

Para fijar ideas, supongamos que el objetivo final es la fabricación en masa de baterías o de un nuevo automóvil eléctrico; entonces el proyecto se convierte en un proyecto de proyectos.

Primero, el desarrollo de las instalaciones correspondientes a las nuevas plantas de fabricación estará sujeto a las 5 fases principales del ciclo de vida de todo proyecto, pero, cuando este ciclo culmine con la fase de cesión, lógicamente se deberá pasar a su explotación y mantenimiento, cuyas tareas se encierran en la tercera fase del ciclo de vida del capital de las instalaciones (ver Figura 1.8).

Segundo, el despliegue de la fase de explotación y mantenimiento está estrechamente vinculado al concepto *Producción* que, a su vez, constituye la cuarta y última fase del *ciclo de vida del desarrollo del producto* (ver Figura 1.8) que en nuestro caso corresponde al desarrollo de baterías o de vehículos eléctricos, pasando previamente por las fases de *Investigación básica y aplicada del producto* y la fase de *Diseño del producto* (v.gr. diseño de automóviles eléctricos).

Y tercero, cuando asumimos que la fabricación del producto final se realiza masivamente, la fase de Producción correspondiente al desarrollo del producto se solapa con el *ciclo de vida de la producción en masa* (ver Figura 1.8), en el que son distinguibles cuatro fases: *Introducción del producto en el mercado*, *Crecimiento en ventas*, *Madurez o saturación* y *Declive*, salvo que el producto sea renovado, tal como sucede con algunos modelos de automóvil cuyos nombres perduran en el tiempo.

1.3. Métodos y herramientas de planificación de proyectos

El éxito del desarrollo de un proyecto precisa tener a disposición y poder manejar una serie de herramientas asistidas por gráficos que propicien el entendimiento entre las partes implicadas.

Una herramienta gráfica utilizada tradicionalmente en la gestión de proyectos es el diagrama de Gantt²⁹ que, a pesar de tener más de un siglo de vida³⁰, sigue siendo un elemento de gran utilidad para transmitir información referente al *statu quo* de un proyecto.

En contrapartida, el diagrama de Gantt es demasiado rígido a la hora de representar proyectos que están sujetos a constantes incidencias y modificaciones favorecidas por su larga duración y el modelo de referencia pierde el con-

²⁹ HENRY LAURENCE GANTT (1861-1919) hizo diversas aportaciones al estudio de métodos y tiempos y al cálculo de incentivos; no obstante, la aportación por la que se le recuerda principalmente es por su gráfico o diagrama de barras horizontales con el que queda patente que un proceso consiste en una sucesión de operaciones. GANTT trató de mejorar las organizaciones innovando en la programación de las tareas y ofreciendo compensaciones.

³⁰ Gantt, H.L. (1910) *Work, Wages and Profits*. The Engineering Magazine, Nueva York, 1910.

tacto con la realidad hasta tal punto que deja de ser útil. Esto obliga a confeccionar un nuevo diagrama actualizado, y su construcción, si no se dispone de una tecnología adecuada para modificar y reproducir con celeridad, exige tanto o más trabajo que el que costó la primera representación.

Los ordenadores y programas gráficos asistidos por bases de datos con información sobre fechas, duraciones, relaciones entre actividades, etc., permiten reproducir un diagrama de Gantt actualizado de forma inmediata. Pero este beneficio que proporciona una informática al alcance de todos no siempre se ha podido disfrutar, y en algún momento fue necesario recurrir a otras formas para representar el desarrollo de un proyecto que condujeron al empleo de la *Teoría de Grafos*³¹ para modelizar la estructura correspondiente al despliegue del mismo. El uso de grafos como forma de representación permitió además poner a disposición de la gestión de proyectos un conjunto de métodos cuantitativos especialmente útiles, tales como el cálculo de caminos extremos en grafos o el cálculo de flujos en redes (ver Figura 1.9).

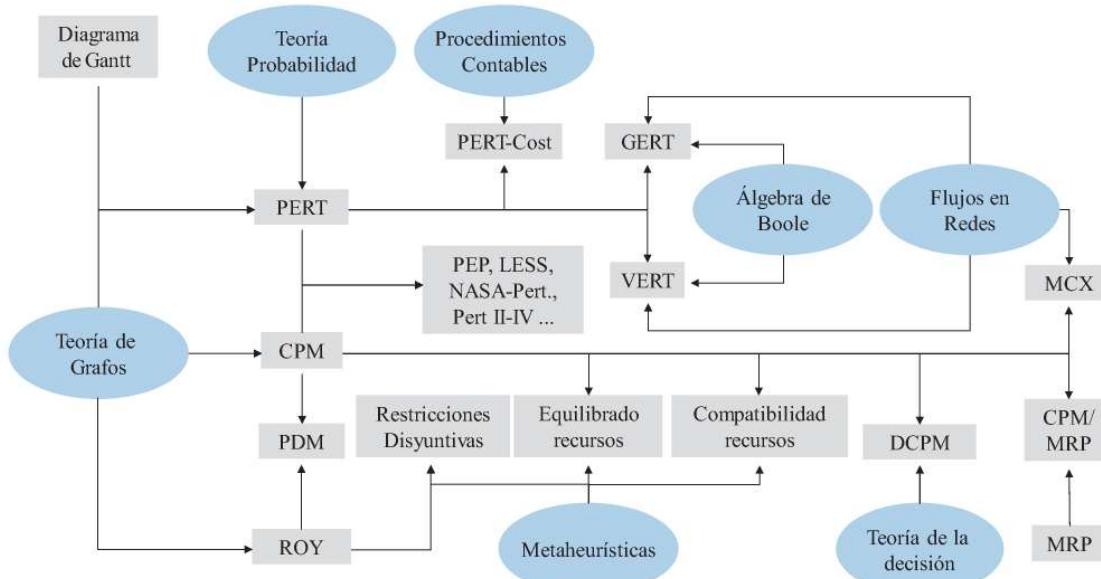


Figura 1.9. Genealogía de procedimientos para programar actividades asistidos por la Teoría de Grafos.

La primera referencia sobre modelización de proyectos mediante grafos asistidos por medios informáticos se remonta a 1956, año en que JAMES E. KELLEY (Remington Rand Univac) y MORGAN R. WALKER (Du Pont) desarrollaron algoritmos para la programación de proyectos en Du Pont, partiendo de tra-

³¹ El origen de la Teoría de Grafos se remonta como mínimo a 1736, cuando LEONHARD PAUL EULER (1707-1783) resolvió de manera ingeniosa el problema de los puentes de Königsberg.

jos previos que la empresa había realizado durante el despliegue del *Proyecto Manhattan*. Los algoritmos se probaron por primera vez en 1957 para cerrar algunas plantas de la compañía y se publicaron en 1959³².

Al parecer, el método CPPS (*Critical-Path Planning and Scheduling*), que posteriormente fue denominado *Método del Camino Crítico* (CPM: *Critical-Path Method*), culminó su desarrollo con los resultados de su aplicación a los cambios en la planta de Du Pont en Louisville. Este importante caso es bien conocido³³, ya que mediante CPM fue posible reducir, en promedio, el tiempo inactivo del proyecto en un 25%, mientras que las ventas aumentaron lo suficiente el primer año como para poder financiar los desarrollos³⁴ del CPM. Además, el método incorporó la actitud positiva, que ya es costumbre, de integrar las diversas modificaciones e incidencias que se producen a lo largo del desarrollo de todo proyecto.

En 1958, la *Navy Special Projects Office (SPO)*, junto con personal de la *Lockheed Corporation* y un equipo de asesores de la firma *Booz Allen Hamilton*, desarrollaron y pusieron a punto³⁵ una metodología denominada *Técnicas de Revisión y Evaluación de Programas* (PERT: *Program Evaluation and Review Techniques*), con el propósito de reconducir la tendencia que tenían los proyectos estatales en EEUU, durando y costando mucho más de lo que inicialmente se preveía. PERT se utilizó por vez primera para controlar el desarrollo del *Proyecto o Programa Polaris*³⁶, en el que intervenían miles de agencias y proveedores. Al empleo de PERT se atribuye la reducción de la duración de dicho proyecto en unos dos años.

³² Kelley, J.E.; Walker, M.R. (1959) «Critical-Path Planning and Scheduling». *Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference*, Boston, 1-3 Diciembre, 1959. pp. 160-173.

³³ Kelley y Walker (1959), op. cit.

³⁴ El desarrollo del CPM se prolongó durante 27 meses, desde diciembre de 1956 hasta febrero de 1959. En todo este tiempo, el desarrollo de CPM pasó por cinco fases superpuestas: (i) Reconocer el problema, (ii) Buscar apoyos y preparar un plan de trabajo, (iii) Contrastar la teoría con pruebas preliminares, (iv) Primera prueba en vivo, y (v) Pruebas y desarrollos adicionales.

³⁵ Dos informes técnicos: (1) PERT Summary Report Phase 1, Bureau of Naval Weapons, Department of the Navy, Washington, Julio de 1958; y (2) PERT Summary Report Phase 2, Bureau of Naval Weapons, Department of the Navy, Washington, Septiembre 1958.

³⁶ El 23 de octubre de 1957, THOMAS SOVEREIGN GATES JR., entonces Secretario de la Armada de EEUU, propuso acelerar el *Proyecto Polaris*, que consistía en equipar con 16 misiles *Polaris A-1/A-3* los submarinos del tipo *GEORGE WASHINGTON*. Los submarinos con misiles debían estar operativos para mediados de 1962; no obstante, gracias al esfuerzo y el control del proyecto, el 20 de julio de 1960 se realizó el disparo en vertical de un *Polaris A-1* desde el submarino sumergido y se envió un mensaje al entonces presidente DWIGHT D. EISENHOWER: *GEORGE WASHINGTON SENDS POLARIS FROM OUT OF THE DEEP TO TARGET PERFECT*. Inicialmente, los misiles poseían un alcance de 1.000 millas náuticas, siendo una amenaza contra la cual apenas existía defensa en la época al ser armas intercontinentales que incorporaban cabezas nucleares. Posteriormente, otras potencias como la URSS, Inglaterra y Francia dispondrían de flotas de submarinos equipados con semejantes ingenios.

La visión que se tenía sobre los proyectos en los dos ejemplos anteriores no era la misma, pero ambos procedimientos mostraban un conjunto de aspectos formales muy similares en cuanto a la representación gráfica de un proyecto. Es posible que estas coincidencias se debieran a que el equipo que diseñó el PERT, con el contraalmirante CHARLES EDGAR CLARK como principal promotor en la Armada norteamericana, tuviera acceso a los documentos iniciales del CPM. En cualquier caso, PERT se distinguió de CPM por sus consideraciones probabilistas, asociando a cada actividad una duración media, otra optimista y otra pesimista.

Por esas mismas fechas, un equipo de trabajo formado por técnicos de *Chantiers de l'Atlantique*, la *Sociedad de Economía y Matemáticas aplicadas de Francia* (SEMA) y la compañía BULL de ordenadores estudió un problema de equilibrado de curvas de carga de trabajo de las distintas especialidades que intervenían en las operaciones de armamento de un buque; el problema debía ser resuelto automáticamente por un ordenador. Los trabajos derivados del estudio dieron lugar, posteriormente, al método de los potenciales de BERNARD ROY, cuya principal característica es la asociación de las actividades a los vértices del grafo representativo del proyecto, en contraste con PERT, CPM y métodos derivados salvo PDM (*Precedence Diagramming Method*), que localizan las actividades en los arcos del grafo.

Estos procedimientos pioneros causaron inicialmente un gran impacto, debido a su sencillez conceptual y, en el caso del PERT y sus variantes (PEP –versión del Ejército del Aire–; LESS –versión de IBM–; NASA PERT; IMPACT; PERT II a IV; etc.), a su gran difusión, mediante cursos, seminarios, congresos, artículos, libros, etc., propiciada por la financiación del gobierno de EEUU facilitada a través de contratos del departamento de defensa. Sin embargo, la puesta en práctica de estos métodos en la vida civil no resultó tan exitosa, pues su implementación exigía grandes esfuerzos, muchos recursos y una gran disciplina; algunos usuarios los abandonaron y otros, especialmente en la industria de la construcción, siguieron usándolos, aunque sin los alardes de los primeros tiempos.

La primera extensión de PERT, para hacer frente a las críticas sobre que solo tenía en cuenta los atributos temporales, consistió en incorporar procedimientos contables. PERT/Cost, nombre que recibió dicha extensión (ver Figura 1.9), pretendía incorporar los aspectos financieros de un proyecto asociando una serie de costes a sus actividades. Esto obligaba a tener una estructura de costes adaptada a la estructura del proyecto representada por el organigrama tecnológico que establece la jerarquía de tareas clasificadas por tipos (v.gr. diseño, construcción, pruebas de integración, etc.). La idea parecía correcta, pues de esta forma se podían detectar eficazmente las causas de las desviaciones de los costes durante el despliegue de un proyecto, pero resultó que la mayoría de las empresas continuaron usando los procedimientos contables tradicionales, con lo que la doble contabilidad generaba más problemas de los que resolvía. Así, los desarrollos de PERT/Cost fueron abandonados.

PERT/Cost no debe confundirse con MCX (*Minimum Cost Expediting*), el cual corresponde a la línea de desarrollo de CPM, permitiendo establecer distintas duraciones para completar un proyecto, asociando a cada una de ellas un coste total mínimo. De hecho, MCX representa un problema de optimización biobjetivo que enfrenta dos objetivos contrapuestos: minimizar la duración del proyecto y minimizar sus costes de ejecución. Para ello, MCX supone una relación inversa entre el coste para realizar cualquier actividad y su duración. El resultado final es un conjunto de soluciones, formando un frente de Pareto, entre las que el responsable del proyecto podrá elegir la que más se aproxima a los objetivos globales marcados al proyecto, tanto en su duración como en sus costes de ejecución.

GERT, *Graphical Evaluation and Review Technique*, y VERT, *Venture Evaluation and Review Technique*, representan dos intentos ambiciosos para tratar la incertidumbre en los esquemas de representación del tipo PERT. Estos dos métodos pretenden analizar proyectos en universo incierto, afectando a las tareas tanto en sus duraciones como en las restricciones de sucesión y precedencia entre aquellas. En esta misma categoría de métodos se pueden incluir las redes asociadas al método DCPM (*Decision-CPM*) por su parentesco con los *árboles de decisión*, siendo la *programación dinámica* una herramienta útil para este tipo de problema.

Por otra parte, un aspecto importante que considerar en el despliegue de un proyecto es el uso de los recursos requeridos por las actividades que lo componen. Desde hace más de 6 décadas, se abordan problemas en los que los recursos disponibles durante el desarrollo del proyecto están limitados (problemas de compatibilidad de recursos) o presentan unos niveles de disponibilidad a los que hay que ajustar las cargas lo máximo posible (problemas de equilibrado de recursos). Concretando, los problemas de equilibrado consisten en obtener programas del proyecto en los que los niveles reales de utilización de los diversos recursos sean lo más parecidos posible a los niveles ideales preestablecidos. Por su parte, los problemas de compatibilidad corresponden a hallar programas del proyecto tales que los niveles de empleo de los recursos no excedan, en ningún momento, los niveles de disponibilidad de los mismos.

Otra problemática similar a las anteriores la hallamos en los problemas disyuntivos, en los que se impone que algunas actividades no pueden coincidir simultáneamente en el tiempo. En estos problemas, las herramientas más empleadas son las *Metaheurísticas* y la *Programación Lineal Entera Mixta*.

Otro desarrollo interesante es CPM/MRP, el cual combina las ventajas que ofrece CPM con las prestaciones del MRP (*Material Requirement Planning*), asociando a las tareas del proyecto diversos recursos, cuyas necesidades se programan en función de la estructura del producto, los plazos y los niveles ideales de los stocks.

Obviamente, todos los problemas expuestos admiten representaciones con modelos analíticos y, a partir de ellos, se pueden diseñar métodos de resolu-

ción exactos y heurísticos que son de gran utilidad para la toma de decisiones, aunque en épocas pasadas tales métodos se pusieran en entredicho³⁷.

La causa del éxito de los métodos de programación de actividades en las últimas décadas se debe a varios factores, entre ellos: (i) la exigencia actual de gestionar eficientemente todas las actividades, y (ii) la disponibilidad de ordenadores y de programas cada vez más asequibles, que permiten al planificador emplear interactivamente estos métodos formalizados.

³⁷ Hacia 1963, los métodos de programación de tareas sufrieron serias críticas por parte de algunos industriales británicos de la construcción, llegando a decir que no tenían utilidad alguna. Por esa misma época, en concreto el 8 de agosto de 1963 y a unos 65 kilómetros de Londres, tuvo lugar el famoso *Asalto al tren de Glasgow*, bautizado a la sazón por la prensa británica como *el Robo del Siglo*. A las 03:15 a. m. del 8-A, el maquinista del convoy *Up Special* de la TPO detuvo el tren frente a un semáforo en rojo que había sido manipulado por una banda de delincuentes; el ayudante del maquinista bajó del tren para telefonear, pero los cables habían sido cortados. A partir de ese momento, los asaltantes desplegaron sus tareas programadas: (i) maniataron al ayudante, (ii) el vagón que contenía un motín de 2,6 millones de libras fue desenganchado, (iii) obligaron al maquinista a conducir el tren hasta un puente bajo el que esperaba un camión con el resto de la banda, y (iv) cargaron en el camión 118 de las 126 sacas con dinero en muy pocos minutos. Se dice en la cultura popular que, cuando Scotland Yard localizó la granja donde se había planeado el atraco, hallaron allí numerosos grafos que habían servido para que los cerebros de la cuadrilla establecieran un minucioso programa de actividades que condujo al éxito de la operación.