



FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y JURÍDICAS DE ORIHUELA

GRADO EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO ACADÉMICO 2019-2020

TÍTULO:

***TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN
Y CONTROL DE PROYECTOS***

AUTOR:

CLAUDIA FERRANDO ZAMORA

TUTORA:

LAURA ANTÓN SÁNCHEZ



RESUMEN

A pesar de que las raíces de la Investigación Operativa se remontan a las civilizaciones más antiguas, ésta no fue reconocida como una nueva área de la investigación científica hasta la Segunda Guerra Mundial. La Investigación Operativa es una disciplina moderna que utiliza modelos matemáticos, estadísticos y algoritmos para modelar y resolver problemas complejos, determinando la solución óptima y mejorando la toma de decisiones.

En este trabajo centramos nuestra atención en el estudio de técnicas para la planificación, programación y control de proyectos. El método de gestión de proyectos que utilizamos se denomina CPM (Critical Path Method) y tiene como objetivo determinar la programación de las distintas actividades que forman un proyecto. Además, nos ayudaremos del diagrama de Gantt como herramienta gráfica.

Por último, analizamos algunos problemas que pueden surgir al aplicar el CPM e incluimos un ejemplo ilustrativo donde se ponen en práctica todos los contenidos vistos en el trabajo.

ABSTRACT

Although the roots of Operations Research go back to the oldest civilizations, it was not recognized as a new area of scientific research until World War II. Operations Research is a modern discipline that uses mathematical, statistical and algorithmic models to model and solve complex problems, determining the optimal solution and improving decision-making.

In this work we focus our attention on the study of techniques for planning, scheduling, and controlling projects. The project management method we use is called CPM (Critical Path Method), a network-based project management method whose objective is providing analytical means to schedule activities. In addition, we will use the Gantt chart as a graphical tool.

Finally, we analyze some problems that may arise when applying the CPM and we include an illustrative example where all the contents seen in the work are put into practice.

ÍNDICE

<u>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN.....</u>	<u>6</u>
<u>CAPÍTULO 2: INVESTIGACIÓN OPERATIVA.....</u>	<u>8</u>
2.1. Procedencia e historia.....	8
2.2. Definición.....	11
<u>CAPÍTULO 3: INTRODUCCIÓN A LA GESTIÓN DE PROYECTOS.....</u>	<u>15</u>
3.1. Definición del proyecto y sus características.....	15
3.2. Técnicas de gestión de proyectos.....	15
3.3. Fases en la gestión de un proyecto.....	16
<u>CAPÍTULO 4: DIAGRAMA DE GANTT</u>	<u>23</u>
<u>CAPÍTULO 5: MÉTODO DEL CAMINO CRÍTICO.....</u>	<u>25</u>
<u>CAPÍTULO 6: EJEMPLO ILUSTRATIVO.....</u>	<u>27</u>
<u>CAPÍTULO 7: PROBLEMAS EN LA PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS...33</u>	<u>33</u>
7.1. Programación de proyectos con recursos limitados.....	38
7.2. Nivelación de la demanda de recursos.....	41
7.3. Reducción de la duración del proyecto.....	47
<u>CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES.....</u>	<u>54</u>
<u>BIBLIOGRAFÍA.....</u>	<u>56</u>

1. INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN

En la actualidad e in crescendo, cada día millones de industrias, empresas y profesionales se encuentran sumergidos en un mercado en auge, por la globalización económica y la gran competencia entre países. Desde pequeños minoristas hasta los grandes monopolios, todos deben llevar a cabo estrategias empresariales para asegurar la supervivencia y para mantener sus negocios a flote. Multitud de factores son los que diferencian a estas miles de organizaciones con ánimo de lucro, que deben centrar su atención en la mejora de los proyectos que llevan a cabo para realizar su actividad económica, haciendo un estudio riguroso de los mismos y de las tareas que llevan implícitas para así rentabilizar sus operaciones, gestionarlos de la mejor manera posible y sacar de ellos la máxima rentabilidad.

Derivado del rápido crecimiento de los sistemas de información mediante el uso de nuevas tecnologías para la toma de decisiones, en multitud de ocasiones las empresas tienen la necesidad de reestructurarse nuevamente para la toma de mejores y más rápidas decisiones buscando herramientas o métodos que le permitan en el menor tiempo posible obtener la máxima eficacia en el proceso de productividad dentro de la empresa. La Investigación Operativa (IO) ofrece respuesta a estos problemas centrandose su atención en la efectividad de los proyectos y en la economicidad de los costes, para obtener los resultados óptimos con la menor inversión posible.

A lo largo de mis estudios universitarios, la Investigación Operativa o Investigación de Operaciones no la hemos trabajado como materia en ninguna asignatura. Si bien de ella sabía unas pinceladas, la sugerencia del tema por parte de mi tutora y la materia facilitada para el estudio de ésta, hizo que me decidiera a desarrollar mi trabajo fin de grado sobre "*Técnicas de planificación, programación y control de proyectos*".

En primer lugar, y puesto que el origen exacto de la Investigación Operativa no está del todo establecido, he realizado un recorrido por el tiempo enumerando las primeras investigaciones de operaciones puestas en práctica

centrándome, en mayor detalle, en la aplicación de los métodos de investigación de operaciones militares y científicas que utilizaron durante la Segunda Guerra Mundial.

Debido a la gran variedad de problemas de los que se ocupa, resulta difícil dar una definición única de Investigación Operativa por lo que, la recopilación de distintas definiciones de varios autores me han servido de ayuda para introducir el concepto de esta disciplina o por lo menos, acercarme a una completa y exhausta definición.

Llevar a cabo la gestión de un proyecto dentro de la Investigación Operativa suele ser un trabajo de equipo en el que tanto los especialistas como el cliente trabajan en colaboración. Independientemente de la naturaleza del proyecto, en el desarrollo de la gestión de éste cabe distinguir una serie de etapas interdependientes que, aunque suelen iniciarse en un orden, la interacción entre ellas hace que cada fase se revise y actualice continuamente hasta conseguir el objetivo planteado.

El estudio realizado se ha centrado en el análisis de la fase “programación de un proyecto”, más específicamente en el Método del Camino Crítico o CPM por sus siglas en inglés (Critical Path Method), técnica de administración de actividades basada en redes, que ayuda en la programación y la gestión de grandes proyectos.

Además de analizar en detalle el método del camino crítico en la gestión de proyectos, en este trabajo también revisamos algunas técnicas para abordar problemas que pueden surgir en cualquier empresa: disponibilidad limitada de recursos, distribución muy desigual de los recursos a lo largo de la vida del proyecto o necesidad de reducir su duración. Para ello, nos valdremos de tablas, gráficos y del software de apoyo POM-QM que contiene los métodos cuantitativos necesarios para resolver estos problemas que pueden surgir al utilizar el método del camino crítico.

2. INVESTIGACIÓN OPERATIVA

2.1. Procedencia e historia

A lo largo de la historia de la Investigación Operativa es frecuente encontrar teorías, estudios, escritos e investigaciones de grandes científicos (matemáticos, físicos, ingenieros, estadistas, economistas, entre otros) y militares con el fin de encontrar la decisión óptima en la batalla y así conseguir la victoria mediante la utilización y mejora de las técnicas militares. La lógica pragmática de las operaciones militares especificaba las agendas de investigación y, en ese contexto, lo que importaba era la eficacia del método, pues las soluciones tenían que ser alcanzadas en tiempo hábil (Hillier y Lieberman, 1998).

Mientras que en los siglos XVII y XVIII figuras de reconocido prestigio como Newton, Leibnitz, Bernoulli y Lagrange, trabajaron en mejorar las técnicas de sistemas de funciones lineales con restricciones para obtener los valores extremos máximos y mínimos; Jean Baptiste-Joseph Fourier y Janos Von Neumann proporcionaron fundamentos matemáticos a lo que más tarde sería la Programación Lineal. No fue hasta 1939, cuando el matemático ruso Leonid Vitálievich Kantoróvich y el holandés Tjalling Charles Koopmans, desarrollaron la teoría matemática llamada "Programación Lineal", por la que les fue concedido el Premio Nobel de Economía.

Durante la Primera Guerra Mundial en Inglaterra, el matemático Frederick William Lanchester desarrolló un conjunto de ecuaciones diferenciales o leyes determinísticas "la Ley Cuadrática de Combate de Lanchester", fórmulas que ayudaban a predecir quien ganaba un combate aéreo antes de que éste se sucediese mediante los choques entre fuerzas. En el otro lado del mundo, en Estados Unidos, Thomas Alva Edison desarrolló un sistema de detectores de submarinos enemigos desde grandes distancias para frenar las pérdidas causadas por los ataques de estos sumergibles.

La Investigación de Operaciones o Investigación Operativa tal y como existe hoy en día, es una disciplina donde las primeras actividades para la toma de decisiones se atribuyen a los servicios militares de Estados Unidos y Gran Bretaña en la Segunda Guerra Mundial, que tomaron como objetivo maximizar los esfuerzos de la guerra mediante el empleo y la asignación de los mínimos recursos para conseguir la mayor eficiencia posible economizando los costes. Para lograr su estrategia, encargaron a un grupo de científicos el diseño de herramientas cuantitativas para enfocar y apoyar la toma de decisiones acerca de la mejor utilización de materiales bélicos; problemas complejos de coordinación y logística, de producción y distribución de armas, de intendencia, de estrategias de avance y despliegue de tropas.

George Joseph Stigler planteó un problema particular, conocido como régimen alimenticio óptimo o problema de la dieta. Centró su estudio en diagnosticar la cantidad de recursos alimentarios que debería ingerir diariamente un hombre mediano en estado de guerra, de modo que las necesidades mínimas de nutrientes fuesen iguales a las recomendadas por el Consejo Nacional de Investigación norteamericano y así asegurar al ejército americano la disponibilidad durante la duración del conflicto de los alimentos básicos y necesarios. El problema fue resuelto mediante un método heurístico y plantea una formulación de programación lineal.

Al mismo tiempo, en la batalla de Inglaterra, la Luftwaffe, Fuerza Aérea Alemana, aprovechó la reducida capacidad aérea británica para bombardearla a toda costa, conseguir así destruir a la Real fuerza Aérea Británica (RAF) y lograr así la invasión del territorio. El grupo de científicos británicos del RAF consiguieron resolver el problema gracias a los radares de reciente invención determinando la localización óptima de las antenas y la mejor distribución de las señales para interceptar y atacar con la mayor exactitud posible los ataques aéreos enemigos.

Por otro lado, la Investigación Operativa fue utilizada militarmente por el Grupo de Investigación de Operaciones de Guerra Antisubmarina de Estados

Unidos (ASWORG) en respuesta al ataque de la flota de submarinos alemanes dirigida por U-Boot que asediaron los barcos mercantes cargados de mercancías y suministros procedentes de EEUU hundiéndolos e impidiendo que entraran en Gran Bretaña. Estudiaron cómo mejorar la velocidad de los barcos mercantes, cómo distribuir la cantidad de suministros, cómo modelar el tamaño de la flota...para desarrollar una estrategia en la cual poder introducir en cada navío un grupo de soldados que escoltasen la carga con todo tipo de armamento para destruir la flota alemana. Gracias a la aniquilación de la flota y a los buenos resultados obtenidos, George Bernard Dantzig se centró en la organización de los recursos de Estados Unidos (energía, armamento y todo tipo de suministros) mediante modelos de optimización, resueltos mediante Programación Lineal y así creó, en 1947 el algoritmo del método Simplex.

Después de la guerra, muchos científicos que habían participado en los equipos de investigación de operaciones o que tenían información sobre este trabajo, se encontraban motivados a buscar resultados primordiales en este campo. De esto resultaron avances importantes pues las ideas utilizadas con fines bélicos fueron adaptadas para mejorar la eficiencia y la productividad empresarial. Así, la Investigación Operativa sigue siendo aplicada en la industria, en los negocios, en la sociedad... De esta forma evoluciona hacia una profesión y comenzaron a crearse las primeras sociedades profesionales especializadas, departamentos académicos particulares y programas académicos de estudio en las universidades, con avances teóricos muy significativos y aplicaciones prácticas que se iban expandiendo con el avance de las tecnologías de la información, los ordenadores....

Actualmente y debido a la alta competitividad y complejidad de las organizaciones rivales, existen sociedades científicas nacionales e internacionales, públicas y privadas, con sus respectivos departamentos especializados y enfocados en la investigación de operaciones. Sus aplicaciones han traspasado el ejército, la industria y el comercio para abarcar otros ámbitos con problemas que van desde la alimentación, ganadería,

distribución de campos de cultivo en agricultura, transporte de mercancías, localización, distribución de personal...

2.2. Definición

Dado que no existe una definición de Investigación Operativa, generalmente aceptada, recogeré varias propuestas.

Por un lado, podríamos definirla como el conjunto de métodos y herramientas científicas (basados en medidas y análisis, y no en gustos o preferencias) que sirven para optimizar las decisiones en un enfoque global y obtener la mejor solución mediante la asignación de los recursos o actividades de forma eficaz en la gestión y organización de sistemas complejos, en la dirección de sistemas de gran tamaño compuestos por hombres, máquinas, materiales, dinero etc. en la industria, los negocios, el gobierno, la defensa...

Por otro, la Investigación Operativa es considerada como una tecnología que diseña sistemas abstractos, siendo su objetivo ayudar a la toma de decisiones, y su enfoque es interdisciplinar pues cada actividad puede ser considerada de manera independiente, pero pertenece a un conjunto global. Su característica distintiva es la de construir modelos cuantitativos de los sistemas que incorporen factores tales como oportunidades y riesgos, con los que comparar los resultados de decisiones alternativas, estratégicas o métodos de control.

En la ilustración 1 podemos apreciar las distintas fases por las que pasa y de las que deriva un modelo de Investigación de Operaciones. Continuamente se dan situaciones en una empresa donde surgen nuevos problemas o nos encontramos con distintos contratiempos que debemos resolver lo más rápido posible. En un primer momento, nos valdremos de los conocimientos previos obtenidos en situaciones complicadas pasadas o de la intuición que nos lleva a lo que podría ser el mejor camino para la toma de decisiones.

Para alcanzar el modelo de optimización adecuado debemos abstraernos del mundo real para sumergirnos en un mundo simbólico donde la persona encargada del proyecto se valdrá de diversas técnicas y métodos para así poder analizar los resultados obtenidos. Una vez interpretados estos resultados, tomará las decisiones que estime conveniente aplicar en el mundo real.

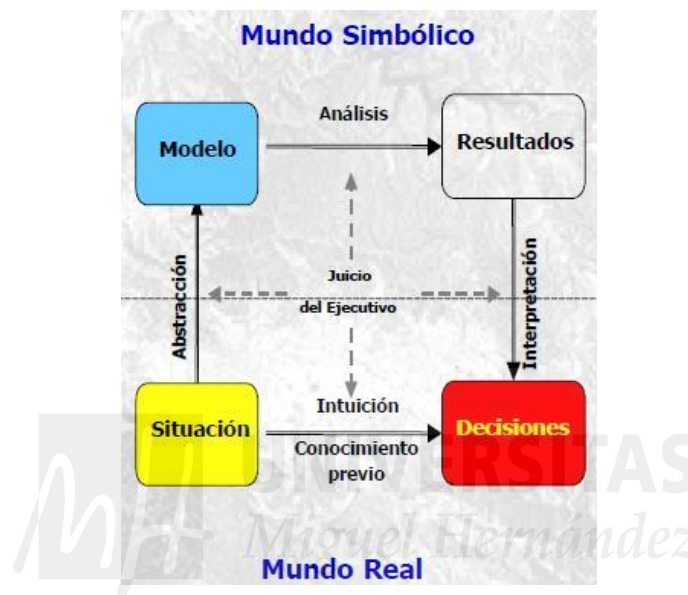


Ilustración 1: Fases de la Investigación operativa. (www.investigaciondeoperaciones.net)

Como su nombre indica, significa “hacer investigación sobre las operaciones”, su aplicación fundamental va encaminada a las múltiples actividades que ejerce una empresa o ente económico, ya que la toma de decisiones es básica para todas estas. Para todo esto se deben llevar a cabo ciertos requisitos encaminados al método científico de investigación, es decir, comenzando por la observación del problema, recolección de datos, formulación del método a aplicar, la hipótesis para determinar si es correcta la aplicación de la IO o modificar las veces que sean necesarias para llegar a la mejor conclusión óptima razonable y real. La mezcla de habilidades en el ámbito de las matemáticas, estadística y teoría de probabilidades, al igual que en economía, administración de empresas, ciencias de la computación, ingeniería, ciencias físicas, ciencias de comportamiento... ayuda a desarrollar

la mejor toma de decisiones, ejerciéndolas en los métodos de investigación de operaciones.

En la siguiente ilustración aparecen recopiladas las distintas etapas de un estudio de Investigación Operativa. Gracias a la retroalimentación, se puede seguir el control de las fases y mejorar el enfoque de las futuras acciones de actuación dentro de cada una de ellas, para así conseguir optimizar los resultados obtenidos previamente.

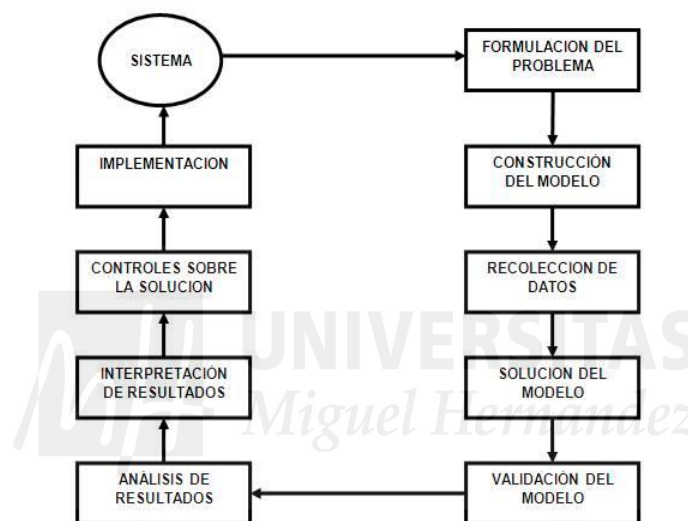


Ilustración 2: Etapas de la investigación operativa. (www.monografias.com)

La IO ha mejorado muy significativamente la eficiencia de muchas organizaciones en todo el mundo, mediante aplicaciones que ayudan a la toma de decisiones complejas, que requieren grandes inversiones y/o cambios en profundidad en el diseño de la organización.

A continuación, aparecen recopiladas distintas definiciones de varios investigadores para aclararnos la importancia que tiene la Investigación Operativa en la toma de decisiones:

"La IO puede describirse como un enfoque científico de la toma de decisiones que requiere la operación de sistemas organizativos".

Hiller y Lieberman

"La IO comprende los métodos y modelos de matemáticas aplicadas para resolver problemas de operaciones complejas".

Comisión Presidencial sobre Seguridad de la Aviación de los EEUU

"La IO es la aplicación de métodos científicos, técnicas y herramientas a problemas que involucran las operaciones de sistemas además de proveer a éstos, de soluciones óptimas en los problemas sobre control de sus operaciones".

Churchman, Ackoff y Arnoff

"La IO comprende la aplicación del método científico al estudio de organizaciones o actividades grandes y complejas"

Concejo Nacional de Investigación de Gran Bretaña

"Se define la IO como la aplicación del método científico al análisis y solución de problemas de decisión gerencial"

Turban y Meredith

"Se utiliza aquí el termino IO como el análisis del uso de los modelos matemáticos como un auxiliar en el proceso de la toma de decisiones"

Buffa y Dyer

"El objetivo es ayudar a la dirección de estos sistemas a tomar decisiones y ejecutar acciones de forma científica".

Journal of the Operations research society

3. INTRODUCCIÓN A LA GESTIÓN DE PROYECTOS

3.1. Definición del proyecto y sus características

Un proyecto es la realización de una actividad compleja, la cual puede descomponerse en una serie de tareas interdependientes entre sí pero coordinadas para ser ejecutadas a lo largo del tiempo. Nos referimos tanto a proyectos de ingeniería (construcción de carreteras, edificios...), como a proyectos de salud y bienestar, proyectos en el campo de administración y de carácter público, desarrollo y lanzamiento de nuevos productos....

La realización de un proyecto requiere unos conocimientos claros y precisos de lo que se va a ejecutar. La planificación es una etapa esencial para la gestión de un proyecto, en la cual se deben establecer los objetivos y la finalidad perseguida, los métodos o técnicas disponibles, los elementos viables, estimación de los recursos necesarios, los costes financieros, etc.

Un proyecto es único y tiene un objetivo u objetivos específicos, tiene un comienzo y un fin claramente identificables, es responsabilidad de una persona, el Jefe de Proyecto, que tiene a su cargo multitud de trabajadores, y no solo implica costes, tiempo, recursos...sino que también debe considerarse la calidad.

3.2. Técnicas de gestión de proyectos

Existe una gran diversidad de proyectos, cada uno de los cuales se caracteriza por ser único, variando en forma, tamaño, duración, actividades... y para los que es necesaria una adecuada gestión.

La gestión de proyectos es una herramienta básica imprescindible para la toma de decisiones de una empresa dentro del marco de las decisiones estratégicas que debe tomar la misma en su organización con el objetivo de conseguir un fin principal definido.

No existe una metodología perfecta ni particular para cada proyecto, si bien es necesario que la persona encargada de llevar a cabo la gestión del proyecto utilice métodos y técnicas para que los proyectos se realicen y finalicen con éxito y alcanzar los objetivos.

El uso de herramientas matemáticas y métodos gráficos para la gestión de proyectos comienza a finales de los años cincuenta con el desarrollo de los métodos CPM (Critical Path Method) y PERT (Program Evaluation and Review Technique). Ambos surgen de forma casi paralela de investigaciones independientes, su base es prácticamente la misma y hoy en día se designa indistintamente como CPM o PERT, fusionando ambos.

En la década de 1910 se desarrolló el diagrama de Gantt que ha constituido desde entonces una de las principales herramientas de gestión de proyectos. Le sigue el conocido método Roy (1960) y la aparición de numerosas variantes de los métodos anteriores.

El éxito de estos sistemas propició la búsqueda de soluciones más completas que el análisis económico con objeto de determinar la duración óptima del proyecto que proporciona el coste mínimo, como bien explicaremos con más detenimiento en el capítulo cuatro y posteriores.

3.3. Fases en la gestión de proyectos

En este apartado, resumimos las cuatro grandes fases a tener en cuenta a la hora de desarrollar la gestión de un proyecto: planificación, programación, seguimiento y control de la ejecución y análisis y evaluación de los resultados. Se trata de conseguir el objetivo principal mediante la administración, planificación, coordinación, programación, seguimiento y control de todas las actividades y los recursos asignados para la ejecución del proyecto, de una forma que se pueda cumplir con el tiempo establecido y con los costes presupuestados para finalizar con el análisis y evaluación de la ejecución.

Los proyectos se dividen en fases con el fin de facilitar la gestión y mejorar el control, en definitiva, con el fin de ser lo más eficiente posible en cada etapa.

La planificación consiste en la ordenación sistemática de las actividades que se han de desarrollar, estimando su duración, los recursos necesarios y la mano de obra o materiales disponibles para su realización, así como el reparto de responsabilidades, la ponderación de riesgos, la relevancia de las tareas y un largo etc.

En segundo lugar, se realiza la programación, cuyo principal objetivo es la obtención del calendario de ejecución del proyecto.

Una vez disponemos del calendario de ejecución, se lleva a cabo el seguimiento y el control del proyecto: vigilar el estado de las actividades, prestar atención si alguna se desvía o se retrasa, realizar las correcciones oportunas, etc. El nivel de incertidumbre hace que esta fase cobre especial protagonismo en cada etapa de desarrollo y ejecución.

Por último, el análisis y la evaluación se producen una vez finalizado el proyecto. Aprender de los errores cometidos ayudará a gestionar mejor los proyectos futuros. Esta última fase es crucial debido a que los principales inconvenientes en la gestión de proyectos no son inherentes a las técnicas en sí, sino que provienen de la capacidad y experiencia de los responsables. Por ejemplo, estimaciones de tiempos realistas, buena distribución de recursos e información adecuada a todos los participantes en el proyecto.

3.3.1. Planificación de proyectos

Para la correcta planificación del proyecto podemos enumerar las tareas que engloba esta primera fase en:

- Definir los objetivos y ámbito del proyecto.
- Realizar el diagrama de descomposición del trabajo.
- Identificar las actividades o tareas que integran el proyecto.
- Obtener una estimación de la duración de cada actividad.
- Identificar si algunas actividades deben terminar antes que otras.
- Dibujar un diagrama de red del proyecto.

3.3.1.1. Definir los objetivos y ámbito del proyecto

Para empezar con éxito un proyecto debemos conocer el quién, dónde, cómo y qué del proyecto. Debemos identificar el ámbito y la dirección de los objetivos, que deben ser claros, explícitos y viables. Para ello, debemos definir los costes y/o el presupuesto, los recursos necesarios, las estrategias y los métodos, las hipótesis y los riesgos que repercutirán en lograr nuestras metas.

3.3.1.2. Realizar el diagrama de descomposición del trabajo

La correcta definición del ámbito del proyecto y el diagrama de descomposición de la organización del trabajo puede ser una herramienta muy útil que une el proyecto a nivel global con los métodos utilizados para la programación y ejecución del mismo.

Este método requiere la división del trabajo en una completa lista de las actividades o tareas del proyecto y la responsabilidad dentro de cada departamento. Estas actividades son las que aparecerán en el diagrama de precedencias del proyecto.

En general, existen muchas formas de diseñar el diagrama de descomposición del trabajo como la subdivisión del proyecto en fases, por departamentos, o bien por productos o cualquier otro concepto que la empresa utilice para agrupar costes o actividades.

3.3.1.3. Identificar las actividades o tareas que integran el proyecto

Una de las primeras y más importantes misiones del jefe de proyecto es la identificación y descripción de las distintas actividades que componen el proyecto y que son necesarias desarrollar para llegar al objetivo perseguido.

Antes de pasar a la ejecución, debemos elegir el camino más conveniente, la forma de abordar las actividades (en función de su duración, sus costes, su tamaño...) y el ritmo que deseamos llevar. Esta compleja labor implica elegir entre múltiples opciones y hacerlo "a priori" pues el análisis se fundamenta sobre la observación de la situación real siendo imprescindible que lo realice una persona cualificada para ello y que realice un acopio de datos provisionales resultantes de encuestas, estudios técnicos....

La enumeración de actividades no es suficiente y ha de ir acompañada de una descripción concreta con su contenido, el resultado esperable, su responsable y las condiciones de ejecución, así como del momento de inicio de ejecución de esta y de cuando se espera finalizar.

3.3.1.4. Obtener una estimación de la duración de cada actividad

El tiempo total de duración de un proyecto depende del tiempo que tarda cada tarea en realizarse y de las relaciones de dependencia que exista entre ellas, por tanto, el tiempo total de un proyecto está compuesto por los tiempos individuales de las tareas que lo componen teniendo en cuenta dichas precedencias.

La duración estimada de una actividad es el proceso que consiste en establecer aproximadamente la cantidad de períodos de trabajo necesarios para finalizarla. No es una tarea sencilla puesto que, de primeras, solo tenemos los resultados del tiempo que las actividades han durado en otras ocasiones cuando se hayan realizado las tareas en proyectos similares y debemos tener en cuenta que tendrá cierta dosis de subjetividad. En la planificación del

proyecto se intenta determinar cuánto dinero, esfuerzo, recursos y tiempo tomará construir un sistema o producto.

Cuando hablamos de incertidumbre sobre la duración total de un proyecto, nos referimos a la probabilidad de terminar el proyecto en una u otra fecha, en función de las actividades que lo componen. Encontramos proyectos que, salvo algún contratiempo significativo, conocen con exactitud el tiempo de duración de cada tarea. Sin embargo, otros proyectos implican tareas desconocidas por lo que tenemos que ser precavidos con el tiempo incierto.

3.3.1.5. Identificar si algunas actividades deben terminar antes que otras

Una vez definidas las actividades, el tiempo que dure el proyecto dependerá del tiempo de realización de las tareas que lo componen pero no necesariamente tiene que ser igual a la suma de tiempo que tarda en realizarse cada actividad, ya que debemos tener en cuenta cómo se relacionan las tareas entre sí: algunas se pueden ir realizando al mismo tiempo, en cambio hay otras que no pueden empezar hasta que finalice la actividad que les precede y hay otras que no tienen ninguna tarea que les preceda, es decir, no tienen que esperar a que finalice otra actividad para poder empezar.

Es lógico que las distintas actividades de un proyecto no se realicen todas ni de forma sucesiva ni de forma simultánea. Se trata de enlazarlas en el orden más conveniente posible para lograr la combinación óptima de costes y plazos, obteniendo una lista de precedencias entre actividades. Las relaciones de precedencia pueden ser impuestas por el contexto (climatología), los recursos (vacaciones del personal), ser de tipo técnico (materia prima antes que producto final), etc. En la labor de secuenciación de actividades y establecimiento de sus relaciones suele contarse con el apoyo de técnicas de planificación específicas.

3.3.1.6. Dibujar un diagrama de red del proyecto

Un diagrama de red consiste en una serie de gráficos interconectados a través de los cuales quedan representadas las distintas tareas de un proyecto, así como las dependencias que hay entre ellas y la ruta que ha de seguir un proyecto en su ejecución.

Existen diversas técnicas de representación de redes; ninguna elección es preferible a otra sino que dependerá de la elección de quien la vaya a emplear. En nuestro trabajo, seguiremos el patrón del diagrama de red que aparece en la ilustración 3.

ACTIVIDAD	PREDECESORAS
A	-
B	-
C	A,B

Tabla 1: Datos ejemplo.
(Elaboración propia)

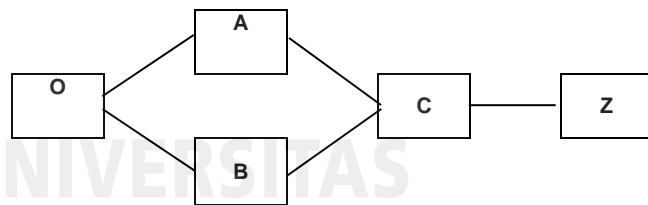


Ilustración 3: Diagrama de red.
(Elaboración propia)

La red tiene un inicio representado por una actividad ficticia inicial, a la que hemos denotado “O”, que da comienzo al proyecto y es una actividad sin duración. Las líneas que salen de esta primera actividad conducen a las actividades que no tienen actividades predecesoras.

La red tiene que tener un final por lo que se debe terminar con otra actividad ficticia final, a la que hemos denotado “Z”, que representa el final del proyecto. Al ser ficticia, tampoco posee duración. Las líneas que llegan a esta actividad provienen de las últimas actividades a realizar, las cuales no son actividades predecesoras de ninguna otra porque en ellas finaliza el proyecto.

El resto de los detalles de cómo representar el diagrama de red será explicado en el ejemplo ilustrativo que aparece recogido en el capítulo seis.

3.3.2. Programación de proyectos

Como hemos comentado anteriormente, la siguiente fase tras la planificación es la programación del proyecto. El principal objetivo de esta fase es la obtención del calendario de ejecución del proyecto para lo cual se aplica el método del camino crítico (técnica pionera en este ámbito) junto con el diagrama de Gantt. Ambos se encuentran desarrollados a continuación en los capítulos cuatro y cinco.



4. DIAGRAMA DE GANTT

“El diagrama de Gantt es una herramienta gráfica cuyo objetivo es exponer el tiempo de dedicación previsto para diferentes tareas o actividades a lo largo de un tiempo total determinado. A pesar de esto, el diagrama de Gantt no indica las relaciones existentes entre actividades”. (Wikipedia)

Se trata de una herramienta desarrollada por Henry Laurence Gantt a comienzos del siglo XX en la que ideó un método para representar diferentes funciones o tareas en unidades de tiempo con barras horizontales indicando la duración necesaria para desempeñar cada tarea.

En el eje vertical del diagrama se encuentran enumeradas las distintas actividades y el eje horizontal contiene la escala de tiempos cuya longitud equivale a la duración del proyecto. A cada actividad se le asigna una barra horizontal con una extensión igual a la duración necesaria para completarla. Estas barras son dibujadas según el orden de precedencia entre las distintas tareas, por lo que esta representación se puede utilizar para comprobar cuándo puede comenzar y terminar una actividad.

El diagrama de Gantt es una técnica gráfica utilizada con el fin de mejorar la visibilidad de los programas de producción, ya que permite visualizar las tareas de una manera clara, permitiendo realizar un seguimiento de éstas de una manera más visual e intuitiva, señalando y remarcando cada unidad mínima de trabajo con los tiempos necesarios para culminarlo.

Por tanto, el diagrama de Gantt facilita el control de la progresión en la realización de las tareas y también de los recursos destinados al proyecto. Por esas y otras ventajas, los administradores y directores de proyecto lo utilizan frecuentemente en todo tipo de empresas, independientemente de su tamaño o sector de pertenencia.

Enumeramos a continuación algunas de las ventajas e inconvenientes de esta herramienta gráfica:

Ventajas:

- Fácil de construir y entender.
- Útil como herramienta de planificación y para otros departamentos.
- Ayuda a establecer plazos realistas.

Inconvenientes:

- No distingue la importancia y la dependencia entre las actividades.
- Se precisa de actualización constante.
- La longitud de las barras no indica la cantidad de trabajo, sino sólo la temporalización.

Un ejemplo de esta representación lo podemos ver en la ilustración 4, en la cual nos encontramos en la semana 11 del proyecto. La parte de las barras horizontales en gris oscuro representa la parte del proceso ya terminado. Podemos comprobar cómo la actividad B está adelantada dos semanas y, por el contrario, las actividades C y D van retrasadas con respecto a la programación del proyecto (Velasco y Campins, 2013).

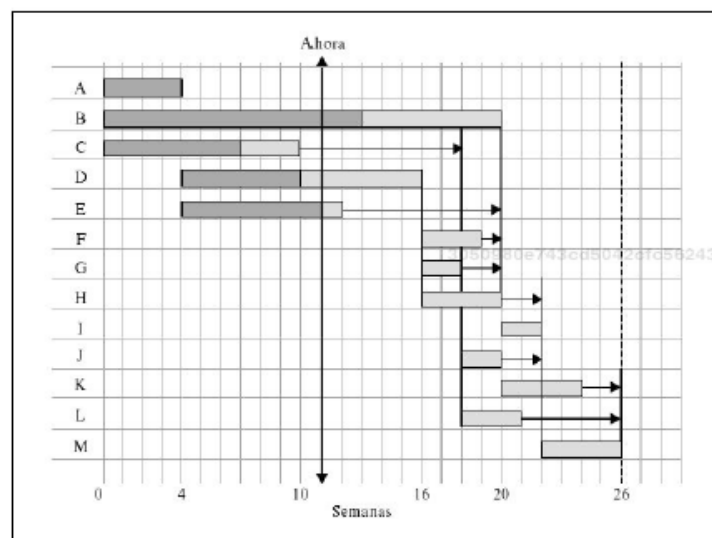


Ilustración 4: Diagrama de Gantt. (Velasco y Campins, 2013)

5. MÉTODO DEL CAMINO CRÍTICO

*“El método de la ruta crítica o del camino crítico (MCC) o **CPM (Critical Path Method)** es un algoritmo utilizado para el cálculo de tiempos y plazos en la planificación de proyectos”. (Wikipedia)*

El método del camino crítico nace a mediados del siglo XX en un centro de investigación estadounidense, que trabajaba para minimizar costes a través de la optimización de procesos y la planificación eficaz de proyectos, buscando el control y la optimización de costes mediante la planificación y programación adecuadas de las actividades componentes del proyecto.

Los proyectos están compuestos, en su mayoría, por cientos de tareas y de dependencias dentro de cada una de las actividades. Puede parecer casi imposible identificar las tareas más importantes, de las que realmente necesitamos preocuparnos para asegurarnos de cumplir con los plazos.

Y de esto trata el CPM, una técnica de gestión de proyectos que permite identificar las tareas más importantes, mantener el control a lo largo de la duración del proyecto y así conseguir la ruta crítica o el flujo de trabajo que marca la duración del proyecto, imprescindible para que todo el proceso aproveche cada recurso en la ejecución de las actividades según sus prioridades para finalizar el proyecto. Es una herramienta muy útil que ayuda a analizar las actividades que deben tener lugar en un proyecto, muestra la secuencia en que estas actividades deben llevarse a cabo, el orden, los plazos...

Se denomina ruta o camino crítico a la secuencia ininterrumpida de actividades a lo largo de un itinerario de la red que, comenzando en la actividad ficticia inicial y terminando en la actividad ficticia final, exige el período de tiempo más largo para garantizar la finalización del proyecto en una fecha determinada. Este trayecto está formado por actividades críticas, es decir, aquellas en las que cualquier retraso repercute en la duración del proyecto y

deben gestionarse minuciosamente, pues si alguna de ellas falla, debemos tomar medidas inmediatas para que el proyecto siga según lo estipulado y pueda completarse a tiempo.

Desde la representación mediante diagramas dibujados a mano, pasando por las redes a ordenador y evolucionando a un software automatizado, el método de la ruta crítica se ha convertido en una parte esencial en la gestión de un proyecto.

La recopilación de datos para la utilización de este método incluye: la estimación de la duración de las actividades, sus relaciones de precedencia, los recursos asignados, el calendario de recursos, limitaciones como las fechas fijas para resultados o fases del proyecto....

Enumeramos a continuación algunas de las ventajas e inconvenientes del CPM:

Ventajas

- Optimización del presupuesto.
- Mejora en la toma de decisiones.
- Respuesta más exacta.
- Consumo de recursos más optimizado.

Inconvenientes

- Puede ser que en determinados días el proyecto necesite para su ejecución más recursos de los que hay disponibles.
- Puede ocurrir que no se puedan cumplir los plazos y debamos acotar la duración del proyecto.
- Revisión y evaluación constante.

6. EJEMPLO ILUSTRATIVO

En este capítulo ilustramos la aplicación del método del camino crítico y el diagrama de Gantt a través de un ejemplo.

Paso 1.- Obtener información básica para el CPM: actividades; relaciones de precedencia y duración de cada actividad.

ACTIVIDAD	PREDECESORAS	DURACIÓN(días)
A	-	2
B	-	1
C	-	1
D	A	2
E	B	4
F	C	9
G	D, E	3

Tabla 2: Datos del ejemplo. (Elaboración propia)

Paso 2.- Calcular para cada actividad sus tiempos más tempranos y más tardíos y su holgura. Estos conceptos se detallan a continuación y se muestran en la ilustración 5.

IP= tiempo de inicio más temprano: fecha más temprana en que se puede iniciar una actividad. Para las primeras actividades del proyecto esta fecha es la fecha de comienzo del proyecto. Partimos de la base de que conocemos el tiempo necesario para realizar cada tarea y las relaciones de precedencia entre ellas.

TP= tiempo de terminación más temprano: fecha más temprana en que puede terminar una actividad. En la actividad ficticia final, será el tiempo mínimo requerido para realizar todas las tareas del proyecto estudiado.

IL= tiempo de inicio más tardío: fecha más tardía en que puede comenzar una actividad para cumplir con el tiempo previsto de finalización del proyecto.

TL= tiempo de finalización más tardío: fecha más tardía en que puede finalizar una actividad. Visto en forma simétrica a los anteriores, si comenzamos a programar las tareas desde el final, las últimas actividades se completarán con la fecha de finalización del proyecto.

H= Holgura de la actividad: representa el tiempo que se puede retrasar esa actividad sin aumentar la duración del proyecto. Cuando una actividad tiene holgura cero se trata de una actividad crítica por lo que cualquier retraso en ella implicará retrasos en la duración del proyecto. $H = IL - IP$.

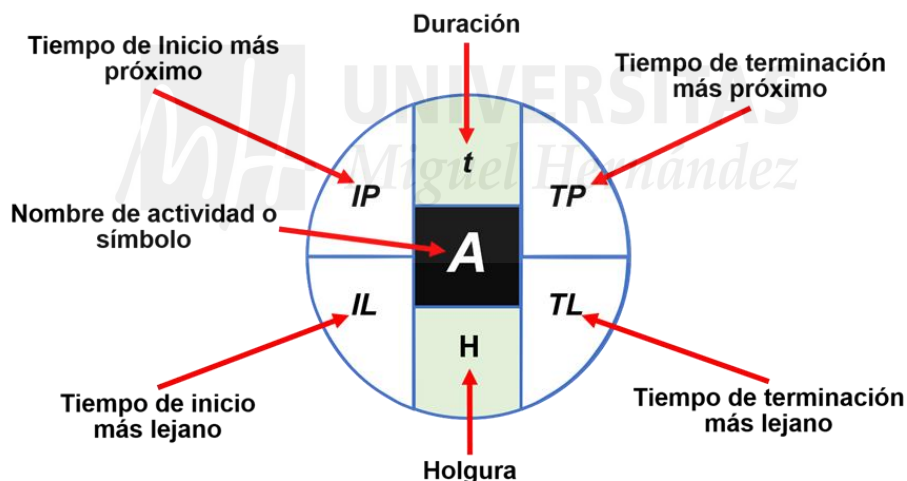


Ilustración 5: Tiempos, holgura y duración de las actividades. (<https://www.plandemejora.com>)

Realizamos el cálculo de los tiempos más tempranos y más tardíos para las actividades del ejemplo:

- Tiempos tempranos
 - IP = tiempo de inicio más temprano
 - En las actividades sin predecesoras será el momento 0.

- En el caso de que una actividad tenga una sola actividad predecesora, se comprueba que su IP es igual al TP de su actividad predecesora. Ejemplo:

$$IP F = TP C = 1$$

- En el caso de que una actividad tenga varias actividades predecesoras, se comprueba que su IP es igual al máximo de los TP de sus actividades predecesoras. Ejemplo:

$$IP G = \text{máx.} (TP D, TP E) = \text{máx.} (4,5) = 5$$

- TP = tiempo de terminación más temprano
- Es el tiempo de inicio más temprano más la duración de la actividad. $TP = IP + t$. Ejemplo:

$$TP D = 2 + 2 = 4$$

○ Tiempos tardíos

- IL= tiempo de inicio más tardío
- Es el tiempo de finalización más tardío menos la duración de la actividad. $IL = TL - t$. Ejemplo:

$$IL E = 7 - 4 = 3$$

- TL= tiempo de finalización más tardío
- En el caso de que una actividad tenga una sola actividad posterior, se comprueba que su TL es igual al IL de esa actividad posterior. Ejemplo:

$$TL E = IL G = 7$$

- En el caso de que una actividad tenga varias actividades posteriores, su TL es igual al mínimo de los IL de sus actividades posteriores. En nuestro ejemplo no aparece este caso.

El cálculo de los tiempos de la actividad ficticia final Z, cuya duración es 0, nos informará de la duración del proyecto (10 días en el ejemplo):

$$IP Z = \text{máx. (TP G, TP F)} = \text{máx. (8,10)} = 10$$

$$TP Z = IP Z + t = 10 + 0 = 10$$

$$TL Z = 10 \text{ (no hay actividades posteriores)}$$

$$IL Z = TL - t = 10 - 0 = 10$$

La tabla 3 muestra la duración, tiempos más tempranos y más tardíos y la holgura ($H = IL - IP$) de cada actividad del ejemplo:

ACTIVIDAD	DURACIÓN	IP	TP	IL	TL	H
A	2	0	2	3	5	3
B	1	0	1	2	3	2
C	1	0	1	0	1	0
D	2	2	4	5	7	3
E	4	1	5	3	7	2
F	9	1	10	1	10	0
G	3	5	8	7	10	2

Tabla 3: Duración, tiempos mínimos y máximos y holgura para las actividades del ejemplo (Elaboración propia)

Paso 3.- Representar el diagrama de precedencias con los tiempos mínimos y máximos de cada actividad:

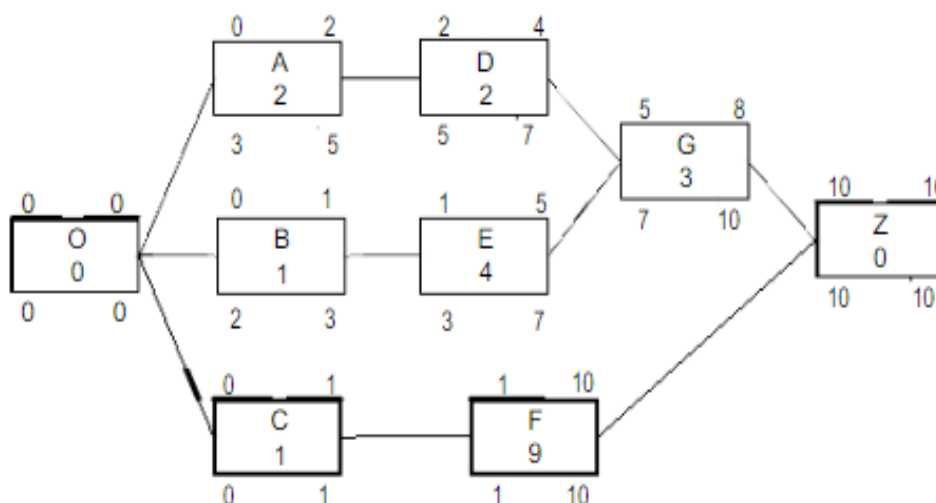


Ilustración 6: Red correspondiente al ejemplo descrito en la tabla 2. (Elaboración propia)

El diagrama de precedencias siempre cumple lo siguiente:

- Como inicio y final del proyecto, usamos actividades ficticias con duración, coste y consumo de recursos nulo. En nuestro caso las hemos denotado por “O” (actividad inicial) y “Z” (actividad final).
- Cada actividad, excepto las actividades ficticias de inicio y fin, tiene al menos una actividad que la preceda y otra en la que finalice.
- Ninguna actividad puede comenzar hasta que terminado sus actividades precedentes.
- Ninguna actividad puede ser a la vez actividad inicial y final de un camino formado por actividades de la red (no puede haber bucles). En una red o grafo se denomina camino a una sucesión de actividades que permite ir de un evento o suceso a otro. La suma de las duraciones de las actividades que integran un camino recibe el nombre de longitud del camino.

Paso 4.- Emitir informes:

- La **duración** del proyecto es de diez días.
- Se consideran **actividades críticas** aquellas actividades en las que cualquier retraso repercute en la duración del proyecto (actividades con holgura cero) provocando consecuencias negativas en la empresa, tanto por el exceso de gasto producido, como por el exceso de tiempo requerido o por no cumplir con el cliente en la entrega en el momento acordado. En cambio, una actividad no crítica permite cierta holgura en la programación. Las actividades no críticas se pueden adelantar o demorar dentro de ciertos límites sin afectar a la fecha programada de terminación de todo el proyecto (si se sobrepasa la holgura también provocaría el retraso del proyecto). Las actividades críticas en nuestro ejemplo son: **C y F**.
- Una **ruta crítica** en un proyecto está conformada por actividades cuya holgura es cero y une las actividades inicio y fin del proyecto. Un proyecto

puede tener uno o varios caminos críticos todos ellos de igual duración. En nuestro ejemplo hay una única ruta crítica: **O-C-F-Z**.

Paso 5.- Construir el calendario de ejecución mediante la realización del Diagrama de Gantt utilizando un cronograma de bloques temporales. Las ilustraciones 7 y 8 muestran, para el proyecto del ejemplo, los diagramas de Gantt para los tiempos más tempranos y los tiempos más tardíos, respectivamente. En color rojo hemos representado las actividades críticas y en azul aquellas que no lo son.

ACTIVIDADES

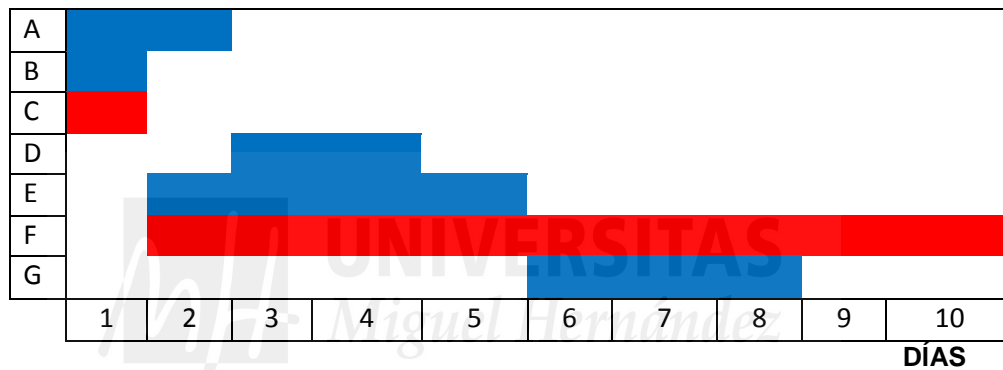


Ilustración 7: Diagrama de Gantt para tiempos tempranos. (Elaboración propia)

ACTIVIDADES

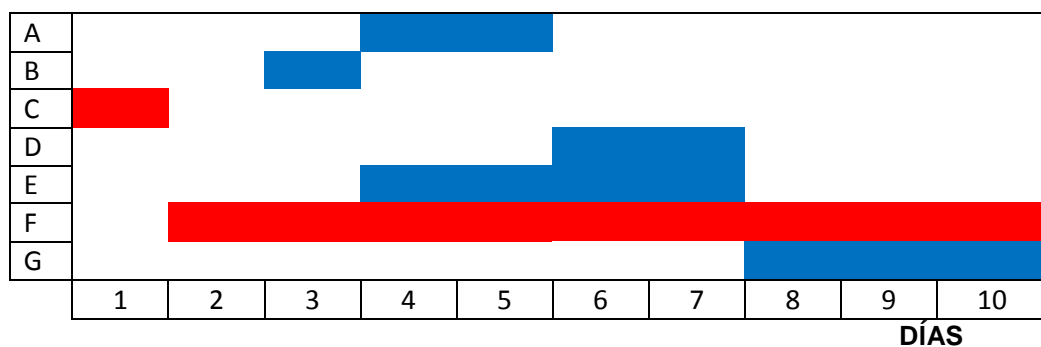


Ilustración 8: Diagrama de Gantt para tiempos tardíos. (Elaboración propia)

Las diferencias entre ambos diagramas radican en las fechas de trabajo de las actividades que no son críticas: A, B, D, E y G.

7. PROBLEMAS EN LA PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS

En la gestión de un proyecto nos encontraremos con dos tipos importantes de restricciones que debemos considerar, ya que obviarlas puede hacer que el proyecto se retrase o que incremente su coste final. Por un lado, tendremos las restricciones en relación con el tiempo, es decir, las relaciones de precedencia entre las actividades obligan a que éstas terminen o empiecen en unos instantes determinados de manera que se respeten las precedencias entre ellas. Por otra parte, tendremos las restricciones de recursos, puesto que una limitación de recursos impactará en el proyecto.

Dentro de los principales deberes de un jefe de proyecto encontramos una responsabilidad fundamental en la planificación y gestión de un proyecto, pues es el encargado de ajustar y economizar los recursos de los que se dispone y que el proyecto necesita para su desarrollo. El problema que encontramos es que la disposición de estos bienes y medios suelen ser limitados, cuando no claramente escasos.

Desde un punto de vista práctico, podemos clasificar los recursos en dos tipos diferentes: **renovables y no renovables**.

Los recursos renovables, como por ejemplo la mano de obra de los trabajadores, los camiones o máquinas empleadas, una vez utilizados vuelven a estar disponibles al 100%.

Los recursos no renovables, como el hormigón de una obra, los materiales, componentes... son suministrados y consumidos. Por ejemplo, si hoy utilizamos 100 toneladas de hormigón en una obra, mañana ya no disponemos de esa cantidad para las actividades que se han de llevar a cabo.

Al considerar los recursos necesarios por parte de las actividades, la programación de un proyecto obtenida tras aplicar el método del camino crítico puede no ser viable. Puede suceder que en determinados períodos el

proyecto necesite para su ejecución más recursos de los que hay disponibles. Otros problemas con los que nos podemos encontrar son que los recursos se distribuyan de forma muy desigual a lo largo del período de ejecución del proyecto o bien que queramos disminuir la duración del tiempo total del proyecto.

Estos problemas, que son muy fáciles de enunciar, resultan costosos de resolver de forma óptima y en algunos casos imposible. Entre las técnicas que se pueden utilizar, destacamos dos: técnicas exactas y técnicas heurísticas. Las primeras son las únicas que aseguran la solución óptima al problema. El principal inconveniente de las técnicas exactas radica en la dificultad de plantear el problema, puesto que para cada proyecto es necesario realizar un modelo propio con una gran cantidad de variables y restricciones. Además, debido al gran esfuerzo computacional que requieren, no son aplicables a muchos proyectos reales. Las técnicas heurísticas, en cambio, no aseguran la solución óptima pero requieren un esfuerzo computacional mucho menor y en muchas ocasiones encuentran soluciones buenas en poco tiempo (aunque no se pueda asegurar que es la solución óptima).

Entre las técnicas exactas se encuentran los modelos de programación matemática que resuelven problemas de optimización de funciones con restricciones. Son una herramienta de gran importancia en la gestión de proyectos, especialmente en temas de planificación, aunque tienen aplicaciones en otros aspectos de la gestión.

Para ejemplificar algunos de los problemas que pueden surgir en la programación de un proyecto y cómo podríamos darles solución, realizaremos la programación de un proyecto de ejemplo. La tabla 4 recoge las ocho actividades que forman el proyecto, su duración medida en días y las relaciones de precedencia.

Los datos del ejemplo han sido obtenidos del manual de Hillier y Lieberman, 1998; el resto son de elaboración propia.

ACTIVIDADES	PREDECESORAS	DURACIÓN (días)
A	-	6
B	-	4
C	A	4
D	A	6
E	B	6
F	B	7
G	C, E	9
H	D, F	9

Tabla 4: Datos del ejemplo. (Elaboración propia)

Puesto que ya tenemos claras las fórmulas matemáticas para el cálculo de los tiempos mínimos y máximos junto con la holgura de cada actividad, necesarios para obtener el diagrama de red, nos valdremos en esta ocasión y a lo largo del ejemplo, del software POM-QM (Production and Operations Management, Quantitative Methods) herramienta que contiene los principales métodos cuantitativos para Investigación Operativa. Los resultados obtenidos se muestran en la ilustración 9.

Network type		Method				
<input checked="" type="radio"/> Immediate predecessor list <input type="radio"/> Start/end node numbers		Single time estimate				
TIEMPOS Solution						
Activity	Activity time	Early Start	Early Finish	Late Start	Late Finish	Slack
Project	21					
A	6	0	6	0	6	0
B	4	0	4	1	5	1
C	4	6	10	8	12	2
D	6	6	12	6	12	0
E	6	4	10	6	12	2
F	7	4	11	5	12	1
G	9	10	19	12	21	2
H	9	12	21	12	21	0

Ilustración 9: Resultados obtenidos por el software POM-QM sobre tiempos mínimos y máximos y holguras.

En la primera columna aparecen reflejadas cada una de las actividades, y en color rojo están señaladas las críticas. En la segunda columna, nos encontramos con las duraciones de cada actividad y en color azul la duración total del proyecto que es de **21 días** (Activity time Project).

A continuación, aparecen los tiempos de las tareas: tiempo de inicio más temprano (IP, Early Start), tiempo de terminación más temprano (TP, Early Finish), tiempo de inicio más tardío (IL, Late Start) y tiempo de finalización más tardío (TL, Late Finish). La última columna representa la holgura (H, Slack).

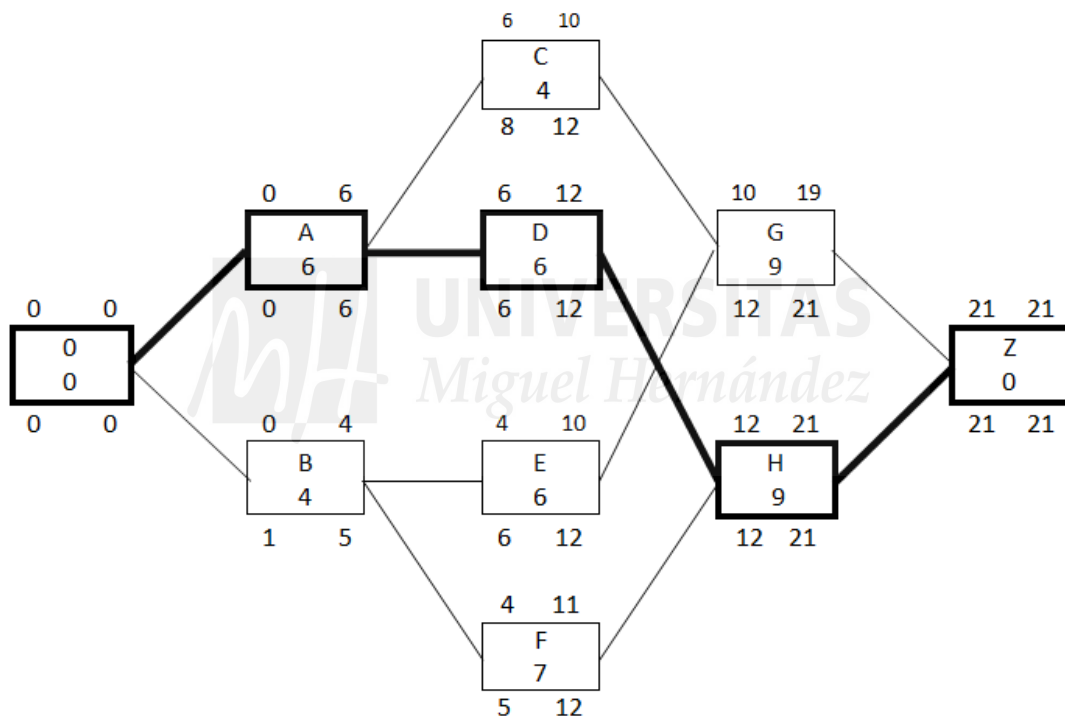
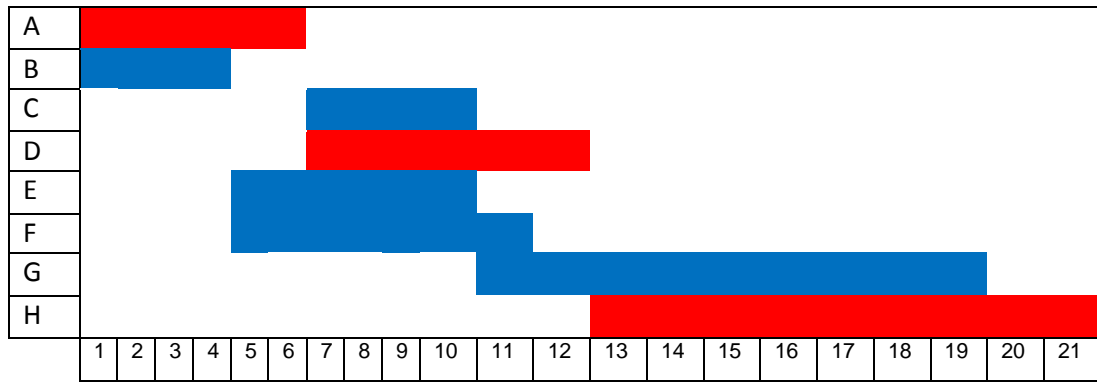


Ilustración 10: Red correspondiente al ejemplo descrito en la Ilustración 9. (Elaboración propia)

En la red de la ilustración 10 aparece marcada en negrita la **ruta crítica** que engloba las actividades **A, D y H** cuya holgura es 0 y, por lo tanto, son las actividades críticas (en la ilustración 9 podemos ver cómo estas actividades están en rojo, mientras que las no críticas están en color azul). Las barras del diagrama de Gantt representadas en las siguientes ilustraciones siguen los mismos patrones de color.

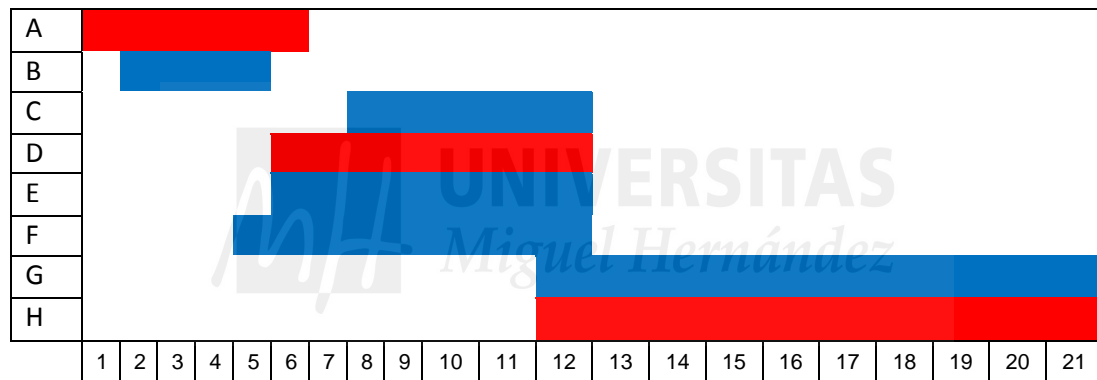
ACTIVIDADES



DÍAS

Ilustración 11: Diagrama de Gantt para tiempos tempranos. (Elaboración propia)

ACTIVIDADES



DÍAS

Ilustración 12: Diagrama de Gantt para tiempos tardíos. (Elaboración propia)

La tabla 5 recoge los datos para el ejemplo que vamos a realizar a continuación. Al proyecto ejemplo que venimos ilustrando le hemos incorporado un recurso renovable, concretamente, la mano de obra (cantidad de trabajadores por día que necesita cada actividad para ser realizada). Suponemos que las actividades A, D y H necesitan 10 trabajadores, es decir, la actividad A necesitará 10 trabajadores el primer día y otros 10 cada uno de los restantes cinco días, puesto que su duración es de seis días. El resto de las actividades necesitan la mitad para ser terminadas en el tiempo previsto. Por ejemplo, B tiene una duración de 4 días y cada día necesita 5 obreros.

ACTIVIDADES	DURACIÓN	MANO DE OBRA
A	6	10
B	4	5
C	4	5
D	6	10
E	6	5
F	7	5
G	9	5
H	9	10

Tabla 5: Datos del ejemplo: mano de obra. (Elaboración propia)

7.1. Programación de proyectos con recursos limitados

Tenemos un problema de programación de proyectos con recursos limitados cuando existen cantidades fijas de recursos disponibles en cada período de ejecución del proyecto y, en alguno de estos períodos, dichos recursos no son suficientes para ejecutar todas las actividades previstas en dicho período.

A continuación, introducimos un nuevo concepto, la carga diaria de un proyecto, es decir, la cantidad de recursos que necesita disponer dicho proyecto en un determinado momento del tiempo para abastecer a las actividades que en ese momento precisan del mismo ¿Cómo establecer un calendario de realización de las actividades con unas cargas diarias que no superen los límites de disponibilidad de los recursos, sin aumentar la duración del proyecto o aumentándola lo menos posible?

Como hemos indicado en la tabla 5, en nuestro ejemplo supondremos que hay un recurso renovable, es decir, limitado en cantidad, lo que implica que para el recurso y durante cada instante de tiempo, la suma del recurso demandado por las actividades que están siendo procesadas no debe ser mayor a la disponibilidad del recurso.

Tras realizar la programación del proyecto de ejemplo y la asignación de la mano de obra a las actividades que forman el mismo (hemos considerado la programación con los tiempos más tempranos para hacer esta asignación), nos damos cuenta de que el número máximo diario de trabajadores lo necesitamos los días 7, 8, 9 y 10, donde necesitamos 25 trabajadores (ilustración 13).

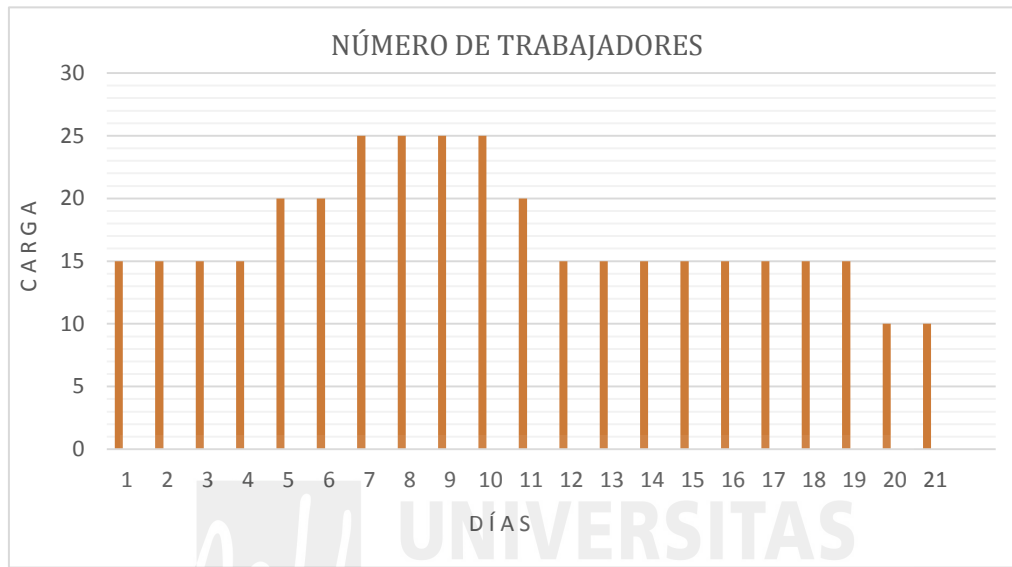


Ilustración 13: Número de trabajadores necesarios cada día del proyecto. (Elaboración propia)

Si la cantidad disponible de recurso (mano de obra) cada día no es suficiente para satisfacer la demanda de las actividades programadas, la programación obtenida con el método del camino crítico no es viable, porque en determinados períodos (días) no hay recursos suficientes para llevar a cabo las tareas programadas para ese día, y será necesario obtener una nueva programación que puede aumentar la duración del proyecto.

Supongamos que disponemos de un máximo de 20 trabajadores diarios. Entonces los días 7, 8, 9 y 10 sobrepasamos la cantidad de recurso que se permite en un determinado periodo. Dado que sólo se dispone de 20 obreros, no podemos ejecutar todas las tareas previstas durante esos días (actividades C, D, E y F según el diagrama de Gantt de los tiempos tempranos) puesto que el consumo total de las actividades requiere de 25 unidades del recurso renovable en cuestión. ¿Cómo solucionar el problema?

Obtener una programación viable del proyecto es un problema que podemos resolver de diversas formas. Podríamos pensar en asignar horas extras, contratar más personal, hacer las actividades previstas con menos recursos aumentando la duración de estas o reprogramar el proyecto teniendo en cuenta esta restricción de recursos. A esta última alternativa es a la que llamamos resolver el problema de la programación de proyectos con recursos limitados.

El Problema de Programación o Secuenciación de Proyectos con Recursos Limitados o “Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)”, que nos aborda, consiste en secuenciar las actividades de tal forma que no se sobrepase la disponibilidad de los recursos que son necesarios para ejecutar cada una de las actividades. Nuestro objetivo será encontrar una programación factible en la que la duración del proyecto sea la mínima posible.

Entre los procedimientos para resolver este problema se encuentran las técnicas heurísticas basadas en reglas de prioridad. Este tipo de técnicas heurísticas parten de una programación del proyecto, por ejemplo, la obtenida por el método del camino crítico ayudada por el diagrama de Gantt. A partir de esta programación se analiza periodo a periodo las necesidades de recursos. Cuando la disponibilidad de un recurso es menor que las necesidades, como en los días 7, 8, 9 y 10 de nuestro ejemplo, el algoritmo lo asigna a las actividades atendiendo a un criterio de prioridad y las actividades menos prioritarias son reprogramadas en otras fechas. La diferencia principal entre las diversas técnicas está en el criterio de prioridad que utilizan. En nuestro ejemplo, como las tareas consumen simultáneamente 25 unidades de recurso, no pueden planificarse al mismo momento. La actividad D es crítica, es decir, con holgura cero, por tanto, prioritaria. En la realización del proyecto las tareas C, E y F podrían reprogramarse.

Otro modo de dar solución al problema de la programación de proyectos con recursos limitados sería plantearlo como un modelo de programación

matemática, siendo un problema de optimización de la programación de proyectos que resulta difícilmente abordable si no se dispone de una herramienta informática adecuada. Según se va avanzando en la potencia de los ordenadores van apareciendo nuevos sistemas que son capaces de resolver problemas con una gran cantidad de cálculos y en pocos segundos.

7.2. Nivelación de la demanda de recursos

Otro problema que puede aparecer tras la aplicación del método del camino crítico surge cuando existen recursos suficientes para secuenciar todas las actividades que compiten por los mismos, pero se desea que su consumo sea lo más uniforme posible. Es decir, la programación dada por el método del camino crítico sí es factible (a diferencia de lo que ocurría con el caso anterior) pero no adecuada, pues presenta una utilización de recursos muy poco uniforme, muy desigual a lo largo de la ejecución del proyecto, lo que puede suponer diversas complicaciones para la empresa. En la medida de lo posible, sin incrementar la duración del proyecto, se ha de intentar nivelar la carga de los recursos a lo largo de la duración de proyecto.

En la planificación de los recursos de un proyecto, debemos tener claras las necesidades en materia de mano de obra, equipos y materiales que necesitan cada una de las tareas que componen el proyecto. Suele resultar muy interesante hacer un trabajo previo que facilite la recopilación de la información necesaria en cuanto al consumo de cada una de ellas y saber qué recursos tendré disponibles y en qué momento, ya que de esta forma se está contribuyendo a minimizar el margen de error. La falta de recursos puede provocar el retraso en la terminación del proyecto sobre el tiempo mínimo que habíamos planeado.

En la etapa de programación, nos encargamos de realizar la asignación de recursos más beneficiosa y que acarree menos costes para la empresa, en función de qué tipo de actividades sean (dependiendo de la holgura de éstas): las actividades críticas tendrán preferencia en dicho reparto siguiendo con

aquellas que tienen menos holgura ya que, como bien explicamos, si las actividades críticas se retrasan en su fecha de inicio o se alargan en su ejecución más allá de su duración esperada, provocarán el retraso en la finalización del proyecto. Por ello, en caso de necesitar un recurso para dos actividades una crítica y otra no crítica, daremos prioridad a la realización de la actividad crítica puesto que se puede retrasar la realización de las actividades no críticas siempre que no supere la holgura.

Como definimos anteriormente, la carga diaria de un proyecto es la cantidad de recursos que necesita dicho proyecto en un determinado momento del tiempo para abastecer a las actividades que en ese momento precisan del mismo. Para lograr la nivelación, necesitaremos que la carga diaria sea tan uniforme durante la duración del proyecto como sea posible, porque si durante distintas etapas del proyecto se requiere altos números de algún recurso y en otras una cantidad muy baja, puede ocasionar grandes costes para la empresa.

Por tanto, el objetivo para solucionar el problema se centrará en reajustar el proyecto teniendo en cuenta la dotación de recursos que poseemos y las distintas necesidades en cada una de las actividades considerando la holgura disponible para obtener histogramas de cargas con las menores fluctuaciones.

Podríamos resolver el problema de nivelación de recursos mediante la resolución de un modelo de programación matemática o utilizando técnicas heurísticas. En el ejemplo que exponemos a continuación explicamos una de las técnicas heurísticas más utilizadas en este problema, el algoritmo de nivelación de Burgess-Killebrew, uno de los primeros y a su vez de los más eficientes.

Continuamos con el proyecto del ejemplo presentado anteriormente al que le habíamos incorporado la mano de obra necesaria para cada actividad y día. Conocemos la precedencia y la duración (en días) de las 8 actividades que componen el proyecto (tabla 4), el tiempo mínimo necesario para finalizar el

proyecto, el camino crítico y el diagrama de Gantt, donde las actividades críticas las identificamos de color rojo y las no críticas de color azul. La **ruta crítica** está formada por las actividades **O-A-D-H-Z** y la duración del proyecto es de **veintiún días**.

A partir de los tiempos más tempranos de cada actividad, la tabla 6 muestra la carga diaria de mano de obra necesaria cada día del proyecto para abastecer a cada actividad en la proporción que necesite de ella, así como el cuadrado de la carga diaria. La ilustración 14 representa el diagrama de cargas inicial.

DÍAS	CARGA	CARGA ²
1	15	225
2	15	225
3	15	225
4	15	225
5	20	400
6	20	400
7	25	625
8	25	625
9	25	625
10	25	625
11	20	400
12	15	225
13	15	225
14	15	225
15	15	225
16	15	225
17	15	225
18	15	225
19	15	225
20	10	100
21	10	100
TOTAL	360	6.600

Tabla 6: Calendario del proyecto incluyendo la suma de las cargas y la suma de las cargas al cuadrado.
(Elaboración propia)

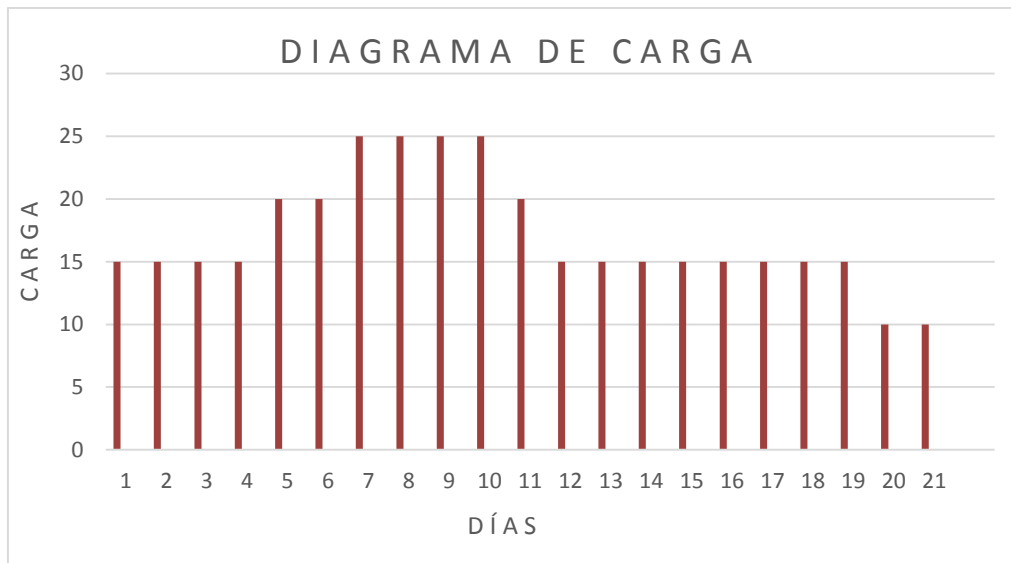


Ilustración 14: Diagrama de cargas inicial. (Elaboración propia)

Gracias a la información proporcionada por la tabla 6, el diagrama de cargas representado en la ilustración 14 anterior y el diagrama de Gantt para visualizar mejor los tiempos tempranos y las fechas de cada una de las actividades (ilustración 11), sabemos que el primer día del proyecto necesitaríamos 15 obreros trabajando porque ejecutamos las actividades A y B ($10+5=15$). El segundo, tercer y cuarto día volvemos a necesitar 15 por las actividades A y B. El quinto y sexto día ejecutaríamos las actividades A, E y F y por eso necesitaríamos 20 obreros ($10+5+5$). El séptimo día necesitaríamos 25 trabajadores, etc. Contar con un número de trabajadores tan distinto cada día ocasiona un gasto superior, por lo que se puede intentar reestructurar el proyecto buscando que el número de trabajadores que se requiere cada día sea lo más uniforme posible. Si dividimos la suma de las cargas diarias total (360) entre el tiempo mínimo necesario de finalización del proyecto (21 días): $360 \text{ trabajadores} / 21 \text{ días}$, tendríamos un total de 17 empleados diarios aproximadamente si el reparto fuera uniforme.

El primer paso para la utilización del algoritmo de nivelación de Burgess-Killebrew se centra en la búsqueda de la actividad no crítica que tenga el tiempo de terminación temprano (TP) más avanzado. Esta actividad se retrasará, respetando siempre su holgura, de modo que la suma total de las

cargas al cuadrado una vez retrasada la actividad sea mínima. Si fueran varias las actividades no críticas que tienen los mismos tiempos tempranos de finalización más avanzados, seleccionaremos la actividad que tenga más amplia su holgura. El algoritmo también se puede realizar utilizando las fechas de finalización más tardías (TL) y los resultados serían iguales.

La ilustración 11 muestra los distintos tiempos de las actividades. La actividad B es la actividad con menor tiempo de terminación temprano (TP B = 4) y la actividad G es la que tiene el tiempo de finalización temprano más avanzado (TP G = 19). Como ninguna de las demás actividades tiene el mismo tiempo de terminación temprano no hace falta comparar entre holguras: debemos retrasar la actividad G.

El algoritmo de nivelación nos dice que retrasemos unidad por unidad de tiempo la actividad seleccionada, como mucho tantas unidades como tenga de holgura la actividad (si excedemos este valor retrasaríamos el proyecto), y realicemos aquel retraso en la actividad que hace que la suma total de las cargas al cuadrado sea mínima.

La actividad no crítica G tiene una holgura de dos días, por lo que lo primero que debemos hacer es decidir si la retrasamos en uno o dos días, lo que dependerá de con cuál de estas opciones la suma de las cargas al cuadrado sea menor. En este caso, es indiferente moverla en una o dos unidades pues la suma total de las cargas al cuadrado es igual (6550).

Decidimos retrasar la actividad G en un día. El Diagrama de Gantt señala que la fecha de inicio de la actividad G pasará al doceavo día y finalizará el día 20 como se observa en la ilustración 15. En la tabla 7 recopilamos los resultados de las cargas diarias y las cargas al cuadrado una vez retrasada la actividad G en un día. La ilustración 16 recoge el diagrama de cargas correspondiente a estas modificaciones.

ACTIVIDADES

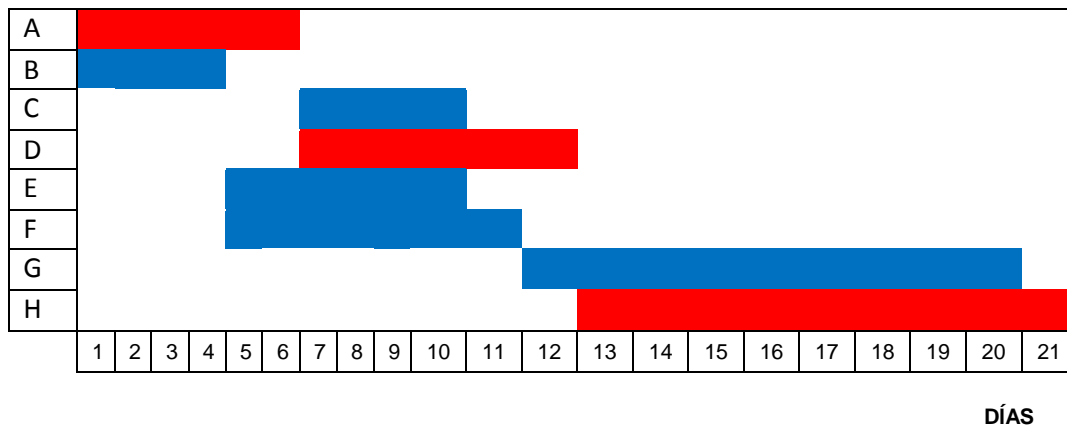


Ilustración 15: Diagrama de Gantt después de haber retrasado la actividad G un día. (Elaboración propia)

Días	Carga	Carga ²
1	15	225
2	15	225
3	15	225
4	15	225
5	20	400
6	20	400
7	25	625
8	25	625
9	25	625
10	25	625
11	15	225
12	15	225
13	15	225
14	15	225
15	15	225
16	15	225
17	15	225
18	15	225
19	15	225
20	15	225
21	10	100
TOTAL	360	6.550

Tabla 7: Tabla de cargas tras el retraso de la actividad G un día. (Elaboración propia)

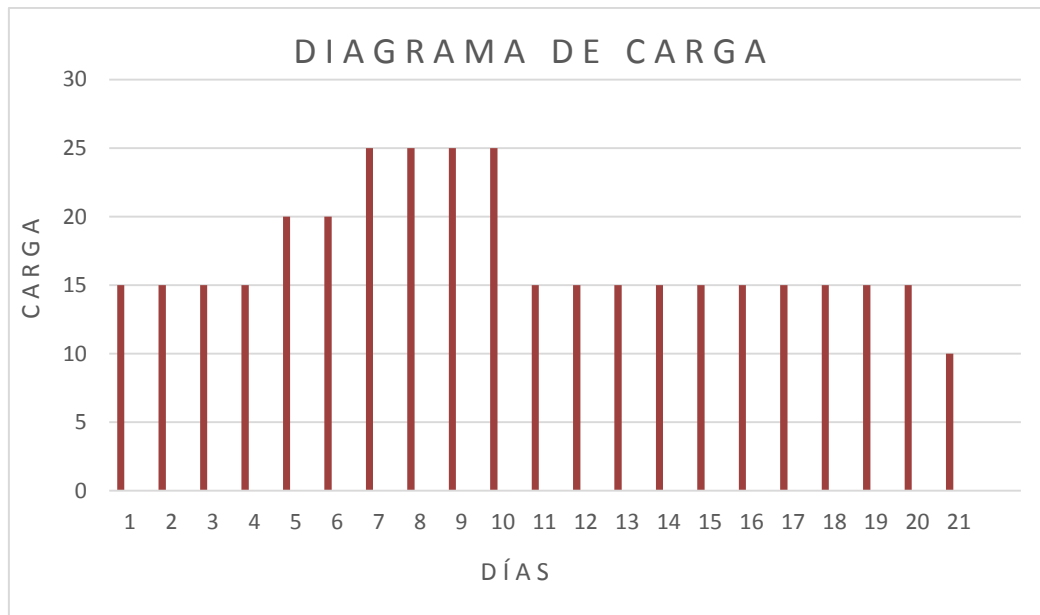


Ilustración 16: Diagrama de cargas cuando retrasamos la actividad G un día. (Elaboración propia)

Una vez retrasada la primera actividad, la descartamos y repetimos el mismo proceso seleccionando la siguiente actividad no crítica con tiempo de terminación temprano más avanzado. El proceso se repite hasta que hayamos analizado todas las actividades no críticas.

En nuestro ejemplo, la siguiente actividad no crítica que deberíamos retrasar sería la actividad F (TP F = 11), a continuación la actividad C o la E (ambas tienen TP = 10 y holgura 2) y así sucesivamente.

Una vez estudiadas todas las actividades no críticas, se volvería a realizar un nuevo ciclo si con esto conseguimos reducir la suma de las cargas al cuadrado. Estos pasos se realizarán tantas veces como sea necesario hasta que comprobemos que la suma total de las cargas al cuadrado no se reduce, en ese momento se dará fin al proceso (Romero López, 2010).

7.3. Reducción de la duración del proyecto

Cuando la duración mínima del proyecto proporcionado por un análisis CPM es demasiado grande para poder alcanzar con el mismo los objetivos en

el tiempo oportuno, es conveniente estudiar la forma de reducir la duración total del proyecto mediante la disminución del tiempo de cada tarea en particular.

Resulta de particular interés poder enfrentar de forma eficiente y lo más económica posible el problema de cómo reducir la duración del proyecto, por ejemplo, podríamos barajar la idea de limitar el alcance de los objetivos, o bien de reducir la duración de las actividades críticas, o aumentar los recursos destinados a ellas (mayor coste) o bien obtenerlos de las actividades con mucho más margen, o bien asignando más recursos globales al proyecto... ¿Cuál es la forma más eficiente de repartir los recursos? ¿Cuál es la forma más eficiente de conseguir que el proyecto tenga la duración deseada?

La respuesta a las anteriores preguntas se puede abordar desde la perspectiva de dos técnicas que se utilizan para acortar la duración de un proyecto obtenida tras un análisis CPM. La diferencia entre ambas se observa en la manera por la cual la empresa, en la gestión de su proyecto, desea disminuir la duración del mismo reprogramando la planificación de las tareas. Si lo que pretende es reconfigurar las tareas que están pensadas para ejecutarse de manera secuencial para que pasen a desarrollarse en paralelo, estaremos ante la técnica Fast tracking o modelo de la aceleración. Sin embargo, si lo que se pretende es reducir la duración de las tareas en la ruta crítica añadiendo mayor cantidad de recursos, entonces hablaremos de la técnica Crashing o de compresión, técnica que en nuestro trabajo vamos a desarrollar de manera práctica con un ejemplo, haciendo uso del software POM-QM.

Hasta este punto del trabajo, no hemos hecho mención en ninguna ocasión a los costes que para la empresa supone la planificación, formulación... en general la realización del proyecto. En la tabla 8 aparecen, junto con los datos recopilados de la tabla 4, en la columna "Coste Normal" los costes que suponen la realización de cada actividad, en miles de euros, y en la última columna, los costes por unidad de tiempo (en este caso, coste por día de cada actividad).

ACTIVIDADES	PREDECESORAS	TIEMPO NORMAL	COSTE NORMAL	COSTE / UD TIEMPO
A	-	6	30	5
B	-	4	28	7
C	A	4	16	4
D	A	6	24	4
E	B	6	36	6
F	B	7	42	6
G	C, E	9	27	3
H	D, F	9	18	2

Tabla 8: Coste total del proyecto en miles de euros. (Elaboración propia)

En la ilustración 17 podemos observar el calendario de actividades con el coste que es necesario para llevarlas a cabo cada día y conseguir finalizar el proyecto en los 21 días previstos, lo que supondrá un **coste total de 221.000 euros** (según el dato de coste acumulado obtenido en la última fila de la última columna “Cumulative from start”), cifra que se corresponde con la suma de los costes normales de todas las actividades (30+28+16+24+36+42+27+18).

Así, por ejemplo, la actividad A cuya duración es de 6 días y tiene un coste total de 30.000 euros, tendrá un coste fraccionado por día de 5.000 euros, dato que surge de dividir los 30.000 euros entre los 6 días de duración de esa actividad en concreto.

Network type		Method									
<input checked="" type="radio"/> Immediate predecessor list <input type="radio"/> Start/end node numbers		Cost Budgeting									
Coste/ud tiempo solution											
	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6	Period 7	Period 8	Period 9	Period 10	
A	5	5	5	5	5	5					
B	7	7	7	7							
C							4	4	4	4	
D							4	4	4	4	
E					6	6	6	6	6	6	
F					6	6	6	6	6	6	
G											
H											
Total in Period	12	12	12	12	17	17	20	20	20	20	
Cumulative from start	12	24	36	48	65	82	102	122	142	162	

Period 11	Period 12	Period 13	Period 14	Period 15	Period 16	Period 17	Period 18	Period 19	Period 20	Period 21
4	4									
6										
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
		2	2	2	2	2	2	2	2	2
13	7	5	5	5	5	5	5	5	2	2
175	182	187	192	197	202	207	212	217	219	221

Ilustración 17: Resultados obtenidos por el software POM-QM: calendario de actividades con el coste correspondiente en cada unidad de tiempo.

Una vez comenzado el proyecto, se debe vigilar con rigurosidad el coste que a priori habíamos estimado y el coste que en la práctica está suponiendo cada actividad en cada momento de tiempo, para así controlar si se producen fluctuaciones o modificaciones en el presupuesto que teníamos estimado.

Centramos ahora nuestra atención en el problema que se nos plantea tras la utilización del método del camino crítico cuando la duración del proyecto que éste nos ha proporcionado es demasiado larga y queremos acortarla (técnica crashing).

La disminución del tiempo de realización de las tareas llevará asociado un incremento de los recursos necesarios para llevarlas a cabo, lo que se reflejará en un incremento en costes para la empresa. A continuación, vamos a analizar cómo aumenta el coste con cada día que reducimos el proyecto a causa de la mayor inversión en recursos. Este análisis lo realizaremos a partir del tiempo “crash” o tiempo de choque y coste “crash” o coste de choque. Se define el tiempo “crash” o de choque como el tiempo mínimo en el que se puede realizar una tarea si utilizamos recursos adicionales, y coste “crash” o de choque, al coste que supone realizar la tarea en su tiempo de choque.

No debemos olvidar que la disminución del tiempo de realización de algunas actividades puede afectar a otras actividades que podrían llegar a ser críticas. La selección de las actividades que es conveniente reducir o alargar para conseguir un tiempo de ejecución mínimo del proyecto al menor coste no

es un problema sencillo, pues en ocasiones los recursos necesarios son limitados y dependen del capital de la empresa.

La tabla 9 muestra los datos necesarios para el análisis. El tiempo y el coste “crash” surgen de la posibilidad de reducir el proyecto a cambio de un incremento del coste para así lograr nuestro objetivo: vamos a analizar cómo aumenta el coste con cada día que reducimos la duración del proyecto y ver si esta alternativa nos es interesante para llevarla a cabo. Por ejemplo, la actividad G puede comenzar una vez completadas las actividades C y E y su tiempo normal es de 9 días con un coste normal de 27.000 euros. Sin embargo, la actividad G se puede apurar (lo que comúnmente se conoce como “crash” o “crashing”) de modo que su duración pueda ser de 6 días, pero con un coste de 30.000 euros. En consecuencia, la máxima reducción permisible para dicha tarea es de 3 días ($9 - 6 = 3$) con un costo adicional de 3.000 euros ($30.000 \text{ € coste crash} - 27.000 \text{ € coste normal}$).

ACTIVIDADES	PRECEDENCIA	TIEMPO NORMAL	TIEMPO CRASH	COSTE NORMAL	COSTE CRASH
A	-	6	4	30	32
B	-	4	3	28	30
C	A	4	3	16	26
D	A	6	2	24	28
E	B	6	3	36	39
F	B	7	5	42	48
G	C, E	9	6	27	30
H	D, F	9	8	18	22

Tabla 9: Datos del ejemplo para realizar el análisis de coste “crash”. (Elaboración propia)

Los resultados son como sigue. El programa encuentra (ilustración 18) como duración normal del proyecto 21 días y como tiempo mínimo de ejecución (columna “Crash time”, en azul) que el proyecto, utilizando la técnica crashing, podría ser reducido en 5 días como máximo y tener una duración de **16 días** al haber disminuido el tiempo de cada una de las tareas. Reducir en 5 días el

proyecto supondría un coste total de **239.000€**, es decir, incrementaría el coste del mismo en 18.000 euros (dato proporcionado por la columna “Crashing cost”).

Para cada actividad también nos informa del coste de reducción por periodo (columna “Crash cost/pd”, la que se calcula como: (coste crash - coste normal) / (tiempo normal - tiempo crash)).

Network type		Method					
<input checked="" type="radio"/> Immediate predecessor list <input type="radio"/> Start/end node numbers		Crashing					
(untitled) Solution							
Activity	Normal time	Crash time	Normal Cost	Crash Cost	Crash cost/pd	Crash by	Crashing cost
Project	21	16					
A	6	4	\$30	\$32	\$1	1	\$1
B	4	3	\$28	\$30	\$2	1	\$2
C	4	3	\$16	\$26	\$10	0	\$0
D	6	2	\$24	\$28	\$1	3	\$3
E	6	3	\$36	\$39	\$1	0	\$0
F	7	5	\$42	\$48	\$3	2	\$6
G	9	6	\$27	\$30	\$1	2	\$2
H	9	8	\$18	\$22	\$4	1	\$4
TOTALS			\$221				\$18

Ilustración 18: Resultados obtenidos por el software POM-QM: análisis de coste “crash”.

La ilustración 19 recoge para los 5 días en los que se puede reducir la duración del proyecto, el coste y coste acumulado que nos supone esa reducción y las actividades que reducen su duración. En la ilustración 18, en las columnas “Crash by” y “Crashing cost” esto último se puede ver mejor. La actividad A será reducida 1 día (crash by) y esa reducción implica un coste crash de 1\$=1.000 € (crashing cost). La actividad B será reducida también 1 día y el coste de esa reducción son 2\$= 2.000 €. Podemos comprobar como la actividad C no se reduce en el proyecto por eso se indica 0 días y 0 €, al igual que la actividad E. La actividad D puede ser reducida en 3 días por eso el coste de esta reducción asciende a 3\$=3.000€...

(untitled) Solution			
Project time	Period cost	Cumulative cost	Activities to crash
21	0	0	
20	1	1	D
19	3	4	A, B
18	4	8	D, F
17	5	13	G, H
16	5	18	D, F, G

Ilustración 19: Resultados obtenidos por el software POM-QM: análisis de coste “crash”.

La ilustración 20 refleja la reducción de la duración día a día, por ejemplo, si el proyecto se quiere reducir a 19 días, debemos leer la línea con una duración de 19 días, que muestra que el coste de reducir el proyecto de 20 a 19 días es de 3.000 €, para hacer esta reducción es necesario reducir las actividades A, B y D en un día. Además, muestra cómo va incrementando el coste por cada día que se va reduciendo el proyecto.

(untitled) Solution										
Project time	Period cost	Cumulative cost	A	B	C	D	E	F	G	H
21	0	0								
20	1	1				1				
19	3	4	1	1		1				
18	4	8	1	1		2		1		
17	5	13	1	1		2		1	1	1
16	5	18	1	1		3		2	2	1

Ilustración 20: Resultados obtenidos por el software POM-QM: coste que supone reducir cada día el proyecto.

Como en los problemas presentados en las secciones anteriores, el problema de reducir la duración de un proyecto también puede ser resuelto mediante la resolución de un modelo de programación matemática. Además, también encontramos técnicas heurísticas que ayudan a la resolución de este problema, que ofrecen buenos resultados con un esfuerzo computacional aceptable. Entre ellas, cabe destacar el algoritmo de Ackoff-Sasieni.

8. CONCLUSIONES

Una vez realizada la investigación y el desarrollo de este trabajo, centrado en cómo abordar el problema de la gestión de proyectos desde el punto de vista de la Investigación Operativa de una empresa, he comprendido la importancia que supone la adecuada coordinación de una gran cantidad de recursos humanos y materiales en la toma de decisiones dentro de cualquier organización.

He comprobado cómo el desarrollo de esta disciplina, utilizada y llevada a la práctica con mayor potencial desde la Segunda Guerra Mundial, por científicos y matemáticos ha proporcionado innumerables herramientas: técnicas, métodos, algoritmos, software... a los que actualmente tanto los organismos públicos, como las industrias, los profesionales, la población... tienen fácil acceso debido a la utilización cada vez más generalizada de ordenadores en cualquier ámbito y de miles de aplicaciones y webs gratuitas existentes para el PC.

Por ello, me he decantado en buscar información acerca de cómo aplicar el método del camino crítico CPM. He aprendido a comparar entre diversos autores y sus manuales, a completar y recopilar distintas ideas y puntos de vista, para conseguir madurar mi idea y realizar mi trabajo. Además, y por primera vez, he utilizado un software específico para la materia: POM-QM. El manejo de esta herramienta facilita el análisis y, como hemos visto por ejemplo para el método “crashing”, proporciona de inmediato la solución más beneficiosa para la empresa.

También he estudiado e introducido las distintas fases en la gestión de un proyecto, si bien he centrado la atención en el objetivo del trabajo, el desarrollo de los métodos de programación de proyectos, utilizados para obtener el calendario de ejecución del proyecto.

Gracias al estudio y a la investigación de cómo funcionan y cómo utilizar el método del camino crítico junto con los diagramas de barras proporcionados por la técnica de Gantt, he podido ponerlos en práctica y realizar el análisis de dos proyectos a lo largo del trabajo. Paso a paso he desarrollado las fases del método CPM y los resultados obtenidos con ellas me han permitido: extraer los tiempos tempranos y tardíos junto con la holgura de cada una de las actividades para poder identificar las más importantes (las actividades críticas) y así cumplir con los plazos establecidos; construir el diagrama de precedencias; emitir los informes que determinan la duración del proyecto y el camino crítico que más beneficia a la empresa para obtener los resultados óptimos y componer el diagrama de Gantt con el calendario de ejecución.

He revisado en profundidad el método del camino crítico. He ahondado, una vez llevado a la práctica, en sus ventajas e inconvenientes, simulando situaciones que se pueden dar en la práctica y reflexionando sobre cuáles son las mejores técnicas para solucionar estos problemas. Poniendo ejemplos ilustrativos de los mismos, he abordado complicaciones tales como: el caso de una reducción del tiempo estimado del proyecto por ser demasiado extenso, el abastecimiento insuficiente de recursos limitados y el caso de una utilización de recursos muy desigual. Para así, en función de los resultados obtenidos al resolver los problemas que pueden surgir, guiar a la empresa sobre cómo debería actuar modificando el proyecto que tuviese previsto llevar a cabo.

Lo que en un principio parecía un trabajo muy complicado y difícil de abordar debido a la falta de conocimiento en la materia, me ha servido para darme cuenta de que la Investigación Operativa, una disciplina tan desconocida para mí, es una herramienta empresarial muy útil y práctica que me será de gran ayuda en un futuro, y refuerzo la idea de que todas las empresas, industrias y sociedades en general, deberían basar sus políticas en estos métodos para beneficiarse, mejorar e incrementar su actividad productiva.

BIBLIOGRAFÍA

1. Artículo Online: El nuevo Empresario.
<https://elnuevoempresario.com/glosario/diagrama-de-gantt>
2. Belén Castro, Íñigo, Diez Sánchez, Henar, Urrutia Careaga, Ana Marta. (2011). *Ejercicios de Investigación Operativa*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
3. Choque Flores, Alex (2012). *Planificación y Control de la Producción II*. Seminario Universidad Politécnica de Colombia.
4. Fernández González, Victoria, Zelaia Jauregi, Ana (2011). *Investigación Operativa. Programación Lineal*. Universidad del País Vasco.
5. García Jurado, Ignacio (2014). *Aplicaciones de la programación lineal en planificación de proyectos*. A coruña (España) Universidad A Coruña
6. González López-Valcarcel B., Barber Pérez P. (2012). *¿Qué es la Investigación Operativa y para qué puede servirnos?* Madrid: Escuela Nacional Uned.
7. Herramienta online: "C.I.O." Centro de Investigación operativa.
<https://sites.google.com/site/gdpumh/programacion-de-proyectos/3-2-0-problemas-en-la-programacion-de-proyectos>
8. Herramienta online: Monografías.com.
<https://www.monografias.com/trabajos102/programacion-lineal-investigacion-operaciones/programacion-lineal-investigacion-operaciones.shtml>

9. Herramienta online: PHP Simplex.
<http://www.phpsimplex.com/historia.htm>
10. Herramienta online: OBSBUSINESS-Proyect Management.
<https://obsbusiness.school/es/blog-project-management/diagramas-de-gantt/diagrama-de-gantt-que-es-y-cuales-existen>
11. Herramienta online: Tema 15 Gestión de plazo y costes.
ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/11577/mod_resource/content/1/Tema%2015.%20Gestion%20de%20plazos%20y%20costes.pdf
12. Herramienta online: Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>
13. Hillier, F. S., Lieberman, G. J., (1998), *Introducción a la investigación de operaciones*, México, McGraw-Hill.
14. Maroto Álvarez, M^a Concepción, Alcaraz Soria, Javier, Ginestar Peiro, Concepción de María, Segura Maroto, Marina (2012). *Investigación operativa en administración y dirección de empresas*. Valencia (España), Universidad Politécnica de Valencia
15. Ríos Insua, S. (1996), *Investigación Operativa. Programación Lineal y Aplicaciones*. Madrid (España), Centro de Estudios Ramón Areces, S.A.
16. Romero López, C., (2010), *Técnicas de programación y control de proyectos*. España, Pirámide.
17. Velasco Sánchez, J., Campins Masriera, J.A., (2013). *Gestión de proyectos en la empresa: planificación, programación y control*. Madrid (España), Larousse, ediciones Pirámide.
18. Vitoriano, Begoña. (2009). *Modelos Operativos de Gestión*. Servicio Editorial Universidad Complutense de Madrid