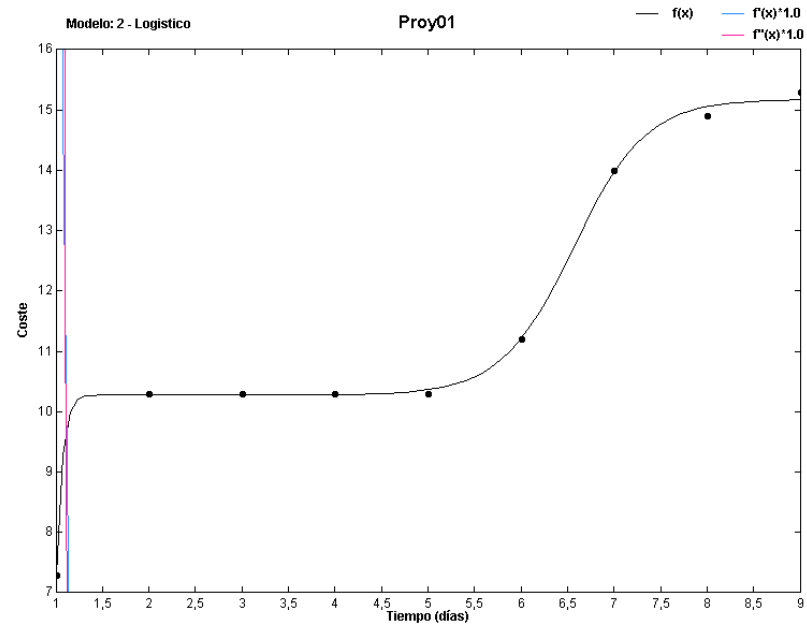
Tabla 6.4: Parámetros obtenidos del Proyecto 01

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.2.¹

¹(negro $f(x)$, azul $f'(x)$, rojo $f''(x)$)



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.2: Gráficas del Proyecto 01

6.3.2. Proyecto 02

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 02 es la siguiente:

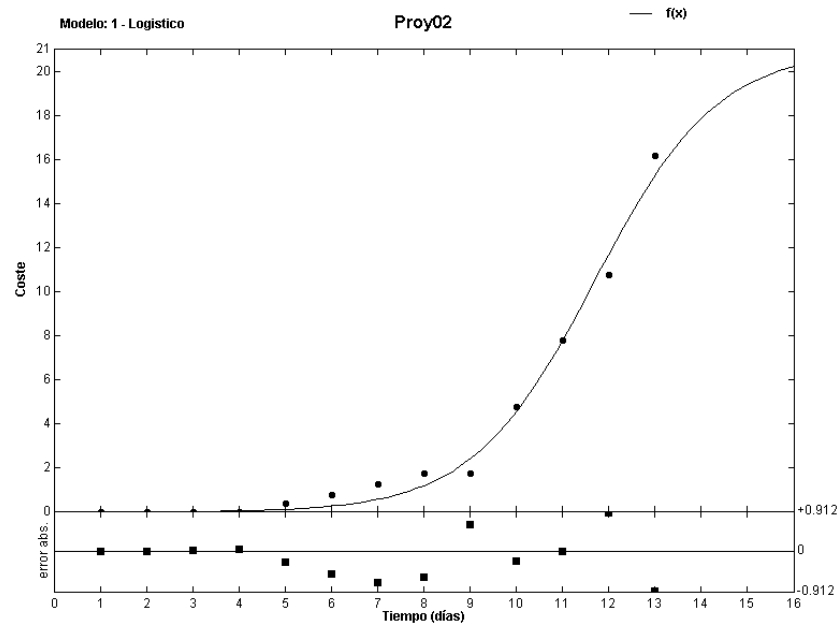
01/02/2011	02/02/2011	03/02/2011	04/02/2011	07/02/2011	08/02/2011
0'0	0'0	0'0	0'0	0'4	0'8
09/02/2011	10/02/2011	11/02/2011	14/02/2011	15/02/2011	16/02/2011
1'3	1'8	1'8	4'8	7'8	10'8
17/02/2011	-	-	-	-	-
16'2	-	-	-	-	-

Tabla 6.5: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 02

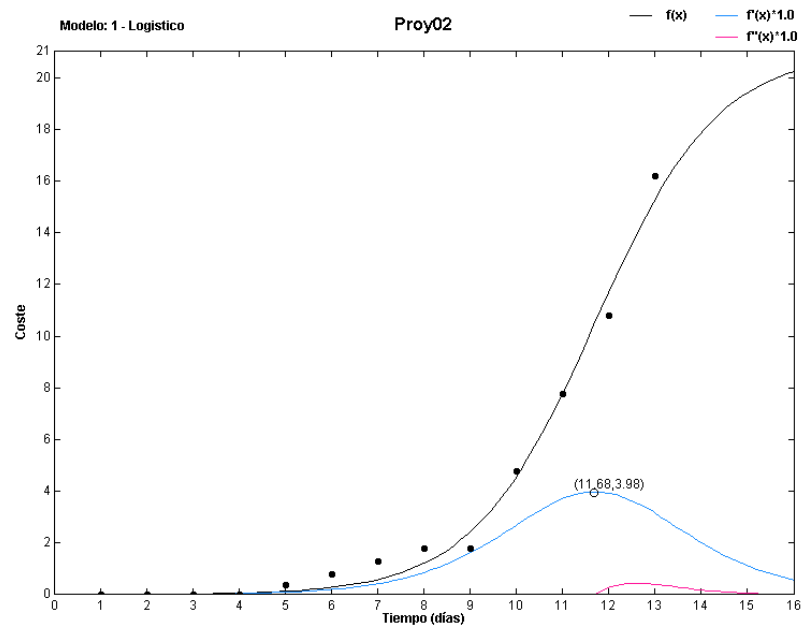
Proyecto 02	Tipo: 1/Logístico
t_μ	11'701
$t_\mu(0)$ desv. estándar	0'0
$t_\mu(0)$ media	11'701
cv(0)	0 %
Δt	5'80649893005396
$\Delta t(0)$ desv. estándar	0'04272484121804
$\Delta t(0)$ media	0'77314982208990
cv(0)	6 %
P_f	21'023
$P_f(0)$ desv. estándar	0'0
$P_f(0)$ media	21'023
cv(0)	0 %
rango	0'0 - 16'2
dominio	13
error máximo	0'45 % (Punto 13)

Tabla 6.6: Parámetros obtenidos del Proyecto 02

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.3.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.3: Gráficas del Proyecto 02

6.3.3. Proyecto 03

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 03 es la siguiente:

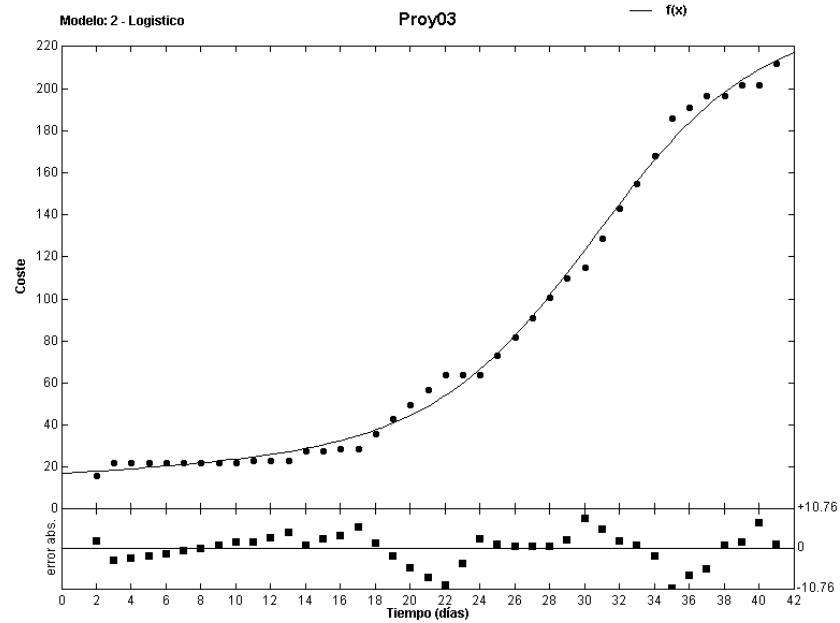
19/01/2011	20/01/2011	21/01/2011	24/01/2011	25/01/2011	26/01/2011
8'1	16'1	22'9	22'9	22'9	22'9
27/01/2011	28/01/2011	31/01/2011	01/02/2011	02/02/2011	03/02/2011
22'9	22'9	22'9	22'9	23'4	23'4
04/02/2011	07/02/2011	08/02/2011	09/02/2011	10/02/2011	11/02/2011
23'4	28	28'6	29'4	29'9	36'7
14/02/2011	15/02/2011	16/02/2011	17/02/2011	18/02/2011	21/02/2011
43'8	50'7	57'6	64'8	64'8	64'8
22/02/2011	23/02/2011	24/02/2011	25/02/2011	28/02/2011	01/03/2011
73'8	82'4	91'0	101'0	110'0	115'0
02/03/2011	03/03/2011	04/03/2011	07/03/2011	08/03/2011	09/03/2011
129'3	143'0	155'0	168'4	186'5	191'5
10/03/2011	11/03/2011	14/03/2011	15/03/2011	16/03/2011	-
197'0	197'0	202'0	202'0	212'7	-

Tabla 6.7: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 03

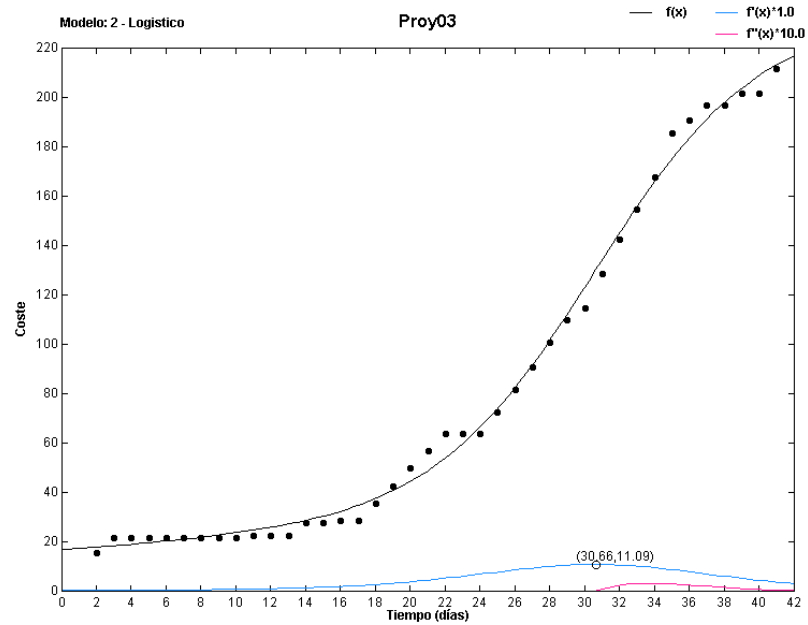
Proyecto 03	Tipo: 2-Logístico	
t_{μ}	7'9603434	30'5931326
$t_{\mu}(0)$ desv. estándar	9'5062153537455	
$t_{\mu}(0)$ media	8'2563487600305	
cv(0)	115 %	
$t_{\mu}(1)$ desv. estándar	0'3869961768025	
$t_{\mu}(1)$ media	30'569991542249	
cv(1)	1 %	
Δt	92'1539841	20'3373512
$\Delta t(0)$ desv. estándar	0'0295361113534	
$\Delta t(0)$ media	0'0432226533635	
cv(0)	68 %	
$\Delta t(1)$ desv. estándar	0'0158791816188	
$\Delta t(1)$ media	0'2180806855353	
cv(1)	7 %	
P_f	41'0691813	198'4194382
$P_f(0)$ desv. estándar	5'4276620411087	
$P_f(0)$ media	41'655509986464	
cv(0)	13 %	
$P_f(1)$ desv. estándar	11'819189763221	
$P_f(1)$ media	200'53176228011	
cv(1)	6 %	
rango	8'1 - 212'7	
dominio	35	
error máximo	5'75 % (Punto 33)	

Tabla 6.8: Parámetros obtenidos del Proyecto 03

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.4.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.4: Gráficas del Proyecto 03

6.3.4. Proyecto 04

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 04 es la siguiente:

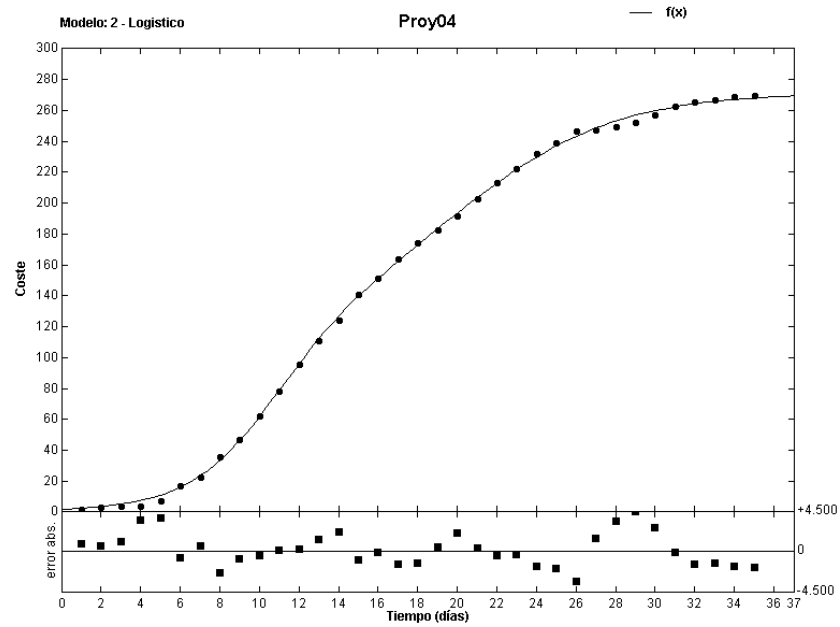
03/01/2011	04/01/2011	05/01/2011	07/01/2011	10/01/2011	11/01/2011
1'6	2'9	4'0	4'0	7'3	16'9
12/01/2011	13/01/2011	14/01/2011	17/01/2011	18/01/2011	19/01/2011
22'8	35'8	47'2	62'2	78'6	95'7
20/01/2011	21/01/2011	24/01/2011	25/01/2011	26/01/2011	27/01/2011
110'8	124'5	140'7	151'5	163'8	174'3
28/01/2011	31/01/2011	01/02/2011	02/02/2011	03/02/2011	04/02/2011
182'8	191'5	203'1	213'6	222'4	231'8
07/02/2011	08/02/2011	09/02/2011	10/02/2011	11/02/2011	14/02/2011
239'2	246'8	247'3	249'8	252'4	257'2
15/02/2011	16/02/2011	17/02/2011	18/02/2011	21/02/2011	-
262'5	265'8	267'2	268'8	269'9	-

Tabla 6.9: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 04

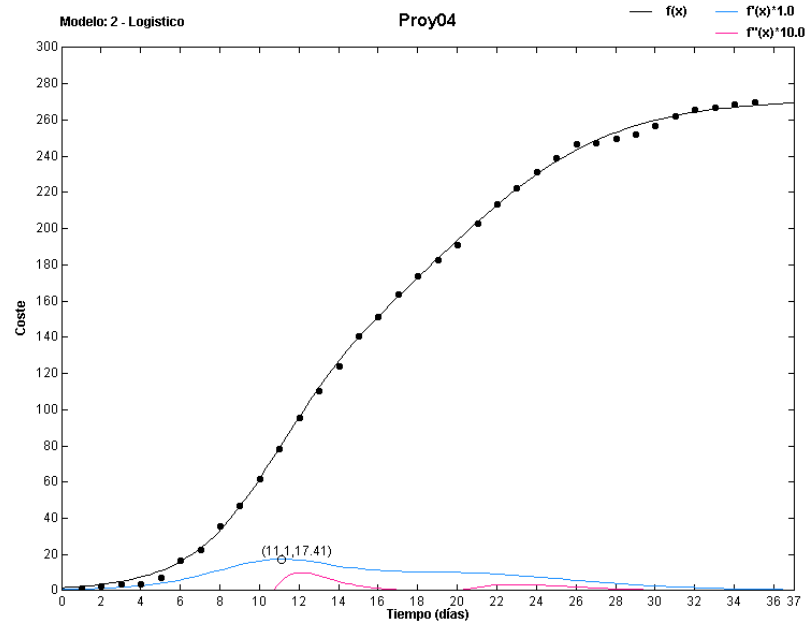
Proyecto 04		Tipo: 2-Logístico	
t_μ		10'697442196353	20'1463743293
$t_\mu(0)$ desv. estándar		0'1933084876454	
$t_\mu(0)$ media		10'684523394320	
cv(0)		2 %	
$t_\mu(1)$ desv. estándar		20'016967952593	
$t_\mu(1)$ media		0'3869961768025	
cv(1)		3 %	
Δt		9'2945270990159	17'4525957372
$\Delta t(0)$ desv. estándar		0'0432226533630	
$\Delta t(0)$ media		0'0391995301494	
cv(0)		8 %	
$\Delta t(1)$ desv. estándar		0'0184319420218	
$\Delta t(1)$ media		0'2508239257710	
cv(1)		7 %	
P_f		121'37758035994	150'222165936
$P_f(0)$ desv. estándar		14'553748486570	
$P_f(0)$ media		118'67764063563	
cv(0)		12 %	
$P_f(1)$ desv. estándar		15'554135276402	
$P_f(1)$ media		153'07967247161	
cv(1)		10 %	
rango		1'6 - 269'9	
dominio		35	
error máximo		1'78 % (Punto 29)	

Tabla 6.10: Parámetros obtenidos del Proyecto 04

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.5.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.5: Gráficas del Proyecto 04

6.3.5. Proyecto 05

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 05 es la siguiente:

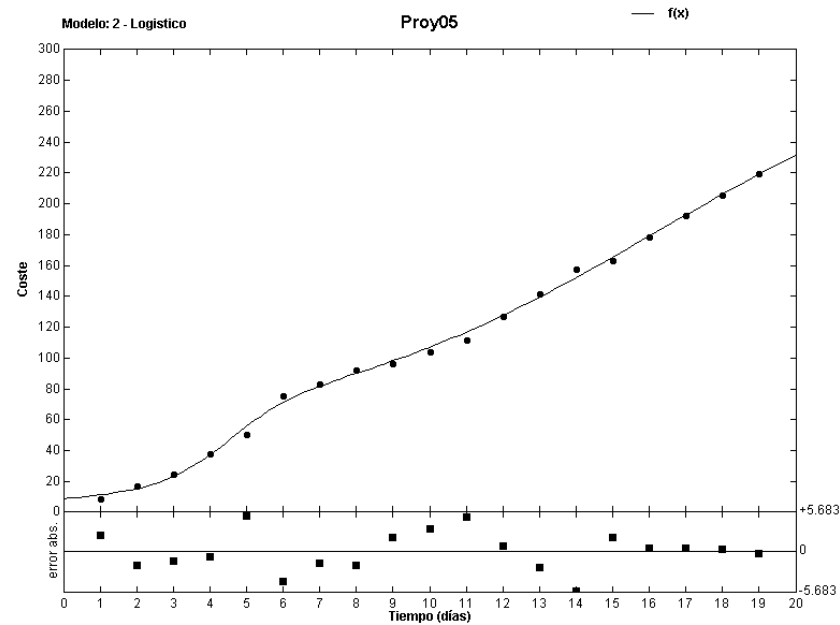
17/01/2011	18/01/2011	19/01/2011	20/01/2011	21/01/2011	24/01/2011
8'8	17'3	24'5	38'0	50'6	75'6
25/01/2011	26/01/2011	27/01/2011	28/01/2011	31/01/2011	01/02/2011
83'5	92'1	96'2	103'8	111'9	126'8
02/02/2011	03/02/2011	04/02/2011	07/02/2011	08/02/2011	09/02/2011
141'8	157'8	163'4	178'6	192'3	205'9
10/02/2011	-	-	-	-	-
219'7	-	-	-	-	-

Tabla 6.11: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 05

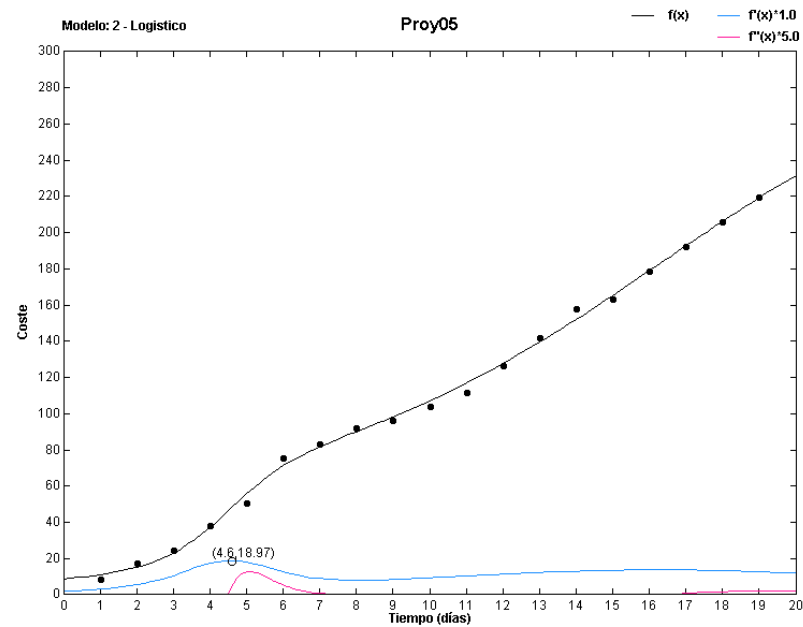
Proyecto 05	Tipo: 2-Logístico	
t_μ	4'491374087	16'26909479
$t_\mu(0)$ desv. estándar	0'2059761030920	
$t_\mu(0)$ media	4'5769175605497	
cv(0)	5 %	
$t_\mu(1)$ desv. estándar	0'9335559013791	
$t_\mu(1)$ media	16'389250059915	
cv(1)	6 %	
Δt	3'766043631	20'92241742
$\Delta t(0)$ desv. estándar	0'3408122447065	
$\Delta t(0)$ media	1'2391513538105	
cv(0)	28 %	
$\Delta t(1)$ desv. estándar	0'0282358819268	
$\Delta t(1)$ media	0'2156771138661	
cv(1)	13 %	
P_f	51'40141573	262'7084989
$P_f(0)$ desv. estándar	10'674012563782	
$P_f(0)$ media	53'780788400728	
cv(0)	20 %	
$P_f(1)$ desv. estándar	33'383516484362	
$P_f(1)$ media	261'87380470965	
cv(1)	13 %	
rango	8'8 - 219'7	
dominio	19	
error máximo	3'6 % (Punto 14)	

Tabla 6.12: Parámetros obtenidos del Proyecto 05

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.6.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.6: Gráficas del Proyecto 05

6.3.6. Proyecto 06

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 06 es la siguiente:

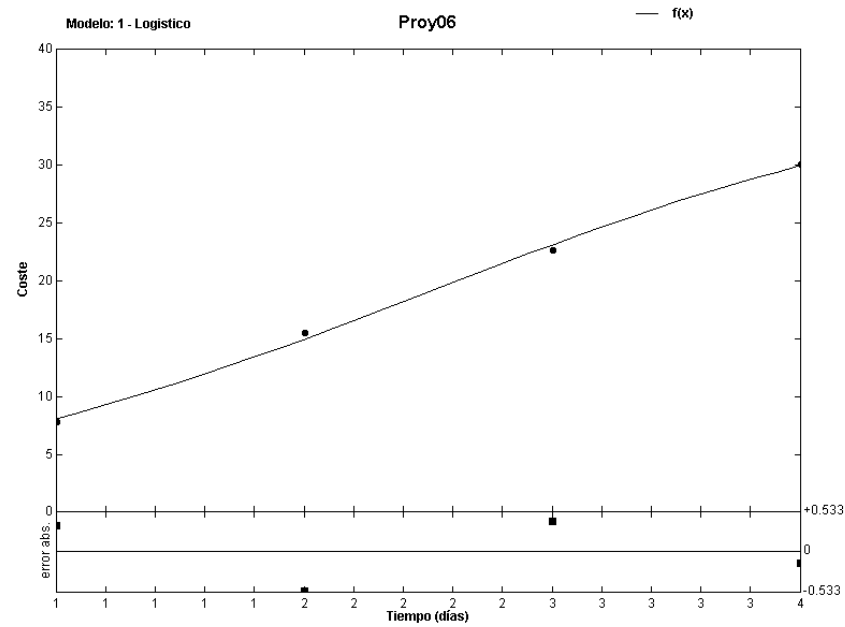
03/01/11	04/01/11	05/01/11	07/01/11
7'8	15'5	22'7	30'1

Tabla 6.13: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 06

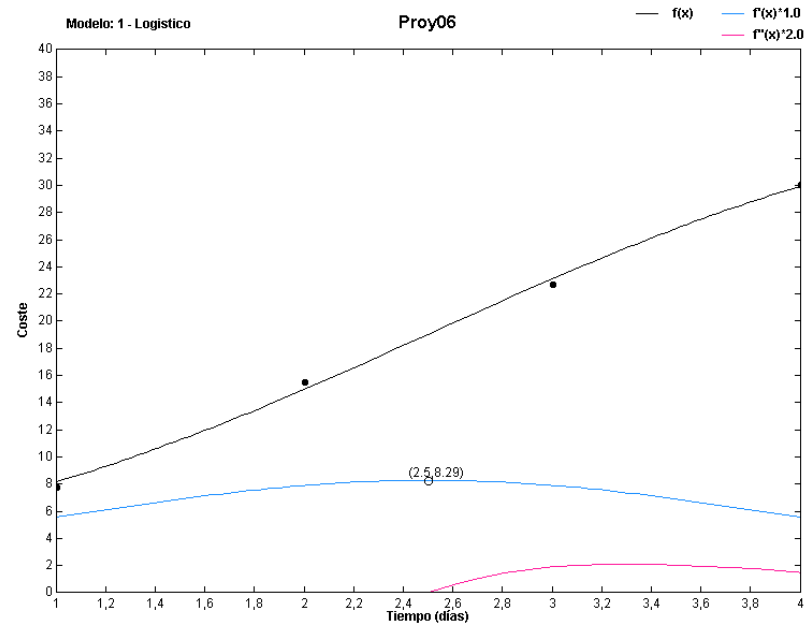
Proyecto 06	Tipo: 1-Logístico
t_μ	2'50376984657676
$t_\mu(0)$ desv. estándar	0'17860561854035
$t_\mu(0)$ media	2'54513539781306
cv(0)	7 %
Δt	5'05551954169259
$\Delta t(0)$ desv. estándar	0'07070501830661
$\Delta t(0)$ media	0'86405049966985
cv(0)	8 %
P_f	38'1283414843321
$P_f(0)$ desv. estándar	2'45572058154788
$P_f(0)$ media	38'7984219508063
cv(0)	6 %
rango	7'8 - 30'1
dominio	4
error máximo	3'4 % (Punto 2)

Tabla 6.14: Parámetros obtenidos del Proyecto 06

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.7.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.7: Gráficas del Proyecto 06

6.3.7. Proyecto 07

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 07 es la siguiente:

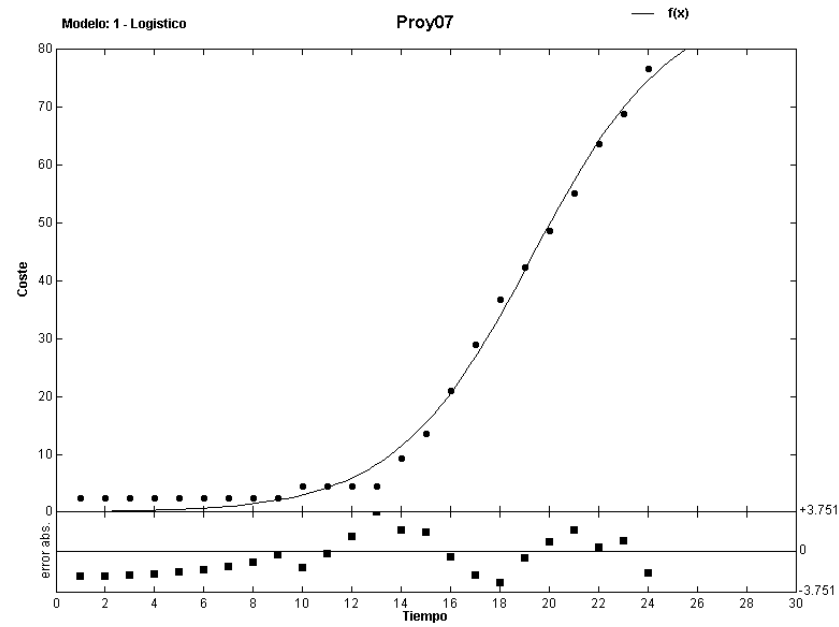
26/01/2011	27/01/2011	28/01/2011	31/01/2011	01/02/2011	02/02/2011
2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
03/02/2011	04/02/2011	07/02/2011	08/02/2011	09/02/2011	10/02/2011
2,5	2,5	2,5	4,5	4,5	4,5
11/02/2011	14/02/2011	15/02/2011	16/02/2011	17/02/2011	18/02/2011
4,5	9,3	13,6	21,1	29	36,9
21/02/2011	22/02/2011	23/02/2011	24/02/2011	25/02/2011	28/02/2011
42,4	48,7	55,2	63,7	68,9	76,7

Tabla 6.15: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 07

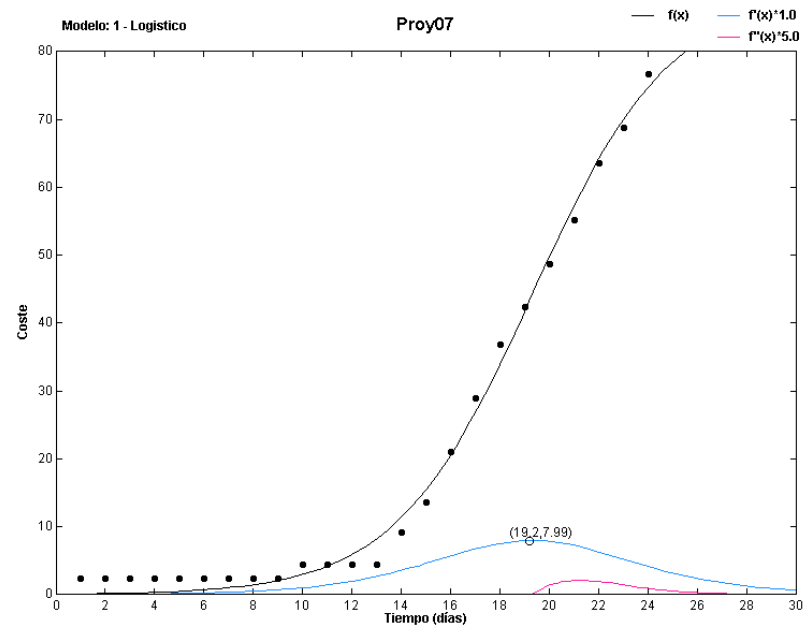
Proyecto 07	Tipo: 1-Logístico
t_μ	19,31860793
$t_\mu(0)$ desv. estándar	0,29133531527112
$t_\mu(0)$ media	19,2578326498907
cv(0)	2 %
Δt	12,1710427759166
$\Delta t(0)$ desv. estándar	0,01980910626715
$\Delta t(0)$ media	0,37811080375562
cv(0)	5 %
P_f	88,5191435152462
$P_f(0)$ desv. estándar	3,57031134302115
$P_f(0)$ media	86,5317865187007
cv(0)	4 %
rango	2'5 - 76'7
dominio	24
error máximo	83,3 % (Punto 13)

Tabla 6.16: Parámetros obtenidos del Proyecto 07

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.8.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.8: Gráficas del Proyecto 07

6.3.8. Proyecto 08

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 08 es la siguiente:

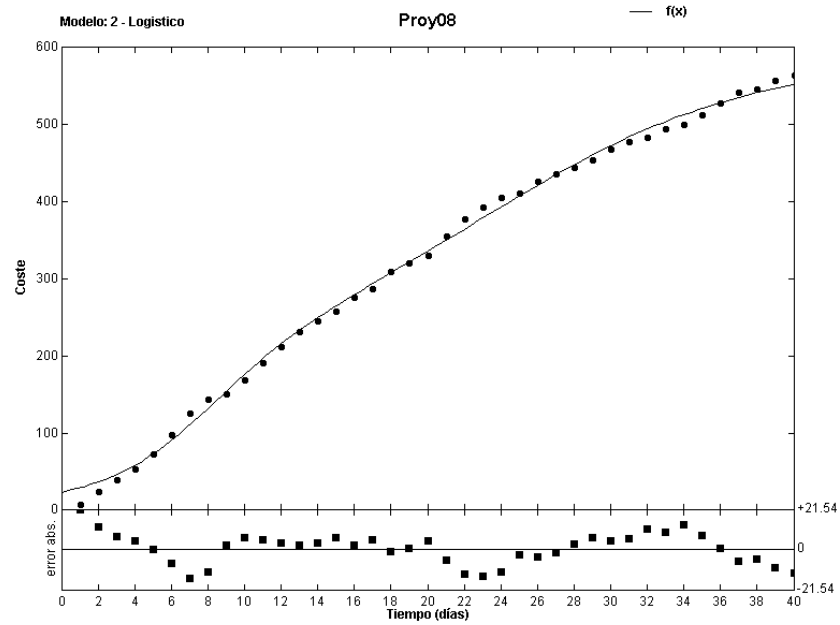
03/01/2011	04/01/2011	05/01/2011	07/01/2011	10/01/2011	11/01/2011
7'7	24'6	39'3	53'7	73'3	98'8
12/01/2011	13/01/2011	14/01/2011	17/01/2011	18/01/2011	19/01/2011
126'1	144'2	151'2	169'5	190'9	212'0
20/01/2011	21/01/2011	24/01/2011	25/01/2011	26/01/2011	27/01/2011
231'2	246'4	258'7	277'0	288'1	309'2
28/01/2011	31/01/2011	01/02/2011	02/02/2011	03/02/2011	04/02/2011
320'8	330'8	356'0	378'0	393'4	405'7
07/02/2011	08/02/2011	09/02/2011	10/02/2011	11/02/2011	14/02/2011
410'9	426'0	437'1	445'3	454'2	467'9
15/02/2011	16/02/2011	17/02/2011	18/02/2011	21/02/2011	22/02/2011
478'0	483'1	494'6	499'8	513'3	527'7
23/02/2011	24/02/2011	25/02/2011	28/02/2011	-	-
542'0	546'8	557'2	565'0	-	-

Tabla 6.17: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 08

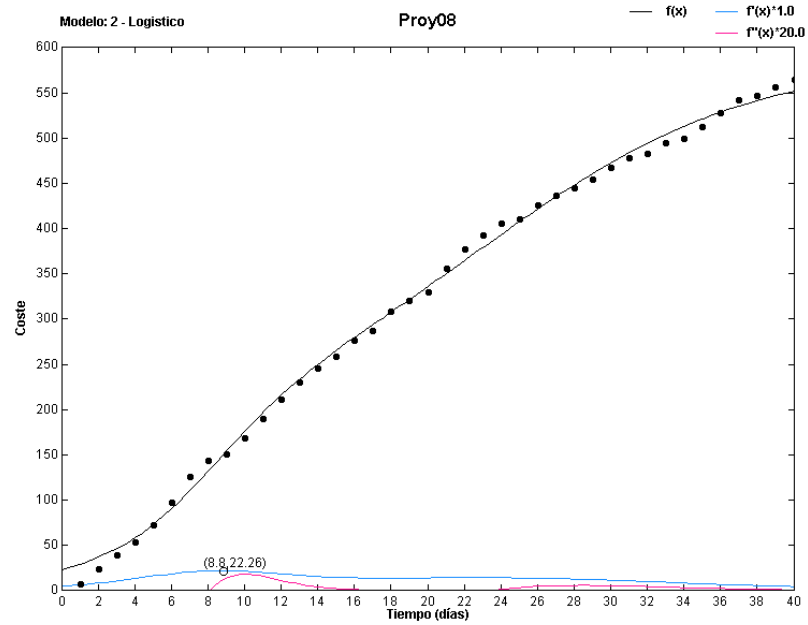
Proyecto 08		Tipo: 2-Logístico	
t_μ		8'1207114884905	23'5663219123
$t_\mu(0)$ desv. estándar		0'3485859633413	
$t_\mu(0)$ media		8'2995738169281	
cv(0)		4 %	
$t_\mu(1)$ desv. estándar		1'1798222276270	
$t_\mu(1)$ media		23'844044246073	
cv(1)		5 %	
Δt		12'156050212646	31'0277516668
$\Delta t(0)$ desv. estándar		0'0883501185953	
$\Delta t(0)$ media		0'3698630388471	
cv(0)		24 %	
$\Delta t(1)$ desv. estándar		0'0178445713444	
$\Delta t(1)$ media		0'1436062199406	
cv(1)		12 %	
P_f		187'78767899400	399'870016634
$P_f(0)$ desv. estándar		38'722434738873	
$P_f(0)$ media		194'35056042878	
cv(0)		20 %	
$P_f(1)$ desv. estándar		46'867664522740	
$P_f(1)$ media		394'99633880327	
cv(1)		12 %	
rango		7'7 - 565'0	
dominio		30	
error máximo		277 % (Punto 1)	

Tabla 6.18: Parámetros obtenidos del Proyecto 08

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.9.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.9: Gráficas del Proyecto 08

6.3.9. Proyecto 09

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 09 es la siguiente:

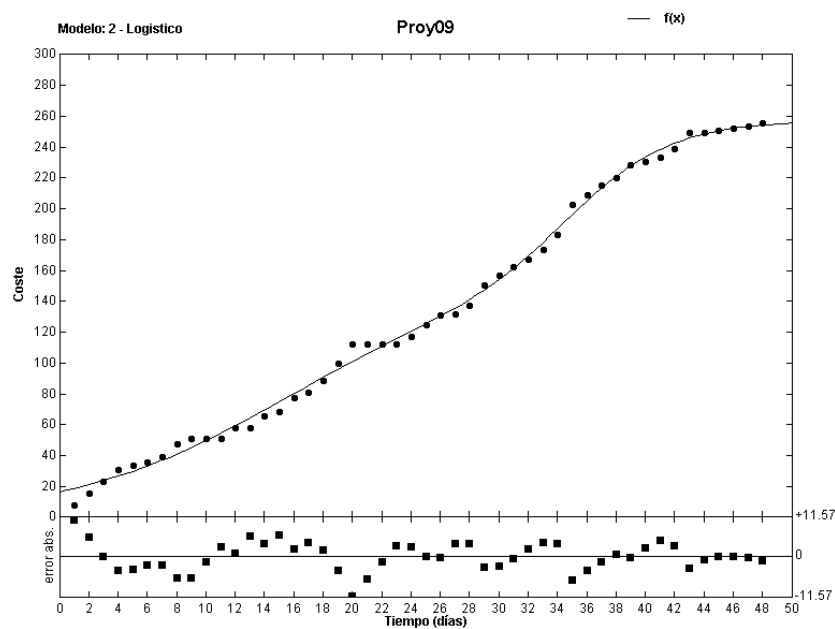
11/01/2011	12/01/2011	13/01/2011	14/01/2011	17/01/2011	18/01/2011
7'9	15'5	23'4	30'9	33'7	35'7
19/01/2011	20/01/2011	21/01/2011	24/01/2011	25/01/2011	26/01/2011
39'6	47'4	51'4	51'4	51'4	58'4
27/01/2011	28/01/2011	31/01/2011	01/02/2011	02/02/2011	03/02/2011
58'4	65'9	68'4	77'7	81'3	88'6
04/02/2011	07/02/2011	08/02/2011	09/02/2011	10/02/2011	11/02/2011
100'0	112'5	112'5	112'5	112'5	117'5
14/02/2011	15/02/2011	16/02/2011	17/02/2011	18/02/2011	21/02/2011
125'1	130'9	131'9	137'5	150'6	157'1
22/02/2011	23/02/2011	24/02/2011	25/02/2011	28/02/2011	01/03/2011
162'3	167'2	173'7	183'2	202'9	209'1
02/03/2011	03/03/2011	04/03/2011	07/03/2011	08/03/2011	09/03/2011
215'2	220'4	228'5	231'0	233'8	239'3
10/03/2011	11/03/2011	14/03/2011	15/03/2011	16/03/2011	17/03/2011
249'4	249'5	250'7	252'2	253'9	255'6

Tabla 6.19: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 09

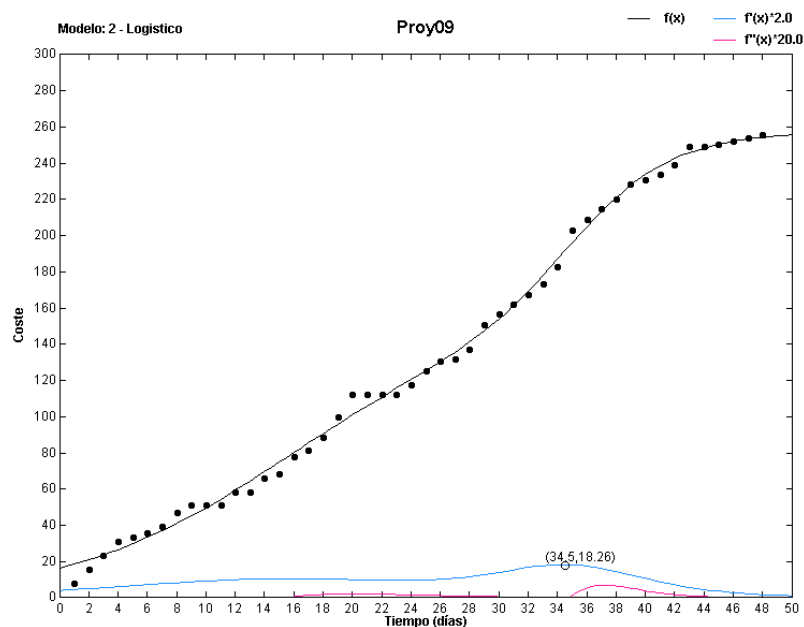
Proyecto 09		Tipo: 2-Logístico	
t_μ		15'067715481237	34'8730766654
$t_\mu(0)$ desv. estándar		1'8316117193990	
$t_\mu(0)$ media		14'937905008717	
cv(0)		12 %	
$t_\mu(1)$ desv. estándar		0'4855974183611	
$t_\mu(1)$ media		34'761196628813	
cv(1)		1 %	
Δt		31'621101866251	15'0238972951
$\Delta t(0)$ desv. estándar		0'0148390679533	
$\Delta t(0)$ media		0'1425542933984	
cv(0)		10 %	
$\Delta t(1)$ desv. estándar		0'0516681461290	
$\Delta t(1)$ media		0'3021399928429	
cv(1)		17 %	
P_f		149'77778298172	108'362986488
$P_f(0)$ desv. estándar		17'357820461453	
$P_f(0)$ media		148'96057016137	
cv(0)		12 %	
$P_f(1)$ desv. estándar		17'456147964594	
$P_f(1)$ media		109'27647956714	
cv(1)		16 %	
rango		7'9 - 255'6	
dominio		48	
error máximo		10'28 % (Punto 20)	

Tabla 6.20: Parámetros obtenidos del Proyecto 09

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.10.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.10: Gráficas del Proyecto 09

6.3.10. Proyecto 10

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 10 es la siguiente:

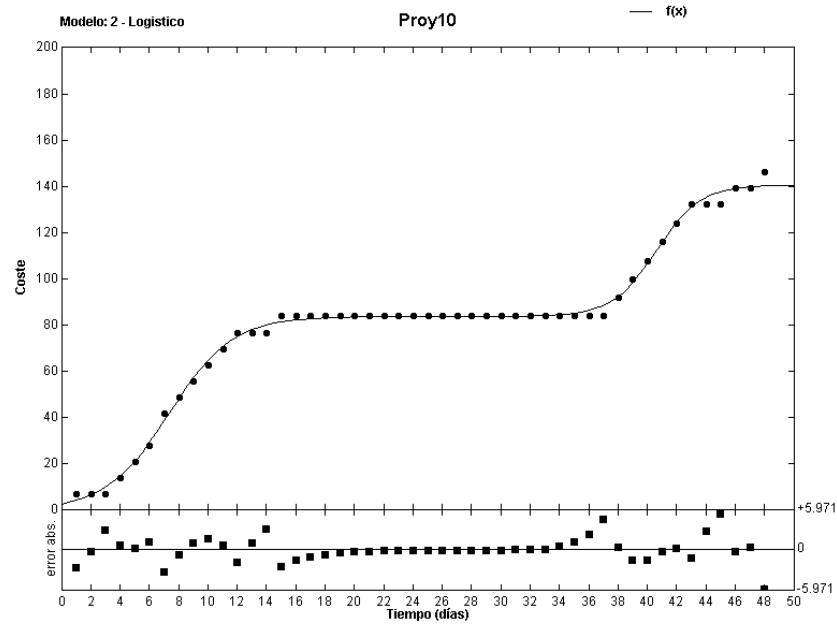
05/01/2011	07/01/2011	10/01/2011	11/01/2011	12/01/2011	13/01/2011
7'0	7'0	7'0	14'0	21'0	28'0
14/01/2011	17/01/2011	18/01/2011	19/01/2011	20/01/2011	21/01/2011
42'0	49'0	56'0	63'0	70'0	77'0
24/01/2011	25/01/2011	26/01/2011	27/01/2011	28/01/2011	31/01/2011
77'0	77'0	84'0	84'0	84'0	84'0
01/02/2011	02/02/2011	03/02/2011	04/02/2011	07/02/2011	08/02/2011
84'0	84'0	84'0	84'0	84'0	84'0
09/02/2011	10/02/2011	11/02/2011	14/02/2011	15/02/2011	16/02/2011
84'0	84'0	84'0	84'0	84'0	84'0
17/02/2011	18/02/2011	21/02/2011	22/02/2011	23/02/2011	24/02/2011
84'0	84'0	84'0	84'0	84'0	84'0
25/02/2011	28/02/2011	01/03/2011	02/03/2011	03/03/2011	04/03/2011
84'0	91'9	100'0	108'1	116'2	124'2
07/03/11	08/03/11	09/03/11	10/03/11	11/03/11	14/03/11
132'3	132'3	132'3	139'5	139'5	146'2

Tabla 6.21: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 10

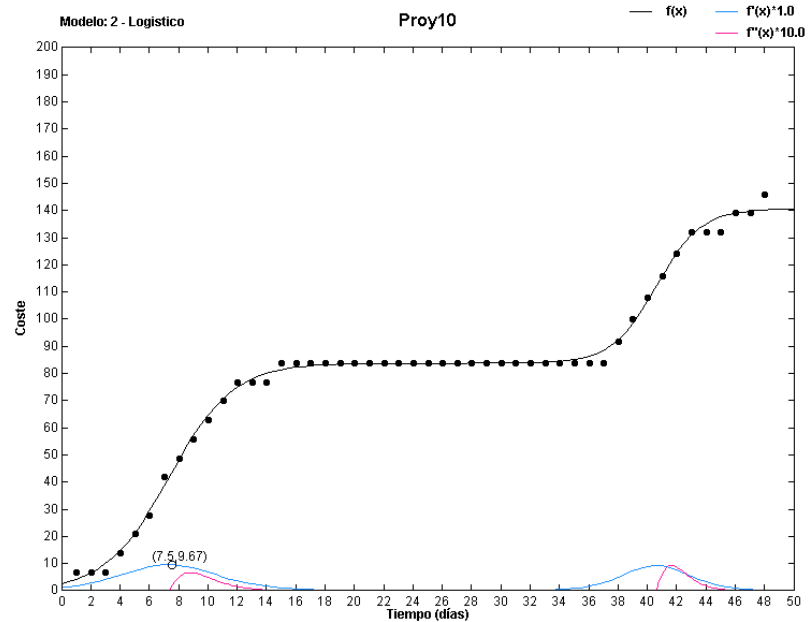
Proyecto 10		Tipo: 2-Logístico	
t_μ		7'3500958019469	40'6213000721
$t_\mu(0)$ desv. estándar		0'0917564787067	
$t_\mu(0)$ media		7'3539795526236	
cv(0)		1 %	
$t_\mu(1)$ desv. estándar		0'1463235322033	
$t_\mu(1)$ media		40'613083505569	
cv(1)		0'3 %	
Δt		9'5077514139417	6'62068028915
$\Delta t(0)$ desv. estándar		0'0160375636498	
$\Delta t(0)$ media		0'4590477191454	
cv(0)		3 %	
$\Delta t(1)$ desv. estándar		0'0573614123161	
$\Delta t(1)$ media		0'6813988826653	
cv(1)		8 %	
P_f		83'788305741336	56'8675473032
$P_f(0)$ desv. estándar		0'4191410948882	
$P_f(0)$ media		83'730259541138	
cv(0)		1 %	
$P_f(1)$ desv. estándar		1'4745538092333	
$P_f(1)$ media		56'781702899643	
cv(1)		2'5 %	
rango		7'0 - 146'2	
dominio		48	
error máximo		4'02 % (Punto 48)	

Tabla 6.22: Parámetros obtenidos del Proyecto 10

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.11.



(a) Curva calculada con Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada

Figura 6.11: Gráficas del Proyecto 10.

6.3.11. Proyecto 11

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 11 es la siguiente:

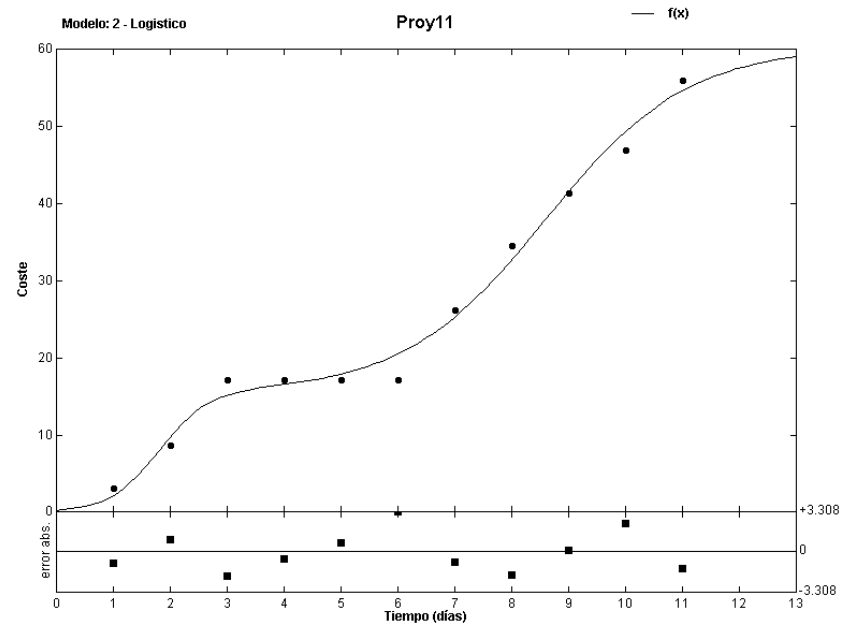
01/02/2011	02/02/2011	03/02/2011	04/02/2011	07/02/2011	08/02/2011
3'2	8'7	17'2	17'2	17'2	17'2
09/02/2011	10/02/2011	11/02/2011	14/02/2011	15/02/2011	-
26'2	34'6	41'4	47'0	56'1	-

Tabla 6.23: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 11

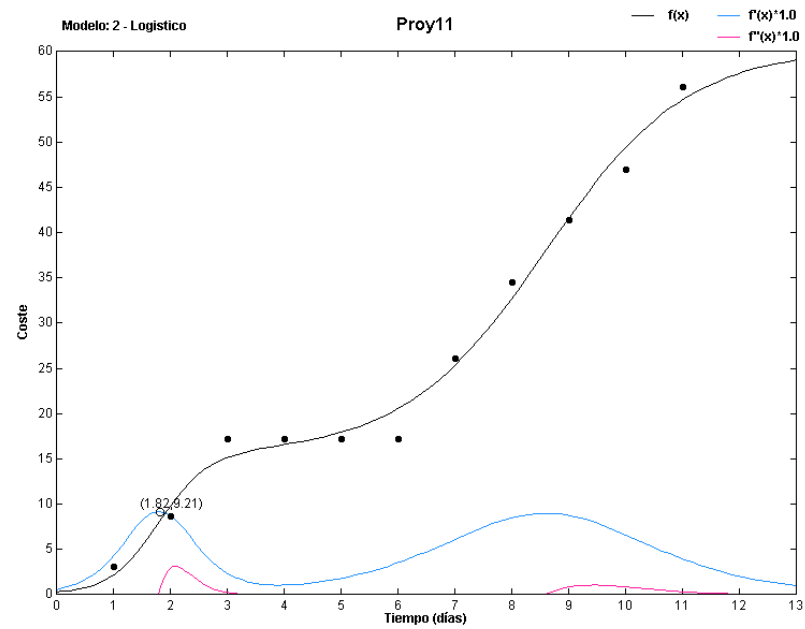
Proyecto 11	Tipo: 2-Logístico	
t_μ	1'8107177704166	8'60220425081
$t_\mu(0)$ desv. estándar	0'2356273683251	
$t_\mu(0)$ media	1'8156887770904	
cv(0)	14 %	
$t_\mu(1)$ desv. estándar	0'3575015755094	
$t_\mu(1)$ media	8'7287838005012	
cv(1)	4 %	
Δt	15'581127474689	44'7496774461
$\Delta t(0)$ desv. estándar	2'6728904763059	
$\Delta t(0)$ media	15'143941203191	
cv(0)	18 %	
$\Delta t(1)$ desv. estándar	7'5310671358256	
$\Delta t(1)$ media	47'288249100554	
cv(1)	16 %	
P_f	1'8889727789937	5'45767393115
$P_f(0)$ desv. estándar	1'7727915714339	
$P_f(0)$ media	3'0633587872357	
cv(0)	58 %	
$P_f(1)$ desv. estándar	0'2192420063873	
$P_f(1)$ media	0'8015679647856	
cv(1)	27 %	
rango	3'2 - 56'1	
dominio	11	
error máximo	17'7 % (Punto 6)	

Tabla 6.24: Parámetros obtenidos del Proyecto 11

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.12.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.12: Gráficas del Proyecto 11

6.3.12. Proyecto 12

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 12 es la siguiente:

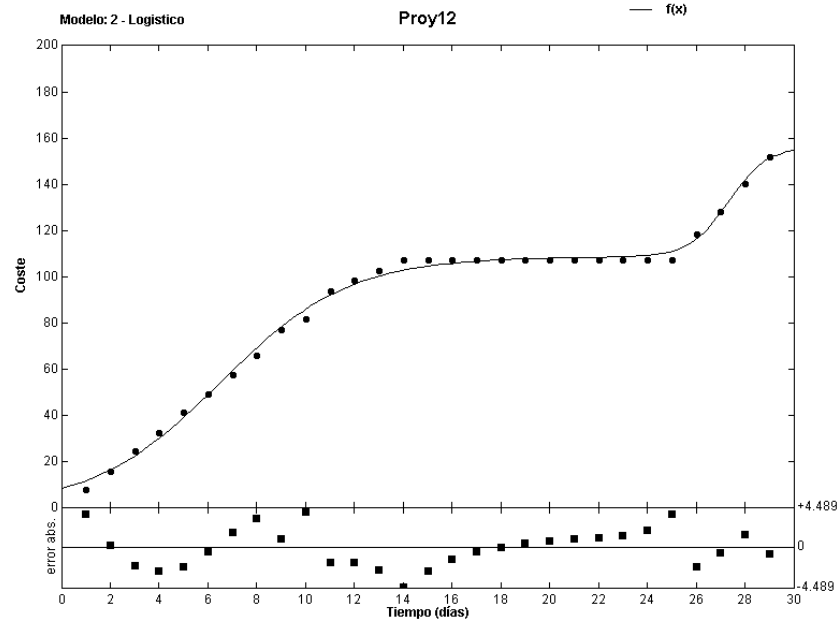
14/02/2011	15/02/2011	16/02/2011	17/02/2011	18/02/2011	21/02/2011
8'1	16'2	24'7	32'9	41'3	49'6
22/02/2011	23/02/2011	24/02/2011	25/02/2011	28/02/2011	01/03/2011
57'7	66'1	77'4	82'0	93'8	98'5
02/03/2011	03/03/2011	04/03/2011	07/03/2011	08/03/2011	09/03/2011
102'9	107'3	107'3	107'3	107'3	107'3
10/03/2011	11/03/2011	14/03/2011	15/03/2011	16/03/2011	17/03/2011
107'3	107'3	107'3	107'3	107'3	107'3
18/03/2011	21/03/2011	22/03/2011	23/03/2011	24/03/2011	-
107'3	118'5	128'4	140'5	152'0	-

Tabla 6.25: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 12

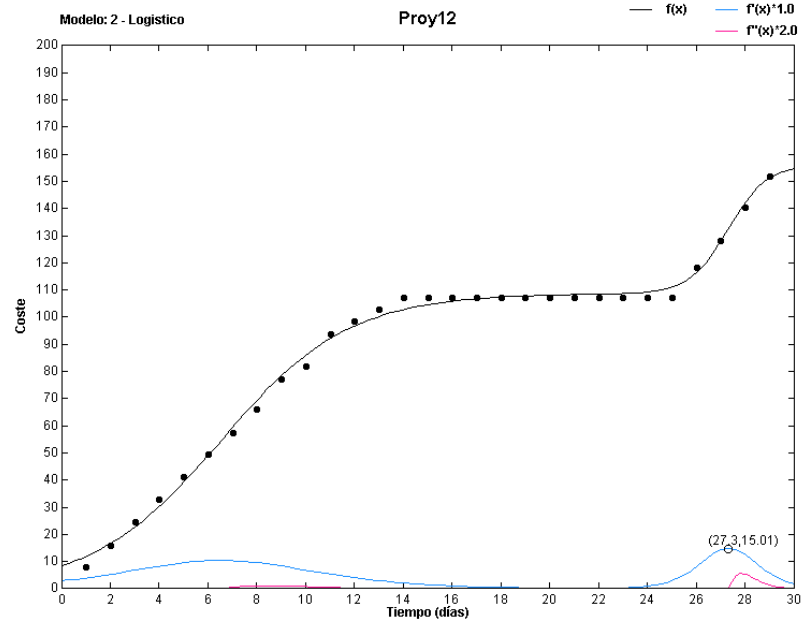
Proyecto 12		Tipo: 2-Logístico	
t_μ		6'5116465572692	27'3286147682
$t_\mu(0)$ desv. estándar		0'1002995778168	
$t_\mu(0)$ media		6'5184732589675	
cv(0)		2 %	
$t_\mu(1)$ desv. estándar		0'2841614914549	
$t_\mu(1)$ media		27'426491996057	
cv(1)		1 %	
Δt		11'495048520725	3'49393714281
$\Delta t(0)$ desv. estándar		0'0143768649352	
$\Delta t(0)$ media		0'3802225210977	
cv(0)		4 %	
$\Delta t(1)$ desv. estándar		0'2698642746275	
$\Delta t(1)$ media		1'2533566510717	
cv(1)		22 %	
P_f		108'72991883471	47'7181913704
$P_f(0)$ desv. estándar		0'9694902336128	
$P_f(0)$ media		108'85336340832	
cv(0)		1 %	
$P_f(1)$ desv. estándar		5'9155236108661	
$P_f(1)$ media		49'800545737337	
cv(1)		12 %	
rango		8'1 - 152'0	
dominio		29	
error máximo		4'1 % (Punto 14)	

Tabla 6.26: Parámetros obtenidos del Proyecto 12

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.13.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.13: Gráficas del Proyecto 12

6.3.13. Proyecto 13

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 13 es la siguiente:

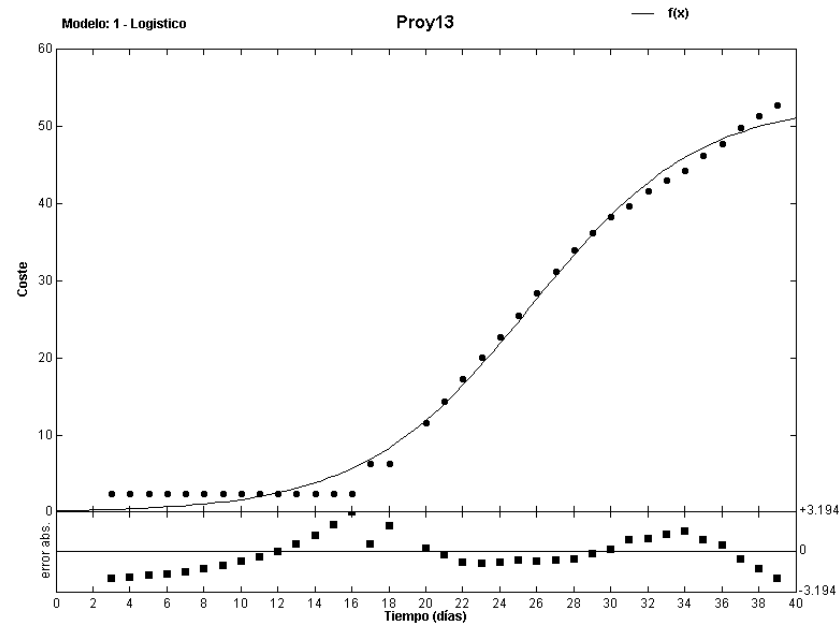
03/01/2011	04/01/2011	05/01/2011	07/01/2011	10/01/2011	11/01/2011
1'0	2'0	2'5	2'5	2'5	2'5
12/01/2011	13/01/2011	14/01/2011	17/01/2011	18/01/2011	19/01/2011
2'5	2'5	2'5	2'5	2'5	2'5
20/01/2011	21/01/2011	24/01/2011	25/01/2011	26/01/2011	27/01/2011
2'5	2'5	2'5	2'5	6'3	6'3
28/01/2011	31/01/2011	01/02/2011	02/02/2011	03/02/2011	04/02/2011
9'0	11'6	14'4	17'4	20'1	22'8
07/02/2011	08/02/2011	09/02/2011	10/02/2011	11/02/2011	14/02/2011
25'5	28'5	31'3	34'0	36'3	38'3
15/02/2011	16/02/2011	17/02/2011	18/02/2011	21/02/2011	22/02/2011
39'8	41'7	43'1	44'3	46'3	47'8
23/02/2011	24/02/2011	25/02/2011	-	-	-
49'9	51'4	52'8	-	-	-

Tabla 6.27: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 13

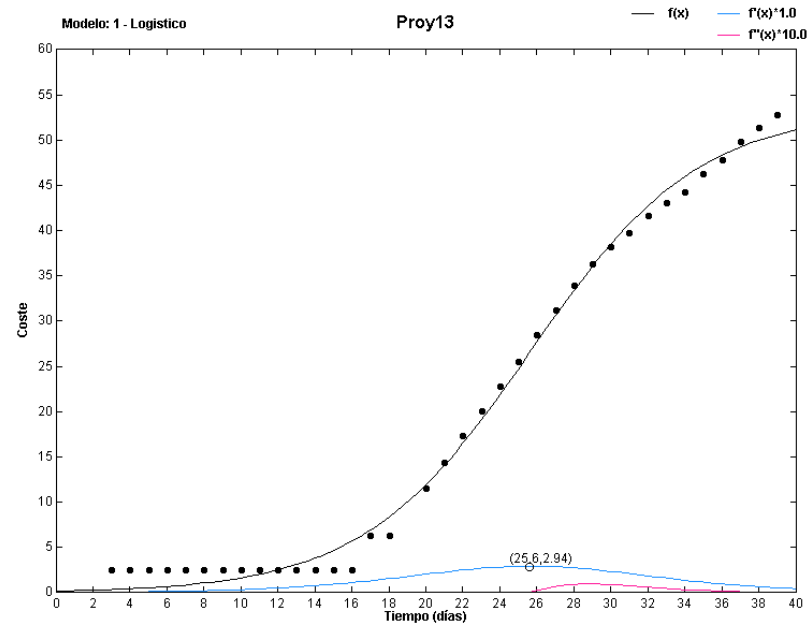
Proyecto 13	Tipo: 1-Logístico
t_μ	25'6508382692462
$t_\mu(0)$ desv. estándar	0'28846710237166
$t_\mu(0)$ media	25'6714229728776
cv(0)	1 %
Δt	19'9145979058246
$\Delta t(0)$ desv. estándar	0'00803086501645
$\Delta t(0)$ media	0'22311896552007
cv(0)	4 %
P_f	53'3061198427286
$P_f(0)$ desv. estándar	1'01159813169151
$P_f(0)$ media	53'0922957247615
cv(0)	2 %
rango	1'0 - 52'8
dominio	44
error máximo	50 % (Punto 18)

Tabla 6.28: Parámetros obtenidos del Proyecto 13

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.14.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.14: Gráficas del Proyecto 13

6.3.14. Proyecto 14

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 14 es la siguiente:

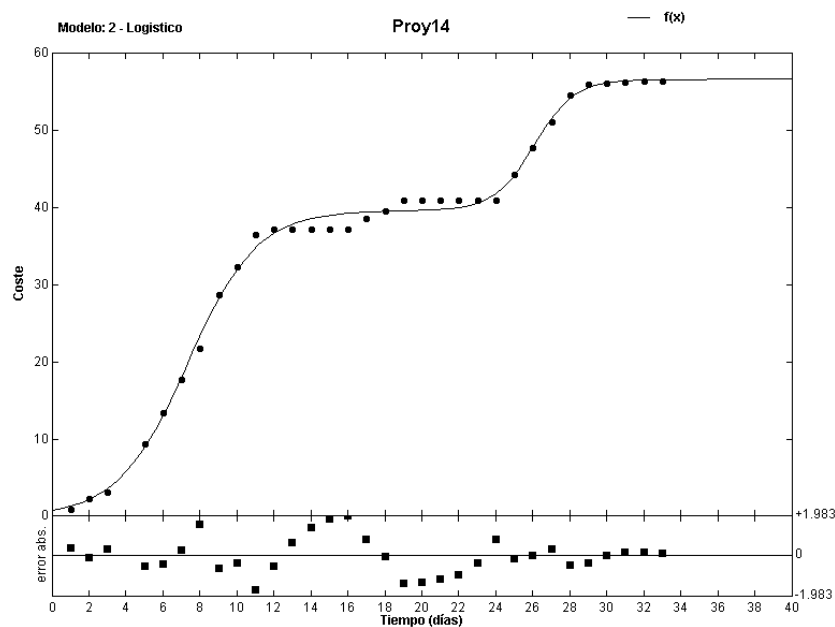
01/02/2011	02/02/2011	03/02/2011	04/02/2011	07/02/2011	08/02/2011
0'9	2'3	3'2	4'0	9'4	13'5
09/02/2011	10/02/2011	11/02/2011	14/02/2011	15/02/2011	16/02/2011
17'8	21'8	28'8	32'4	36'5	37'2
17/02/2011	18/02/2011	21/02/2011	22/02/2011	23/02/2011	24/02/2011
37'2	37'2	37'2	37'3	38'6	39'6
25/02/2011	28/02/2011	01/03/2011	02/03/2011	03/03/2011	04/03/2011
41'0	41'0	41'0	41'0	41'0	41'0
07/03/2011	08/03/2011	09/03/2011	10/03/2011	11/03/2011	14/03/2011
44'4	47'8	51'2	54'7	56'0	56'2
15/03/2011	16/03/2011	17/03/2011	-	-	-
56'3	56'4	56'5	-	-	-

Tabla 6.29: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 14

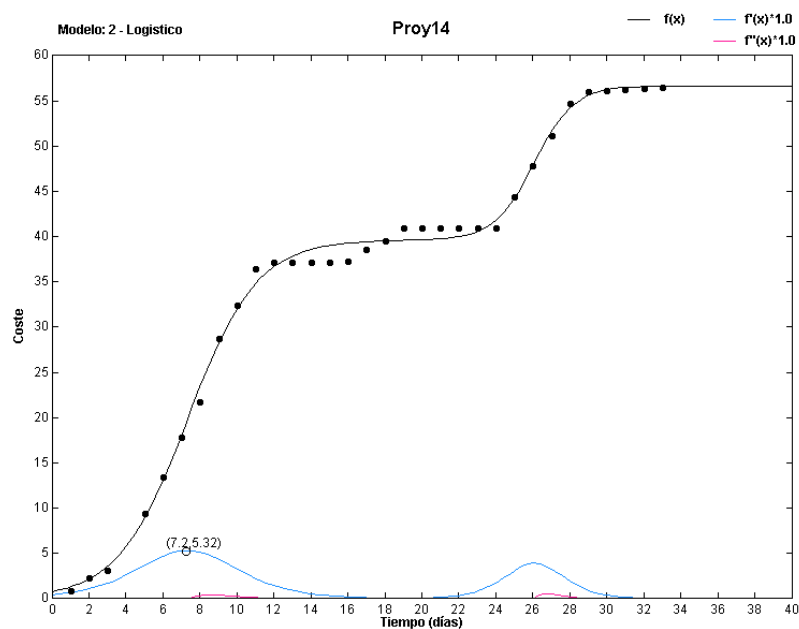
Proyecto 14	Tipo: 2-Logístico	
t_μ	7'326841663	26'08204251
$t_\mu(0)$ desv. estándar	0'0878890398480	
$t_\mu(0)$ media	7'3319867009133	
cv(0)	1 %	
$t_\mu(1)$ desv. estándar	0'1661401679977	
$t_\mu(1)$ media	26'146246744947	
cv(1)	1 %	
Δt	8'185968342	4'74129091
$\Delta t(0)$ desv. estándar	0'0239276657671	
$\Delta t(0)$ media	0'5352369060520	
cv(0)	4 %	
$\Delta t(1)$ desv. estándar	0'1197907266046	
$\Delta t(1)$ media	0'9186361588340	
cv(1)	13 %	
P_f	39'66007187	17'00224634
$P_f(0)$ desv. estándar	0'3161927905564	
$P_f(0)$ media	39'664137469260	
cv(0)	1 %	
$P_f(1)$ desv. estándar	0'6018761271869	
$P_f(1)$ media	17'110735198042	
cv(1)	4 %	
rango	0'9 - 56'5	
dominio	28	
error máximo	5'3 % (Punto 16)	

Tabla 6.30: Parámetros obtenidos del Proyecto 14

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.15.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.15: Gráficas del Proyecto 14

6.3.15. Proyecto 15

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 15 es la siguiente:

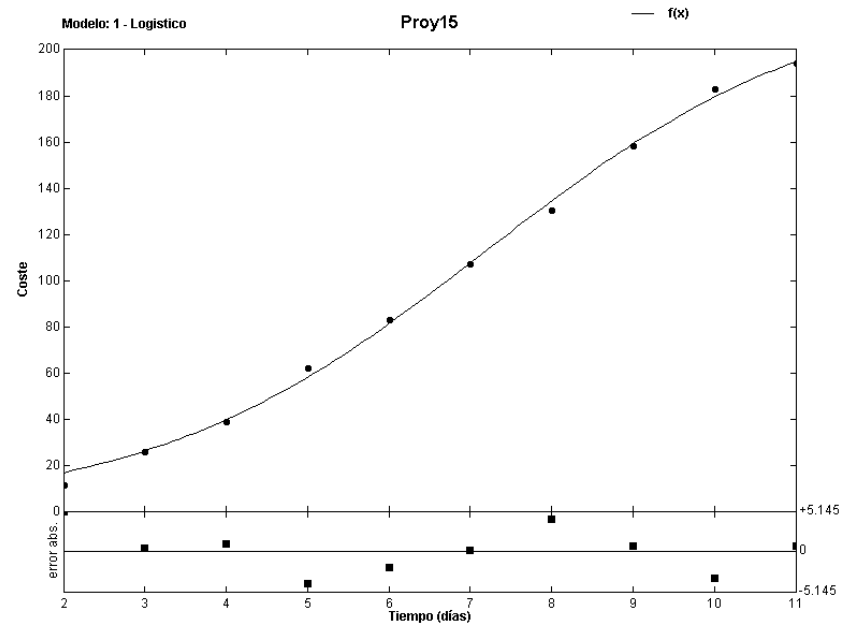
03/01/2011	04/01/2011	05/01/2011	07/01/2011	10/01/2011	11/01/2011
5'0	12'0	26'0	39'0	62'5	83'5
12/01/2011	13/01/2011	14/01/2011	17/01/2011	18/01/2011	-
107'5	130'5	158'5	183'0	194'0	-

Tabla 6.31: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 15

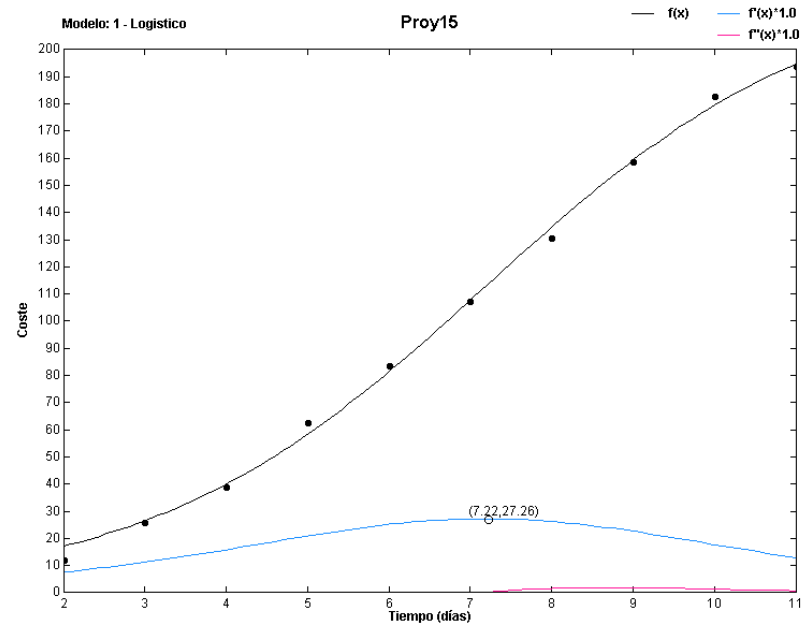
Proyecto 15	Tipo: 1-Logístico
t_μ	7'190896606
$t_\mu(0)$ desv. estándar	0'18583302840699
$t_\mu(0)$ media	7'20066718294081
cv(0)	3 %
Δt	9'10109101187644
$\Delta t(0)$ desv. estándar	0'02260653979177
$\Delta t(0)$ media	0'47991121266881
cv(0)	5 %
P_f	225'876460184034
$P_f(0)$ desv. estándar	7'86193684270791
$P_f(0)$ media	227'016047855182
cv(0)	3 %
rango	5'0 - 194'0
dominio	11
error máximo	3'9 % (Punto 8)

Tabla 6.32: Parámetros obtenidos del Proyecto 15

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.16.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.16: Gráficas del Proyecto 15

6.3.16. Proyecto 16

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 16 es la siguiente:

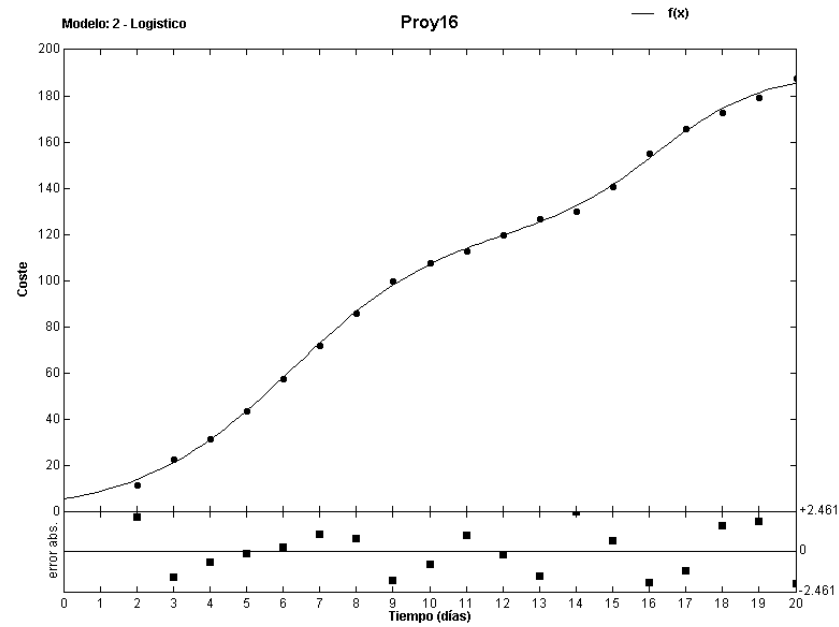
03/01/2011	04/01/2011	05/01/2011	07/01/2011	10/01/2011	11/01/2011
7'0	12'0	23'0	32'0	44'0	58'0
12/01/2011	13/01/2011	14/01/2011	17/01/2011	18/01/2011	19/01/2011
72'0	86'0	100'0	108'0	113'0	120'0
20/01/2011	21/01/2011	24/01/2011	25/01/2011	26/01/2011	27/01/2011
127'0	130'0	141'0	155'0	166'0	173'0
28/01/2011	31/01/2011	-	-	-	-
179'5	187'5	-	-	-	-

Tabla 6.33: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 16

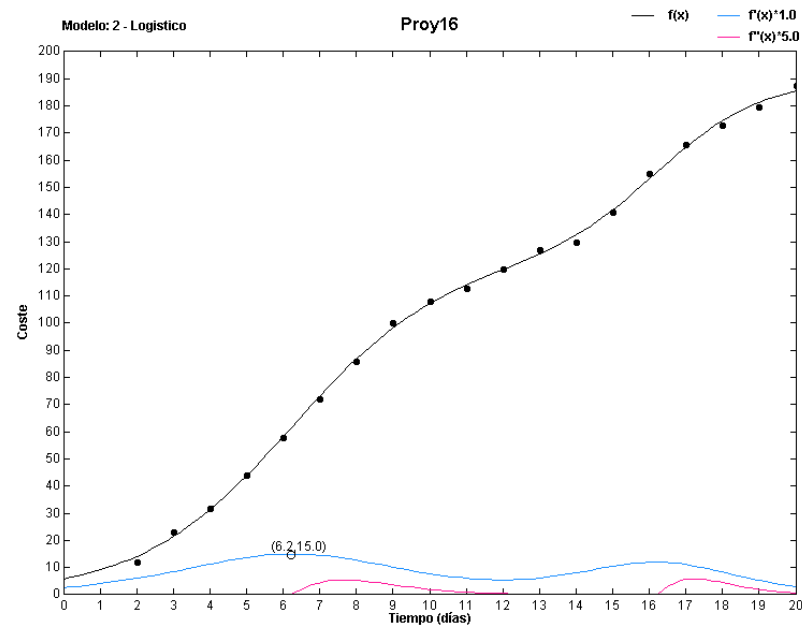
Proyecto 16		Tipo: 2-Logístico	
t_μ		6'239028575	16'24076073
$t_\mu(0)$ desv. estándar		0'1399775001058	
$t_\mu(0)$ media		6'2412959758896	
cv(0)		2 %	
$t_\mu(1)$ desv. estándar		0'1397699479873	
$t_\mu(1)$ media		16'231632218678	
cv(1)		1 %	
Δt		9'077416355	6'362531636
$\Delta t(0)$ desv. estándar		0'0194511898449	
$\Delta t(0)$ media		0'4855678125958	
cv(0)		4 %	
$\Delta t(1)$ desv. estándar		0'0867207644327	
$\Delta t(1)$ media		0'6947456900654	
cv(1)		12 %	
P_f		123'5532303	66'77830966
$P_f(0)$ desv. estándar		3'3624137635712	
$P_f(0)$ media		123'33179139329	
cv(0)		3 %	
$P_f(1)$ desv. estándar		5'7110096509120	
$P_f(1)$ media		67'020648873822	
cv(1)		9 %	
rango		7'0 - 187'5	
dominio		20	
error máximo		1'8 % (Punto 14)	

Tabla 6.34: Parámetros obtenidos del Proyecto 16

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.17.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.17: Gráficas del Proyecto 16

6.3.17. Proyecto 17

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 17 es la siguiente:

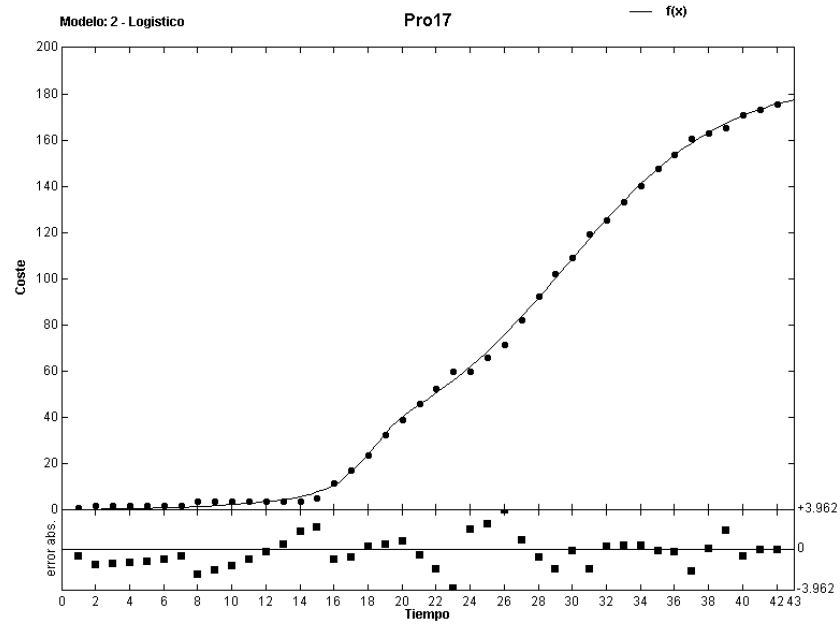
13/01/2011	14/01/2011	17/01/2011	18/01/2011	19/01/2011	20/01/2011
1'0	2'0	2'0	2'0	2'0	2'0
21/01/2011	24/01/2011	25/01/2011	26/01/2011	27/01/2011	28/01/2011
2'0	4'0	4'0	4'0	4'0	4'0
31/01/2011	01/02/2011	02/02/2011	03/02/2011	04/02/2011	07/02/2011
4'0	4'0	5'5	12'0	17'2	24'1
08/02/2011	09/02/2011	10/02/2011	11/02/2011	14/02/2011	15/02/2011
32'5	39'2	46'3	52'7	60'0	60'0
16/02/2011	17/02/2011	18/02/2011	21/02/2011	22/02/2011	23/02/2011
66'0	71'8	82'5	92'5	102'2	109'1
24/02/2011	25/02/2011	28/02/2011	01/03/2011	02/03/2011	03/03/2011
119'4	125'4	133'2	140'5	147'7	153'8
04/03/2011	07/03/2011	08/03/2011	09/03/2011	10/03/2011	11/03/2011
160'9	163'1	165'2	171'2	173'2	175'7

Tabla 6.35: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 17

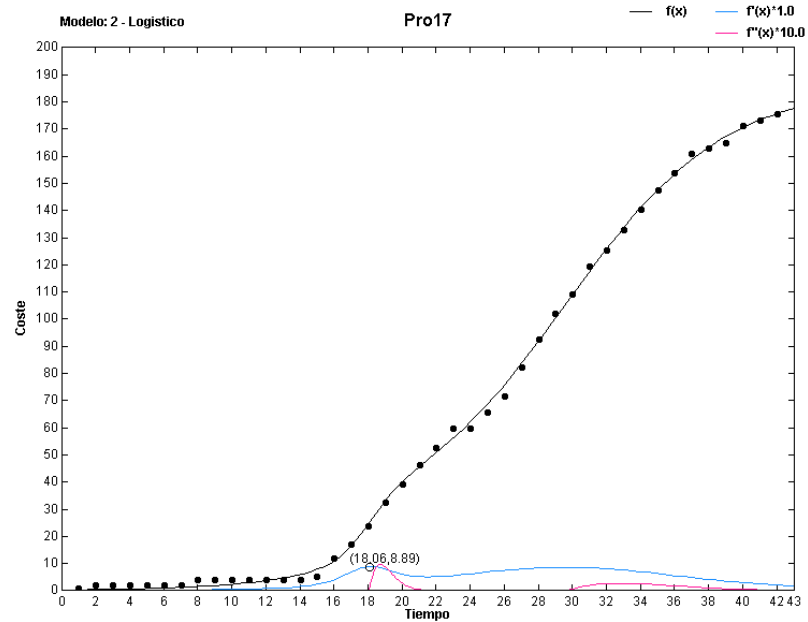
Proyecto 17		Tipo: 2-Logístico	
t_μ		18'055380718678	29'6028197719
$t_\mu(0)$ desv. estándar		0'1643882746467	
$t_\mu(0)$ media		18'099887225128	
cv(0)		1 %	
$t_\mu(1)$ desv. estándar		0'2236746565301	
$t_\mu(1)$ media		29'664648799935	
cv(1)		1 %	
Δt		4'231270285	20'4606166
$\Delta t(0)$ desv. estándar		0'2525715100563	
$\Delta t(0)$ media		1'0089814580826	
cv(0)		25 %	
$\Delta t(1)$ desv. estándar		0'0064047558321	
$\Delta t(1)$ media		0'2189695145574	
cv(1)		3 %	
P_f		24'698924997190	161'546340141
$P_f(0)$ desv. estándar		3'2369863865782	
$P_f(0)$ media		26'362689917042	
cv(0)		12 %	
$P_f(1)$ desv. estándar		3'6663730168491	
$P_f(1)$ media		158'738231715762	
cv(1)		2 %	
rango		1'0 - 175'7	
dominio		42	
error máximo		5'6 % (Punto 26)	

Tabla 6.36: Parámetros obtenidos del Proyecto 17

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.18.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.18: Gráficas del Proyecto 17

6.3.18. Proyecto 18

La tabla de horas acumuladas, imputadas al proyecto, por día del Proyecto 18 es la siguiente:

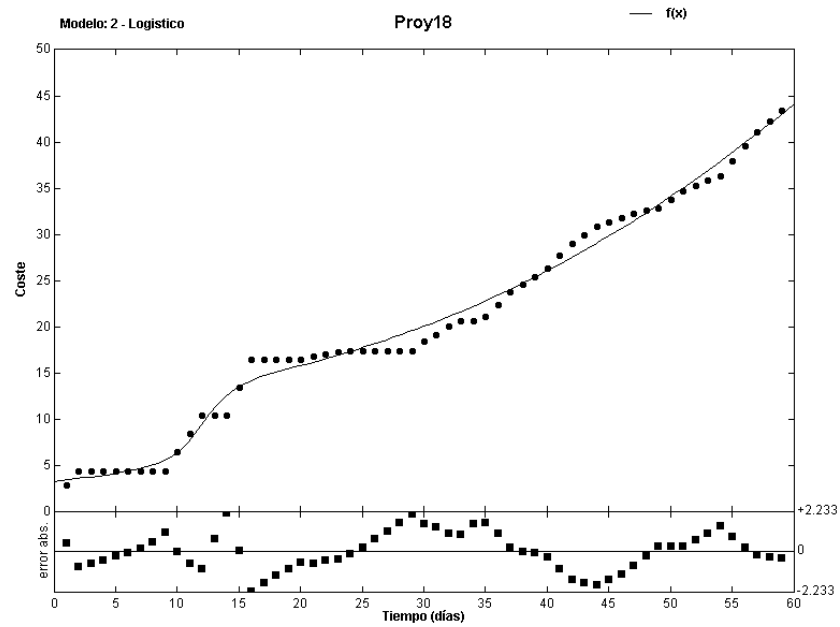
03/01/11	04/01/11	05/01/11	07/01/11	10/01/11	11/01/11	12/01/11
3'0	4'5	4'5	4'5	4'5	4'5	4'5
13/01/11	14/01/11	17/01/11	18/01/11	19/01/11	20/01/11	21/01/11
4'5	4'5	6'5	8'5	10'5	10'5	10'5
24/01/11	25/01/11	26/01/11	27/01/11	28/01/11	31/01/11	01/02/11
13'5	16'5	16'5	16'5	16'5	16'5	16'9
02/02/11	03/02/11	04/02/11	07/02/11	08/02/11	09/02/11	10/02/11
17'1	17'4	17'5	17'5	17'5	17'5	17'5
11/02/11	14/02/11	15/02/11	16/02/11	17/02/11	18/02/11	21/02/11
17'5	18'5	19'2	20'1	20'7	20'7	21'2
22/02/11	23/02/11	24/02/11	25/02/11	28/02/11	01/03/11	02/03/11
22'4	23'8	24'7	25'5	26'4	27'8	29'1
03/03/11	04/03/11	07/03/11	08/03/11	09/03/11	10/03/11	11/03/11
30	30'9	31'4	31'9	32'3	32'6	32'9
14/03/11	15/03/11	16/03/11	17/03/11	18/03/11	21/03/11	22/03/11
33'8	34'7	35'3	35'9	36'4	38	39'6
23/03/11	24/03/11	25/03/11	-	-	-	-
41'1	42'3	43'4	-	-	-	-

Tabla 6.37: Horas acumuladas, imputadas al Proyecto 18

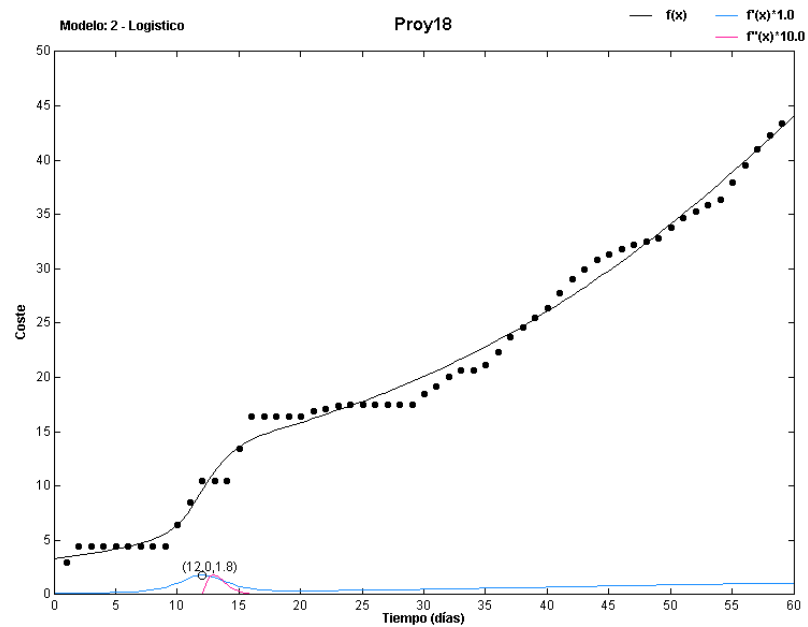
Proyecto 18		Tipo: 2-Logístico
t_μ		12'060208065609 72'0465045379
$t_\mu(0)$ desv. estándar		0'4790146389195
$t_\mu(0)$ media		11'935638039473
$cv(0)$		4 %
$t_\mu(1)$ desv. estándar		5'6237360283240
$t_\mu(1)$ media		72'696457631320
$cv(1)$		8 %
Δt		5'5113843545975 93'7881400102
$\Delta t(0)$ desv. estándar		0'3397938502829
$\Delta t(0)$ media		0'8893281034714
$cv(0)$		38 %
$\Delta t(1)$ desv. estándar		0'0027967117216
$\Delta t(1)$ media		0'0469167908938
$cv(1)$		6 %
P_f		7'7958202953644 100'0201467932
$P_f(0)$ desv. estándar		0'6934970518836
$P_f(0)$ media		7'8888840742900
$cv(0)$		9 %
$P_f(1)$ desv. estándar		15'680643415798
$P_f(1)$ media		103'09167517016
rango		3'0 - 43'4
dominio		59
$cv(1)$		15 %
error máximo		21'2 % (Punto 14)

Tabla 6.38: Parámetros obtenidos del Proyecto 18

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras 6.19.



(a) Curva calculada y Error absoluto.



(b) Gráfica con 1ª y 2ª Derivada.

Figura 6.19: Gráficas del Proyecto 18

6.3.19. Valoración de los resultados

En una primera aproximación se podrían descartar del estudio, por anormales, poca duración y/o muy amplias mesetas respecto del total de datos, los proyectos 01 y 06, aunque la adaptación de la ecuación logística es buena.

Respecto del Error Medio observado, y que puede verse en la tabla 6.2, nunca es superior a la unidad en todos los casos, infiriéndose que las aproximaciones calculadas son de gran calidad.

Otra medida importante es la de las Desviaciones Estándar uno o inferiores, excepto los Proy 07 y 17 que corresponden a los casos en las que existe un amplio porcentaje de puntos con igual valor (mesetas) producidas por la paralización de los proyectos durante un amplio periodo de tiempo o en el caso del Proy 08, cuyo comportamiento es cuasi-lineal. Esto corrobora la afirmación sobre la calidad de las aproximaciones.

Con este estudio del caso y su refrendo con los datos disponibles para el análisis podemos decir que queda demostrada la *Hipótesis 1*, respecto de obtener una representación matemática del comportamiento temporal de los proyectos software.

Al disponer de una representación matemática del comportamiento temporal de la evolución de los costes de los proyectos se han obtenido y representado los nuevos indicadores de alerta mencionados en el capítulo anterior, pudiéndose observar que estos indicadores marcaban los puntos críticos en los que los proyectos producían variaciones significativas y su intensidad, con ello conseguimos de forma completa la demostración de la hipótesis primera.

6.4. Descripción del experimento 2

Para este segundo experimento, cuyo objetivo es la validación o rechazo de la hipótesis 2, se han seleccionado cinco proyectos representativos, cuatro 2-Logísticos (dado que la mayor parte del experimento anterior se utiliza este modelo) con características diferentes y así poder estudiar las propuestas realizadas.

Debido a la carencia de datos de seguimiento con EVM de los proyectos, el experimento se ha diseñado de manera que en cada caso se han tomado los datos reales de ejecución del proyecto en tres instantes de tiempo (25 %, 50 % y 75 %), trazando una predicción con dichos datos y con el proyecto completo para disponer de una comparación gráfica sobre la aceptar o rechazar la hipótesis propuesta.

Las características de los proyectos se indican en cada uno de los casos propuestos. Todas las predicciones se han basado en los parámetros calculados en el experimento anterior.

6.4.1. Caso 1

Las características de este proyecto son:

- Proyecto estudiado : Proyecto 03
- Predicción sobre curva 2-Logística.
- Más del 25 % de los datos iniciales son muy similares.
- El punto final P_f es cuasi-outlayer respecto del entorno (212 h.) (fig 6.4).

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras siguientes.²

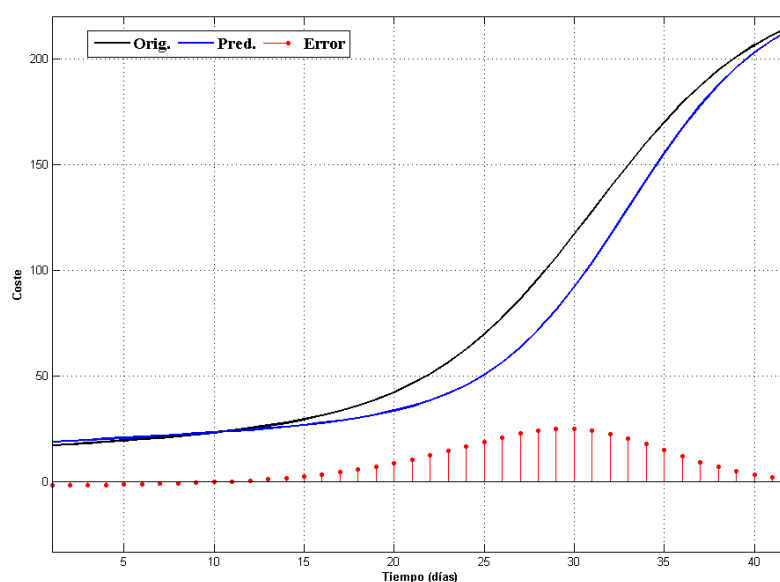


Figura 6.20: Caso 1.1 (Proyecto 03). Predicción con el 25 % de los datos de ejecución del proyecto.

²(color **negro** $f(x)$, **azul** aproximación calculada al porcentaje indicado, **rojo** diferencia.)

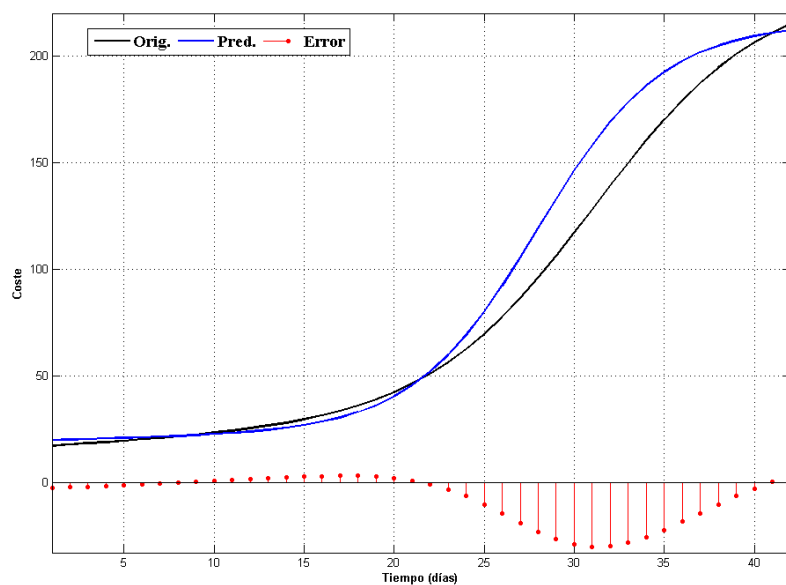


Figura 6.21: Caso 1.2 (Proyecto 03). Predicción con el 50 % de los datos de ejecución del proyecto.

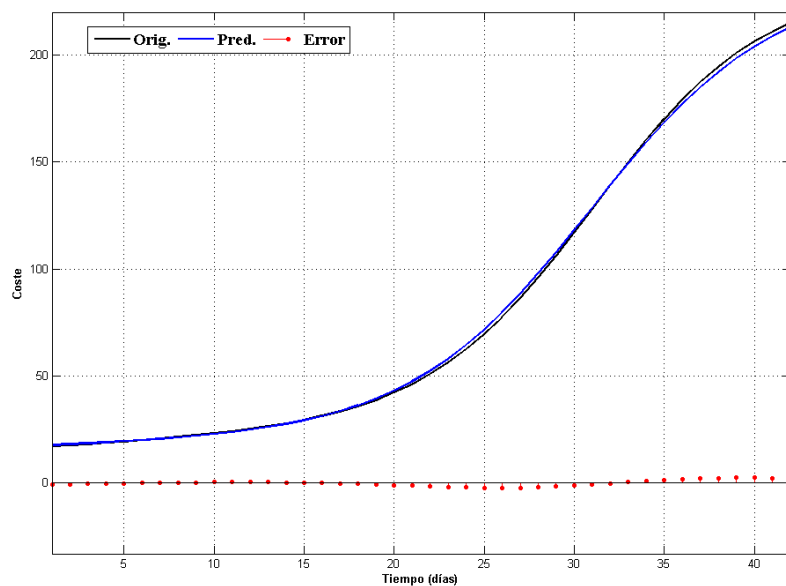


Figura 6.22: Caso 1.3 (Proyecto 03). Predicción con el 75 % de los datos de ejecución del proyecto.

6.4.2. Caso 2

Las características de este proyecto son:

- Proyecto estudiado : Proyecto 04
- Predicción sobre curva 2-Logística.
- La fase de crecimiento es muy amplia.
- Apenas tiene mesetas asintóticas de inicio y P_f .

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras siguientes.³

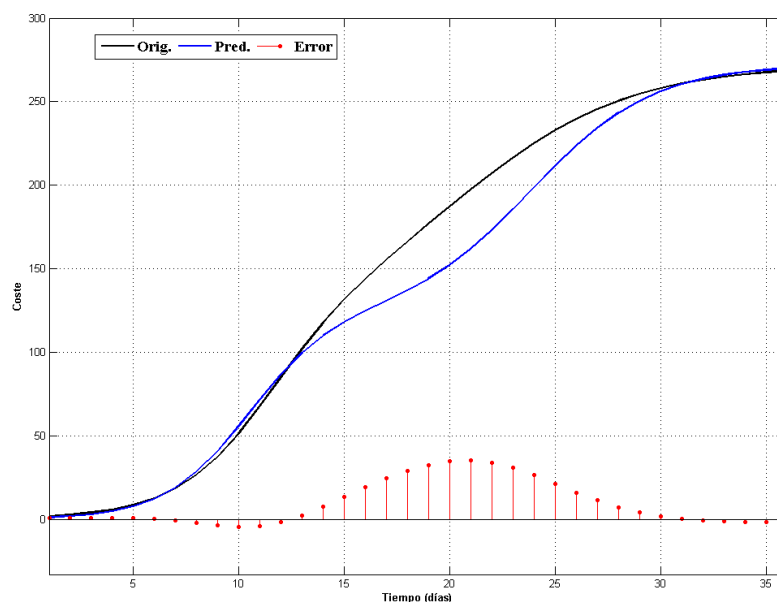


Figura 6.23: Caso 2.1 (Proyecto 04). Predicción con el 25 % de los datos de ejecución del proyecto.

³(color **negro** $f(x)$, **azul** aproximación calculada al porcentaje indicado, **rojo** diferencia.)

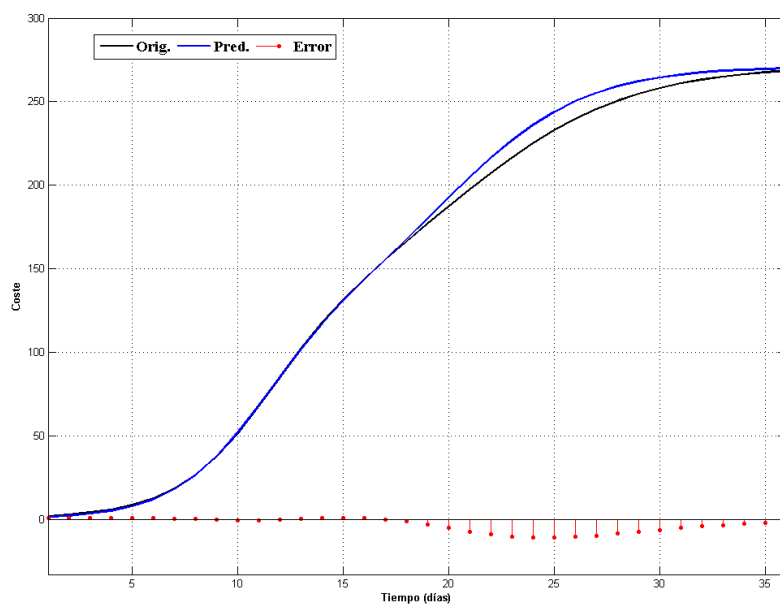


Figura 6.24: Caso 2.2 (Proyecto 04). Predicción con el 50 % de los datos de ejecución del proyecto.

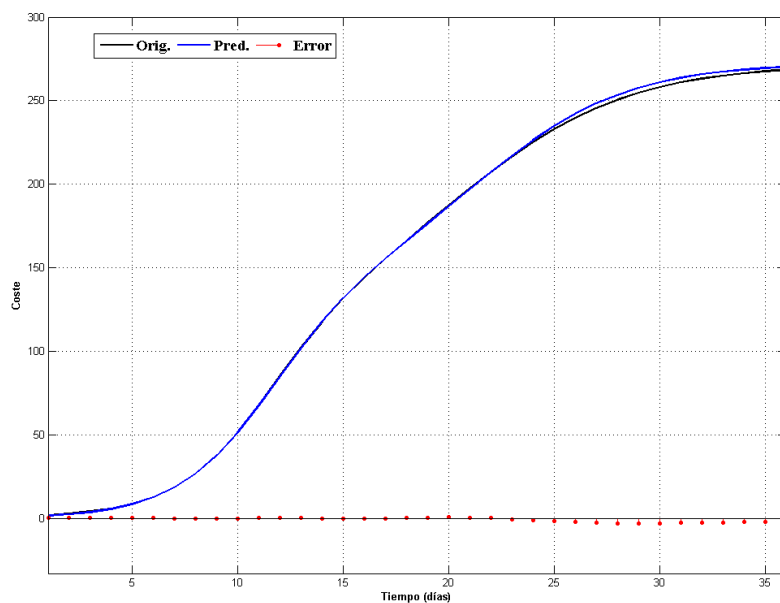


Figura 6.25: Caso 2.3 (Proyecto 04). Predicción con el 75 % de los datos de ejecución del proyecto.

6.4.3. Caso 3

Las características de este proyecto son:

- Proyecto estudiado : Proyecto 07
- Predicción sobre curva 1-Logística.
- La primera etapa de la curva o fase inicial es muy amplia.

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras siguientes.⁴

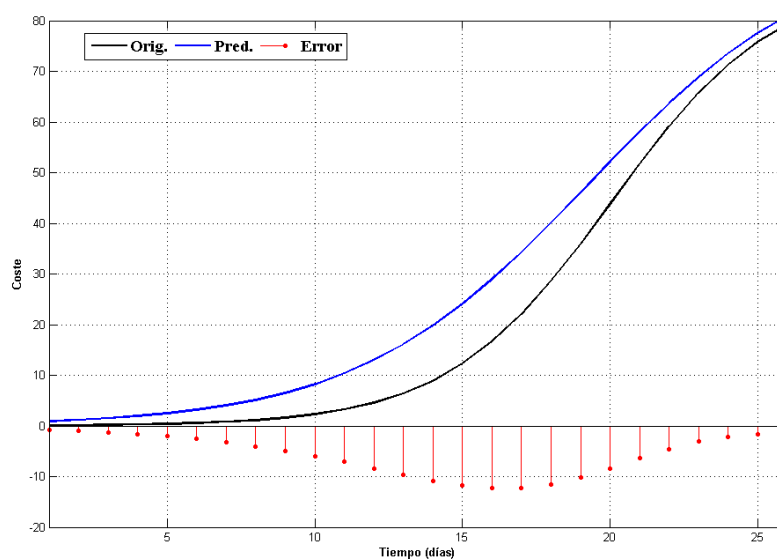


Figura 6.26: Caso 3.1 (Proyecto 07). Predicción con el 25 % de los datos de ejecución del proyecto.

⁴(color **negro** $f(x)$, **azul** aproximación calculada al porcentaje indicado, **rojo** diferencia.)

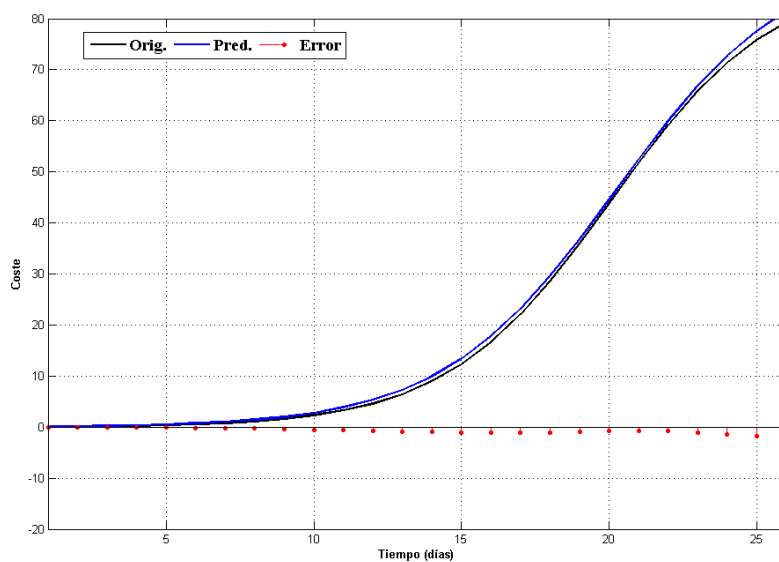


Figura 6.27: Caso 3.2 (Proyecto 07). Predicción con el 50 % de los datos de ejecución del proyecto.

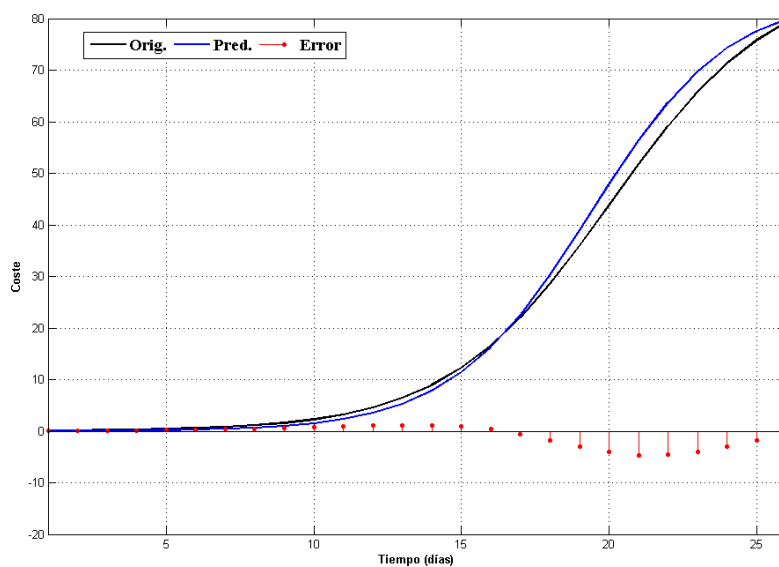


Figura 6.28: Caso 3.3 (Proyecto 07). Predicción con el 75 % de los datos de ejecución del proyecto.

6.4.4. Caso 4

Las características de este proyecto son:

- Proyecto estudiado : Proyecto 14
- Predicción sobre curva 2-Logística.
- Proyecto con dobles mesetas muy amplias debido al estancamiento del proyecto en la fase intermedia del mismo.

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras siguientes.⁵

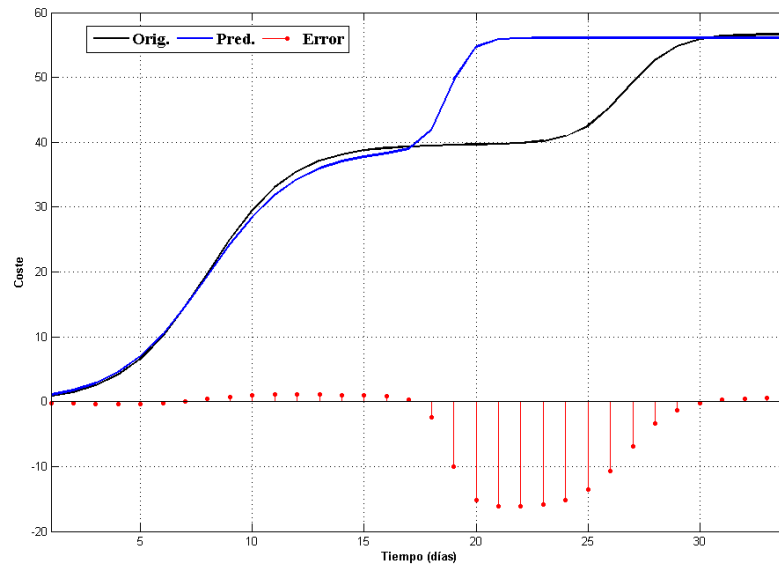


Figura 6.29: Caso 4.1 (Proyecto 14). Predicción con el 25 % de los datos de ejecución del proyecto.

⁵(color **negro** $f(x)$, **azul** aproximación calculada al porcentaje indicado, **rojo** diferencia.)

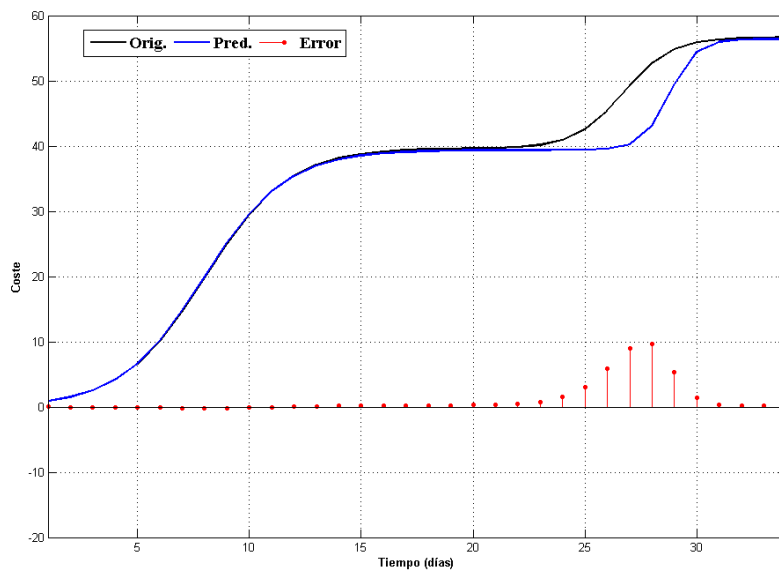


Figura 6.30: Caso 4.2 (Proyecto 14). Predicción con el 50 % de los datos de ejecución del proyecto.

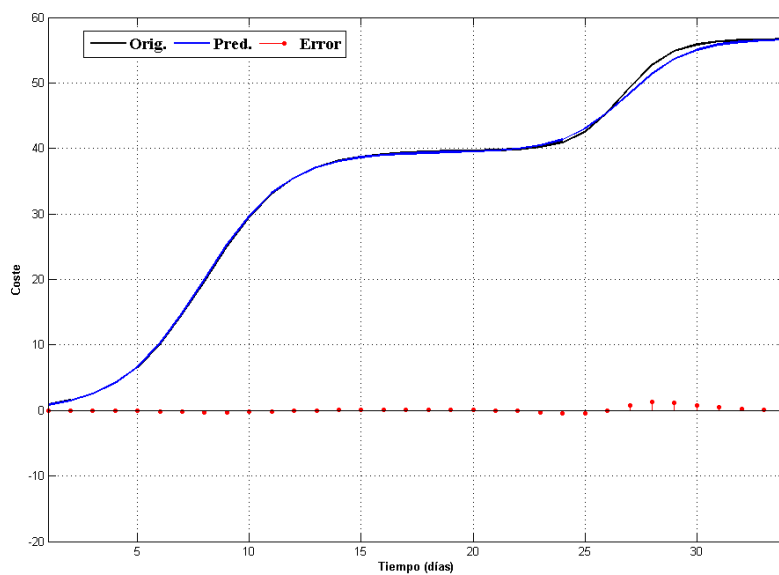


Figura 6.31: Caso 4.3 (Proyecto 14). Predicción con el 75 % de los datos de ejecución del proyecto.

6.4.5. Caso 5

Las características de este proyecto son:

- Proyecto estudiado : Proyecto 16
- Predicción sobre curva 2-Logística.
- Proyecto paradigma de predicción 2-Logístico, dobles mesetas.
- La duración del proyecto se podría considerar corta.

Las gráficas resultantes de los cálculos pueden verse en las figuras siguientes.⁶

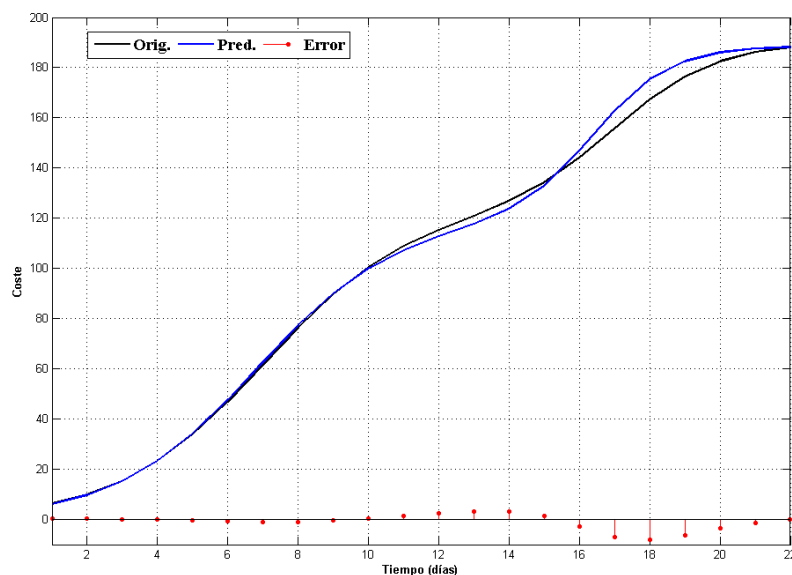


Figura 6.32: Caso 5.1 (Proyecto 16). Predicción con el 25 % de los datos de ejecución del proyecto.

⁶(color **negro** $f(x)$, **azul** aproximación calculada al porcentaje indicado, **rojo** diferencia.)

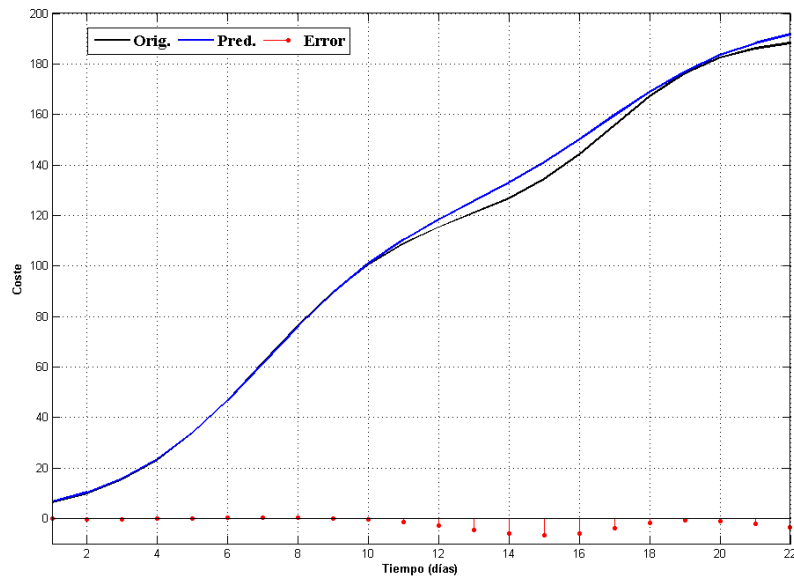


Figura 6.33: Caso 5.2 (Proyecto 16). Predicción con el 50 % de los datos de ejecución del proyecto.

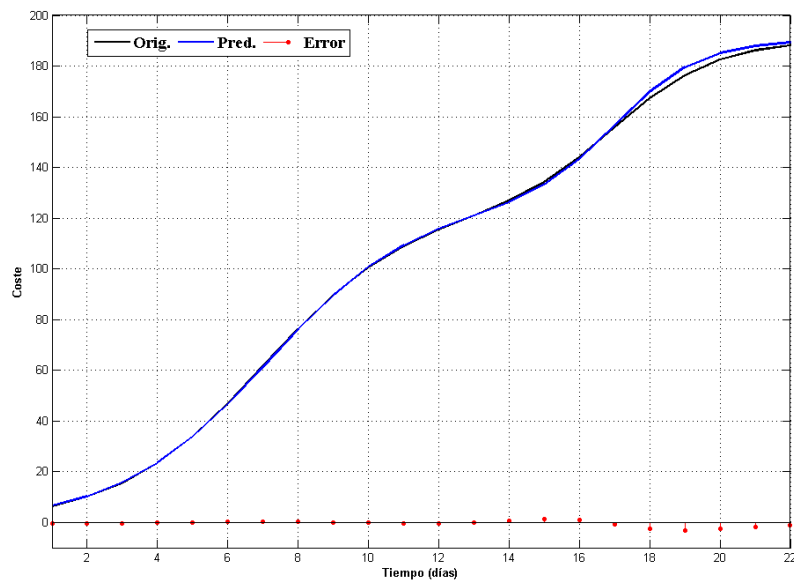


Figura 6.34: Caso 5.3 (Proyecto 16). Predicción con el 75 % de los datos de ejecución del proyecto.

6.4.6. Valoración de los resultados

Como se comentó anteriormente, el punto de partida de base para la predicción, y dado que alguno hay que tomar, es el ajuste realizado en el experimento anterior, así los directores de proyectos puedan tener una referencia de partida basándose en la curva que se ajusta a su planificación inicial.

Los errores presentados en cada una de las gráficas se pueden comparar con los propuestos en la predicción, y realmente la diferencia, en general, no es significativa y podríamos decir que está dentro de lo esperado. Hemos de resaltar el Caso 4, que, dadas sus características singulares y la carencia de datos, los apartados 25 % y 50 % son apreciablemente conjeturas, y en el 75 % se hacen realidades a considerar.

Utilizando las presentaciones aportadas para el análisis de los resultados y observándose los errores analizados podríamos considerar probada la *Hipótesis 2*, dado que en la medida que se amplía el número de datos utilizados la calidad de la predicción aumenta significativamente.

6.5. Valoración Final

La selección de curvas logísticas para adaptarse a la curva de S, se puede utilizar para representar los costes reales, el gasto previsto, y el costo presupuestado del trabajo realizado [19]. Con esta nueva formalización, y produciendo diferentes curvas para ilustrar diferentes escenarios, predicción real y simulación de diferentes escenarios en función de los parámetros elegidos, se convierte en un ejercicio algebraico el análisis de las diferentes alternativas .

Con este enfoque la modelización de la curva de S para el seguimiento en EVM pasa de ser una mera descripción a una definición matemática completa, pasando de valores discretos a una función continua con sus características propias.

De entre las múltiples curvas logística existentes (en el Apéndice C se muestra un ejemplo de la gran variedad) la selección de una curva, parametrizadas únicamente con tres parámetros, obedece el principio de simplicidad que prevalece en “Earned Value Management”.

Tras el análisis de los resultados obtenidos en los experimentos quedan plenamente confirmadas las hipótesis propuestas.

Capítulo 7

Conclusiones

“Llenósele la fantasía de todo aquello que leía ...”

Miguel de Cervantes Saavedra

7.1. Introducción

Como ya se expuso en el tema 1, el primer objetivo del presente trabajo era la formulación de una teoría que diese una forma algebraica al desarrollo temporal de los proyectos. Esa idea nació de ciertas observaciones de la realidad y de su extrapolación a los proyectos de ingeniería, en particular a los proyectos de software, contrastada posteriormente con observaciones similares de algunos autores estudiosos [19, 21] de la gestión de proyectos.

El presente capítulo quiere servir de reflexión sobre lo expuesto en los capítulos anteriores, con la finalidad de extraer conclusiones y descubrir los vacíos por los que adentrarse en este campo, abriendo nuevas líneas de investigación. También, aún a riesgo de ser reiterativos, resumiremos las que se consideran principales aportaciones de la presente tesis.

7.1.1. Conclusiones y Aportaciones

Este trabajo se inició proponiendo el marco de la investigación e intentando establecer un nexo entre la difícil práctica de la planificación y gestión de proyectos utilizando la extensa teoría existente al respecto.

- I. A pesar de todos los esfuerzos por estandarizar y aplicar nuevas técnicas de ingeniería del software, la perspectiva de que los proyectos finalicen con éxito sigue siendo aún baja. La implantación de sistemas de calidad, que efectivamente se apliquen, se mantengan y se revisen constantemente, ayudará a prevenir y controlar los posibles problemas y riesgos frecuentes de los proyectos software, aunque no será una garantía del éxito de los mismos.

- II. En este esquema la industria del software tiene un desafío difícil que debe ser capaz de culminar: mantener un alto nivel de calidad de sus productos, que debe venir de una optimización de sus procesos, lo que le permitirá ofrecer precios competitivos.
- III. El desarrollo de software es suficientemente complejo, y no pueden obviarse los costes que dicha actividad conlleva. El cliente estará siempre dispuesto a valorar apropiadamente la actividad del software si con ella recibe un valor para su propio negocio.
- IV. El software está adquiriendo una importancia preponderante en el seno de las organizaciones. Un fallo en el software puede suponer pérdidas millonarias e incluso de vidas humanas.
- V. El software de una organización se convierte, de facto, en uno de sus activos más valioso y, sin embargo, normalmente no se considera como tal.
- VI. Estamos en momentos difíciles para la actividad del software, a pesar de la importancia indicada. La expansión y notoriedad entorno a Internet han reducido la apreciación del cliente del esfuerzo de desarrollar software. Esta percepción implica que un cliente pide más por menos forzando a una reducción de los costes de los productos, lo que conlleva una caída en los márgenes de los proveedores y esto puede terminar afectando a la calidad de los productos.
- VII. La metodología EVM es utilizada hoy en día por multitud de empresas y organismos oficiales a nivel mundial, para hacer el seguimiento de sus proyectos por ser este un excelente medidor de la cantidad de trabajo que realmente se ha realizado en el proyecto y a su vez, un buen pronosticador de fechas de terminación y sus costes.
- VIII. EVM integra requerimientos de ejecución, planificación de recursos y programación, tomando en consideración el riesgo en el proyecto, considerando en su cálculo una serie de desviaciones, índices de rendimiento, porcentajes de avance y estimaciones de costo final.

Sin el valor ganado (EV), se podría comparar únicamente lo que se ha gastado con lo que se ha planificado gastar, sin dar un indicador del trabajo que ha sido realmente ejecutado.

- 1) Proporciona una medición imparcial de la cantidad de trabajo que ha sido concluido en el proyecto, utilizando comparaciones entre el trabajo que se ha planificado completar hasta la fecha y el que realmente que ha sido llevado a cabo. Así se determina si el plazo, coste y el trabajo realizado están llevándose a cabo en consonancia a lo planificado.

- 2) Permite realizar una excelente y muy efectiva toma de decisiones, minimizando los impactos desfavorables, ya que no sólo toma costes proyectados y reales sino que incluye también el trabajo realizado.
- 3) Es un método **simple** de gestión y control de proyectos, el cual proporciona datos verosímiles. Como simple que es, se integra en una única técnica, el trabajo, la planificación y el coste. Proporciona una individualización adelantada de los problemas, mediante el uso de los correspondientes índices de rendimiento, del coste y de la planificación. Permite pronosticar con una cierta seguridad, dentro de unos límites, el coste final del proyecto.
- 4) La metodología se ha hecho muy popular dentro del ámbito de la dirección de proyectos, quizás por la magnífica relación entre lo que obtenemos por su aplicación y su simplicidad. Sin embargo, a nuestro juicio, presenta ciertas limitaciones. En primer lugar, los índices de eficiencia en programación (SPI) pierden su capacidad predictiva en las últimas fases del proyecto. A este respecto, se ha desarrollado el concepto de Programación Ganada [57].

IX. La capacidad predictiva de EVM está muy influenciada por la estructura de red (diagrama de precedencias) del proyecto. Esto nos sugiere la posibilidad de realizar un estudio que tenga en consideración lo que ocurre en diferentes ramas del proyecto, en particular, en su camino crítico. La metodología tampoco tiene en cuenta el valor de la flexibilidad en la ejecución del proyecto, es decir, la capacidad de su director para tomar decisiones durante la realización del mismo en función de la nueva información que obtiene a lo largo del tiempo.

Una adecuada gestión del riesgo es fundamental para el éxito del proyecto. Sin embargo, en EVM no lo tiene en consideración. A medida que el proyecto avanza, algunas de sus variables significativas (durasiones, recursos de actividades) pasan a ser ciertas, eliminándose parte del riesgo; sin embargo, otros sucesos pueden aumentarlo.

X. Hemos construido un modelo matemático que nos permite acercarnos a la gestión de proyectos, sobre la base de la aplicación de las leyes de la evolución técnica del sistemas [3], del crecimiento logístico [67], como componentes principales.

- 1) Esta aplicación de los conocimientos sobre las leyes de los modelos de crecimiento logístico proporciona un medio para representar el EVM en forma matemática y realizar estudios sobre la función matemática que lo construye.
- 2) Se ha presentado una ecuación que transforma la típica descripción verbal de gestión de proyectos en una fórmula matemática precisa y se ha mostrado una notación que pueden aumentar la

- claridad del análisis del valor ganado. Esto, a su vez y en conjunto, puede ayudar a cambiar el análisis de valor ganado en EVM.
- 3) Para los modelos de crecimiento logístico, el punto crítico para el pronóstico sería la interpretación de los resultados, cosa que resuelve EVM.
 - 4) Se ha mostrado una ecuación logística modificada que los responsable de proyectos pueden utilizar, en cualquier etapa de los mismos, cuando se trabaje con costes u otras magnitudes similares. Cuando éstas se trazan en función del tiempo, suelen adoptar una forma conocida en la comunidad científica como la curva en S. Las modificaciones utilizadas para producir la ecuación requieren sólo unos pocos supuestos matemáticos menores.
 - 5) Con esta representación de la curva, un director de proyectos dispone de una gran flexibilidad para generar cualquier perfil o situación deseada sin problemas, mediante la selección de la pendiente de subida de la curva y el punto medio del total del gasto.
- XI. La selección de curvas logísticas para adaptarse a la curva de S, se puede utilizar para representar los costes reales, el gasto previsto, y el costo presupuestado del trabajo realizado. Con esta nueva formalización y produciendo diferentes curvas, que ilustran diferentes escenarios, la predicción se convierte en un ejercicio algebraico del análisis de las diferentes alternativas.
- XII. Con este enfoque la modelización de la curva de S para el seguimiento en “Earned Value Management” pasa de ser una mera descripción a una definición matemática completa, saltando de valores discretos a una función continua con sus características propias.
- XIII. La selección de una curva, parametrizada únicamente con tres parámetros, de entre las múltiples curvas logística existentes, obedece el principio de simplicidad que prevalece en “Earned Value Management”.
- XIV. Tras el análisis de los resultados obtenidos en los experimentos en el capítulo anterior, quedan plenamente confirmadas las hipótesis propuestas en el capítulo 1, de este trabajo.

7.2. Líneas y Trabajos futuros

Como en todo trabajo experimental, la validez de los resultados obtenidos depende en gran medida de los conjuntos de datos empleados. En nuestra opinión, son suficientes. La labor de obtener la información necesaria fue muy difícil, pues dichos datos pone al descubierto las posibles debilidades de las empresas que los proporcionan.

La investigación presentada en esta tesis no es un trabajo cerrado, por contra se abre un amplio abanico de áreas interesantes que pueden ser analizadas y estudiadas en el campo de la predicción y el ajuste con funciones continuas.

Los siguientes puntos resumen actividades de investigación que podrían ser abordadas para continuar este trabajo:

- El progreso de un proyecto, por comparación con las previsiones a través de la curva S, puede influir en los ajustes de la programación. También, los recursos del proyecto, tanto humanos como materiales, muestran evolución similar, por ello deducimos que las curvas de S podrían ser de aplicación a estos datos. Quedará abierto desde este momento un estudio sobre estos aspectos.
- Estimamos que con el tiempo y las “buenas prácticas” el desarrollo del software alcanzará la madurez deseada y adecuada a su importancia. Las predicciones realizadas con la función propuesta estarán más acotadas y se ajustarán mejor a los desarrollo. Mientras tanto, se propone como línea de investigación el estudio y posterior adecuación, si fuese necesario, de los parámetros en función del tipo, tamaño de proyecto software, áreas de actividad, etc.
- Dado que EVM es actualmente un modelo de referencia para la industria en general, pero no en particular de las TI. Se podrían realizar análisis con objeto de verificar si los parámetros Δt y t_μ variarían o se mantienen con proyectos en otros diferentes tipos de industrias.
- Dado que en esta tesis se ha extendido el método EVM, al menos en el área de las TI con la definición matemática de la “línea base” y la aportación de nuevos indicadores, se propone la realización del trabajo necesario para de la incorporación de estas nuevas aportaciones al PMBOK y al ANSI/EIA-748.

Apéndice A

ANSI/EIA-748-A Earned Value Management Systems

En el siguiente apéndice aparece una lista de los treinta y dos criterios o pautas que han sido establecidos en el ANSI/EIA-748-A Earned Value Management Systems (2002), haciendo referencia a los puntos concretos que en los que se describen el el mencionado estándar. Se presentan estos criterios, agrupados en cinco grupos lógicos. Los marcados con la referencia¹ en negrita serían un subconjunto de los treinta y dos que se suelen aplicar en proyectos menores [18].

A.1. Criterios de Organización

(5 pautas)

- 1 (**Ref.- 2.1a**) Definir los elementos de trabajo autorizados para el programa. Normalmente se utiliza una descomposición de tareas WBS (Work Breakdown Structure) hecha a medida para facilitar la gestión y el control interno con efectividad.
- 2 (**Ref.- 2.1b**) Identificar la estructura organizativa del programa incluyendo los principales subcontratistas responsables para llevar a cabo el trabajo autorizado, y definir los elementos organizativos en los cuales se planificará y controlará el trabajo.
- 3 (**Ref.- 2.1c**) Proporcionar la integración entre sí de los procesos de la compañía para planificación, calendarios, presupuestos, autorización de trabajos y acumulación de costes; y si es apropiado con el WBS del programa y con la estructura organizativa.
- 4 (Ref.- 2.1d) Identificar la organización o función de la compañía responsable para controlar el “*overhead*”(costes indirectos).

¹Punto de referencia en el ANSI/EIA-748-A

- 5 (Ref.- 2.1e) Proporcionar integración entre el WBS del programa y la estructura organizativa, de forma que se permita medir la eficiencia de coste y plazo por elementos de cualquiera o ambas estructuras según se necesite.

A.2. Criterios de Planificación, Calendario y Presupuestación

(10 pautas)

- 1 (**Ref.-2.2a**) Hacer el calendario del trabajo (autorizado) de forma que describa la secuencia de trabajos e identifique las interdependencias entre tareas requeridas con objeto de cumplir los requisitos del programa.
- 2 (**Ref.-2.2b**) Identificar los productos físicos, hitos, objetivos de eficiencia técnica, u otros indicadores que van a ser utilizados para medir el progreso.
- 3 (**Ref.-2.2c**) Establecer y mantener una Línea Base presupuestaria distribuida en el tiempo, a nivel del control de cuentas, contra la cual se medirá la eficiencia del programa. Los presupuestos iniciales establecidos para la medida de la eficiencia se basarán o bien en objetivos internos de gestión o en el objetivo de coste negociado con el cliente externo, incluyendo estimaciones de trabajo autorizado, pero no definido todavía. El presupuesto para el esfuerzo a largo plazo, se puede mantener en cuentas de alto nivel hasta que sea el momento apropiado asignarlo al nivel de las cuentas de control. En los contratos gubernamentales, si se utiliza una línea base “*overtarget*” para el propósito de medir e informar sobre las medidas de eficiencia, habrá que notificar previamente al cliente.
- 4 (Ref.-2.2d) Establecer el presupuesto para el trabajo autorizado con indicación de los elementos de coste significativos (personal, material, etc.), según se necesite para la gestión interna y para el control de los subcontratistas.
- 5 (Ref.-2.2e) En la medida que sea factible identificar el trabajo autorizado en paquetes discretos de trabajo, establecer el presupuesto para este trabajo en dólares, horas/persona o cualquier otra unidad medible. Cuando la totalidad de cuenta de control no se subdivida en paquetes de trabajo, identificar el esfuerzo a largo plazo en paquetes mayores de planificación con el propósito de realizar el presupuesto y el cronograma.
- 6 (Ref.-2.2f) Proporcionar la suma de todos los presupuestos de los paquetes de trabajo, más el presupuesto del paquete de planificación

dentro de una cuenta de control, es el mismo que el presupuesto de la cuenta de control.

- 7 (Ref.-2.2g) Identificar y controlar las actividades tipo “nivel de esfuerzo”, con presupuestos en el tiempo establecidos para el propósito. Sólo el esfuerzo que no es medible, o aquellas actividades cuya medida no es posible se pueden clasificar como actividades “nivel de esfuerzo”.
- 8 (Ref.-2.2h) Establecer presupuestos “*overhead*” para cada componente organizativo significativo de la compañía, para aquellos gastos que se convertirán en costes indirectos. Reflejar en los presupuestos del programa, en el nivel adecuado, las cantidades de bolsa de “*overhead*” que se planifican para asignarlos a los costes indirectos del programa.
- 9 (Ref.-2.2i) Identificar reservas de gestión y presupuesto no distribuido.
- 10 (Ref.-2.2j) Proporcionar que los objetivos de coste del programa están reconciliados con la suma de todos los presupuestos internos de programa y con las reservas de gestión.

A.3. Criterios de Contabilidad

(6 pautas)

- 1 (**Ref.-2.3a**) Registrar los costes directos de forma consistente con los presupuestos, en un sistema formal controlados con los libros de contabilidad.
- 2 (Ref.-2.3b) Cuando se hace un WBS, agrupar todos los costes directos de las cuentas de control en el WBS sin asignación de una única cuenta de control a dos o más estructuras WBS.
- 3 (Ref.-2.3c) Agrupar los costes directos de las cuentas de control en los elementos organizativos del contratista, sin permitir asignaciones de una única cuenta de control a dos o más elementos organizativos.
- 4 (Ref.-2.3d) Registrar los costes indirectos que se asignarán al contrato.
- 5 (Ref.-2.3e) Identificar los costes unitarios, las unidades equivalentes de coste o lotes de coste, cuando sea necesario.
- 6 (Ref.-2.3f) Para el EVMS, el sistema de contabilidad material deberá proporcionar:
 - 1) Acumular costes con precisión y asignar costes a las cuentas de control de forma consistente con el presupuesto utilizando técnicas reconocidas y aceptables.

- 2) Medir la eficiencia de coste en el momento más adecuado para la categoría del material involucrado, pero no antes del momento de progresar con los pagos o recepción actual del material.
- 3) Llevar contabilidad completa de todos los materiales comprados para el programa, incluyendo el inventario residual.

A.4. Criterios de Análisis y Gestión de Informes

(6 pautas)

- 1 (Ref.-2.4a) Por lo menos mensualmente, generar la siguiente información de las cuentas de control y de los otros niveles según sea necesario para control de la gestión, utilizando datos de costes, o reconciliable con el sistema contable:
 - 1) Comparación del presupuesto planificado con el presupuesto ganado para el trabajo realizado. Esta comparación dará lugar a la varianza de plazo.
 - 2) Comparar la cantidad de presupuesto ganado y el coste actual (aplicados donde sea apropiado) de los costes directos para el mismo trabajo. Esta comparación proporciona la varianza de coste.
- 2 (Ref.-2.4b) Identificar al menos mensualmente, las diferencias significativas entre el calendario planificado y el actual y la eficiencia actual de costes, y proporcionar la razón de la variación con el detalle necesario para la dirección del programa.
- 3 (Ref.-2.4c) Identificar los costes indirectos presupuestados y aplicados (o actuales) en el nivel y frecuencia adecuados, para que la dirección lleve un control efectivo, así como de las razones de estas varianzas significativas.
- 4 (Ref.-2.4d) Agrupar los elementos de datos y varianzas asociadas en la organización del programa y/o en el WBS para soportar las necesidades de apoyo a la gestión y cualquier tipo de informes del cliente especificados en el contrato.
- 5 (Ref.-2.4e) Implementar acciones de gestión que se deben tomar en función de la información del valor ganado.
- 6 (Ref.-2.4f) Desarrollar estimaciones revisadas del coste a la terminación basados en el rendimiento hasta la fecha, en los valores de compromisos para los materiales, y en estimaciones de las condiciones futuras. Comparar esta información con el rendimiento medido sobre la Línea Base a fin de identificar varianzas para completar que son importantes para la gestión de la compañía, y cualquier requisito de “reporting” aplicable del cliente, incluyendo cláusulas de financiación.

A.5. Criterios de Revisión y Mantenimiento de Datos

(5 pautas)

- 1 (**Ref.-2.5a**) Incorporar los cambios autorizados puntualmente, registrando los efectos de dichos cambios en los presupuestos y en el calendario. En el esfuerzo directo antes de la negociación del cambio, basar dichas revisiones en la cantidad y presupuesto estimados para las organizaciones del programa.
- 2 (Ref.-2.5b) Conciliar los presupuestos actuales con los presupuestos anteriores en base a cambios en el trabajo autorizado y a la replanificación interna tan detalladamente como sea necesario para la gestión de un control efectivo.
- 3 (Ref.-2.5c) Controlar cambios retroactivos en los registros pertenecientes al trabajo realizado, que deberían haber cambiado previamente las cantidades reportadas para el Coste Actual, el Valor Ganado o el presupuesto. Los ajustes deben hacerse solo para corrección de errores, ajustes rutinarios de contabilidad, efectos de cambios motivados por el cliente o por la dirección, o para mejorar la integridad de la Línea Base y la precisión de los datos para medir el rendimiento.
- 4 (Ref.-2.5d) Evitar revisiones del presupuesto del programa exceptuando los cambios autorizados.
- 5 (Ref.-2.5e) Documentar los cambios en la línea base para medir el rendimiento.

Glosario de Términos y Acrónimos en EVM

-A-

- **AC**

ACTUAL COST. Nueva forma de nombrar al ACWP (Actual Cost of Work Performed) a partir del PMBOK® del 2000. Coste actual.

- **Actividad**

La mayor unidad de trabajo a completar para alcanzar los objetivos de un proyecto. Una actividad tiene fechas de comienzo y finalización precisas, incorpora un conjunto de tareas que deben ser completadas, consume recursos y desemboca en productos de trabajo. Una actividad puede contener otras actividades de forma jerárquica.

También: El trabajo necesario para conseguir un resultado consumiendo tiempo y recursos. Habitualmente una actividad está compuesta de tareas.

- **ACWP**

Actual Cost Of Work Performed. Coste actual, ver también AC.

- **Acuerdo del proyecto**

Un documento o conjunto de documentos de acuerdo con la autoridad designada para el proyecto y el cliente. El acuerdo del proyecto debe incluir algunos o todos de los siguientes documentos: un contrato, una declaración de trabajo, especificaciones de ingeniería de sistemas, especificaciones de requisitos de usuario, especificaciones funcionales, el plan de gestión del proyecto software, un plan de negocios, y un diagrama del proyecto.

- **Alcance del proyecto**

Lo que se va a realizar en el proyecto según se ha acordado entre proveedor y cliente.

- **Área de Proceso**

Un conjunto de prácticas relacionadas en el Área que, cuando se implantan colectivamente, satisfacen un conjunto de objetivos considerados importantes para hacer mejoras significativas en el Área (CMMI, COBIT, ITIL, etc.).

-B-

- **BAC**

Budget At Completion.

- **Back-End**

Cualquier software ejecutando una fase final de proceso o una tarea no visible al usuario. En sistemas de información en general coincide con pieza encargada de almacenar datos como Base de datos relacional, Host, etc.

- **BCWP**

BUDGETED COST OF WORK PERFORMED. Valor Ganado. Ver también EV.

- **BCWS**

BUDGETED COST OF WORK SCHEDULED. Valor Presupuestado. También conocido como PV.

-C-

- **Cadena de Valor (del proyecto)**

Conjunto de actividades implicadas en un proyecto que generan valor al cliente y a la organización en la consecución de sus objetivos.

- **Ciclo de Negocio**

Conjunto de actividades de la organización que intervienen en el negocio de la misma.

- **Cierre Técnico**

Es el momento de la ejecución del proyecto en el que se acepta, por parte del cliente, la finalización del desarrollo e implantación del sistema o producto y a partir del cual comienza el periodo de garantía.

- **CPI**

Cost Performance Index = $BCWP / ACWP - EV / AC$.

- **CPTP**

Coste Previsto del Trabajo Planificado. Se trata de la nomenclatura utilizada por MS Project 2003. Es lo mismo que BCWS (Budgeted Cost of Work Scheduled) en ANSI 748, o PV (Plan Value) en el estándar EVM del PMI. El acumulado de los costes presupuestados del conjunto de las actividades del proyecto (incluyendo costes de recursos y otros costes fijos) hasta la fecha de estado o la fecha actual.

- **CPTR**

Coste Previsto del Trabajo Realizado. Expresión utilizada en MS Project 2003. Es otra forma de referirse al BCWP (Budgeted Cost of Work Performed) según ANSI 748 o EV (Earned Value) según estándar del PMI. El valor del trabajo Ganado hasta la fecha, expresado en términos monetarios. Realmente es el valor acumulado en los términos previstos originalmente del trabajo realizado hasta la fecha de estado o la fecha actual.

- **Criterios**

Conjunto de informaciones y datos que se toman como referencia para evaluar un factor en una valoración, auditoria, prueba, revisión y otros aspectos a comprobar.

- **CRTR**

Coste Real del Trabajo Realizado. Es lo mismo que ACWP en inglés en la norma ANSI 748 (Actual Cost of Work Performed) o AC (Actual Cost) según la definición del PMI. Se trata del coste real invertido para completar todas o parte de las tareas, hasta la fecha de estado o la fecha actual. Establece una correlación entre los costes reales y el trabajo real.

- **Cuenta de Control**

En inglés Control Account (CA). Es un punto de control de gestión donde se integra el alcance, la planificación y el presupuesto y donde se mide la eficiencia en el proyecto. Esta Cuenta de Control se puede situar en varios puntos de la estructura organizativa del proyecto y puede haber varias, pero sin solaparse ninguna parte del WBS. En proyectos pequeños puede haber sólo una, a nivel de la Jefatura de Proyecto.

- **CV**

$\text{Cost Variance} = \text{BCWP} - \text{ACWP} = \text{EV} - \text{AC}.$

-D-**■ Declaración de Trabajo**

En inglés Statement of Work (SOW). Declaración contractual entre Propietario-Cliente y el Jefe de Proyecto del trabajo a realizar.

■ Diagrama GANTT

Planificación de las distintas actividades, teniendo en cuenta las relaciones de precedencia y las fechas de los puntos de decisión requeridos. Se pueden expresar en unidades absolutas de tiempo o en incrementos relativos a un hito clave.

■ Diagrama PERT

Se muestran las relaciones de dependencia entre las actividades descritas en el WBS. Se tienen en cuenta conceptos como Camino Crítico y Sucesión desfasada de Actividades.

-E-**■ EAC**

Estimated At Completion = Coste estimado al finalizar = Coste a la fecha + Estimación para concluir. También conocido en español como EAF Estimación para finalización: Estimación de coste al finalizar el proyecto, muestra el coste total esperado de una tarea o conjunto de tareas basado en el rendimiento hasta la fecha de estado o la fecha actual.

■ EDT

Estructura de Desglose del Trabajo. Véase WBS (Work Breakdown Structure).

■ Entregables, Entregas del proyecto

El(los) producto(s) de trabajo que se debe entregar al cliente. Las cantidades, fechas y punto de entrega se especifican en el acuerdo de proyecto.

■ ETC

Estimate To Complete. Coste estimado para terminar el trabajo restante.

■ ETG

Estimate to Go. Estimación de la inversión de trabajo restante.

■ EV

Earned Value, Nueva forma de nombrar al BCWP (Budgeted Cost of Work Performed) a partir del PMBOK® del 2000.

-F-**■ FCST**

Forecast of remaining work. Extrapolación de la curva de Trabajo Ganado.

-G-**■ Gestión del proyecto**

El proceso de planificar, organizar, proveer de personal, supervisar, controlar, y dirigir un proyecto.

■ GUI

“Graphical User Interface”; Interfaz Gráfica de Usuario.

-H-**■ Histogramas de recursos**

Estimación del esfuerzo, coste y plazos del proyecto. Se documentan las fuentes, razonamientos y suposiciones realizadas en las estimaciones. Se preparan las distribuciones de esfuerzo, coste y equipo en las tareas.

■ Hito

Un hito es una actividad con duración cero. Se planifican en el calendario para señalar reuniones importantes, fechas clave del ciclo de vida, entregas significativas de productos/partidas, se pueden establecer en relación a ciertas partidas presupuestarias.

-I-**■ IEEE**

Institute for Electrical and Electronic Engineers. El IEEE es un conocido cuerpo multinacional que desarrolla estándares internacionales para sistemas eléctricos, electrónicos, computacionales y de comunicación.

■ Interesado (Stakeholder)

Personas y organizaciones como clientes, patrocinadores, organización ejecutante y el público, involucrados activamente con el proyecto, o cuyos intereses pueden verse afectados de manera positiva o negativa por la ejecución o conclusión del proyecto. También pueden influir sobre el proyecto y sus productos entregables. También conocido como: Interesados o Involucrados.

-L-**■ Línea Base**

Un producto de trabajo que ha sido examinado formalmente y contrastado, que se puede cambiar sólo a través de procedimientos formales de control de cambios. Un producto de trabajo de una Línea Base debe sentar la base para futuras actividades de trabajo.

-M-**■ Matriz de Asignación de Responsabilidades**

Responsibility Assignment Matrix (RAM). Una estructura que relaciona la estructura de desglose de la organización con la estructura de desglose del trabajo para ayudar a garantizar que cada componente del alcance del proyecto se asigne a una persona responsable.

■ Método de Cadena Crítica / Critical Chain Method

Técnica de análisis de la red de la planificación que permite modificar el cronograma del proyecto para adaptarlo a los recursos limitados. El método de cadena crítica combina enfoques deterministas y probabilistas para el análisis de la red del cronograma. También conocido como: Método de la Ruta Crítica.

-O-**■ Off-line**

Estado de sistema sin conexión con *back-end*. La aplicación cliente detecta *off-line* como pérdida de conexión con servidor intermedio. Pérdida de conexión con Host provoca un error de ejecución y no se considera como estado *off-line*.

-P-

- **Paquete de trabajo** Es un entregable o componente de trabajo del proyecto que se sitúa al nivel más bajo del WBS (aunque éste se subdivide adicionalmente en actividades y tareas elementales). Contiene una especificación del trabajo que hay que llevar a cabo para completarlo. Un paquete de trabajo define el producto(s) de trabajo, los requisitos de personal, la duración esperada, los recursos utilizados, el criterio de aceptación para los productos de trabajo, el nombre del responsable, y cualquier consideración especial para el trabajo.

■ PBS

Product Breakdown Structure. Descomposición de productos del proyecto. Este plan utiliza un diagrama de GANTT de entregas como medio de presentación.

- **Plan de Gestión del Proyecto (PGP)**

El documento de control para gestionar un proyecto. Un plan de gestión de proyecto define las funciones de proyecto, técnicas y de gestión; actividades, y tareas necesarias para satisfacer los requisitos del proyecto, como se definen en el acuerdo de proyecto.

- **PMB**

Performance Measurement Baseline. Es el reflejo numérico del trabajo presupuestado que ha sido planificado para ser ejecutado, está formado por el valor planificado PV, y es una línea contra la que se mide el progreso real en el proyecto.

- **PMI**

Project Management Institute (www.pmi.org). Organización internacional sin ánimo de lucro que asocia a profesionales para la gestión de proyectos.

- **Portafolio**

Un conjunto de proyectos o programas y otros trabajos que se han agrupado para facilitar la gestión eficiente de ese trabajo, a fin de cumplir con los objetivos estratégicos de negocio. Los proyectos o programas del portafolio no son necesariamente interdependientes o están directamente relacionados.

- **Proceso**

- 1 Un conjunto organizado de actividades realizadas para transformar una o más entradas (datos e informaciones) en una o más salidas (productos o servicios) que tienen un propósito dado.
- 2 Actividades que se pueden reconocer como implantación de prácticas establecidas en el modelo CMMI (CMMI).

- **Producto de trabajo**

Cualquier artículo tangible que resulta de una función de proyecto, actividad, o tarea. Algunos ejemplos de productos de trabajo incluyen requisitos de cliente, plan de proyecto, especificaciones funcionales, documentos de diseño, código fuente y objeto, manuales de usuario, instrucciones de instalación, planes de prueba, entre otros. Algunos subconjuntos de los productos de trabajo formarán el conjunto de entregas de proyecto.

- **Programa**

Un programa es un grupo de proyectos relacionados cuya dirección se realiza de manera coordinada para obtener beneficios y control, que no se obtendrían si fueran dirigidos de forma individual.

- **Projection of Schedule Delay at Completion**

Deslizamiento de Plazo Estimado.

- **Projection of Cost Variance at Completion**

Sobre-coste estimado.

- **Proyecto**

Un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único.

- **PV**

Planned Value. Nueva forma de nombrar al BCWS (Budgeted Cost of Work Scheduled) a partir del PMBOK® de 2000.

-Q-

- **QFD**

(Quality Function Deployment). Es un sistema para traducir los requisitos del cliente a los parámetros apropiados de la empresa en cada una de las etapas del ciclo de desarrollo de productos, desde la investigación y desarrollo, hasta la ingeniería, fabricación, marketing, ventas y distribución.

-R-

- **RBS**

Resource Breakdown Structure. Estructura de descomposición de recursos.

- **Responsibility Assignment Matrix (RAM)**

Matriz de responsabilidad.

- **Revisión**

Una reunión en la cual el producto de trabajo o el conjunto de productos de trabajo se presenta al personal del proyecto, directivos, usuarios, clientes, u otras partes interesadas para comentarlo o aprobarlo.

- **RPC**

Registro de Control del Proyecto. Base de Datos organizada en 10 niveles, para almacenar toda la información relativa al proyecto. Al final del proyecto este Registro proporciona automáticamente el Dossier del Proyecto con todos los datos, documentos, estándares utilizados, etc.

-S-**■ SOW**

En inglés Statement of Work. Ver Declaración de Trabajo.

■ SPI

Schedule Performance Index = $BCWP / BCWS$

■ SV

Schedule Variance = $BCWP - BCWS$.

-T-**■ Tareas**

Las unidades más pequeñas de trabajo sujetas a responsabilidad de gestión. Una tarea es asignación de trabajo bien definida para uno o más miembros del proyecto. La especificación del trabajo a llevar a cabo para completar una tarea está documentada en el paquete de trabajo. Las tareas relacionadas son agrupadas, normalmente, para formar actividades.

■ To-date Schedule Variance

Varianza de Plazo hasta la fecha.

■ To-date Cost Variance

Varianza de Coste hasta la fecha.

-V-**■ VAC**

Variance At Completion = $BAC - EAC$

-W-**■ WBS**

Work Breakdown Structure (Estructura de Desglose del Trabajo). Son grupos de actividades elementales que dividen el proyecto para constituir el árbol de descomposición de actividades. El WBS divide el proyecto total en Paquetes de Trabajo, Unidades singulares de trabajo que separadamente se pueden Asignar, Realizar y Monitorizar.

Ecuaciones Sigmoidales

BET Sigmoidal A

$$y = \frac{x}{(a + b \cdot x - (a + b) \cdot x^2)}$$

BET Sigmoidal B

$$y = \frac{a \cdot b \cdot x}{(1'0 + (b - 2'0) \cdot x - (b - 1'0) \cdot x^2)}$$

Boltzmann

$$y = \frac{(a - b)}{(1'0 + e^{(\frac{x-c}{d})}) + b}$$

Chapman

$$y = a \cdot (1'0 - e^{(-b \cdot x)}) \cdot c$$

Don-Levin

$$y = \frac{a1}{(1'0 + e^{(-\frac{(x-b1)}{c1})})} + \frac{a2}{(1'0 + e^{(-\frac{(x-b2)}{c2})})} + \frac{a3}{(1'0 + e^{(-\frac{(x-b3)}{c3})})}$$

Logística de Cinco-Parámetro

$$y = d + \frac{(a - d)}{(1'0 + (\frac{x}{c})^b)^e}$$

Logística de Cuatro-Parámetro

$$y = d + \frac{(a - d)}{(1'0 + (\frac{x}{c})^b)}$$

Logística Generalizada o de Richard

$$y = a + \frac{c}{(1 + t \cdot e^{(-c \cdot (x-n))})^{\frac{1}{t}}}$$

Gompertz A

$$y = a \cdot e^{(-e^{(b-c \cdot x)})}$$

Gompertz B

$$y = a \cdot e^{(-e^{(\frac{(x-b)}{c})})}$$

Gompertz C

$$y = a \cdot e^{(b \cdot e^{(c \cdot x)})}$$

Hill

$$y = \frac{a \cdot x^b}{(c^b + x^b)}$$

Crecimiento de Janoschek

$$w = a - (1'0 - e^{(-b \cdot t^c)})$$

Crecimiento de Janoschek Modificada

$$w = a - (a - w_0) \cdot (1'0 - e^{(-b \cdot t^c)})$$

Logística A

$$y = \frac{a}{(1'0 + b \cdot e^{(-c \cdot x)})}$$

Logística B

$$y = \frac{a}{(1'0 + (\frac{x}{b})^c)}$$

Saturación Magnética

$$y = a \cdot x \cdot (1'0 + b \cdot e^{(c \cdot x)})$$

Morgan-Mercer-Flodin (MMF)

$$y = \frac{(a \cdot b + c \cdot x^d)}{(b + x^d)}$$

Peters-Baskin Step-Stool

$$y = \frac{\ln(c + e^{(b \cdot d \cdot x)})}{d}$$

Richard

$$y = \frac{1'0}{(a + b \cdot e^{(c \cdot x)})^d}$$

Sigmoidal A

$$y = \frac{1'0}{(1'0 + e^{(-a(x-b))})}$$

Sigmoidal A Modificada

$$y = \frac{1'0}{(1'0 + e^{(-a \cdot (x-b))^c})}$$

Sigmoidal B

$$y = \frac{a}{(1'0 + e^{(-\frac{(x-b)}{c})})}$$

Sigmoidal B Modificada

$$y = \frac{a}{(1'0 + e^{(-\frac{(x-b)}{c})^d})}$$

Weibull

$$y = a - b \cdot e^{(-cx^d)}$$

Weibull CDF

$$y = 1'0 - e^{(-(\frac{x}{b})^a)}$$

Weibull PDF

$$y = \left(\frac{a}{b}\right) \cdot \left(\frac{x}{b}\right)^{(a-1'0) \cdot e^{(-(\frac{x}{b})^a)}}$$

Bibliografía

...y así, del mucho leer y del poco dormir, se le secó el cerebro de manera
que vino a perder el juicio.

Miguel de Cervantes Saavedra

- [1] W.F. Abba. Earned Value Management: Reconciling Government and Commercial Practices. *Program Manager*, pages 58–67, 1997.
- [2] A. J. Albrecht and J.E. Gaffney. Software function, source lines of code, and development effort prediction: A software science validation. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, 9(6):639–648, 1983.
- [3] G. S. Altshuller. Creativity as an exact science. *Sovietskoe radio Publishing House, Moscow*, page 184, 1979.
- [4] L.J. Amendola. *Estrategias y tácticas en la dirección y gestión de proyectos “Project Management”*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2004. ISBN: 9788497055222.
- [5] F. Anbari. Earned value project management method an extensions. *Project Management Journal*, 34(4):12–23, dec 2003.
- [6] J.D. Aron. Estimating resources for large systems. In eds. J. Buxton & B. Randell, editor, *NATO Conference Report on Software Engineering Techniques*, Roma, (Italia), 1969.
- [7] J. H. Ausubel and C. Marchetti. Electrical systems in retrospect and prospect. *Elektron: Daedalus*, 125(3):139–169, 1996.
- [8] G. A. Barraza, W.E. Back, and F. Mata. Probabilistic forecasting of project performance using stochastic s curves. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(12):957–965, 2007.

- [9] B. Boehm, C. Abts, and S. Chulani. Software development cost estimation approaches - a survey. *Annals of Software Engineering*, 10:177–205, 2000. 10.1023/A:1018991717352.
- [10] B. Boehm, B. Clark, E. Horowitz, C. Westland, R. Madachy, and R. Selby. Cost models for future software life cycle processes: Cocomo 2.0. *Annals of Software Engineering*, 1:57–94, 1995. 10.1007/BF02249046.
- [11] B.W. Boehm. Software engineering economics. *Software Engineering, IEEE Transactions on*, SE-10(1):4–21, jan 1984.
- [12] B.W. Boehm. Improving software productivity. *Computer*, 20:43–57, 1987.
- [13] B.W. Boehm and P.N. Papaccio. Understanding and controlling software costs. *Software Engineering, IEEE Transactions on*, 14(10):1462–1477, October 1988.
- [14] N. L. Bowers, H. U. Gerber, J. C. Hickman, D. A. Jones, and C. J. Nesbitt. *Actuarial Mathematics*. Itasca, IL: Society of Actuaries., 1997.
- [15] L.C. Briand, K. El-Emam, and F. Bomarius. Cobra: a hybrid method for software cost estimation, benchmarking, and risk assessment. In *Software Engineering, 1998. Proceedings of the 1998 International Conference on*, pages 390 –399, Apr 1998.
- [16] L.C. Briand and I. Wiecek. Resource estimation in software engineering. *Encyclopedia of Software engineering, John Wiley & Sons, New York*, 2002:1160–1196, 2002.
- [17] F. Buck. A cost-by-function model for avionics computer system. *NADC-SD-7088, Naval Air Development Center*, 1, 1971.
- [18] L. Cabezas, A. de Amescua, B. Fernández, F.J. Jiménez, R. López-Cortijo, S. López, and P. Cabezas. *EVM (Earned Value Management) Teoría, Práctica e Implantación*. INTA -Secretaría de Estado de Defensa (MDE) NIPO: 078-99-002-4, 2007.
- [19] D.F. Cioffi. Completing projects according to plans: An earned value improvement index. *International Journal of Project Management*, 23(3):215–222, 2005.
- [20] D.F. Cioffi. *Managing project integration*. Management Concepts, Inc.Vienna, Virginia, 2005.
- [21] D.F. Cioffi. A tool for managing projects: an analytic parameterization of the s-curve. *International Journal of Project Management*, 23(3):215–222, 2005.

- [22] D.F. Cioffi and J.M. Shull. Simulations of supernovae-dominated interstellar media in disk galaxies. *Astrophys Journal*, 367:96., 1991.
- [23] N. Condori-Fernández. *Un Procedimiento de Medición de Tamaño Funcional para Especificaciones de Requisitos*. PhD thesis, Universidad Politécnica de Valencia - Departamento de Sistemas Informáticos y Computación, May 2007.
- [24] S.D. Conte, H.E. Dunsmore, and V.Y. Shen. *Software engineering metrics and models*. Benjamin-Cummings Publishing Co., Inc. Redwood City, CA, USA, 1986.
- [25] C.A. Dekkers. Creating requirements-based estimates before requirements are complete. *Electronic*: <http://www.stsc.hill.af.mil/crosstalk/2005/04/0504Dekkers.html>, Apr. 2005.
- [26] T. DeMarco. *Controlling Software Projects: Management, Measurement and Estimates*. Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, USA, 1986.
- [27] K. EunHong, W.G. Wells, and M.R. Duffey. A model for effective implementation of earned value management methodology. *International Journal of Project Management*, 21(5):375–382, 2003.
- [28] R.E. Fairley. Recent advances in software estimation techniques. In *Proceedings of the 14th international conference on Software engineering*, ICSE '92, pages 382–391, New York, NY, USA, 1992. ACM.
- [29] L. Farr and H.J. Zagorski. Quantitative analysis of computer programming cost factors: A progressreport. Technical report, ICC Symposium Proc. Economics of Automatic Data Processing, North-Holland, Amsterdam., aug 1965.
- [30] J.M. Fernandez-Pirla. *Economía y Gestión de la Empresa*. ICE, Madrid, 6^a edition, 1974.
- [31] J.C. Fisher and R.H. Pry. A simple substitution model of technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 3:75–88, 1971-1972.
- [32] Q.W. Fleming and J.M. Koppelman. *Earned Value Project Management*. Project Management Institute, Newtown Square, PA, 2nd. edition, 2000.
- [33] H. L. Gantt. *Work, Wages and Profits*. The Engineering Magazine Co., New York, 2th. edition, 1913.
- [34] Gartner. Analysts to discuss latest outlook for the it industry during upcoming gartner. <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1513614>, 2011.

- [35] B. Gompertz. *On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies.*, volume 115. Phil. Trans. Roy. Soc. London, 1825.
- [36] A. Grübler. *The Rise and Fall of Infrastructures*. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 1990.
- [37] J. Grompone. *Gestión de Proyectos de Software*. Olmer SA, Montevideo, Uruguay, 1 edition, 1996. ISBN 9974-592-05-4.
- [38] The Standish Group. Chaos summary 2010. Technical report, The Standish Group International, Inc., 2010.
- [39] M.K. Hubbert. Energy from fossil fuels. *Science*, 109(2823), Feb 1949.
- [40] M.K. Hubbert. Exponential growth as a transient phenomenon in human history. In: *Presented before the World Wildlife Fund, fourth international congress, the fragile earth: toward strategies for survival, San Francisco*, 1976.
- [41] E.L. Ince. *Ordinary Differential Equations*. Dover, New York, 1956.
- [42] Joint Government/Industry Parametric Cost Estimating Initiative, editor. *Parametric Cost Estimating Handbook*. Joint Government/Industry Parametric Cost Estimating Initiative, 2 edition, 1996.
- [43] G. Jarne, J. Sánchez-Chóliz, and F. Fatás-Villafranca. “s-shaped” economic dynamics. the logistic and gompertz curvesgeneralized. *The Electronic Journal of Evolutionary Modeling and Economic Dynamics*, 2005.
- [44] R. Jensen. An improved macrolevel software development resource estimation model. *Proceedings 5th ISPA Conference*, pages 384–389, Apr 1983.
- [45] C. Jones. *Applied software measurement: assuring productivity and quality*. McGraw-Hill, Inc., New York, NY, USA, 1991.
- [46] C. Jones. *Applied software measurement (2nd ed.): assuring productivity and quality*. McGraw-Hill, Inc., Hightstown, NJ, USA, 1997.
- [47] A. Kaufmann and G. Desbazeille. *The critical path method: application of the PERT method and its variants to production study programs*. Gordon and Breach, 1969.
- [48] J.E. Kelley and M.R. Walter. Critical-path planning and scheduling. *Proceedings of the Easter Joint Computer Conference, Boston, Massachusetts*, pages 160–173, dec. 1959.
- [49] J. F. Kenney and E. S. Keeping. *Mathematics of Statistics*,. Princeton, NJ: Van Nostrand,, 3rd edition, 1962.

- [50] C.P. Kindleberger. *World Economic Perspectives: 1500 to 1990*. Oxford University Press, Oxford, 1996.
- [51] S.E. Kingsland. *Modeling Nature: Episodes in the History of Population Ecology*. University of Chicago Press, Chicago., 1985.
- [52] B.A. Kitchenham, S.L. Pfleeger, L.M. Pickard, P.W. Jones, D.C. Hoaglin, K. El-Emam, and J. Rosenberg. Preliminary guidelines for empirical research in software engineering. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, 28(8):721–734, 2002.
- [53] D. Kucharavy and R. De Guio. Problems of forecast. *ETRIA TRIZ Future 2005, Graz, Austria*, pages 219–235, 2005.
- [54] A. L. Kustanowitz. System life cycle estimation (slice): A new approach to estimating resources for application program development. In *Proceedings of the IEEE COMSAC*, 1977.
- [55] L. Leach. Evm & critical chain project management. *NASA Project Management Challenge, Houston, TX.*, 2005.
- [56] W. Lipke. Schedule is different. *The Measurable News - College of Performance Management del PMI*, March & Summer 2003.
- [57] W. Lipke. Connecting earned value to he schedule. *The Measurable News*, 1, 2004.
- [58] W. Lipke and K. Henderson. Earned schedule, something new for evm and schedule analysis. *12 th PMI Belgium Chapter Meeting*, jun 2007.
- [59] A. J. Lotka. *Elements of Physical Biology*. Williams and Wilkins, 1925. (republished as *Elements of Mathematical Biology*, Dover, New York, 1956).
- [60] C. Marchetti. Society as a learning system. *Technological Forecasting and Social Change*, 18:267–282, 1980.
- [61] C. Marchetti, S. P. Meyer, and J. H. Ausubel. Human population dynamics revisited with the logistic model: How much can be modeled and predicted? *Technological Forecasting and Social Change*, 52(1):1–30, 1996.
- [62] B. Marín Campusano. *Functional Size Measurement and Model Verification for Software Model-Driven Developments: A COSMIC-based Approach*. PhD thesis, Universitat Politècnica de València Departamento de Sistemas de Información y Computación., 2011.
- [63] S. McConell. *Desarrollo y gestión de proyectos informáticos*. Mc Graw Hill, 1997.

- [64] P. S. Meyer. Bi-logistic growth. *Technological Forecasting and Social Change.*, 47:89–102, 1994.
- [65] P.S. Meyer, J.W. Yung, and J.H. Ausubel. A Primer on Logistic Growth and Substitution: The Mathematics of the Loglet Lab Software. *Technological Forecasting and Social Change*, 61(3):247–271, 1999.
- [66] R.W. Miller. *Aplicación del método PERT al Control de Programación, Costes y Beneficios*. Ediciones del Castillo, Madrid, 1 edition, 1963.
- [67] T. Modis. *Predictions - 10 Years Later*. Growth Dynamics, 2002.
- [68] E.W. Montroll. Social dynamics and the quantifying of social forces. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, 75(10):4633–4637, 1978.
- [69] A.M. Moreno-Sánchez. *Control y gestión de proyectos software, Unidad 4: Estimación de Proyectos Software*. Instituto Tecnológico de Buenos Aires, 1996.
- [70] G.M. Murmis. *S curves for monitoring project progress*. Project Manage J, 1997.
- [71] N. Nakicenovic. *Growth to Limits: Long Waves and the Dynamics of Technology*. PhD thesis, University of Vienna, Austria., 1984.
- [72] N. Nakicenovic and A. Grübler. eds: *Diffusion of Technologies and Social Behavior*. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1991.
- [73] S.K. Parker and M. Skitmore. Project management turnover: causes and effects on project performance. *International Journal of Project Management*, 23:205–214, 2005.
- [74] S. Piñeiro. PERT y CPM: Programación y control de proyectos. *Cuadernos de Estudios Empresariales, Servicio de Publicaciones UCM. Madrid.*, 5:271–291, 1995.
- [75] PMI, editor. *A guide to the project management body of knowledge*. Project Management Institute - Standards Committee (PMI), 2000.
- [76] PMI, editor. *Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos: (Guía del PMBOK®)*. Project Management Institute (PMI), 2004. Norma ANSI/PMI 99-001-2004.
- [77] PMI, editor. *Project Management Institute Practice Standard for Work Breakdown Structures*. Project Management Institute (PMI), second edition, 2006.
- [78] R.S. Pressman. *Ingeniería del Software. Un enfoque práctico*. McGraw Hill, 5th. edition, 2002.

- [79] I. Prigogine. From being to becoming: Time and complexity in the physical science. *W.H. Freeman and Company, San Francisco.*, 1980.
- [80] PMSC Program Management Systems Committee. *Surveillance Guide*. National Defense Industrial Association (NDIA), oct 2004.
- [81] L.H. Putnam. A general empirical solution to the macro software sizing and estimating problem. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, 4(4):345–361, 1978.
- [82] L.H. Putnam and A. Fitzsimmons. Estimating software cost. *Datamation*, 1979.
- [83] L.H. Putnam and W. Myers. *Measures for Excellence: Reliable Software on Time, within Budget*. Prentice Hall Professional Technical Reference, 1991.
- [84] J. W. Short. Using schedule variance as the only measure of schedule performance. *Cost Engineering*, 35(10):35, 1993.
- [85] M. I. Sánchez-Segura, J. J. Cuadrado, A.M. Moreno, A. de Amescua, A. de Antonio, and O. Marbán. Virtual reality systems estimation vs traditional systems estimation. *Journal of Systems and Software*, 2004.
- [86] R. W. Stratton. Management technologies. <http://www.mgmt-technologies.com/>, 2009.
- [87] R. W. Stratton, PMP, and EVP. *The Earned Value Management Maturity Model*. Management Concepts, sept 2006.
- [88] F.W. Taylor. *The principles of scientific management*. Elibron Classic series. Harper & Brothers, New York and London, 1929.
- [89] S. Vandevoorde and M. Vanhoucke. A comparison of different project duration forecasting method using earned value metrics. *International Journal of Project Management*, 24:289–320., 2006.
- [90] F. Walkerden and D. R. Jeffery. Software cost estimation: A review of models, process, and practice. *Advances in Computers*, 44:59–125, 1997.
- [91] C.E. Walston and C.P. Felix. A method of programming measurement and estimation. *IBM Systems Journal*, 16(1):54–73, 1977.
- [92] A. Webb. *Using Earned Value: A Project Manager's Guide*. Gower Publishing, Abingdon, 2003. ISBN 0 566 08533 X.
- [93] J. Zavala. *¿Por qué fracasan los Proyectos de Software? Un enfoque organizacional*. Congreso Nacional De Software Libre (CONSOL)-México, Feb. 2004.

Índice alfabético

- Actividad, 10
- Anchura o Pendiente de la curva, 62
- Barras de tareas, 8
- Budgeted Cost at Completion (BAC), 42
- Budgeted Cost for Work Performed (BCWP), 42
- Budgeted Cost for Work Scheduled (BCWS), 41
- Cost Performance Index (CPI), 46
- Cost Variance (CV), 44
- Cost/Schedule Control Systems Criteria(C/SCSC), 39
- CPM, 8, 9
- Crecimiento Biológico, 63
- Crecimiento Logístico, 125, 126
- Critical Path Method (CPM), 2
- Cumplimiento de objetivos, 62
- Curva de S, 4, 5, 41, 59, 60, 62, 63
- Dependencia, 11
- Diagramas de Gantt, 7
- Duración característica, 62
- Earned Schedule (ES), 49
- Earned Value (EV), 42
- Earned Value Management System (EVMS), 40
- Earned Value Management (EVM), 2, 20, 38
- Earned Value Project Management (EVPM), 40
- Ecuaciones Diferenciales Ordinarias (EOD), 60
- Ecuación Logística, 61, 63
- Ecuación Logística Diferencial, 62
- Esfuerzo, 11
- Estimated Cost at Completion (EAC), 50, 51, 66
- Estimated Duration (ED), 48
- Estrategias de los proyectos, 10
- Etapas de un Proyecto, 13
- Evento, 10
- Hipótesis 1, 4
- Hipótesis 2, 4
- Hito, 8, 11
- Índice de Crecimiento, 62, 63
- Límite de capacidad, 62
- Metas de los proyectos, 10
- Modelo 2-Logístico, 64
- Modelo Aron, 33
- Modelo COBRA, 36
- Modelo COCOMO, 34
- Modelo COCOMO II, 35
- Modelo de Crecimiento Exponencial, 60
- Modelo Farr & Zagorski, 33

- Modelo FPA, 34
Modelo Jensen, 35
Modelo Logístico, 62
Modelo Logístico Simple, 63
Modelo n-Logístico, 64
Modelo NAVAIR, 33
Modelo PRICE H - RCA, 33
Modelo PRICE S - RCA, 34
Modelo Putnam, 34
Modelo SDC, 32
Modelo SELECT, 36
Modelo SLICE, 33
Modelo SLIM, 35
Modelo SPR Checkpoint, 35
Modelo Walston
 & Felix / IBM-FSD, 33
- Object Factory SELECT, 36
Objetivos de los proyectos, 10
Oficina de Gestión de
 Proyecto (OGP), 12
Ordinary Differential Equations, 60
Organization Breakdown
 Structure (OBS), 17
- Parámetro α , 62
Parámetro β , 62
Parámetro Δt , 62, 63, 127
Parámetro κ , 61, 62
Parámetro t_μ , 62, 127
Parámetro t_m , 62
PERT, 8, 9
PERT/CPM, 9
Plan estratégico, 10
Planned Duration (PD), 48
PMI, 13
PRICE S, 33
Project Management Institute, 13
Proyecto, 11
Punto Medio, 62
Punto Medio de la
 Trayectoria Creciente, 62
- Recursos, 11
Retroalimentación, 61
- Schedule Performance Index (SPI),
 47
Schedule Variance (SV), 43
Sigmoide, 5, 41, 59
Source Lines Of
 Code (SLOC), 34
Standish Group
 - CHAOS reports, 26
- Tarea, 11
To Complete Performance
 Index (TCPI), 48
To Complete Schedule Performan-
 ce
 Index (TSPI), 48
- Variance At Completion (VAC), 52
- Work Breakdown
 Structure (WBS), 16

*–Buena está – dijo Sancho –; fírmela vuestra merced.
–No es menester firmarla – dijo Don Quijote–,
sino solamente poner mi rúbrica.*

*Don Quijote de la Mancha
Miguel de Cervantes*

