



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Organización Industrial

Aplicación del método de la cadena crítica en un entorno multiproyecto

Autor:

Salgado Santamaría, Ignacio

Tutor:

Araúzo, José Alberto

Departamento de Organización de Empresas y CIM

Valladolid, julio de 2023



AGRADECIMIENTOS

A mi abuela, que hasta el final siempre me empujó y me dio fuerzas para dar lo mejor de mí, tanto en lo académico como en lo personal y que seguro está muy orgullosa.

A mi familia, que son los que más han sufrido conmigo durante este intenso desafío que es el grado de ingeniería, especialmente a mis padres, que han hecho posible cumplir el objetivo de estudiar la carrera, y además fuera de casa con todo lo que ello conlleva.



Universidad de Valladolid

Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería de Organización Industrial



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



RESUMEN

La actualidad de las empresas orientadas a la ejecución de proyectos está cada vez más definida por entornos multiproyecto. En este ambiente, los recursos son compartidos entre los diferentes trabajos y gestionar adecuadamente los mismos supone la diferencia entre el éxito y el fracaso.

El Método de la Cadena Crítica, "Critical Chain Project Management o CCPM", que se basa en los fundamentos de la Teoría de las Restricciones, es una herramienta de gestión que busca lograr la consecución del alcance del proyecto, en el tiempo requerido, pero tomando como aspecto clave la planificación de los recursos.

En este Trabajo Fin de Grado se presentarán cuatro proyectos reales, llevados a cabo por una empresa montaje industrial, y se utilizarán las bases teóricas de la metodología CCPM para mejorar la gestión de los recursos limitados y compartidos de los que dispone la organización.

PALABRAS CLAVE

Entorno multiproyecto, cadena crítica, amortiguador, recursos, gestión.

SUMMARY

Nowadays, companies oriented towards the execution of projects are increasingly defined by multi-project environments. In this environment, resources are shared between the different jobs and managing them properly means the difference between success and failure.

The Critical Chain Method "CCPM", which is based on the foundations of the Theory of Constraints, is a management tool that look for the achievement of the project scope, in the required time, but taking resource planning as a key aspect.

In this Final Degree Project, four real projects will be presented, carried out by an industrial assembly company, and the theoretical bases of the CCPM methodology will be used to improve the management of the limited and shared resources available to the organization.

KEYWORDS

Multi-project environment, critical chain, buffer, resources, management.



Universidad de Valladolid

Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería de Organización Industrial



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	15
1.2. OBJETIVOS.....	16
1.3. CONTENIDO DE LA MEMORIA.	16
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE	19
2.1. CONTEXTUALIZACIÓN PREVIA.	19
2.2. CONCEPTOS RELACIONADOS CON ENTORNOS MULTIPROYECTO.....	20
2.2.1. Entornos multiproyecto.....	20
2.2.2. Ventajas y desventajas de entornos multiproyecto frente a proyectos individuales.....	26
2.2.3. Ejemplos de empresas que gestionan entornos multiproyectos.	29
2.2.4. Métodos de gestión multiproyectos.....	31
2.3. MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA BASADO EN LA TEORÍA DE LAS RESTRICCIONES (TOC).	38
2.3.1. La Teoría de las Restricciones (TOC).....	38
2.3.1.a. Fundamentos y bases de la Teoría de las Restricciones (TOC).....	38
2.3.1.b.. Principios de la Teoría de las Restricciones.....	39
2.3.1.c. Pasos para identificar y abordar las restricciones. Procedimiento de mejora.	43
2.3.1.d. Modelo de programación DBR.....	46
2.3.2. Método de la Cadena Crítica.	51
2.3.2.a. Definición y fundamentos del Método de la Cadena Crítica.....	51
2.3.2.b. Proceso y desarrollo del CCPM.	53
2.3.2.c. Gestión de recursos compartidos y limitados en entornos multiproyectos con el método de la Cadena Crítica.	62
2.3.2.d. Ventajas y limitaciones del método de la Cadena Crítica.	65
2.3.2.e. Comparación del CCPM con otros métodos.....	66
CAPÍTULO 3. CASO PRÁCTICO	69
3.1. PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LOS PROYECTOS A DESARROLLAR.....	70
3.1.1. Proyecto Accesos Seguros – Sonae Arauco.	70
3.1.1.a. Alcance del proyecto Accesos Seguros – Sonae Arauco.....	70



3.1.1.b. Actividades, duraciones y relaciones de precedencia del proyecto Accesos Seguros – Sonae Arauco.	72
3.1.1.c. Recursos empleados para la realización del proyecto Accesos Seguros – Sonae Arauco.	77
3.1.2. Proyecto xCSS TOGG – AVL Ibérica.	78
3.1.2.a. Alcance del proyecto xCSS TOGG – AVL Ibérica.....	78
3.1.2.b. Actividades, duraciones y relaciones de precedencia del proyecto xCSS TOGG – AVL Ibérica.....	80
3.1.2.c. Recursos empleados para la realización del proyecto xCSS TOGG – AVL Ibérica.	85
3.1.3. Proyecto Transformación de Prensas API 151 → API 171 CPC – Michelin.....	86
3.1.3.a. Alcance del proyecto Transformación de Prensas API 151 → API 171 CPC – Michelin.	86
3.1.3.b. Actividades, duraciones y relaciones de precedencia del proyecto Transformación de Prensas API 151 → API 171 CPC – Michelin.	88
3.1.3.c. Recursos empleados para la realización del proyecto Transformación de Prensas API 151 → API 171 CPC – Michelin.	93
3.1.4. Proyecto Sistema de Limpieza para 5 Filtros – Lesaffre Ibérica S.A.	94
3.1.4.a. Alcance del proyecto Sistema de Limpieza para 5 Filtros – Lesaffre Ibérica S.A.	94
3.1.4.b. Actividades, duraciones y relaciones de precedencia del proyecto Sistema de Limpieza para 5 Filtros – Lesaffre Ibérica S.A.	96
3.1.4.c. Recursos empleados para la realización del proyecto Sistema de Limpieza para 5 Filtros – Lesaffre Ibérica S.A.	101
3.2. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA EN ENTORNOS MULTIPROYECTO.....	103
3.2.1. Identificación de la cadena y recursos críticos de la cartera de proyectos con Microsoft Project y reasignación de recursos.	110
3.2.2. Introducción de buffers para proteger la cadena crítica.	116
3.2.3. Control y seguimiento de la mejora que aportan los amortiguadores a la cartera de proyectos.....	122
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES.....	125
BIBLIOGRAFÍA	127



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA ENTORNO MULTI PROYECTOS. FUENTE: RECURSOS EN PROJECT MANAGEMENT (2023).....	20
FIGURA 2. DIMENSIONES DE UN PROYECTO. FUENTE: ATOM ACADEMY	22
FIGURA 3. ESTRUCTURA MATRICIAL DE UNA ORGANIZACIÓN. FUENTE: BUENO (2004)	23
FIGURA 4. ASPECTOS GENERALES DEL CONTEXTO MULTIPROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	24
FIGURA 5. BALANZA PROYECTO INDIVIDUAL - PROYECTO ENTORNO COMPARTIDO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	29
FIGURA 6. PRINCIPIOS DE LA METODOLOGÍA ÁGIL. FUENTE: MONTENEGRO SABOGAL, JIMENEZ LOZANO, CASTELBLANCO CARDENAS, Y LEON VEGA (2019).....	33
FIGURA 7. FASES DE LA METODOLOGÍA ITERATIVA. FUENTE: POZA, 2018.....	35
FIGURA 8. ESQUEMA DEL PPM. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	36
FIGURA 9. ELIYAHU M. GOLDRATT. FUENTE: SPEARHEAD (2020)	38
FIGURA 10. UTILIZACIÓN DE RECURSOS CON CAPACIDAD RESTRICTIVA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	40
FIGURA 11. POSIBLES COMBINACIONES DE CT CUELLO DE BOTELLA Y NO CUELLO DE BOTELLA. FUENTE: ARAÚZO, 2023	41
FIGURA 12. RELACIONES DEL SISTEMA EMPRESA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	43
FIGURA 13. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA PROGRAMACIÓN DBR. FUENTE: TOCLATINO (2018).....	48
FIGURA 14. MÉTODO DE PROGRAMACIÓN DBR. FUENTE: ARAÚZO, 2023.....	50
FIGURA 15. RELACIÓN Y ADAPTACIÓN DE LA TOC A CCPM. FUENTE: VÁZQUEZ GARCÍA, E. (2019).....	51
FIGURA 16. TIPOS DE RELACIONES DE DEPENDENCIA DE ACTIVIDADES. FUENTE: PMBOK, 2013	54
FIGURA 17. RED DE ACTIVIDADES SIN TENER EN CUENTA LIMITACIÓN Y DEPENDENCIA DE RECURSOS (ARRIBA) Y TENIÉNDOLA EN CUENTA (ABAJO). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	55
FIGURA 18. EJEMPLO DE INSERCIÓN DE UN BUFFER EN UN PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	57
FIGURA 19. EJEMPLO DE IMPLEMENTACIÓN DE UN BUFFER DE PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	58
FIGURA 20. EJEMPLO DE IMPLEMENTACIÓN DE UN BUFFER DE ALIMENTACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA....	59
FIGURA 21. EJEMPLO DE IMPLEMENTACIÓN DE BUFFERS DE RECURSO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	59
FIGURA 22. EJEMPLO DEL CRONOGRAMA DE UN PROYECTO MÁS COMPLEJO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	61
FIGURA 23. ESTADO ANTERIOR A LA CONSTRUCCIÓN DE LA PASARELA (IZQUIERDA) Y PREVISIÓN DEL PROYECTO TRAS SU FINALIZACIÓN (DERECHA). FUENTE: CUADERNO DE CARGAS DEL PROYECTO	70
FIGURA 24. TRÁMEX TIPO QUE HA DE MONTARSE EN EL PROYECTO. FUENTE: CUADERNO DE CARGAS DE PROYECTO	71



FIGURA 25. PARTE DEL CROQUIS DE LA BANCADA PARA EL CONDENSADOR REALIZADO POR LA EMPRESA. FUENTE: CUADERNO DE CARGAS DE PROYECTO	78
FIGURA 26. COLECTORES DEL EVAPORADOR. FUENTE: CUADERNO DE CARGAS DE PROYECTO	79
FIGURA 27. EJEMPLO TRAZADO TUBERÍA INTERCONEXIÓN. FUENTE: FOTOGRAFÍA TOMADA EN MONTAJE DE PROYECTO	79
FIGURA 28. PRENSA API 171CPC. FUENTE: CUADERNO DE CARGAS DE PROYECTO.....	87
FIGURA 29. SISTEMA FIREDOS QUE ACTUARÁ COMO PROPORCIONADOR DE ESPUMA. FUENTE: CUADERNO DE CARGAS DE PROYECTO	95
FIGURA 30. EJEMPLO DE SUMINISTRADOR DE ESPUMA Y ASPERSOR DE ACLARADO. FUENTE: FOTOGRAFÍAS TOMADAS EN CAMPO DURANTE EL MONTAJE.....	95
FIGURA 31. GANTT EN MICROSOFT PROJECT DEL PROYECTO 1 - ACCESOS SEGUROS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	104
FIGURA 32. GANTT EN MICROSOFT PROJECT DEL PROYECTO 2 – XCSS TOGG. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA ..	104
FIGURA 33. GANTT EN MICROSOFT PROJECT DEL PROYECTO 3 - PRENSAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	105
FIGURA 34. GANTT EN MICROSOFT PROJECT DEL PROYECTO 4 – LIMPIEZA FILTROS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	105
FIGURA 35. HOJA DE RECURSOS DEL FICHERO "BASE DE DATOS " RECURSOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA ...	106
FIGURA 36. INTRODUCIR Y VINCULAR GRUPO DE RECURSOS COMPARTIDOS A LOS PROYECTOS INDIVIDUALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	106
FIGURA 37. PLANIFICACIÓN DEL CONJUNTO DE PROYECTOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	107
FIGURA 38. GANTT DE LOS CUATRO PROYECTOS EN EL ENTORNO MULTIPROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	107
FIGURA 39. RECURSOS NECESARIOS PARA LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO 1 - ACCESOS SEGUROS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	108
FIGURA 40. RECURSOS NECESARIOS PARA LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO 2 – XCSS TOGG. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	108
FIGURA 41. RECURSOS NECESARIOS PARA LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO 3 – PRENSAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	109
FIGURA 42. RECURSOS NECESARIOS PARA LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO 4 – LIMPIEZA FILTROS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	109
FIGURA 43. MOSTRAR TAREAS CRÍTICAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	111
FIGURA 44. TAREAS CRÍTICAS DE LA CADENA DE PROYECTOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	111
FIGURA 45. COMANDOS PARA REDISTRIBUIR LOS RECURSOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	113



FIGURA 46. HOJA DE RECURSOS SIN SOBREALIGNACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....113

FIGURA 47. NUEVO DIAGRAMA DE GANTT SIN SOBREALIGNACIONES DE RECURSO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA
.....114

FIGURA 48. NUEVO DIAGRAMA DE GANTT SIN SOBREALIGNACIONES DEL PROYECTO 1-ACCESOS SEGUROS. FUENTE:
ELABORACIÓN PROPIA114

FIGURA 49. NUEVO DIAGRAMA DE GANTT SIN SOBREALIGNACIONES DEL PROYECTO 2-XCSS TOGG. FUENTE:
ELABORACIÓN PROPIA115

FIGURA 50. NUEVO DIAGRAMA DE GANTT SIN SOBREALIGNACIONES DEL PROYECTO 3-PRESAS. FUENTE:
ELABORACIÓN PROPIA115

FIGURA 51. NUEVO DIAGRAMA DE GANTT SIN SOBREALIGNACIONES DEL PROYECTO 4-LIMPIEZA FILTROS. FUENTE:
ELABORACIÓN PROPIA116

FIGURA 52. SITUACIÓN Y DURACIÓN DEL PRIMER BUFFER DE RECURSOS (BR1) EN LA CARTERA DE PROYECTOS. FUENTE:
ELABORACIÓN PROPIA118

FIGURA 53. SITUACIÓN Y DURACIÓN DEL SEGUNDO BUFFER DE RECURSOS (BR2) EN LA CARTERA DE PROYECTOS.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....118

FIGURA 54. SITUACIÓN Y DURACIÓN DEL PRIMER BUFFER DE PROYECTO (BP1) EN LA CARTERA DE PROYECTOS. FUENTE:
ELABORACIÓN PROPIA119

FIGURA 55. SITUACIÓN Y DURACIÓN DEL SEGUNDO BUFFER DE PROYECTO (BP2) EN LA CARTERA DE PROYECTOS.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....120

FIGURA 56. SITUACIÓN Y DURACIÓN DEL TERCER BUFFER DE PROYECTO (BP3) EN LA CARTERA DE PROYECTOS. FUENTE:
ELABORACIÓN PROPIA121



Universidad de Valladolid

Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería de Organización Industrial



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. COMPARATIVA DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS MULTIPROYECTO CONTRA PROYECTO INDIVIDUAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	28
GRÁFICA 2. GESTIÓN DE MULTIPROYECTOS CON MÉTODO DEL VALOR GANADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA ...	32
GRÁFICA 3. PASOS PARA EL PROCEDIMIENTO DE MEJORA CONTINUA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	45
GRÁFICA 4. SITUACIÓN IDEAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE CT SEGÚN SU CAPACIDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA ..	46



Universidad de Valladolid

Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería de Organización Industrial



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. EJEMPLOS DE EMPRESAS QUE UTILIZAN GESTIÓN MULTIPROYECTOS EN FUNCIÓN DEL SECTOR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	30
TABLA 2. VENTAJAS VS LIMITACIONES DEL CCPM. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	65
TABLA 3. COMPARACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS DE GESTIÓN DE PROYECTOS ATENDIENDO A SU ALCANCE, RECURSOS Y EVOLUCIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	67
TABLA 4. DIVISIÓN EN ENTREGABLES DEL PROYECTO "ACCESOS SEGUROS". FUENTE: PLANIFICACIÓN EMPRESA	73
TABLA 5. DURACIONES Y FECHAS DE LOS SUBENTREGABLES DEL PROYECTO "ACCESOS SEGUROS". FUENTE: PLANIFICACIÓN EMPRESA	74
TABLA 6. PLANNING MEDIANTE DIAGRAMA DE GANTT DEL PROYECTO "ACCESOS SEGUROS". FUENTE: PLANIFICACIÓN EMPRESA.....	76
TABLA 7. ENTREGABLES DEL PROYECTO "XCSS TOGG". FUENTE: PLANIFICACIÓN EMPRESA	81
TABLA 8. DURACIONES Y FECHAS DE LOS ENTREGABLES DEL PROYECTO "XCSS TOGG". FUENTE: PLANIFICACIÓN EMPRESA.....	82
TABLA 9. PLANNING MEDIANTE DIAGRAMA DE GANTT DEL PROYECTO "XCSS TOGG". FUENTE: PLANIFICACIÓN EMPRESA.....	84
TABLA 10. DIVISIÓN EN ENTREGABLES DEL PROYECTO "TRANSFORMACIÓN DE PRENSAS API 151 A API 171 CPC". FUENTE: PLANIFICACIÓN EMPRESA.....	89
TABLA 11. FECHAS DE LOS ENTREGABLES DEL PROYECTO "TRANSFORMACIÓN DE PRENSAS API 151 A API 171 CPC". FUENTE: PLANIFICACIÓN EMPRESA.....	90
TABLA 12. PLANNING DESGLOSADO EN AÑOS Y CONJUNTO, MEDIANTE DIAGRAMA DE GANTT, DEL PROYECTO "TRANSFORMACIÓN DE PRENSAS API 151 A API 171 CPC". FUENTE: PLANIFICACIÓN EMPRESA	92
TABLA 13. DIVISIÓN EN ENTREGABLES DEL PROYECTO "SISTEMA DE LIMPIEZA DE FILTROS". FUENTE: PLANIFICACIÓN EMPRESA.....	97
TABLA 14. DURACIONES Y FECHAS DE LOS ENTREGABLES DEL PROYECTO "SISTEMA DE LIMPIEZA DE FILTROS". FUENTE: PLANIFICACIÓN EMPRESA	98
TABLA 15. TABLA ACTIVIDADES PREDECESORAS DEL PROYECTO "SISTEMA DE LIMPIEZA DE FILTROS". FUENTE: PLANIFICACIÓN EMPRESA	99
TABLA 16. PLANNING POR SEMANAS MEDIANTE DIAGRAMA DE GANTT DEL PROYECTO "SISTEMA DE LIMPIEZA DE FILTROS". FUENTE: PLANIFICACIÓN EMPRESA.....	100



Universidad de Valladolid

Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería de Organización Industrial



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación.

En los últimos años, trabajar en ambientes donde se llevan a cabo varios proyectos al mismo tiempo con unos recursos compartidos ha revolucionado la idea de negocio de las empresas que buscan crecer y progresar. Dichos hábitats son conocidos como entornos multiproyecto y, pese a que su gestión no es sencilla, si se desarrolla de manera eficaz provoca una evolución suficiente para resaltar sobre la competencia.

Este Trabajo de Fin de Grado desarrolla el caso práctico real de una empresa con sede en Valladolid en la que se gestionan cuatro proyectos muy diferentes de manera simultánea en el tiempo y con unos recursos compartidos. Esta gestión implica un desafío debido a la necesidad de asignar y coordinar los recursos disponibles entre los proyectos de la manera más eficaz posible. Además, dado que cada uno de ellos tiene sus propias actividades, duraciones y requisitos de recursos específicos, la tarea de repartir los activos limitados de la organización de una manera efectiva va a suponer el éxito o el fracaso de los trabajos desarrollados.

Con el fin de repartir y asignar los recursos con los que cuenta la empresa de manera correcta en relación a los proyectos planteados, se va a utilizar el software Microsoft Project. Este programa es una herramienta ampliamente utilizada debido a sus capacidades para planificar, programar, y asignar recursos, así como realizar un seguimiento de actividades. Gracias a ella se obtendrá una visión clara y detallada de la mejor asignación posible de los recursos entre los cuatro proyectos a desarrollar dentro del entorno multiproyecto de la empresa, lo que permitirá la posterior toma de decisiones de manera documentada y precisa.

Sin embargo, la reasignación de los recursos por medio de un software de gestión de proyectos no es suficiente para asegurar un eficaz desarrollo de los trabajos en entornos compartidos, ya que la incertidumbre que generan estos ambientes es grande. Por ello, el método de la cadena crítica, de Eliyahu M. Goldratt, basado en la teoría de las restricciones, ayudará a contrarrestar los posibles retrasos y a certificar el éxito de los cuatro proyectos gestionados por la empresa.



Este método se centra en identificar las actividades más críticas que puedan afectar al desarrollo de la cartera de proyectos. Al utilizar esta teoría como base para gestionar los proyectos descritos, se podrán identificar las actividades que requieren especial atención y reajustar sus duraciones en función de los recursos disponibles.

Además, la aplicación de la metodología de la cadena crítica (Critical Chain Project Management CCPM), permite introducir amortiguadores (buffers), que actúan como actividades imaginarias que pueden contraerse cuando los trabajos emplean más tiempo del previamente planificado, absorbiendo así los retrasos que pudieran afectar a la finalización del proyecto teniendo en cuenta los recursos de los que dispone la organización.

1.2. Objetivos.

El desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo abordar el desafío de gestionar simultáneamente cuatro proyectos con recursos compartidos y limitados utilizando el software Microsoft Project y la teoría de la cadena crítica dentro de un entorno multiproyecto.

Se persigue proporcionar a la empresa una metodología práctica para gestionar proyectos de manera eficiente y mejorar las posibilidades de éxito en la entrega de los proyectos, dentro de unos plazos concienzudamente calculados y establecidos de manera documentada y justificada.

Como parte del camino, se pretende conocer en profundidad la metodología CCPM, así como valorar la distribución eficaz de los recursos disponibles y comprender la importancia de una buena gestión conjunta de la cartera de proyectos en la que se opera.

1.3. Contenido de la memoria.

Para cumplir con lo explicado en los apartados anteriores, el documento está estructurado en cuatro capítulos, de la siguiente manera:

Capítulo 1. Introducción: Es el presente capítulo. Se fijan las justificaciones y los objetivos que persigue el desarrollo de la memoria.



Capítulo 2. Estado del arte: En este capítulo se expone la contextualización del trabajo y una explicación de la temática principal. Es el capítulo en el que se fundamentan las bases teóricas del trabajo.

Muestra y define diferentes términos relativos a los entornos multiproyecto, ventajas y desventajas de moverse en entornos compartidos y algunas empresas, a base de ejemplo, que trabajan en estos ambientes. Finalmente se remarca los diferentes métodos de gestión de los entornos multiproyecto.

Por otro lado se define detalladamente el método de la cadena crítica basado en la teoría de las restricciones, prestando especial interés en el proceso y desarrollo de esta metodología.

Se realiza un análisis en profundidad de la gestión de los recursos compartidos y limitados en entornos multiproyecto a través de CCPM y, finalmente, se muestran las ventajas y limitaciones de esta teoría así como una comparación con otros métodos de gestión de proyectos.

Capítulo 3. Caso práctico: Se aplica esta metodología CCPM a la gestión de cuatro proyectos reales desarrollados simultáneamente a lo largo de mi periodo de prácticas extracurriculares.

Primero se definen detalladamente cada uno de los proyectos, indicando actividades, duraciones, relaciones de precedencia y recursos necesarios para desarrollar los trabajos.

Posteriormente se introducen los datos en Microsoft Project para utilizarlo como herramienta de gestión de proyectos e identificar la cadena crítica y los recursos críticos.

Por último, se insertan los amortiguadores en los lugares precisos, siguiendo los fundamentos teóricos del método de la cadena crítica y se comprueba que los resultados mejoren la actividad de gestión y desarrollo de los proyectos dentro de la cartera de proyectos de la empresa.

Capítulo 4. Conclusiones: Se realizarán algunos comentarios finales acerca del trabajo, indicando las aportaciones y utilidades de la metodología en la gestión de proyectos dentro de entornos multiproyecto, remarcando los requisitos que deben de cumplir y las limitaciones y condiciones que presenta este método.

Todo ello indicando las diferentes razones que soportan las afirmaciones concluidas.

Bibliografía: Se indican las fuentes de información consultadas para la elaboración de este documento.



Universidad de Valladolid

Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería de Organización Industrial



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Contextualización previa.

Este documento surge de la necesidad de encontrar una solución al problema de un gran número de empresas que, a la hora de llevar a cabo sus funciones y gestionar los recursos y capacidades de los que disponen, deben valorar más de un proyecto al mismo tiempo.

Hace un tiempo, se entendía que gestionar y desarrollar un proyecto era una tarea individual y que debía llevarse a cabo de manera única y separada de las demás actividades y/o proyectos. Sin embargo, la realidad a día de hoy es muy diferente. Cada vez, un mayor número de organizaciones precisa evaluar y controlar diferentes trabajos de manera simultánea.

El principal inconveniente es la gran variabilidad e incertidumbre de los entornos en los que se manejan dichas empresas y, donde además, los recursos no solo han de repartirse, sino también compartirse. A esto se le une el hecho de que, en ocasiones, las empresas se encuentran afianzadas en una base mono-proyecto, focalizando todos sus recursos a un único trabajo, lo que dificulta la adaptación a esta nueva manera de gestión, que es el futuro de todas las organizaciones con ambición de crecimiento.

Como indica Goldratt en su obra *La Meta* (2010) *“Los métodos tradicionales de gestión de proyectos no consideran la influencia del comportamiento humano ni las causas ni implicaciones de la variabilidad”*.

La cita anterior, del creador de la **Teoría de las Restricciones – TOC** (que desarrollaremos más adelante) confirma que estas bases y métodos tradicionales difieren de los objetivos de las empresas que buscan afianzarse en una posición de privilegio. Esta adaptación es una exigencia de mercado a día de hoy, por lo que es indispensable no descuidar la productividad en el trabajo y no perder el foco y objetivo de cada uno de los proyectos que estemos gestionando.

Previo a analizar y aplicar diferentes herramientas que puedan ayudar a la organización a desenvolverse en estas situaciones debemos conocer con más exactitud qué son entornos multiproyectos y cómo debemos preparar a la empresa para hacerles frente.

2.2. Conceptos relacionados con entornos multiproyecto.

2.2.1. Entornos multiproyecto.

Los proyectos están considerados como la base de las empresas, pues a través de ellos se afrontan todos los retos de las mismas, ya sea el lanzamiento de nuevos productos, innovación, mejora continua... Es por ello que conocerlos y saber gestionarlos es uno de los objetivos principales de las empresas competitivas.

Sin embargo, lo que realmente aporta valor a una empresa es el hecho de ser capaz de convivir con más de un proyecto, que además tendrán un nivel de complejidad variable y que han de ser desarrollados con capacidades limitadas, cumpliendo los requisitos de coste, plazo y calidad de cada uno de ellos y manteniendo en el tiempo la habilidad de priorizar y organizar adecuadamente los recursos existentes. A este tipo de empresas se las denomina **empresas multiproyecto**.

Como consecuencia de lo mencionado anteriormente y, tras más de dos décadas de estudio y desarrollo de este nuevo enfoque, se obtiene la definición de **entorno multiproyectos**, que es aquel “donde varios proyectos se están ejecutando simultáneamente, usando para ello un conjunto limitado de recursos” (Araújo, Galán, Pajares y López, 2009), y con una interdependencia que provoca un efecto dominó, es decir, las decisiones que se tomen sobre uno de ellos afectará al resto (Figura 1).

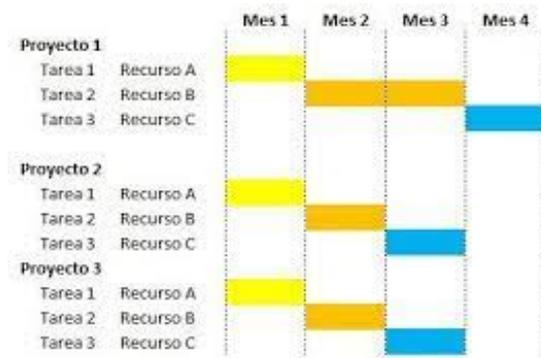


Figura 1. Representación gráfica entorno multi proyectos. Fuente: Recursos en Project Management (2023)



Hay que destacar que, por encima de los proyectos individuales que conforman las empresas y sus objetivos propios, se encuentra el entorno, que tiene un rango superior, por lo que todos los proyectos han de colaborar por el bien de la organización y luchar por conseguir los objetivos comunes de la empresa.

Es por eso que la gestión de estos entornos sea extremadamente difícil y desafiante, pues a la complejidad que caracteriza a los proyectos, intensificada en ambientes multiproyectos, el elevado grado de incertidumbre y a su comportamiento dinámico, debemos añadir la necesidad de organizar cada uno de los proyectos en el mismo intervalo de tiempo y bajo el objetivo primario de la propia empresa (Díaz Rizo, 2009).

Si bien es cierto que el problema aumenta, el entorno multiproyectos se ha afianzado tanto en la actualidad, que se aproxima que un 90% de los proyectos se llevan a cabo bajo el contexto multiproyecto (Turner, 2008), y el 84% de las empresas desarrolla múltiples proyectos al mismo tiempo (Lova, Maroto y Tormos, 2000).

La siguiente cuestión a plantearse es, ¿existe un único tipo de entorno multiproyectos?

Pues según los estudios de Danilovic y Börjesson (2001), existen tres tipos, **Convergente**, **Divergente** y **Paralelo**, que describiremos muy brevemente a continuación.

- Tipo 1. Convergente: La distancia entre un subproyecto y un proyecto de mayor envergadura es pequeña, pudiendo intercambiarse unos por otros en función de la situación.
- Tipo 2. Divergente: Los diferentes proyectos comparten tecnologías, referencias, o incluso decisiones de negocio.
- Tipo 3. Paralelo: Este es el caso más común y en el que vamos a centrarnos a lo largo de este documento. Los proyectos son independientes unos de otros, pese a que compartan recursos, mano de obra, conocimientos, o incluso tengan el mismo jefe de proyecto. Es por eso que este enfoque está basado en los recursos utilizados y no en los resultados de los mismos.

Como se ha comentado, los entornos multiproyectos son muy complejos y tienen varias trabas que los jefes de proyecto deben solventar y superar para alcanzar los objetivos planteados en cada una de las dimensiones esenciales de todos los proyectos, indicadas en la Figura 2:



Figura 2. Dimensiones de un proyecto. Fuente: Atom Academy

Según Payne (1995), existen 5 problemas fundamentales a los que se deben enfrentar los jefes de proyecto que trabajen en entornos multiproyectos, y que se deben conocer antes de poder definir herramientas útiles de gestión, que es el fin de este trabajo.

1. La **capacidad**, relacionada con la aptitud de la organización para proporcionar los recursos necesarios y suficientes. Según la experiencia de Payne, el equilibrio entre la necesidad y la disponibilidad de los recursos es muy difícil de lograr y, además, la empresa no puede permitirse tener excesivos recursos ociosos si quiere ser funcional. Esto provoca un dilema en la gestión de estos proyectos. ¿Es mejor trabajar con lo justo, confiando en lo planificado, o asumir que habrá trabajo adicional y así evitar que se escape dinero? Pues bien, según datos de Spühler y Biagini (1990), raramente se va a encontrar una compañía que no oferte más proyectos de los que es capaz de afrontar con sus recursos actuales. Para ajustar la capacidad existen varios métodos, pero se ha probado que el más efectivo es el de trabajar horas extras, que se explicará detalladamente más adelante.

2. Otro de los problemas importantes a la hora de gestionar entornos multiproyectos es el **conflicto**, bajo tres circunstancias fundamentales, los problemas entre personas, problemas de sistemas y problemas de la organización y que se acentúa en estos entornos tan complejos. Entre personas el conflicto aparece cuando un nuevo empleado, generalmente de rango elevado, se introduce en la empresa y modifica la manera de trabajar de los subordinados, lo que provoca malestar. Esto en organizaciones multiproyectos es más habitual, pues a menudo se precisan especialistas para determinados proyectos. En relación a los sistemas, las fuentes de problemas son la estructura de prioridades y los procesos de programación del trabajo, afectados por la percepción de importancia que el gestor otorga al proyecto.

Este inconveniente es comúnmente solucionado con aportación de alicientes, pero las empresas que realmente evolucionan son las que instauran sistemas de incentivos fundamentados en

objetivos organizacionales y no individuales a cada proyecto. Por último, los conflictos originados por la organización surgen de una mala estructura matricial de la misma, pues pese a que una empresa con disposición matricial (Figura 3), que son las que se desarrollarán en este documento, tiene muchas ventajas en la asignación eficiente de recursos a multiproyectos, se precisa de un objetivo común bien definido para que los proyectos individuales no decidan “ir por libre” y olviden que lo más importante es el entorno, y no sus propios beneficios independientes (Hernández Navarro, 2014; IE University, 2017; Recursos en Project Management, 2023).

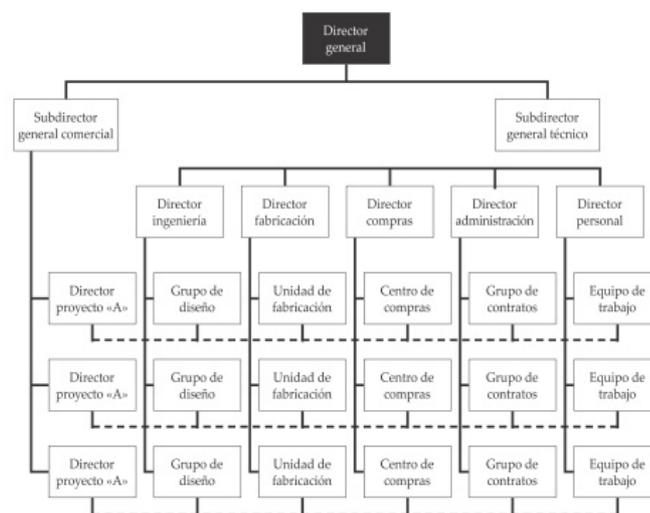


Figura 3. Estructura matricial de una organización. Fuente: Bueno (2004)

3. El **compromiso** es el tercer factor problemático de los entornos multiproyectos, y relaciona el compromiso de los trabajadores y los proveedores de recursos con el proyecto en cuestión. Pese a que el tamaño del proyecto, fundamentalmente en lo económico, determina su importancia y ésta su compromiso, la empresa debe saber gestionar su énfasis hacia los objetivos organizacionales. Por otro lado, el tamaño de la organización es relevante, pues no es lo mismo el compromiso al que se debe enfrentar un trabajador de una pequeña empresa que un empleado de una gran corporativa. Los proveedores de recursos deben tener el compromiso de elegir entre la mejor opción para el cliente. Ya sea siendo ellos los suministradores, o aceptando la responsabilidad de realizar la totalidad de la tarea ellos mismos. Este compromiso debe orientarse hacia el requisito de trabajar más eficientemente. Además, la falta de responsabilidad de los trabajadores, originada por

diferentes factores como el traslado de un proyecto a otro, es un efecto muy negativo sobre el compromiso.

4. El **contexto** es un inconveniente relacionado con el escenario de los proyectos a realizar, la cultura, el comportamiento o los procedimientos de los grupos a los que afecta dicho proyecto, entre los que diferenciamos también personas, sistemas u organización. Como es lógico, la estructura de un proyecto grande es muy diferente a la de uno pequeño y la forma de abordarlo es muy diferente. Lo mismo ocurre con la cultura de la empresa, pues una organización orientada a un único proyecto es mucho más estable, mientras que las instituciones multiproyectos tienen una cultura muy volátil y en constante cambio. Los problemas de contexto de los sistemas incluyen los relacionados con la aceptación y selección de los proyectos a los que opta la empresa, es decir, si se diera caso de que la organización oposite a veinte proyectos y se le concedieran todos ellos, es indispensable contar con un proceso formal y estandarizado de selección de proyectos, para evitar comprometerse a más de lo que puede realizar. Según la experiencia de Payne, este es uno de los errores más graves en entornos multiproyectos. Aparte del proceso de selección de proyectos, es muy importante analizar correctamente el contexto (Figura 4) para contar con un método de asignación de prioridades, pues en estos entornos tan complejos, la duración se puede ver fuertemente afectada si se decide priorizar un proyecto a otro cuando debería ser al revés.

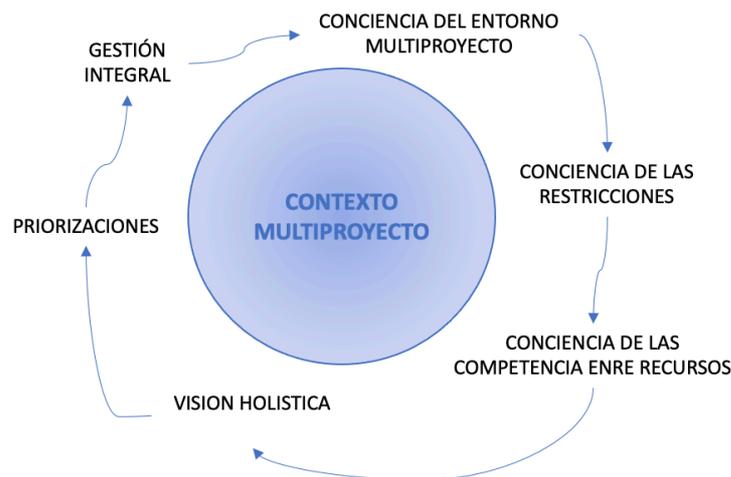


Figura 4. Aspectos generales del contexto multiproyecto. Fuente: Elaboración propia



Con datos podremos entenderlo mejor. Según una encuesta de Johnson (1992), que ofertaba un paquete de 110 actividades a asignar a un proyecto, se observó que los resultados presentados por los diferentes gerentes fueron muy diferentes. El mejor de los resultados incluso se desviaba un 5% de la duración óptima. Y en este caso se trabajaba con un único proyecto, por lo que, si en general no somos capaces de gestionar perfectamente un proyecto individual, ¿cómo se podrá alcanzar una duración aceptable en entornos multiproyecto? Se verá a lo largo del documento.

En lo relativo a la organización, el contexto incluye el método de elección de la estructura de la empresa, su posicionamiento en el entorno e incluso el posicionamiento de los proyecto dentro de la propia estructura de la empresa.

5. Como último problema fundamental de los entornos multiproyecto tenemos la **complejidad**, que, simplificando un poco relaciona las múltiples interfaces entre proyectos y sus partes involucradas. Parece evidente que cuantos más proyectos se desarrollen, más complejo será el entorno, pero es igual de importante valorar el grado de integración de los mismos dentro de la empresa, ya sea la integración deseable o práctica. Los factores a destacar son los siguientes:

- Dependencias: Cada proyecto puede tener sus propias dependencias y requerir diferentes versiones de las mismas. Esto puede generar conflictos cuando se intenta integrar los proyectos en un mismo entorno compartido.
- Comunicación y coordinación: Es necesario que los equipos de diferentes proyectos se comuniquen y coordinen para evitar problemas de solapamiento de tareas o de interferencia en el trabajo.
- Complejidad técnica: Es posible que se deba trabajar con diferentes tecnologías y herramientas. Esto aumenta la complejidad técnica, ya que los equipos deben estar familiarizados con varios métodos y herramientas y ser capaces de integrarlas de manera efectiva.
- Dificultad en el control de calidad: Cuando se tienen varios proyectos en el mismo entorno, es posible que se requieran diferentes criterios de calidad para cada uno de ellos. Esto dificulta la definición de criterios de calidad comunes y la realización de pruebas y validaciones.

Se puede concluir por tanto que el entorno multiproyectos presenta unos desafíos muy elevados en la gestión de recursos y dependencias, coordinación de equipos, control de capacidades y complejidad técnica y de calidad. Sin embargo, es muy importante saber gestionarlos y

desarrollarlos adecuadamente, pues son el presente y futuro de las empresas en crecimiento y con perspectivas de éxito.

¿Cuáles son las principales ventajas que aporta saber gestionar un entorno multiproyecto frente a un proyecto individual? ¿Merece la pena el tiempo y esfuerzo o se puede tener el mismo éxito desarrollando proyectos por separado? ¿Los contras que presentan los entornos compartidos pesan más que el beneficio que aportan?

Estas son preguntas que cada organización ha de sopesar y valorar por sí mismas para decidir en qué ámbitos se mueve. A continuación se presentarán las ventajas y desventajas de estos ambientes, pero teniendo en cuenta el enérgico potencial actual de los entornos multiproyecto, la respuesta a dichas preguntas parece obvia.

2.2.2. Ventajas y desventajas de entornos multiproyecto frente a proyectos individuales.

Una vez se conocen los problemas de los entornos compartidos, al igual que el valor añadido que estos aportan, es hora de evaluar qué es mejor para la empresa y si el beneficio que generan contrarresta el esfuerzo empleado.

A la hora de **comparar la gestión de entornos multiproyecto con la gestión de un proyecto individual**, encontramos varios pros y contras que ayudan a decidir el contexto donde la organización prefiere moverse.

VENTAJAS.

- Mayor eficiencia en el uso de recursos: Debido a que las diferentes herramientas y métodos de la empresa se utilizan para varios proyectos, la rentabilidad que se obtiene de los mismo es mayor.
- Mayor flexibilidad: Las propiedades de estos entornos cambiantes provoca que los equipos se adapten más rápidamente a las necesidades del negocio.
- Mejor coordinación: Para evitar el solapamiento de las tareas y asegurar el cumplimiento de todos los proyectos, la comunicación y la coordinación entre equipos es constante, lo que mejora la calidad de los trabajos y la satisfacción del cliente.



- Conocimiento técnico más amplio: Compartir recursos entre proyectos tiene su ventaja, y es que los equipos adquieren mejores capacidades al trabajar con diferentes tecnologías, ayudando a la resolución de los problemas.
- Mayor oportunidad de aprendizaje: Los diferentes participantes de un proyecto colaboran con los demás trabajadores, compartiendo sus buenas prácticas y aprendiendo unos de otros.
- Reducción de costos: Desde el punto de vista de la empresa, el hecho de compartir recursos y coordinar esfuerzos optimiza el tiempo invertido y reduce los costos.
- Se mantiene el conocimiento: Las técnicas usadas en otros proyectos puede ayudar a los demás.

DESVENTAJAS.

- Recursos limitados para los proyectos: Los recursos de los que posee la empresa no se destinan únicamente a un proyecto, si no que han de repartirse entre todos, estableciéndose prioridades.
- Elevado grado de incertidumbre: El conjunto de proyectos está sometido a la imposibilidad de su definición debido a la inestabilidad del entorno, lo que puede generar imprevistos.
- Secuencia de actuaciones no lineales: El “salto” de un proyecto a otro puede provocar que las intervenciones sean forzadas y se necesite mecanismos “de vuelta atrás”.
- Repercusiones entre fases: Debido a la interrelación entre proyectos, los avances de una fase a otra pueden repercutir en las posteriores y en las de otros proyectos.
- Elevada competitividad entre proyectos.

Para comprender la comparativa entre los diferentes métodos de gestión según el entorno de una manera rápida y más gráfica, se puede representar un esquema (Gráfica 1) que enfrente las ventajas y las desventajas de los proyectos individuales y los entornos multiproyectos.



Gráfica 1. Comparativa de las ventajas y desventajas multiproyecto contra proyecto individual. Fuente: Elaboración propia

Y, si finalmente se dispusiera en una balanza el conjunto de características de los entornos con un proyecto y los multiproyectos vistas anteriormente, se observaría que con una adecuada gestión como base, los resultados que ofrecen los entornos compartidos “pesan más”, son más satisfactorios y generarán un mayor crecimiento y beneficio para la empresa (Figura 5).



Figura 5. Balanza proyecto individual - proyecto entorno compartido. Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Ejemplos de empresas que gestionan entornos multiproyectos.

Los entornos multiproyecto son los más recurrentes en la actualidad y podemos apreciar su gestión en multitud de empresas, aun de sectores diferentes (Tabla 1), incluso en el apartado más comercial de lanzamiento de nuevos productos al mercado. Por ejemplo, una empresa cervecera lanza al año cientos de proyectos ya que, pese a que la cerveza sea la misma, el envase, el packaging o cualquier otro elemento provoca que se gestionen como proyectos diferentes dentro de la misma compañía.

En el ámbito de la ingeniería, son un buen ejemplo las empresas de mantenimiento de equipos. Por ejemplo, la compañía que desarrolla el mantenimiento de Iberia utiliza la gestión multiproyectos para el mantenimiento de los aviones debido a la amplia variabilidad e incertidumbre sobre el problema que pueda existir en cada caso.

Dentro de las empresas tecnológicas como IBM o Siemens se desarrollan softwares propios de gestión multiproyectos para la colaboración entre equipos de trabajo y seguimiento de errores, como son Rational Team Concert o OpenProject respectivamente

Otro ejemplo evidente de empresas multiproyecto puede ser las constructoras, ya sea de gran tamaño o más pequeñas. A menudo estas organizaciones tienen varios proyectos de construcción en marcha al mismo tiempo, cada uno con diferentes plazos, presupuestos y objetivos.

Las empresas del sector de la automoción están en una situación parecida, pues es posible que en determinados momentos del año o de la historia, cuando se precisen más cambios en el sector, se deban desarrollar cientos de productos distintos simultáneamente para adaptarse al cambio.

Empresas que utilizan gestión multiproyectos en diferentes sectores	
Sector	Empresas
Sector servicios	 
Ingeniería	 
Tecnología	 
Contrucción	 
Automoción	 

Tabla 1. Ejemplos de empresas que utilizan gestión multiproyectos en función del sector. Fuente: Elaboración propia

Como es evidente y basándonos en los diferentes ejemplos anteriores, cada empresa tendrá sus propias necesidades y requisitos específicos, y la gestión efectiva de múltiples proyectos puede ser diferente y variable hasta alcanzar el éxito. Sin embargo, las décadas de estudio y experiencia en estos nuevos ambientes, provocan la necesidad de encontrar una solución óptima en forma de herramienta o método para gestionarlos, al menos en su gran mayoría.



2.2.4. Métodos de gestión multiproyectos.

Como se ha comentado y detallado en los apartados anteriores, en el nuevo ambiente caprichoso en el que están destinadas a moverse todas empresas coexisten varios problemas, lo que ha sugerido que algunos autores y expertos definan y desarrollen diferentes métodos para paliar estas dificultades.

A continuación se expondrán algunos de los métodos más utilizados para gestionar los multiproyectos resumiendo su funcionamiento, marco teórico, ventajas, inconvenientes, diferencias, etc.

- **Priorización con Valor Ganado.**

Este método se basa en la premisa de que los datos históricos de los proyectos que se están desarrollando son unos indicadores adecuados para el progreso futuro de los mismos (ITM Platform, 2010). Además, debido al conocimiento de datos antiguos, no solo se puede aproximar la situación actual, si no que se pueden hacer simulaciones y estimaciones de situaciones posteriores.

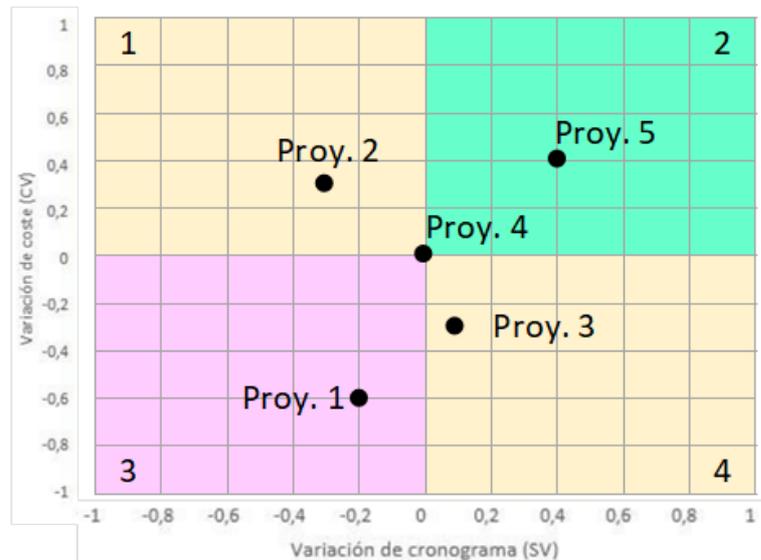
Por otro lado, es posible realizar comparaciones de plazo y coste simultáneamente mediante diferentes parámetros:

Variación de costes (CV): Calculado como la distancia en porcentaje del valor actual al valor ganado. $CV = (\text{Valor Ganado} - \text{Valor Actual}) / \text{Valor Ganado}$. Si es positivo, el proyecto ahorra dinero, si es igual a cero, se sigue la línea planificada y, en caso que sea negativo, existen sobrecostes.

Variación del cronograma (SV): Se calcula de la misma manera que la variación de costes, es decir, $SV = (\text{Valor Ganado} - \text{Valor Planificado}) / \text{Valor Ganado}$. Dependiendo si es positivo o negativo el proyecto va adelantado o retrasado respectivamente respecto a lo planificado.

En caso que tengamos, por ejemplo, 5 proyectos diferentes en paralelo, éste método ayudará a decidir cuáles son prioritarios y a elegir una asignación de relevancia de actividades. Gráficamente, la empresa debería buscar los proyectos que se encuentren en el área verde de la Gráfica 2, pues son los que se encuentran mejor planificados en relación al coste y plazo.

Los recursos también se priorizan siguiendo dicha gráfica, destinando tiempo a los proyectos que tienen un $SV < 0$ y recursos económicos a los que presenten un $CV < 0$, siempre "a costa" de los que llevan ventaja respecto a lo planificado.



Gráfica 2. Gestión de multiproyectos con método del Valor Ganado. Fuente: Elaboración propia

Las ventajas que presenta este método son que es muy sencillo, rápido de analizar y muy visual, haciendo que la asignación de recursos sea prácticamente inmediata. Sin embargo, sólo tiene en cuenta aspectos económicos y relativos al plazo, lo que limita su análisis impidiendo valorar otros aspectos muy importantes, como los factores políticos, comerciales, de calidad...

- **Enfoque Ágil.**

Se puede definir como el conjunto de principios y buenas prácticas para la gestión de un proyecto. Sigue unas directrices y objetivos definidos por un grupo de expertos (Hadida y Troilo, 2020) que, en resumen, centra el desarrollo de los proyectos en la entrega rápida de elementos funcionales completos. Se basa en proporcionar entregables de manera continuada y definidos al comienzo de los "sprints", que tienen una duración determinada.

Este método permite ajustar el producto al final de cada entregable, lo que facilita la consecución de objetivos y el cumplimiento de necesidades del cliente. Se utiliza para proyectos que requieren rapidez y flexibilidad, lo que encaja perfectamente en los entornos multiproyecto.

Se utilizan herramientas muy diversas, en función del sector de la empresa, como pueden ser Scrum, Kanban, XP-Extrem Manufacturing, Lean, SAFe...

En los entornos compartidos, seguir este procedimiento de gestión tiene mucho valor, pues el trabajo a realizar en cada proyecto se define de manera muy exhaustiva, con revisiones sistemáticas en hitos, lo que ayuda a redirigir los proyectos que no vayan bien o a asignar los recursos de manera más inmediata. Además, se considera al cliente como parte del equipo, por lo que está informado en cada paso que da el proyecto y puede opinar si algo no va según lo deseado.

Sin embargo, tiene su lado negativo, pues esta interacción facilita los constantes cambios y la generación de soluciones erróneas. Por otro lado, se produce una elevada dependencia del cliente y su aprobación.

Es un método muy válido cuando los proyectos son de organización empresarial, o donde el cliente es la propia empresa, pues el beneficiado y el jefe de proyectos tienen objetivos comunes.

La Figura 6 resume el Enfoque Ágil.

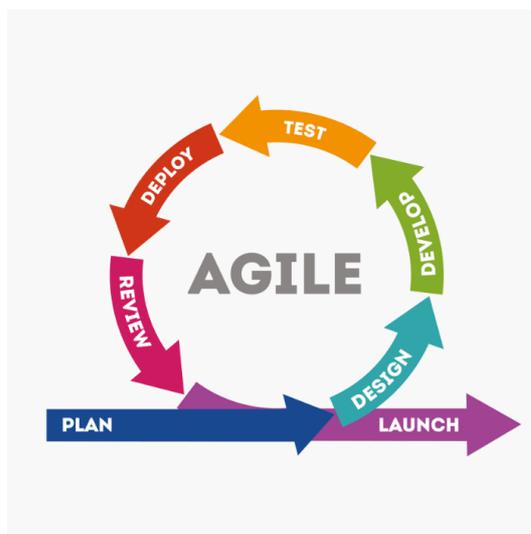


Figura 6. Principios de la metodología ágil. Fuente: Montenegro Sabogal, Jimenez Lozano, Castelblanco Cardenas, y Leon Vega (2019)

- **Técnicas Heurísticas.**

Debido a la complejidad de los entornos multiproyectos y a la problemática de la calendarización y distribución de recursos, se han dedicado muchos esfuerzos de expertos al desarrollo de técnicas heurísticas. La mayoría de dichos métodos basan sus fundamentos teóricos en el método de la cadena crítica (CPM: Critical Path Method) y la técnica de revisión y evaluación de programas (Program Evaluation and Review Technique: PERT). En ellos se calcula la prioridad de las actividades en base a una acción precedente y buscando la actividad posterior que añada menos duración al proyecto en cuestión, buscando el camino crítico.

Otra de las posibles técnicas heurísticas se basa en el perfeccionamiento de la técnica tradicional de Mayor Demanda de Recurso, que asigna la priorización de las actividades en función de las demandas totales de recursos, siendo las primeras las que tengan una demanda mayor. Con este método se trata de dar prioridad a los proyectos o actividades que puedan generar cuello de botella en los recursos de la empresa.

Como conclusión, en entornos multiproyectos, la utilización de heurísticas puede ayudar a mejorar la gestión, pero no ofrece una solución eficaz, pues cada proyecto se lleva a cabo de manera muy diferente, las unidades nunca serán las mismas como para poder implantar fórmulas y puede llegar a ser más laborioso la formulación de la heurística que la implantación y revisión, por lo que no merecería mucho la pena.

- **Metodología Iterativa.**

Este método consiste en la revisión y retroalimentación constante del proyecto, aunque no se encuentre todavía finalizado, lo que permite agilizar los requisitos. Según Poza (2018), *“el modelo de trabajo utilizado se basa en iteraciones que a su vez se componen de actividades secuenciales de análisis, desarrollo, pruebas y posibles entregas parciales”* (Figura 7).



Figura 7. Fases de la Metodología Iterativa. Fuente: Poza, 2018

Este método resulta más útil para gestionar los entornos compartidos que las técnicas heurísticas, pues ayuda a mantener una buena comunicación entre los proyectos y con el cliente, además de no tener la necesidad de definir los requisitos al principio del proyecto, lo que en las empresas multiproyectos es uno de los problemas más importantes y difíciles de tramitar. Sin embargo, se podría dar el caso de que el cliente no tenga claro lo que quiere, lo que afectaría al desarrollo del proyecto, degenerándolo.

- **Modelo de gestión de cartera de proyectos (PPM).**

La gestión de la cartera de proyectos (PPM: Project Portfolio Management) evalúa los proyectos primero por sus posibles riesgos y éxitos y posteriormente asigna recursos y plazos de manera que se logre optimizar el ejercicio global de la empresa. El desarrollo de este método es continuo y **centralizado**, permitiendo solucionar los problemas que pueden afectar a los proyectos en el momento adecuado, al mismo tiempo que se vigilan las metas generales de la organización.

La principal herramienta de gestión de esta técnica es realizar las preguntas adecuadas para establecer un proceso continuo de evaluación.

- ¿El proyecto sigue la estrategia de la empresa?
- ¿Existen redundancias en el proyecto que impiden que trabaje en otro?
- ¿Tengo recursos disponibles para ejecutar el proyecto?
- ¿Es realista la asignación de un proyecto más?
- ¿Es adecuado seguir con el proyecto en este momento?
- ¿Qué proyecto tiene más urgencia?

Hacerse estas preguntas es la técnica más frecuente, pero el modelo incluye otras herramientas, tales como establecer un modelo de puntuación, desarrollar una matriz de objetivos, análisis costo-beneficio... Cada una de las anteriores será adecuada para un tipo de empresa, pero siempre manteniendo el foco global de “hacer los proyectos correctos”.

Como se muestra en la Figura 8 el desarrollo del PPM incluye la gestión de proyectos individuales y la de programas, que son una colección de proyectos relacionados entre sí. Es decir, la cartera de proyectos es capaz de desarrollar no solo proyectos con objetivos comunes, sino también los que son independientes de los demás, pero valorando el conjunto organizacional.



Figura 8. Esquema del PPM. Fuente: Elaboración propia

Las principales ventajas de este método en entornos multiproyectos son:

- La toma de decisiones se enfoca en hitos y no en aspectos subjetivos.
- Es más fácil retroceder para valorar cómo los arreglos afectarán a los riesgos.
- Se proporciona un entorno colaborativo y no competitivo, aumentando la eficiencia de recursos.

Sin embargo, esta herramienta, también tiene algún inconveniente importante, como pueden ser:

- La toma de decisiones puede ser complicada por la priorización.
 - La experiencia de los jefes de proyecto suele quedar en un segundo plano.
 - Las soluciones software de gestión PPM son bastante caras.
-



Pese a la existencia de infinidad de métodos y herramientas de gestión de entornos multiproyectos, el más utilizado, el que más reconocimiento tiene a nivel global y el que ofrece los mejores resultados es el **Método de la Cadena Crítica basado en la Teoría de las Restricciones (TOC)**. Este modelo de dirección multiproyectos se explicará con detalle en el siguiente punto de este trabajo, pues es la base teórica del mismo y la guía que se va a seguir para mejorar la gestión y desarrollo de casos prácticos de planes de proyecto en entornos colaborativos.

2.3. Método de la Cadena Crítica basado en la Teoría de las Restricciones (TOC).

2.3.1. La Teoría de las Restricciones (TOC).

2.3.1.a. Fundamentos y bases de la Teoría de las Restricciones (TOC).

Esta teoría es la base del método de la cadena crítica y en ella se fundamentan los proyectos que se van a ver en este trabajo. “Una cadena es tan fuerte como lo sea el más débil de sus eslabones”. Esta famosa frase es utilizada en muchos ámbitos distintos, sin embargo, en la gestión de proyectos adquiere una dimensión muy importante. La Teoría de las Restricciones o Theory Of Constraints (TOC) se basa en dicho proverbio, facilitando la identificación del eslabón más débil de un proyecto y mejorándolo para fortalecer así el proyecto en su conjunto (Moura y Barnard, 2010).

Fue creada por el físico israelí Eliyahu M. Goldratt (Figura 9) y formulada por primera vez en su libro La meta (1984). En este best-seller, Goldratt identifica los cuellos de botella como el factor limitante más grande que impide el crecimiento de las empresas y la teoría de las restricciones como la solución para gestionarlos. Se define esta hipótesis como una metodología de resolución de problemas que permite a la organización identificar el factor limitante que se te interpone en la consecución de las metas de un proyecto. Dicho factor limitante es lo que se denomina restricción. Pese a que pueden existir varias restricciones, el objetivo de la TOC es identificar la que más impacto tiene para mejorarla (Asana a, 2022;).



Figura 9. Eliyahu M. Goldratt. Fuente: SPEARHEAD (2020)



2.3.1.b. Principios de la Teoría de las Restricciones.

Existen **8 principios básicos** de la TOC, enumerados por Goldratt, los cuales es importante conocer para no cometer errores a la hora de identificar, controlar y resolver las restricciones limitantes de los proyectos (Aguilera, 2000; Grados, 2004; Mogrovejo y Ormaza 2015).

I. Balancear el flujo.

Este principio indica que se debe equilibrar el flujo de producción, no la capacidad productiva. Muchas veces se comete el error de intentar ajustar la capacidad de un centro de trabajo (CT) a la demanda, lo que puede provocar fluctuaciones estadísticas. Debido a la conexión e interrelación de los centros de trabajo, un error en un CT puede producir una repercusión en cadena sobre los demás. De ahí la necesidad de priorizar el balance del flujo productivo frente a la capacidad. Para ello es importante trabajar teniendo en cuenta *los cuellos de botella* como punto de partida, es decir *los puntos donde los recursos utilizados limitan el flujo de la empresa*.

II. Utilización y activación de un recurso no es lo mismo.

Según la teoría de las restricciones, la activación de un recurso no implica que la empresa genere beneficio o mejores sus resultados, simplemente podría conducir a la ineficiencia, pues consiste en el uso de recursos no restrictivos en una cantidad mayor de la requerida por los restrictivos. Por ejemplo, se va a suponer que existe una empresa maderera con dos departamentos (Figura 10). El departamento A es capaz de talar 100 árboles diarios, pero el departamento B solo puede quitarle la corteza a 50 árboles al día, por lo que es un recursos con capacidad restrictiva. Si el departamento A funciona con toda su capacidad lo único que produciría sería una acumulación de stock, como se muestra en la Figura 10, lo que genera pérdidas a la empresa y por lo tanto no se estaría trabajando de manera eficiente.

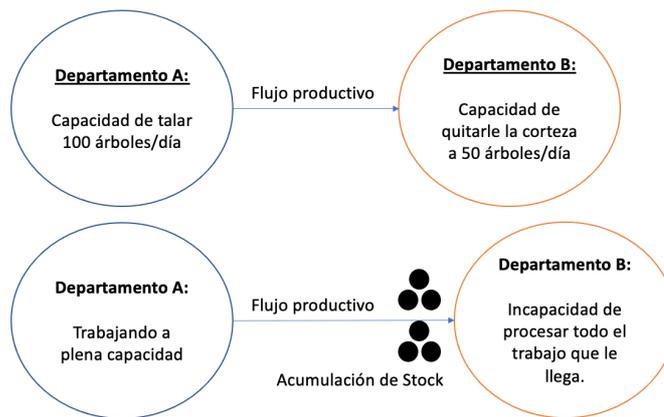


Figura 10. Utilización de recursos con capacidad restrictiva. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el concepto de utilización de un recurso se refiere al uso de un recurso no restrictivo siguiendo la capacidad del principal recurso restrictivo en el flujo productivo. En el ejemplo de la empresa maderera, esto ocurre si el departamento A solo tala 50 árboles al día, como consecuencia de la capacidad restrictiva del departamento B y pudiendo únicamente aumentar su producción cuando el segundo departamento mejore su capacidad. Esto provoca que no se acumule stock en el proceso, que los beneficios de la empresa aumenten y que la eficiencia de los recursos sea más cercana a la máxima.

III. El nivel de utilización de un recurso no restrictivo no es determinado por su propio potencial sino por la restricción del sistema.

Básicamente éste principio define que los recursos con capacidad limitada, al igual que la demanda de mercado, son los parámetros básicos de la generación de restricciones. De esta manera, la empresa debe gestionarse en base a dichos elementos. En la Figura 11 se ven algunos ejemplos de diferentes CT y su capacidad, siendo recursos cuello de botella o no en el sistema y combinando su posición en el flujo productivo. El WIP representa el stock acumulado (Work In Progress).

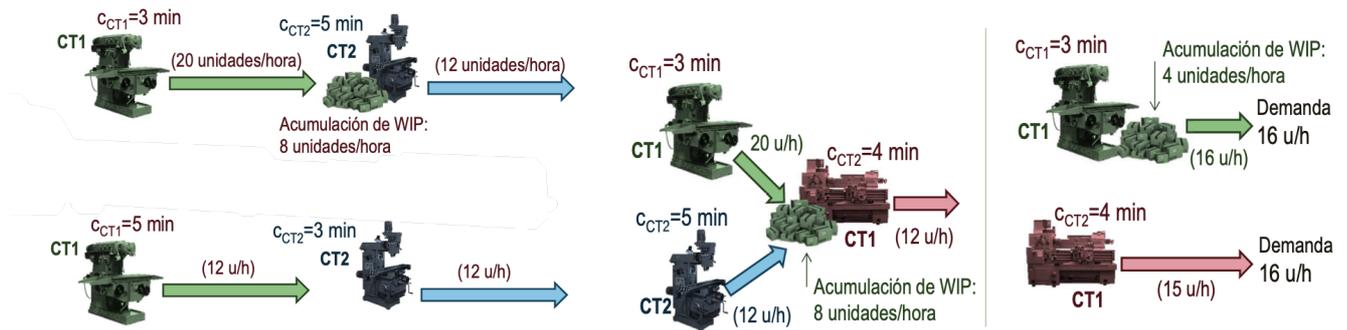


Figura 11. Posibles combinaciones de CT cuello de botella y no cuello de botella. Fuente: Araúzo, 2023

Como se ve en la Figura 11, los elementos que determinan la facturación de la organización serán los recursos cuello de botella (CB), al igual que también marcan el nivel de utilización de los recursos no restrictivos.

IV. Una hora perdida en un recurso restrictivo es una hora perdida en todo el sistema.

Como se ha explicado en los principios anteriores, la empresa debe poner el foco de su gestión en los recursos restrictivos, pues ellos limitan la eficacia. Si se pierde tiempo en un recurso cuello de botella, por muy poco que sea, la entrega “just in time” se verá comprometida y por lo tanto también las metas de la organización. Es imprescindible evitar la producción defectuosa y no perder tiempo en la puesta a punto de la maquinaria en estos recursos limitados.

Las recomendaciones principales según Fox y Goldratt (1989) en este principio son:

- El inventario en lugar inadecuado tiene un efecto negativo en el flujo productivo.
- Proveer materia prima justa y suficiente para mantener ocupados a los operarios.
- Hay que mantener inventario de piezas en recursos restrictivos. Dichas piezas deben ser las que se necesitan, en las cantidades correctas y en el momento adecuado.



V. Una hora optimizada en un recurso no restrictivo es una alucinación.

Si hemos gestionado bien el flujo productivo y los recursos no restrictivos se ajustan a la producción de los recursos cuellos de botella, a los primeros les va a sobrar tiempo. Ese tiempo sobrante, o se utiliza para realizar otro tipo de actividades destinadas a generar beneficio, o queda ocioso, debido a que aumentar la productividad de un recurso no cuello de botella no genera más rentabilidad global, simplemente un aumento del WIP, como se ve en la Figura 11.

VI. Los cuellos de botella rigen la ganancia y el inventario.

Siempre que tengamos un centro de trabajo que sea cuello de botella, la demanda posterior va a ser mayor o igual que la capacidad de dicho recurso. Por lo tanto, todo lo que se produzca en ese CT va a obtener rentabilidad. Lo contrario ocurre en los recursos no limitantes, como se ha explicado anteriormente. De ahí que la ganancia sea “gobernada” por los cuello de botella.

Con el inventario ocurre parecido, pues aunque se produzca más elementos, el proceso no generará más rentabilidad ni más ventas hasta que se modifique la capacidad de las restricciones. Esto no quiere decir que el nivel del inventario antes del recurso restrictivo deba ser igual a cero, sino que se debe evitar cualquier atraso, ya sea producido por eventos estadísticos o aleatorios. Para ello se establecerán “buffers” antes de los cuellos de botella. Esta estrategia se expondrá más adelante.

VII. El lote de un proceso debe ser variable.

La idea establecida por Goldratt defiende que es mejor variar el lote a lo largo del proceso productivo, al contrario de lo que enuncian muchas otras teorías tradicionales. Pese a que esto conlleva elegir el tamaño de lote antes de las operaciones, también aporta rigidez, ya que cada una de ellas tiene unas características diferentes.

VIII. Se deben analizar las restricciones simultáneamente.

Las restricciones no solo pueden aparecer en el proceso interno, sino también en el mercado de proveedores o de clientes (Figura 12). La empresa debe gestionar tanto las entradas y salidas, como las operaciones a modo de elementos interdependientes pero interrelacionados y ordenados dentro de un mismo sistema. Analizar las restricciones de manera simultánea contribuye a la mejora continua y a optimizar los resultados globales obtenidos.

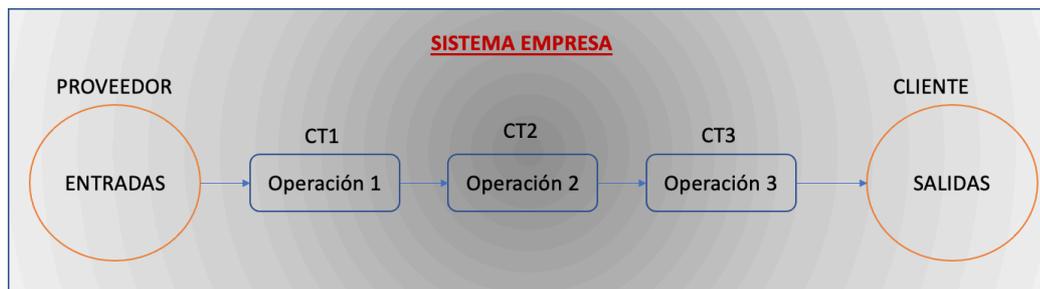


Figura 12. Relaciones del sistema empresa. Fuente: Elaboración Propia

Estos principios definidos por Goldratt constituyen las bases de la Teoría de las Restricciones y marcan un prolegómeno de los pasos a seguir por los jefes de proyectos que utilicen esta técnica, para localizar las restricciones del sistema empresa y lograr la mejora continua de los procesos productivos.

2.3.1.c. Pasos para identificar y abordar las restricciones. Procedimiento de mejora.

La forma más rápida de utilizar y desarrollar la teoría de las restricciones es seguir cinco sencillos pasos que supondrán un procedimiento de mejora en la gestión de proyectos. El principal objetivo, como se ha indicado anteriormente es identificar y optimizar las restricciones que dificultan la consecución de los objetivos, y los pasos para hacerlo son los siguiente:

- **Paso 1: Identificar la(s) restricción(es) del sistema.**

Este paso consiste en identificar los recursos que, por su escasa capacidad, sean cuellos de botella, limitando el rendimiento global de la empresa. Suele ser el proceso más largo y puede referirse a una persona con mucha carga de trabajo, una herramienta que se usa frecuentemente, un departamento, etc. El mejor modelo a seguir es elaborar una lista con las posibles restricciones del sistema.

Según Estrategia Focalizada, entorno online principal de E.M. Goldratt, *“para identificar los recursos internos como restricción, lo único que tenemos que hacer es calcular un perfil de recursos, en un horizonte dado, y elegir al recurso que tiene la mayor carga”*.

- **Paso 2: Explotar la/las restricción/es del sistema.**

Se debe gestionar la restricción para aprovecharla al máximo hasta explotarla completamente, o incluso eliminarla. Uno de los factores positivos de la TOC es que se puede minimizar la inversión económica para conseguirlo, pero para ello es fundamental asignar el orden de ejecución del proceso, para valorar qué actividades de un mismo proyecto pueden desarrollarse en paralelo.

En este punto, es clave animar y motivar al equipo de trabajo a implementar esfuerzos de mejora continua, así como a sugerir cualquier cambio que pueda favorecer al proyecto.

- **Paso 3: Subordinar los demás recursos a la restricción.**

Una vez identificada la restricción principal y, tras procurar que dicho recurso funcione a su máximo nivel, se deben sincronizar el resto de actividades de la cadena para que trabajen al ritmo marcado por dicha restricción, evitando que haya paradas en el proceso.

Dado a que se está dando prioridad al mayor cuello de botella del sistema, las demás actividades del proyecto serán menos importantes y por lo tanto no generará ningún beneficio que busquen sus máximos rendimientos locales.

Por ejemplo, si la restricción es el primer centro de trabajo, habrá que centrarse en la correcta recepción de materia de los proveedores (ver Figura 12), para que su desabastecimiento no haga parar este CT.

- **Paso 4: Elevar/limitar la/las restricción/es del sistema.**

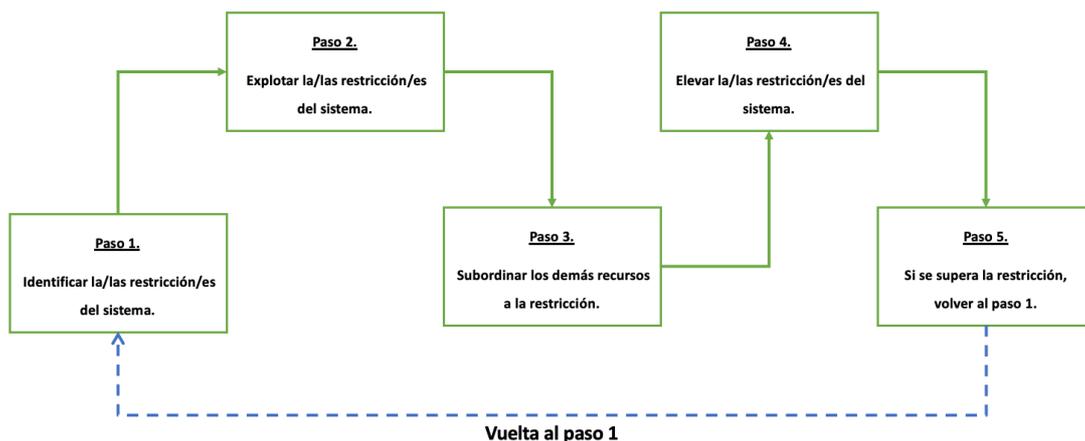
Una vez se ha coordinado el sistema se debe superar la restricción mejorando su capacidad, para poder incrementar la producción. Para ello, se debe elevar el recurso cuello de botella.

Existen diversos métodos para mitigar el efecto negativo que la restricción tiene en las demás actividades de la cadena, pero lo más usual es utilizar buffers, softwares especializados, o sistemas de información que muestren la realidad de la empresa para poder aplicar las soluciones pertinentes.

Este paso no siempre es necesario, pues se podría dar el caso de que con un buen uso de las anteriores herramientas, la organización esté funcionando a un nivel óptimo y suficiente con los recursos de los que dispone.

- **Paso 5: Si se supera la restricción, volver al paso 1.**

Cuando se ha superado la limitación de un recurso dentro del sistema, las interacciones creadas entre actividades pueden generar nuevas restricciones. Incluso las herramientas y técnicas usadas para corregir la restricción principal pueden haber creado unas nuevas. Es por ello que será necesario regresar al paso 1 para comprobar de nuevo la capacidad del sistema y corregir las nuevas limitaciones, si existieran.



Gráfica 3. Pasos para el procedimiento de mejora continua. Fuente: Elaboración propia

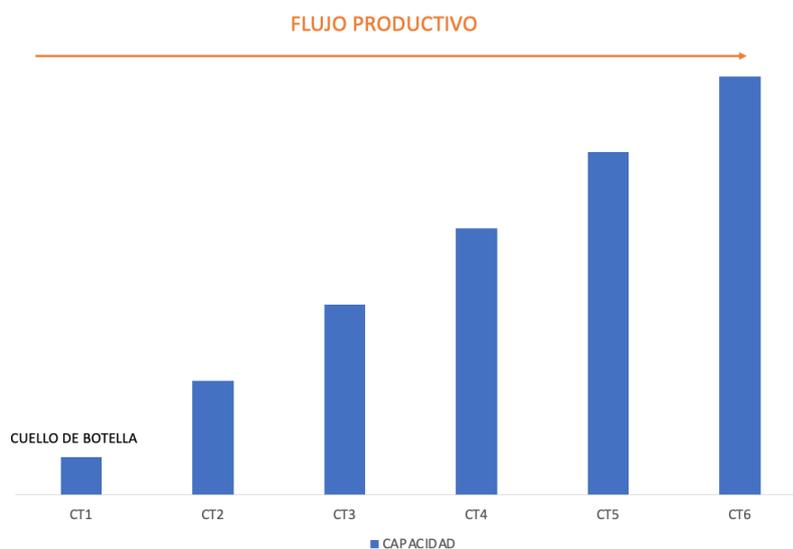
Como se puede observar en la Gráfica 3, los pasos para identificar y abordar las restricciones son un proceso cíclico, pues la revisión ha de ser constante y permanente en el tiempo si se quiere lograr la mejora continua.

Este conjunto de pasos le permitirá al jefe de proyectos abordar determinadas situaciones complejas y sacarle la mayor rentabilidad posible al proyecto. Además, en entornos multiproyectos, es importante conocer y aplicar bien ésta herramienta, pues si se produce un fallo de planificación en uno de los proyectos, puede transmitirse y repercutirse en los demás.

Como se ha explicado en los principios básicos de la TOC, este proceso sólo tendrá éxito si se valoran tanto procesos internos como intercambios con el exterior del sistema (entradas y salidas).

2.3.1.d. Modelo de programación DBR.

Según lo estudiado anteriormente sobre la Teoría de las Restricciones, se puede concluir que la situación ideal consistiría en distribuir los centros de trabajo en orden creciente de capacidad (Gráfica 4). De esta manera, el cuello de botella del sistema sería el primer CT y marcaría el ritmo de producción de los demás, evitando la acumulación de stocks, ya que el CT2 no podría producir sin el suministro de CT1 y así sucesivamente.



Gráfica 4. Situación ideal de la distribución de CT según su capacidad. Fuente: Elaboración propia



Sin embargo, la ruta de las operaciones y el ritmo de producción de los centros de trabajo se encuentran establecidos por múltiples factores que no son elegibles ni fáciles de variar. Por eso es recomendable utilizar un sistema de gestión basado en la programación DBR.

El método **Drum – Buffer – Rope (DBR)** o, en español, **Tambor – Amortiguador – Cuerda**, es una técnica de control de producción que se utiliza para la explotación, subordinación y elevación de las restricciones en la TOC. El principal objetivo es reducir el tiempo de programación de operaciones identificando el cuello de botella, para reducir al máximo las fluctuaciones del proceso. Es una herramienta que no permite anticiparse a todos los problemas que puedan existir en el sistema, pero si minimiza los retrasos y paradas.

De manera simplificada, el tambor representa el cuello de botella y marca el ritmo de producción del sistema, mientras que el amortiguador y la cuerda representan elementos que evitan que los CT no limitados produzcan a una capacidad muy alejada de la del recurso restrictivo.

A. Drum (Tambor):

Representa el ritmo de producción, marcado por el recurso cuello de botella. La forma de evitar acumulación de stocks y que los recursos no restrictivos produzcan sin rentabilidad, es programar todos los elementos del sistema de manera que se adapten a este ritmo.

Es el ritmo planificado para tener un aprovechamiento máximo del cuello de botella.

B. Buffer (Amortiguador):

Podría definirse como la capacidad extra de la que disponen los recursos no restrictivos en la ubicación anterior a los cuello de botella. El objetivo de disponer de un buffer es proteger al recurso restrictivo de fluctuaciones en el sistema, que son variaciones del margen de tiempo de realización, es decir, asegurar la continuidad del flujo del proceso.

El tamaño del buffer se mide en función del tiempo que requiere el cuello de botella para procesar el inventario de “protección”, representado como el tiempo que tarda en demandar el recurso tras el lanzamiento de la actividad.

C. Rope (Cuerda):

Es una herramienta utilizada para controlar que los recursos no restrictivos se alejen del óptimo marcado por el cuello de botella. Representa la programación de cómo la entrada de materia prima en la planta debe sincronizarse con el del CB. La “cuerda” marca la velocidad de la producción, alineada con el ritmo de los procesos.

El elemento “rope” forma un ciclo de retroalimentación con la producción del recurso restrictivo. El principal objetivo es alimentar al inventario de seguridad (buffer) con la cantidad justa y necesaria para su mantenimiento: enviar la cantidad precisa de trabajo al CB.

En la Figura 13 se muestran estos elementos de manera gráfica, lo que complementa lo explicado anteriormente y ayuda a su comprensión.

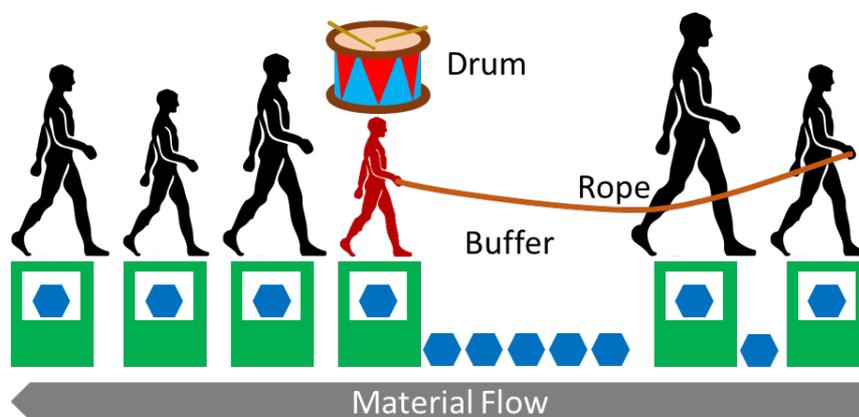


Figura 13. Representación gráfica de la programación DBR. Fuente: Toclatino (2018)

Una vez definidos los elementos clave del método DBR, se puede desarrollar la programación del mismo. Para realizarla, es fundamental conocer el tipo de relación que tiene cada recurso con el cuello de botella, pues a partir de esta dependencia se categorizarán en un momento u otro del proceso productivo.

La programación del método DBR sigue los siguientes pasos:

- I. Programar el recurso restrictivo. Este primer paso es el más sencillo, pues solo se ha de tener en cuenta tanto la demanda que ha de cubrir el recurso restrictivo, como su limitación de capacidad. Puede tener una analogía con el *tambor (drum)* y será necesario elegir la secuencia adecuada de trabajos en el cuello de botella (CB).

En el caso que las necesidades de los clientes sean limitaciones del sistema, se deben proteger con un amortiguador, que se denominará **buffer de envíos**. Su misión principal es



asegurar la fecha de entrega teniendo en cuenta que el CB funcionará en continua relación con este amortiguador.

- II. Programar los recursos no restrictivos que siguen en la secuencia al CB. Se realizará la programación subordinada a la ya ejecutada para el recurso restrictivo, teniendo en cuenta la fecha de finalización de aquellos productos procedentes del CB.

Cada uno de estos centros de trabajo, empezará a trabajar cuando tenga el material suficiente para ello, por lo que todos los que utilicen piezas de un CB, ensamblándolas a otras provenientes de recursos no restrictivos, deberán programar sus actividades teniendo en cuenta la fecha de entrega del material, así como su disponibilidad.

- III. Programar los recursos que son anteriores al CB. Estos centros de trabajo se programan posteriormente al recurso restrictivo, por lo que deberán asegurar el máximo rendimiento del CB. Para ello se establece un nuevo amortiguador, un **buffer del CB**, que protegerá al recurso restrictivo de fluctuaciones en estos CT menos estables.

- IV. Programar los recursos que fabriquen materiales que, posteriormente, se unirán a los obtenidos en el CB. Estos CT se programarán en función del programa de ensamble, determinado por el momento en que estén disponibles los materiales procedentes del CB. Para proteger este programa de ensamble, es fundamental asegurar que nunca falten elementos procedentes de los recursos no restrictivos, por lo que deberá crearse un nuevo amortiguador llamado **buffer de ensamble**. Este último paso completa la programación de los recursos según el método DBR.

Este modelo de programación es muy útil en entornos multiproyectos, pues si ya es complicado determinar la ruta de operaciones y el ritmo de producción para un único proyecto, la complejidad se multiplica cuando cada jefe de proyecto ha de gestionar más proyectos.

De manera gráfica, en la Figura 14 se muestra dicho método, con los buffers correspondientes y la ruta de operaciones, según la programación DBR explicada anteriormente.

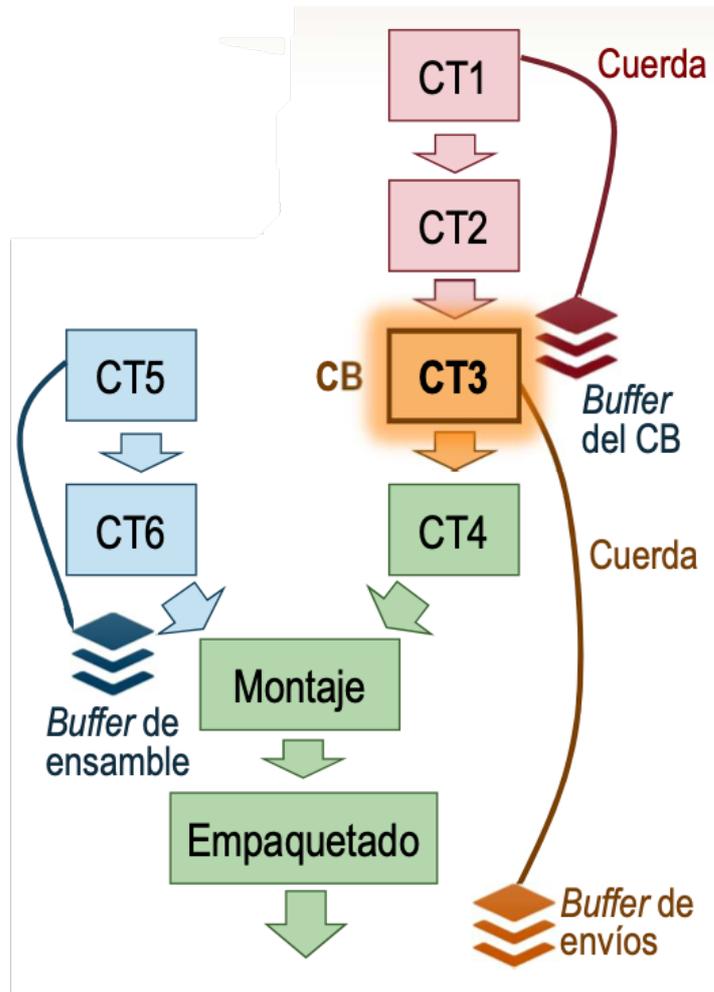


Figura 14. Método de programación DBR. Fuente: Araúzo, 2023

Los fundamentos de la TOC se explican para proyectos individuales, pero también pueden dedicarse a entornos multiproyecto. En ellos se ha de considerar la cartera de proyectos como un sistema, y como principal objetivo, el encontrar el mayor rendimiento del mismo.

2.3.2. Método de la Cadena Crítica.

2.3.2.a. Definición y fundamentos del Método de la Cadena Crítica.

“Toda mejora implica un cambio, pero no todo cambio implica necesariamente una mejora”.

Eliyahu M. Goldratt (1997).

El método de gestión de la cadena crítica o **CCPM** (Critical Chain Project Management) es un método de desarrollo del cronograma de los proyectos, definido por Eliyahu M. Goldratt. Está basado en la teoría de las restricciones y los pasos que sigue su desarrollo están estrechamente relacionados con dicha teoría (Figura 15), adaptando los conceptos de producción a los de gestión (Aguilar Mendoza, 2009; Amendola, Depool y González, 2008) .

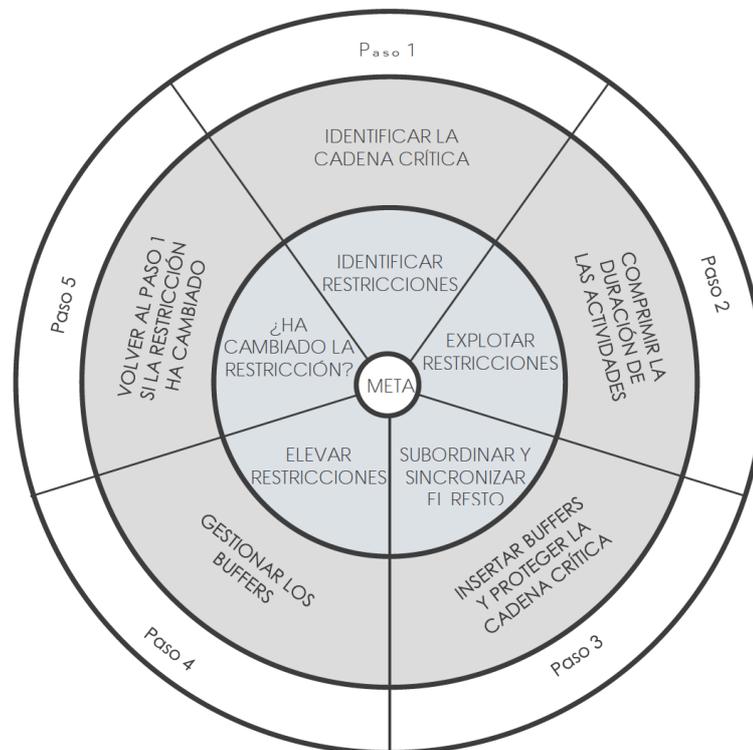


Figura 15. Relación y adaptación de la TOC a CCPM. Fuente: Vázquez García, E. (2019)

Dado que muy a menudo los proyectos se alargan hasta su plazo máximo (aumentando las posibilidades de retraso), el CCPM pretende priorizar la finalización a tiempo del proyecto como un todo, restando importancia a la finalización a tiempo de las tareas individuales, sobre el coste del mismo (Leach, 1999, 2014; Lechler, Ronen y Stohr, 2005; Lynch, 2003; Steyn, 2001).



Según un estudio de McKinsey presentado en la revista Business Week (Port, Schiller y King, 1990), un proyecto que está en tiempo, pero 50% por encima del presupuesto ganará un 4% menos de lo presupuestado, mientras que un proyecto que está dentro del presupuesto inicial, pero concluye seis meses más tarde, tendrá un 33% menos de beneficio respecto al planificado.

En este método se tiene en cuenta la gestión de la incertidumbre, que es la máxima responsable de los retrasos, lo que lo diferencia de los métodos más tradicionales, aportando una mayor firmeza al sistema. De hecho, pese a que es un modelo relativamente moderno, ya es el más utilizado en las empresas debido al éxito que ofrece y a la calidad que aporta a la gestión de proyectos.

La **cadena crítica** se define como la secuencia más larga de actividades dependientes, teniendo en cuenta la limitación de los recursos y las relaciones de dependencia como causa de la criticidad. Estas tareas críticas son las que marcan el tiempo del proyecto, subordinando las demás existentes en el sistema y, como bien se ha explicado anteriormente, se crearán buffers de tiempo en puntos estratégicos que aportarán más estabilidad al proyecto.

El **objetivo** principal del método de la cadena crítica es la búsqueda y descubrimiento de herramientas que permitan reducir la duración de un proyecto, gestionando la incertidumbre y aumentando la confianza en la fecha de finalización con menos caos y replanificación. Además, aunque 'fundamentalmente' no se crea ningún concepto nuevo, sí que es una novedad la utilización de estos conocimientos (buffer, restricción, relaciones de dependencia, cuellos de botella...) en el ámbito de la gestión de proyectos valorando la limitación de recursos.

CCPM no sólo es una herramienta de análisis del cronograma, sino que también aborda de manera más lógica la resolución de conflictos, aporta más tiempo útil al jefe de proyectos, proporciona menos estrés y evita las frecuentes e indeseables variaciones en las estimaciones de tiempo por turbulencias propias de la vida del proyecto.

El crecimiento del Método de la Cadena Crítica ha sido exponencial en los últimos años debido a los buenos resultados que obtiene. Algunas organizaciones muy reconocidas y potentes, como la NASA, las Fuerzas Armadas de Estados Unidos, Siemens, Boeing, Philips, Pfizer o Bosch emplean dicha metodología en sus proyectos, dejando claro que es una herramienta válida para diferentes áreas.



2.3.2.b. Proceso y desarrollo del CCPM.

El proceso del CCPM se divide en varias fases, que permitirán al jefe de proyectos identificar la cadena crítica, estimar la duración de las actividades que la componen, programar el desarrollo y gestión de los recursos, proteger a la cadena crítica de las perturbaciones y realizar un seguimiento y control de las amenazas que puedan afectar al sistema.

Podemos agrupar todas estas fases en dos etapas a lo largo del ciclo de vida de un proyecto que siga el modelo de gestión de la cadena crítica: etapa de planificación y etapa de seguimiento (Sajuma y de la Rosa, 2018).

- **ETAPA DE PLANIFICACIÓN.**

La planificación es el proceso que se anticipa a la toma de decisiones. Debe abarcar todo el ámbito del proyecto y definir el curso de acción para lograr llegar a la meta. El éxito en la gestión de un proyecto dependerá de una correcta planificación y, cuanto más completa sea, más fácil será para el jefe de proyecto el seguimiento del mismo durante su desarrollo. Esta etapa es el grueso del CCPM y se compone de las siguientes fases:

- Fase 1. Identificación de actividades y relaciones de dependencia.

En esta fase, se debe identificar la totalidad de las actividades que permitan finalizar un proyecto, así como establecer una red lógica de dependencia entre ellas.

Una buena forma de no olvidarse de ninguna de las actividades es enumerar todas y cada una de las tareas que se van a realizar durante el proyecto. De esta manera, preparar la asignación de recursos será mucho más sencillo. Sin embargo, no simplemente es necesario la enumeración, si no que han de detallarse y documentarse de la manera más concreta posible.

La experiencia y la práctica confirma que la herramienta más adecuada es la Estructura de Desglose del Trabajo (**EDT**), que subdivide los entregables y el trabajo asociado a los mismos en elementos más fáciles de manejar.

En cuanto a las relaciones de dependencia, está claro que no todas las actividades de un proyecto pueden desarrollarse simultáneamente, y menos en entornos multiproyectos. Por lo tanto, una vez obtenida la EDT, se deben separar las actividades en **predecesoras** (i.e. se produce antes de una actividad dependiente) y **sucesoras** (i.e. depende de la anterior). Estas relaciones pueden ser de varios tipos (Figura 16):

Final - Inicio, Final – Final, Inicio – Inicio, Inicio – Final.

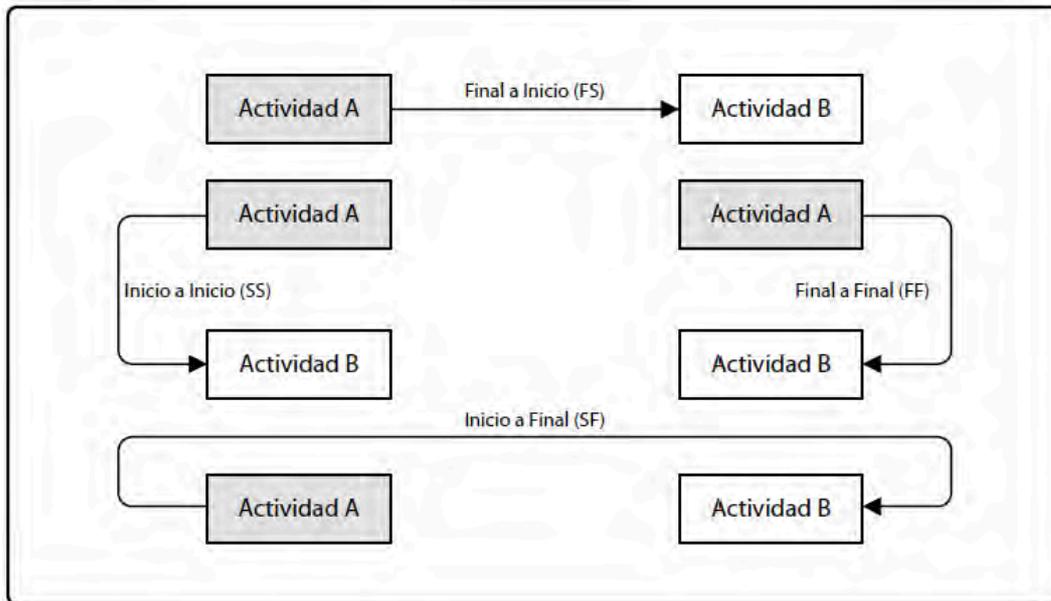


Figura 16. Tipos de relaciones de dependencia de actividades. Fuente: PMBOK, 2013

o Fase 2. Asignar y nivelar recursos.

Cada una de las actividades de un proyecto requiere de diferentes personas, maquinaria y suministros para llevarse a cabo, y asignar la cantidad exacta de estos recursos es clave para obtener una correcta gestión, y más en entornos multiproyecto.

Es habitual que se produzca la sobreasignación de recursos, pues estos son limitados y más en entornos colaborativos, donde son compartidos entre proyectos. Esto provoca un efecto multitarea y, como consecuencia, pérdida de control de los mismos, pues un mismo recurso sólo puede realizar una tarea simultáneamente. *“El pensamiento común de que la multitarea permite mejorar y aprovechar la eficiencia y capacidad de los recursos es un error, ya que, en la realidad, esto implica cambios continuos en el trabajo provocando constantes conflictos de prioridades de tareas lo que se traduce en una amenaza para la mejora global del proyecto”* (Rivera y Durán, 2003).

A parte de una pérdida de calidad en el proyecto, la multitarea provoca retrasos en la fecha de finalización que pueden ser críticos, ya que el cambiar de una actividad a otro supone una pérdida de tiempo enorme.

Para nivelar los recursos y evitar la multitarea, han de ajustarse la fecha de inicio y fin de las actividades basándose en las restricciones impuestas por dichos recursos y en la ruta crítica de actividades restrictivas.

En la Figura 17 se observa cómo se modifica un proyecto con cinco tareas y cuatro recursos disponibles utilizando la nivelación de recursos. Este mismo ejemplo se puede extrapolar a los entornos multiproyectos, valorando más de una ruta crítica simultáneamente.

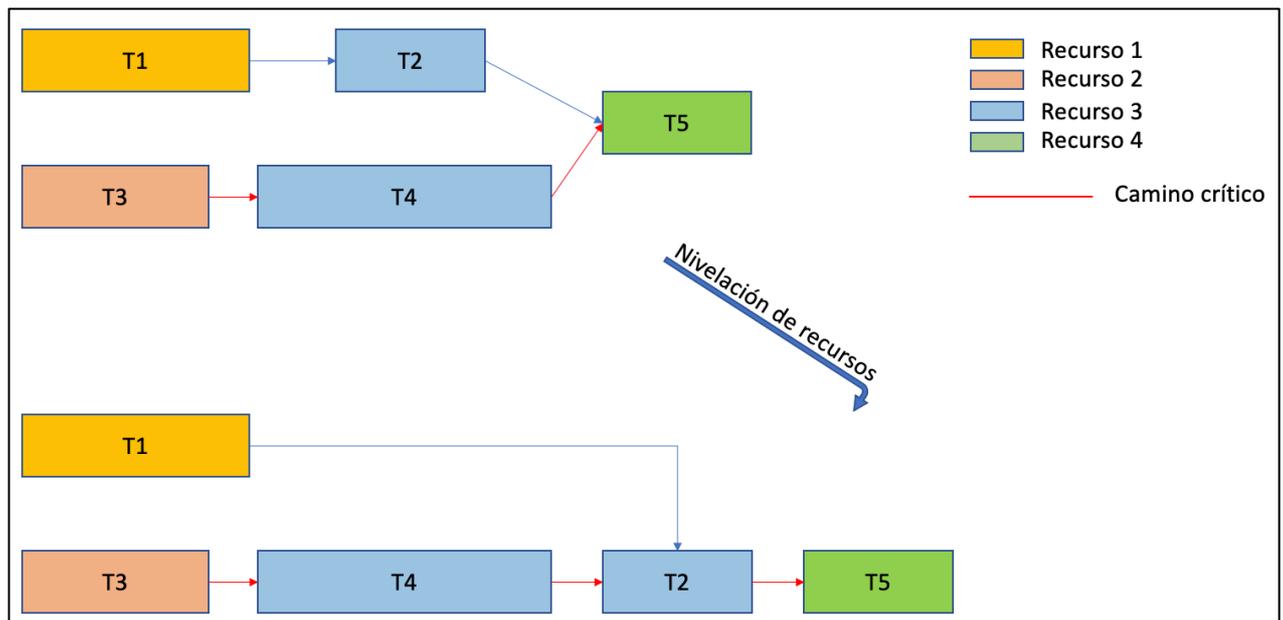


Figura 17. Red de actividades sin tener en cuenta limitación y dependencia de recursos (arriba) y teniéndola en cuenta (abajo). Fuente: Elaboración propia

Según CCPM, **un retraso en la disponibilidad de los recursos supone el mismo efecto negativo que la demora en las tareas dependientes**. De ahí que el método de la cadena crítica defienda que sólo gestionar adecuadamente el tiempo sin tener en cuenta los recursos no solventa completamente todas las limitaciones del sistema.

- Fase 3. Estimar duración real de las actividades.

Determinar la duración de las actividades de un proyecto consiste en estimar el tiempo necesario para realizar el trabajo, pero **teniendo en cuenta los recursos empleados**. Evidentemente, con esta estimación de duración de actividades, también se estima la duración del proyecto en su conjunto.

Uno de los métodos más utilizados es el de basarse en estimaciones de proyectos similares, pues con la experiencia es mucho más rápido. Otra herramienta muy habitual es contactar con las partes implicadas y preguntarles a ellos su estimación, para, a partir de ahí, poder ajustarla al proyecto en concreto.

En la gestión de proyectos basada en la cadena crítica, cada una de las actividades contará con una “protección” o colchón de seguridad, permitiendo cierta libertad al trabajador en caso de que surgieran problemas durante la ejecución.

Pese a que esto teóricamente suena muy bien, en la práctica es más complicado, como se verá más adelante, pues esta protección se acaba desperdiciando. Según Goldratt, los proyectos mal gestionados acaban fuera del plazo de su estimación por fenómenos indeseables, como son, en su denominación coloquial:

- **Ley de Parkinson.** Defiende que el trabajo se alargará todo lo posible, hasta llegar a completar todo el tiempo disponible para ello, incluido el tiempo de seguridad.
- **Síndrome del estudiante.** Se explica como el fenómeno a través del cual los trabajadores empiezan a dedicar tiempo efectivo a las tareas cuando se acerca la fecha de finalización. Es decir, en los primeros dos tercios de tiempo se realiza un tercio del trabajo, y en el último tercio de tiempo se completan los dos tercios restantes, apurando al máximo.
- **Ley de Murphy.** “Si algo puede salir mal, saldrá mal”. En la gestión de proyectos se explica de forma que cuando un operario se pone a realizar la tarea asignada, descubrirá aspectos con los que no contaba, que retrasarán la fecha de finalización.

Gestionar estas pérdidas de tiempo provocadas, en parte, por la incertidumbre, es la clave que diferencia el CCPM de los métodos tradicionales, que tratan de eliminarlas por completo, cosa que en la práctica es imposible. El objetivo es forzar a los recursos a trabajar más intensamente en un plazo menor del que tenían planificado, de esta manera se eliminan los márgenes implícitos que se añadían inconscientemente.

El método de la cadena crítica dibuja el cronograma como en la Figura 17, con el tiempo justo y necesario por actividad, aunque tiene en cuenta amortiguadores o buffer que protegen cada una de las actividades críticas.

- o Fase 4. Proteger la cadena crítica de las perturbaciones.

Un proyecto no estará terminado hasta que todo el conjunto de actividades que lo forman estén finalizadas. Los métodos clásicos disponen una protección en cada una de las actividades del

proyecto, sin embargo, como se ha visto anteriormente, estas se acaban desperdiciando (ya sea por la relación con otros proyectos, por las personas encargadas, falta de materiales...). Por eso, el CCPM establece que esta seguridad debe disponerse en determinados puntos clave del proyecto, con una duración definida.

En la jerga de la cadena crítica, estos elementos de seguridad, que protegen la fecha de finalización del proyecto, se denominan **buffers**, basados en la TOC y siendo una de las claves de esta metodología. Actúan como actividades imaginarias que pueden contraerse cuando las actividades emplean más tiempo del previamente planificado, absorbiendo así los retrasos que pudieran afectar a la finalización del proyecto. En la Figura 18 se observa cómo se modifica el cronograma de un proyecto (como el de la Figura 17) cuando se implementa un buffer.

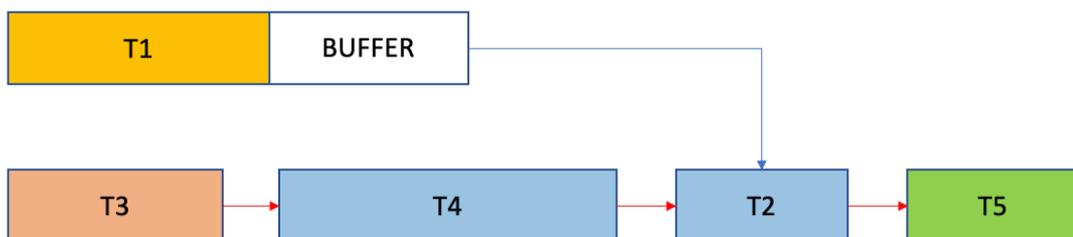


Figura 18. Ejemplo de inserción de un buffer en un proyecto. Fuente: Elaboración propia

Según Goldratt, y modificando un poco la terminología empleada en la TOC, se identifican tres tipos de buffers, en función de su objetivo dentro del proyecto y de su localización en el cronograma.

- **Buffer de Proyecto.** Este amortiguador se sitúa en la parte final del proyecto, posterior a la última tarea, fijando la fecha de finalización del mismo (Figura 19). Como es evidente, el principal objetivo es proteger la fecha de entrega del proyecto de las posibles perturbaciones en la cadena crítica. Su tamaño tendrá en cuenta los posibles retrasos acumulados en las actividades críticas.

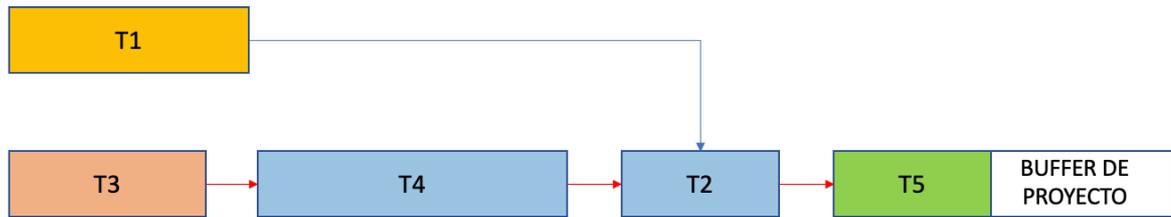


Figura 19. Ejemplo de implementación de un Buffer de Proyecto. Fuente: Elaboración propia

Se crea para sustituir a los amortiguadores de cada una de las actividades individuales, que a veces carecen de efectividad, “obteniendo un buffer de menor tamaño que la suma de los tiempos de protección de las actividades de la cadena crítica.” (Iglesias Sánchez, 2005). Así mismo, este elemento protege al sistema de la dependencia secuencial de tareas dentro de los proyectos.

- **Buffer de Alimentación.** Es el tiempo de seguridad que se dispone después de actividades no pertenecientes a la cadena crítica pero que sí que alimentan a actividades críticas. Este amortiguador protege a la cadena crítica de las posibles perturbaciones que pueden sufrir las actividades de cadenas paralelas, cuyos retrasos provocan que la fecha de finalización del proyecto se alargue en el tiempo por la imposibilidad de ejecutar las actividades críticas posteriores.

Su tamaño ha de ser el suficiente para que dichas cadenas secundarias lleguen cuando se las requiere a los “puntos de ensamblaje” con la cadena crítica (puntos de unión con la cadena crítica).

Sin embargo, por sí solos no modifican la entrega del proyecto, pues si se consumieran todavía se dispondría del buffer de proyecto, lo que significa que deben ir acompañados del amortiguador explicado anteriormente para que el sistema no sufra modificaciones (Figura 20).

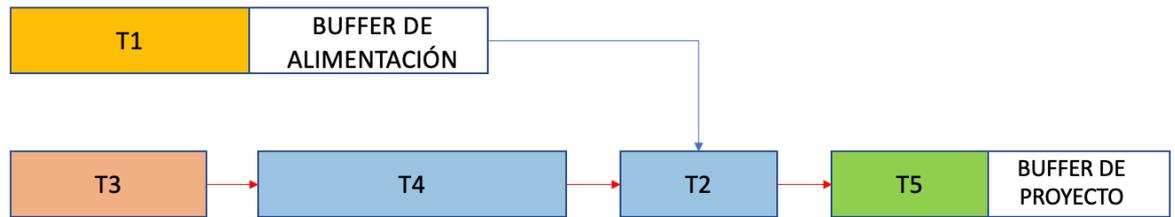


Figura 20. Ejemplo de implementación de un Buffer de Alimentación. Fuente: Elaboración propia

- **Buffer de Recurso.** Este elemento se añade en el cronograma del proyecto cuando un recurso participa en la cadena crítica y la actividad anterior es realizada por un recurso diferente, como muestra el ejemplo de la Figura 21.

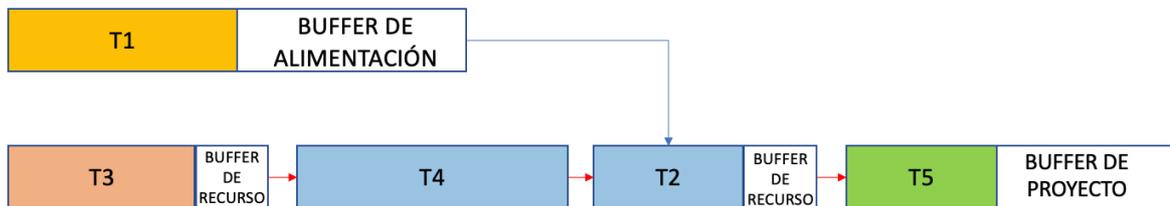


Figura 21. Ejemplo de implementación de Buffers de Recurso. Fuente: Elaboración propia

El principal objetivo es proteger a las actividades de la cadena crítica de las perturbaciones que puede sufrir el sistema en el momento de transferencia de una actividad a otra, realizada por recursos diferentes. Sirve como “advertencia anticipada”, por lo que no modifica la duración del proyecto, y su duración no se calcula previamente, si no que se dispone de manera escalonada.

En la práctica, lo podemos entender como notificaciones que el jefe de proyecto transmite a los encargados de los recursos limitados, para evitar cualquier tipo de riesgo y dar tiempo a que el recurso esté disponible sin opción a errores.

De esta manera, resumiendo, el buffer de proyecto absorbe variaciones en actividades de la cadena crítica, el de alimentación evita perturbaciones en actividades no críticas y el buffer de recurso controla las variaciones en los recursos que preceden a recursos correspondientes a actividades críticas.

- Fase 5. Sincronización de tareas.

Uno de los fundamentos de los métodos tradicionales es programar las actividades de la cadena crítica **lo más pronto posible (as soon as possible – ASAP)**, pues son las tareas que marcan la duración del proyecto. Esto se complica con la aparición de cadenas paralelas que se unen a la crítica en determinados puntos, y más en entornos multiproyectos, donde existe una ruta crítica para cada uno de ellos con diferentes caminos paralelos, lo que genera un aumento de la dependencia entre tareas y recursos. Según explica Goldratt, pese a que 9 de 10 tareas cumplan los plazos (o incluso los mejoren), si una sola se retrasa, la fecha de finalización lo hará también, es decir, *“si sólo una de las tareas no termina con anticipación, el tiempo ganado por el resto no se transmitirá a la actividad sucesora”* (Ebbs, 2004; Goldratt, 2010, 2017).

Podemos concluir que los retrasos se transmiten, pero las variaciones positivas se pierden y, pese a que los buffers ayudan a proteger este fenómeno, a la hora de sincronizar las subcadenas con la cadena crítica hay que tener en cuenta dicha conclusión.

Por lo tanto, utilizar la herramienta ASAP puede generar unas holguras mayores a los propios buffers de alimentación de las tareas, que no conseguirán aprovecharse y, además, concentra mucha carga de trabajo al inicio, provocando que el jefe de proyecto pierda la atención y cree interferencias entre distintos proyectos.

El CCPM programa las cadenas paralelas a la ruta crítica **lo más tarde posible (as late as possible – ALAP)**, sin llegar a convertir sus tareas en críticas gracias a los amortiguadores al final de cada una de ellas, como muestra la Figura 20. Así, se reduce el trabajo en curso (Work In Progress – WIP) y aumenta la atención en las diferentes actividades clave de la cartera de proyectos.

- Fase 6. Desarrollar el cronograma de la Cadena Crítica.

En esta fase se crea el modelo de programación de los proyectos, teniendo en cuentas las duraciones de las actividades, las secuencias, recursos y limitaciones con el fin de dibujar el cronograma.

El resultado final de un proyecto muy sencillo podría ser tal y como se muestra en la Figura 21. Las actividades son representadas por barras de longitud proporcional a la duración y las relaciones de dependencia entre ellas mediante flechas. Podría ser el paso más sencillo si se ha conseguido realizar correctamente los anteriores (Apaolaza, 2009; Mondragon Unibersitatea, 2013).

Un ejemplo más completo podría ser el de la Figura 22, donde se muestra una porción del cronograma de un proyecto más elaborado, basado en el desarrollo y gestión de una carrera que realizamos durante una de las asignaturas del grado. Se pueden observar las relaciones de precedencia y la duración de actividades en forma de barras.

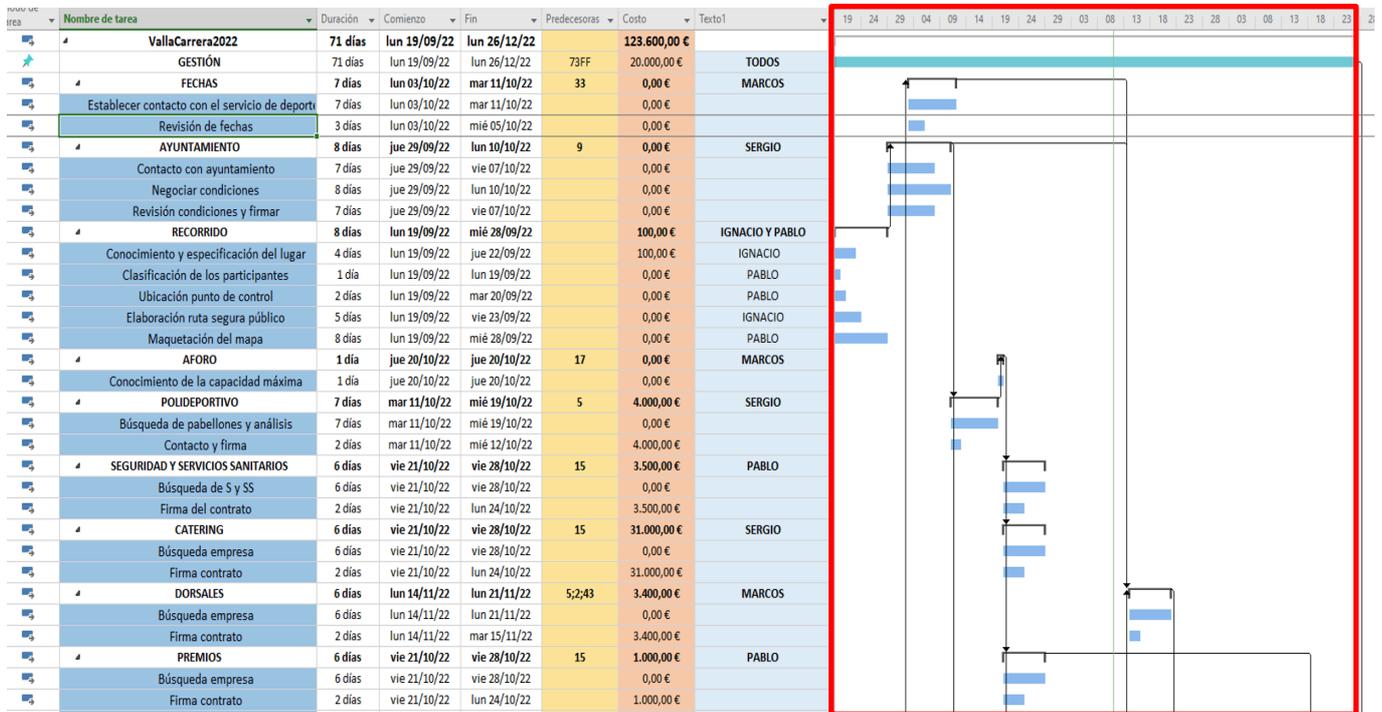


Figura 22. Ejemplo del cronograma de un proyecto más complejo. Fuente: Elaboración propia

- **ETAPA DE SEGUIMIENTO.**

La planificación y programación inicial, con todas las fases que lo forman, trae consigo un grado de incertidumbre inevitable, lo que provoca que deba existir una etapa de seguimiento y supervisión del trabajo de manera continuada.

“El control del proyecto realizado en esta etapa consiste en monitorizar las actividades del proyecto para actualizar el avance del mismo y gestionar los cambios de la línea base, con el fin de cumplir el plan establecido.” (Project Management Institute: PMI, 2001, 2017).

Los principales objetivos que persigue esta etapa, que se desarrolla a lo largo de todo el proyecto, son modificar los elementos que provocan cambios en el mismo, gestionarlos lo antes posible y determinar si se ha de modificar la programación inicial (García Coronado y Ruiz Fernández, 2015).

Se realiza una comparación entre el consumo de los amortiguadores y el grado de avance de las rutas que amortiguan, procurando que siempre el progreso de las tareas lleve un ritmo más elevado que los propios buffers.

Existen diferentes métodos para realizar esta operación, pero cada organización y jefe proyecto realiza los suyos, por lo que no se puede generalizar.

En el contexto de la gestión multiproyectos, CCPM sigue los mismos pasos pero entendiendo como objeto de análisis la cartera de proyectos, y no un único proyecto individual. De esta manera se busca la limitación del sistema y se secuencian los proyectos a partir de dicha restricción, insertando los amortiguadores necesarios entre los propios proyectos.

En la etapa de seguimiento también se gestiona la cartera de proyectos y se presentan todos los proyectos simultáneamente, con su grado de avance, para obtener una visión general de la empresa. De esta manera, se repartirán los recursos de una manera más eficiente y se podrán modificar los buffers, traspasando tiempo a los proyectos peor gestionados desde los que cuentan con un mayor margen.

En el caso que se expondrá más adelante se utilizan estos conceptos de manera práctica. Las ideas y nociones básicas quedan presentadas y fundamentan la base teórica del caso práctico, aunque se ha de tener en cuenta que cada proyecto y cada empresa funcionan de manera diferente.

2.3.2.c. Gestión de recursos compartidos y limitados en entornos multiproyectos con el método de la Cadena Crítica.

Como se ha explicado anteriormente, los entornos multiproyectos son abstractos, complicados de gestionar y, además, el hecho de compartir gran parte de los bienes de la empresa provoca controversia en la planificación y en la posterior ejecución de los proyectos (Chaparro Pineda y Castañeda Tibaque, 2015).

Sin embargo, el método de la cadena crítica basa su gerencia de proyectos en la planificación de los mismos para garantizar que se complementen en el menor tiempo real posible, centrándose en la gestión óptima de los recursos. De ahí que sea clave en los entornos multiproyecto.

Algunos de los aspectos que defiende esta teoría en la gestión de recursos compartidos son:

1. Es importante identificar recursos críticos. En la gran mayoría de proyectos, coincide con los recursos que son limitados o escasos y además son necesarios para varios proyectos a la vez. Puede



ser equipos o herramientas específicas o mano de obra, como será el caso en los proyectos que se presentarán a continuación.

2. Priorizar los proyectos. Identificados los recursos críticos, es necesario priorizar los proyectos en función de su importancia estratégica y su urgencia. Esto ayuda a determinar cuáles deben recibir prioridad en la asignación de estos recursos compartidos y cuáles pueden esperar.

3. Establecer una gobernanza. En este punto adquiere importancia el hecho de establecer un mecanismo de gobernanza centralizado para coordinar la asignación de recursos entre los proyectos. Se podría realizar mediante un comité de gestión de proyectos que supervise la asignación de recursos y tome decisiones sobre la programación y planificación de los proyectos. En la mayoría de los casos reales lo realiza el jefe de operaciones de la empresa en una reunión conjunta con los jefes de proyectos.

4. Establecer políticas de asignación de recursos. Añadido lo descrito en el punto anterior, la empresa debe establecer políticas transparentes y claras para la asignación de recursos en entornos multiproyecto y compartirlas con los gerentes de los mismos. Esto puede incluir reglas sobre cómo se priorizan los proyectos, cómo se asignan los recursos en caso de conflicto y cómo se manejan las solicitudes de cambios de planificación de proyectos.

5. Utilizar el enfoque teórico de la cadena crítica. Con todos los puntos anteriores bien establecidos, se pueden empezar a aplicar los fundamentos teóricos del método de la cadena crítica. En entornos multiproyectos hay que identificar las dependencias críticas y las restricciones en la programación de cada uno de los proyectos. Además, es importante considerar estas dependencias al programar los proyectos y asignar los recursos, lo que ayudará a minimizar los cuellos de botella y maximizar la eficiencia global del sistema y de la empresa.

6. Monitorizar y realizar ajustes continuos. En los entornos multiproyectos la asignación de recursos puede variar a lo largo del desarrollo de los mismos lo que requiere un monitoreo y ajuste continuo. Es importante realizar un seguimiento regular del progreso de los proyectos, identificar los posibles cuellos de botella que se vayan dando a lo largo del desarrollo de los mismos y realizar ajustes en la asignación de los recursos según sea necesario. Con estas herramientas se podrá optimizar la eficiencia y así minimizar retrasos no solo en cada uno de los proyectos, sino en el conjunto de la cartera de proyectos. En situaciones reales, como la experimentada en mis prácticas extracurriculares, este control se realiza de la misma manera que el punto tres, con reuniones



semanales con el jefe de operaciones para evidenciar y justificar el avance de los proyectos y los futuros recursos necesarios.

Se puede concluir que el método de la cadena crítica gestiona los recursos compartidos en entornos multi proyecto a través de una planificación y programación cuidadosa, una asignación basada en recursos, creación de buffers (como se ha explicado en puntos anteriores), coordinación efectiva, comunicación constante entre los diferentes gerentes, gestión de conflictos y un seguimiento y monitorización continuo



2.3.2.d. Ventajas y limitaciones del método de la Cadena Crítica.

Pese a que durante todo el desarrollo del trabajo se ha destacado la forma en que el método de la cadena crítica mejora la gestión de proyectos, como cualquier otra herramienta tiene ventajas y desventajas (EcoSys, 2023). A continuación (Tabla 2) se muestran las principales, destacando que las ventajas compensan más que de sobra las limitaciones (Open Business International Consulting, 2012).

VENTAJAS	LIMITACIONES
Estructura basada en enfoque sistemático, lo que mejora la visión de EMPRESA como conjunto	Si se desea una implementación exitosa, es necesaria experiencia previa en gestión de proyectos y conocimientos elevados
El enfoque en actividades críticas facilita la toma de decisiones	Cuando la complejidad del proyecto es alta e incluye más de un cliente, puede ser difícil de desarrollar
El cálculo de tolerancias durante la planificación favorece a una menor desviación del objetivo de los proyectos	Requiere planificación detallada para no olvidarse ninguna actividad crítica
El comportamiento humano es considerado como punto de influencia	Mucho tiempo "gastado" en las tareas de planificación
Reduce plazos de entrega sin reducir margen de confianza en la organización	Si no es método que se utilice habitualmente en la empresa, conlleva un cambio de mentalidad bastante grande
En entornos multiproyecto, optimiza el resultado de la empresa	Determinar la duración de los amortiguadores es complejo y requiere experiencia
Identifica los cuellos de botella y planifica en consecuencia a ellos	La mala implementación provocará pérdida irreparable de tiempo y recursos
Fomenta la colaboración entre miembros del equipo y con equipos de otros proyectos	
Tiene una fácil aplicación operativa	
Se adapta fácilmente a los diferentes sectores	
Reduce multitarea y exceso de trabajo	

Tabla 2. Ventajas vs Limitaciones del CCPM. Fuente: Elaboración propia



2.3.2.e. Comparación del CCPM con otros métodos.

Pese a que el CCPM no tiene tanto recorrido como los métodos más tradicionales de gestión de proyectos, como puede ser el PERT, el método de los potenciales creado por Bernard Roy: ROY o el del camino crítico (CPM), en los últimos años ha quedado claro que centrar los esfuerzos en identificar y gestionar adecuadamente los recursos que limitan la consecución de los objetivos de manera sostenida, favorece a que los proyectos se completen en plazo y presupuesto establecidos (Aguirre Barrera y Aguirre Barrera, 2020; Asana b, 2022; Domínguez-Machuca, 1995; Vázquez García, 2019;).

La selección de un enfoque u otro dependerá de la naturaleza y necesidades del proyecto y del equipo de trabajo, sin embargo, existen datos que demuestran que los proyectos gestionados con CCPM obtienen mejores resultados de rendimiento en coste, plazo, planificación y alcance (Alva, Sandoval et al., 2021; Santillán, Merino, et al., 2017). La siguiente tabla (Tabla 3) muestra de manera resumida la comparación entre el método de gestión basado en la cadena crítica y otras herramientas tradicionales, haciendo hincapié en el alcance, los recursos y la evolución de los mismos:

Método de gestión	Alcance	Recursos	Evolución
PERT	Aplicable a todo tipo de proyectos, especialmente a los que se quiera eliminar las rutinas de trabajo	Se necesita un listado de actividades, una estimación de su duración y un gráfico de nudos	Es limitado, pero su desarrollo ha mejorado con el progreso de los softwares
Camino crítico (CPM)	Se puede utilizar en todo tipo de proyectos, pero destaca su uso en el sector de la construcción	Se necesita un listado de actividades, una estimación de su duración y un diagrama de redes	Es muy utilizado en la actualidad, pero se ha quedado anticuado
ROY	Ampliamente utilizado en construcción, proyectos de software o industriales	Se necesita un listado de actividades, una estimación de su duración y conocer la secuencia de las mismas	Mejora cuando las actividades del proyecto están interrelacionadas
Fast tracking y Crashing	Sólo se emplea este método en proyectos en los que se necesita reducir la fecha de finalización	Necesario conocer las tareas del camino crítico, su duración, holgura de las actividades no limitantes, los recursos externos y los costes	Actualmente tiene un elevado uso por la necesidad de reducir los plazos de entrega del proyecto
Método Agile	Se puede emplear en todo tipo de proyectos, pero hay que elegir bien con qué herramienta combinar en función del sector	Importante conocer los recursos que se van a utilizar, pues se valora más que los procesos. Se mezcla con otras herramientas, como Kanban o Scrum	No puede entenderse como metodología, sino como un principio. Es muy utilizado en la actualidad
Metodología LEAN	Adeuado a proyectos cuyo objetivo sea reducir el desperdicio. Tiene mayor impacto en empresas grades	Es clave conocer bien los procesos, así como las necesidades que se han de cubrir	Se creo orientada a procesos de empresas grandes, pero actualmente se puede combinar con otras herramientas y utilizarse en empresas de menor tamaño
CCPM	APLICABLE A PROYECTOS GRANDES Y PEQUEÑOS, DONDE SE REQUIERA PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES	SE NECESITA EL LISTADO DE LAS ACTIVIDADES E IDENTIFICAR LA RUTA CRÍTICA VALORANDO RECURSOS	PESE A SER EL MÁS JOVEN, ES EL MÉTODO MÁS COMPLETO Y AYUDA A GESTIONAR PROYECTOS DE TODO TIPO

Tabla 3. Comparación de diferentes métodos de gestión de proyectos atendiendo a su alcance, recursos y evolución.
Fuente: Elaboración propia



Universidad de Valladolid

Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería de Organización Industrial



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



CAPÍTULO 3. CASO PRÁCTICO

El siguiente punto del trabajo se centra en las estrategias y propuestas de gestión de varios proyectos diferentes, de forma simultánea, para para clientes de áreas muy distintas. La información obtenida y reflejada en este documento se ha obtenido de una empresa de proyectos de ingeniería e infraestructuras, con la que he estado colaborando durante mis prácticas extracurriculares a lo largo de seis meses. En ese periodo he podido formar parte del equipo de gestión de los proyectos, analizando desde el principio os mismos, dando soporte y participando en cada uno de ellos.

A continuación se presentarán los proyectos desarrollados durante mi etapa en la empresa de manera general y se expondrá y analizará cómo el método de la cadena crítica ha ayudado, y sigue ayudando, a la empresa a que la planificación de los trabajos sea la más adecuada, pudiendo cumplir plazos, coste y alcance demandado por el cliente.

En primer lugar, y de forma evidente, se debe conocer a cada uno de los clientes para los que se pretende trabajar y estudiar si son obras y proyectos compatibles con lo que ofrece la empresa. En este documento se describe cada uno de los proyectos, dedicándose un párrafo a detallar cada cliente, para permitir una mejor exposición de los trabajos que se realizaron.

Posteriormente, se definirá el proyecto que demanda el cliente y se describirá el alcance del mismo, aportando contenido gráfico para que la exposición sea más visual y facilite la comprensión.

En el siguiente punto se hablará de las actividades a desarrollar, concretadas en la etapa de planificación del proyecto, definiendo sus duraciones, precedencias y relaciones relevantes de la manera más explícita posible. Al ser un caso práctico real, es evidente que no todos los proyectos se planificaron de la misma manera. Esto, que es práctica habitual, todavía se percibe más en este sector, en el que los proyectos son muy diferentes entre sí. Se expondrán y explicarán únicamente actividades de ejecución e instalación, pues se entiende que no interesa detallar la etapa planificación a la hora de aplicar el método de la cadena crítica, que define el objetivo central de este trabajo.

Por último se expone la planificación de los recursos empleados para la realización definitiva del trabajo, obteniéndose los cuellos de botella que indiquen la aplicación del método de la cadena crítica en entornos multiproyectos, en el siguiente punto de este documento.

3.1. Planteamiento y descripción de los proyectos a desarrollar.

3.1.1. Proyecto Accesos Seguros – Sonae Arauco.

Sonae Arauco es uno de los mayores actores mundiales en soluciones a base de madera. Su actividad se centra en el desarrollo de soluciones sostenibles en madera con alto valor añadido, desde mobiliario hasta construcción. Cuenta con más de 2.600 empleados y 23 unidades industriales en 9 países diferentes (Sonae Arauco, 2023).

3.1.1.a. Alcance del proyecto Accesos Seguros – Sonae Arauco.

El proyecto consiste en instalar una pasarela de interconexión para personas entre la caldera y la cinta 19, dentro de las instalaciones de Sonae Valladolid (Sonae Arauco España-Soluciones de Madera, S.L.). Gráficamente, y de forma simplificada, el objetivo del proyecto se muestra en la Figura 23:

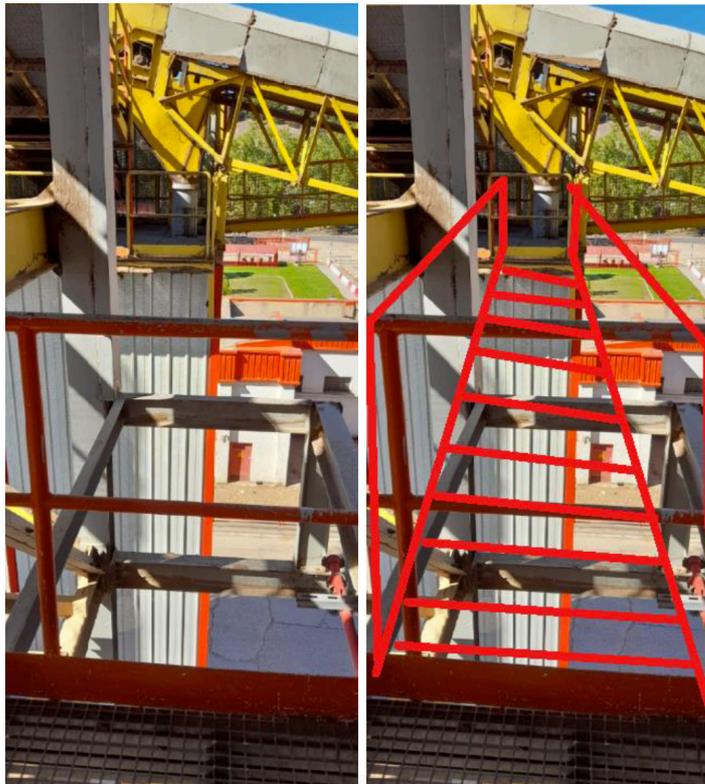


Figura 23. Estado anterior a la construcción de la pasarela (izquierda) y previsión del proyecto tras su finalización (derecha). Fuente: Cuaderno de cargas del proyecto

La pasarela será de material férrico con un ancho de no menos de 1000 mm libre medido por el interior. El suelo será de trámex antideslizante (Figura 24).

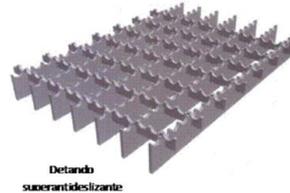


Figura 24. Trámex tipo que ha de montarse en el proyecto. Fuente: Cuaderno de cargas de proyecto

La plataforma estará formada por vigas de perfil laminado IPE-270 y travesaños en UPN-140. Contará con barandilla en tubo $\varnothing 1 \frac{1}{2}$ " para el pasamanos y $\varnothing \frac{3}{4}$ " para la barra intermedia, además contará con rodapié de 150 mm de alto. Esta barandilla debe cumplir la normativa vigente. Una condición indispensable para lograr el objetivo es que la plataforma deberá soportar una carga nunca inferior a 150 Kg.

El acabado de la ejecución será pintado de acuerdo con los colores actuales de la empresa cliente, valorándose las soluciones que garanticen una mayor durabilidad. Se ha de facilitar el certificado de materiales utilizados y los procedimientos de soldeo y certificado de los soldadores que ejecuten los trabajos.

Antes de realizar la instalación en planta se deberán facilitar los sucesivos croquis que indiquen el resultado final de los trabajos realizados, que permitan la posterior aprobación del departamento de Seguridad y Salud Laboral. Estos croquis pertenecen a la empresa y son confidenciales, es por ello que no estoy autorizado a reproducirlos en este trabajo, a pesar de haberlo solicitado.

Una vez aprobado el proyecto, la ejecución será de "obra llave en mano". Será la propia empresa ejecutora del proyecto quien se haga cargo de las tramitaciones procedentes necesarias ante las diferentes administraciones.

Se incluye en el alcance del proyecto la realización de la evaluación de riesgos específica, según la Ordenanza General de Seguridad (Orden de 9 de marzo de 1971 por la que se aprueba la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo). Se contará con recurso preventivo durante la obra.

Con todo lo descrito anteriormente, el proyecto ofertado supone la cifra de 9.369,45€, que abonará la empresa cliente tras la finalización del mismo.

3.1.1.b. Actividades, duraciones y relaciones de precedencia del proyecto Accesos Seguros – Sonae Arauco.

En el cuaderno de cargas presentado por el cliente, el único condicionante respecto al planning del proyecto era la entrega del mismo, finalizado y realizada prueba de carga, antes del día 15 de junio de 2023.

La oferta presentada por la empresa tiene fecha del viernes 19 de mayo de 2023 y, tras la adjudicación del proyecto, los trabajos comenzaron el jueves 25 de mayo de 2023. De esta manera, este proyecto, cuyo alcance es pequeño, alcanza una duración de tres semanas para las tareas de fabricación, montaje y prueba de carga.

Los entregables que se fijaron con el cliente en este proyecto fueron la instalación en Sonae Arauco España-Soluciones de Madera, S.L. de la pasarela de interconexión, la entrega de la documentación de calidad y validez de la puesta en marcha y la entrega, posterior al proyecto, de los certificados CE de los elementos, certificados de materiales y certificación de los soldadores que van a realizar los trabajos según los procedimientos indicados.

En función de dichos entregables, se elaboró un planning, con la colaboración y aprobación del cliente (y más sencillo que en otros proyectos debido a su alcance), que contiene las siguientes tareas principales:

- 1.- Suministro del material para la obra.
- 2.- Fabricación de la pasarela en taller.
- 3.- Montaje de instalación en casa del cliente.
- 4.- Prueba de carga del producto finalizado.
- 5.- Entrega de documentación y certificación.

De manera más desglosada, en la Tabla 4 se detallan los subentregables en cada una de las tareas anteriores, es decir, los trabajos a los que se les fija fecha y duración, pues resulta relevante este nivel de detalle para una mejor planificación.

Actividad
SUMINISTRO
Realizar pedido a proveedores
Suministro Proveedor 1
Suministro Proveedor 2
FABRICACION TALLER
Fabricación y unión de vigas y travesaños
Instalación del suelo trámex antideslizante
Fabricación y soldadura del pasamanos y el rodapié
Imprimado y pintado de la plataforma
MONTAJE OBRA
Montaje del soporte junto con el trámex
Soldadura de pasamanos y rodapié a la pasarela
Revisión de todas las soldaduras y tratamiento de posibles desperfectos
PRUEBAS
END'S - Prueba de carga
CERTIFICACIONES
Evaluación de riesgos específica
Certificado de calidad
Certificado de materiales y CE
Certificación de soldadores

Tabla 4. División en entregables del proyecto "Accesos Seguros". Fuente: Planificación empresa

Entre las tareas se incluye el suministro de materiales previo a la fabricación y montaje en obra. Aunque este apartado no interese al cliente, si es importante para el jefe de proyecto, de cara a poder contar con todo lo necesario para iniciar el trabajo antes de su puesta en marcha, y evitar así interrupciones en el proceso.

Una vez definidas las actividades a realizar, se fija la duración en días de cada tarea y las fechas de inicio y fin de las mismas, para posteriormente poder realizar el diagrama de Gantt del proyecto.

Se supone que la duración de las actividades está en función de los recursos que se han calculado para el desarrollo correcto de dichas tareas mediante métodos de estimación internos, contando con que muchos serán compartidos y deberán tener disponibilidad en esas fechas. Además, se tienen en cuenta plazos que permitan entregar el proyecto con seguridad y respeto a la fecha determinada. En la Tabla 5 se muestra la segregación de subentregables con sus duraciones en días, fechas de inicio y fechas de entrega.

Actividad	Inicio	Final	Duración
SUMINISTRO			
Realizar pedido a proveedores	25/5/23	25/5/23	1
Suministro Proveedor 1	29/5/23	29/5/23	1
Suministro Proveedor 2	29/5/23	29/5/23	1
FABRICACION TALLER			
Fabricación y unión de vigas y travesaños	29/5/23	30/5/23	2
Instalación del suelo trámex antideslizante	30/5/23	31/5/23	2
Fabricación y soldadura del pasamanos y el rodapié	29/5/23	31/5/23	3
Imprimado y pintado de la plataforma	1/6/23	1/6/23	1
MONTAJE OBRA			
Montaje del soporte junto con el trámex	2/6/23	7/6/23	5
Soldadura de pasamanos y rodapié a la pasarela	8/6/23	14/6/23	6
Revisión de todas las soldaduras y tratamiento de posibles desperfectos	14/6/23	14/6/23	1
PRUEBAS			
END'S - Prueba de carga	15/6/23	15/6/23	1
CERTIFICACIONES			
Evaluación de riesgos específica	1/6/23	15/6/23	13
Certificado de calidad	15/6/23	15/6/23	1
Certificado de materiales y CE	1/6/23	16/6/23	14
Certificación de soldadores	-	16/6/23	-

Tabla 5. Duraciones y fechas de los subentregables del proyecto "Accesos Seguros". Fuente: Planificación empresa

En el caso de este proyecto, al ser fabricación en taller y montaje en las dependencias industriales del propio cliente, las actividades son secuenciales, lo que significa que el entregable de montaje solo puede realizarse cuando se ha completado el de fabricación, y este a su vez, evidentemente cuando se disponga de los materiales necesarios. Lo mismo debe entenderse respecto a la prueba de carga, para la que es necesario la finalización de los trabajos. Es por ello que no se precisa la realización de una tabla de precedencias.

Por otro lado, el módulo de certificaciones es independiente al resto, al ser un tema de gestión administrativa. Por ejemplo, la evaluación de riesgos puede irse realizando en paralelo al resto de actividades, los certificados de calidad se entregan el día de la prueba de carga y, los certificados de



los soldadores se enviarán al cliente el día posterior al cierre del proyecto. Sin embargo, los certificados de los materiales y la certificación CE de la plataforma únicamente puede comenzarse cuando se haya terminado de fabricar y, con carácter anterior al montaje, para asegurar su conformidad. En este momento surge la única relación de precedencia del proyecto.

Con esta información y, tras su aprobación por el cliente, se puede finalizar el planning definitivo del proyecto (Tabla 6), que cumple con los requisitos demandados por el cliente en el cuaderno de cargas. Este planning e representa como diagrama de Gantt, ya que es la herramienta que utilizó la empresa.



3.1.1.c. Recursos empleados para la realización del proyecto Accesos Seguros – Sonae Arauco.

Si bien es verdad que a lo largo de un proyecto son muchos los recursos empleados, ya sean materiales, personal, capital, instalaciones o tiempo utilizado, en lo relativo a este apartado el análisis se va a centrar en el equipo de trabajo. El motivo fundamental de esta decisión es la posterior aplicación del método de la cadena crítica como método de gestión de proyectos, pues los materiales y financiación son únicos para cada proyecto, mientras que cuando se trata de entornos multiproyecto, los trabajadores son los mismos para unos trabajos u otros, ya que se comparten entre todos los jefes de proyectos.

Este proyecto, desarrollado para Sonae Arauco durante menos de un mes, cuenta con un equipo de trabajo de cuatro personas, excluyendo al jefe de proyecto. Dichos trabajadores serán dos soldadores homologados, un montador de primera categoría y un jefe de equipo. En este caso no haría falta un tubero -que es uno de los puestos de trabajo más abundantes en la empresa-, pues solamente será preciso soldar y realizar el montaje de los materiales suministrados por el proveedor.

De estos operarios, que únicamente serán necesarios durante los días de trabajo, sólo uno de los soldadores, el montador y el jefe de equipo trabajarán al completo en este proyecto, siendo el segundo soldador homologado un recurso personal al que se recurrirá en posibles fases de elevada carga de trabajo. El jefe de equipo no solo dirige, sino que también debe colaborar en los trabajos a realizar.

De esta manera, para las tareas de fabricación en taller serán necesarios únicamente los tres trabajadores indicados, mientras que cuando ya se empiece el montaje en obra, debido al aumento de trabajo, se solicitará la ayuda del segundo soldador. El apartado de pruebas y certificaciones se realiza en presencia del jefe de proyecto, que es el encargado fundamental de estas tareas en paralelo con la fabricación y el montaje.

Esta planificación de recursos es muy importante para los siguientes apartados, pues se han de tener en cuenta que aquellos trabajadores que, durante las fechas indicadas en el planning de la Tabla 6, estén trabajando en el proyecto de “Accesos Seguros”, no podrán dedicarse a otras tareas.

3.1.2. Proyecto xCSS TOGG – AVL Ibérica.

AVL cuenta con más de 10.400 empleados en todo el mundo para erigirse como la mayor empresa independiente del mundo dedicada al desarrollo, simulación, ensayo e integración de sistemas de propulsión. Su mayor presencia se encuentra en España, Portugal y México. Su objeto social incluye compra, venta, desarrollo y distribución de máquinas, productos o instrumentos, como motores u objetos de propulsión (AVL Ibérica, 2023).

3.1.2.a. Alcance del proyecto xCSS TOGG – AVL Ibérica.

El proyecto a desarrollar para AVL tiene por objeto la fabricación de tubería de interconexión entre módulo compresor, módulos condensadores y módulo evaporador, y la fabricación de una bancada para los condensadores.

En primer lugar, se producirá e instalará la bancada del condensador. La fabricación se conformará en UPN 120 de aproximadamente 450kg de acero negro, incluyendo 4 cáncamos de seguridad para su elevación. Se confirmará el diseño con AVL previo a su fabricación (Figura 25).

La empresa encargada del proyecto aportará el certificado CE de los bastidores y la pintura adecuada para soportar ambientes marinos.

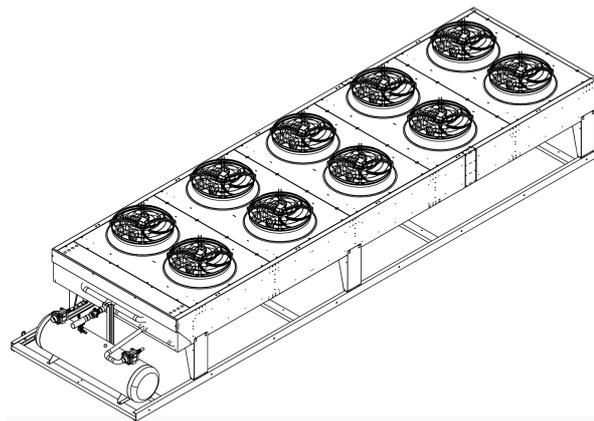


Figura 25. Parte del croquis de la bancada para el condensador realizado por la empresa. Fuente: Cuaderno de cargas de proyecto

Posteriormente se realizará la interconexión de equipos. La empresa a cargo se compromete a la fabricación de colectores para condensadores incluyendo montaje de valvulería suministrada por cliente (AVL). En dicha fabricación se incluye utilización de casquillos mecanizados para adaptar uniones cobre-inox con el fin de evitar fugas. Se verificarán diámetros previa implantación para evitar problemas de velocidad del fluido y presión. Se utilizará tubería de 5", 2" e inferior basándose en equipos de anteriores trabajos.

A continuación se realizará la conexión bancada compresora a ambos condensadores en inoxidable. Se prevén tubería de 2 ½", 2" y 1 ¼" basándose en equipos anteriores. El alcance del proyecto incluye también la fabricación de arañas en inoxidable y posible suportación de esta en acero al carbono pintada para el evaporador (Figura 26).



Figura 26. Colectores del evaporador. Fuente: Cuaderno de cargas de proyecto

Algunos de los trazados de tubería de interconexión se pueden observar, a base de ejemplo en la Figura 27.



Figura 27. Ejemplo trazado tubería interconexión. Fuente: Fotografía tomada en montaje de proyecto



La empresa a cargo del proyecto garantiza la perfecta trazabilidad de los tubos de inoxidable empleados en las arañas de interconexión.

A parte de la fabricación, la empresa ejecutora del proyecto asumirá las pruebas de nitrógeno para asegurar el funcionamiento, incluyendo un día de pruebas con nitrógeno, y su suministro, a un máximo de 30 bares en presencia de empresa homologadora.

Con todo lo descrito anteriormente, el proyecto ofertado alcanza la cifra de 23.327,76€, que abonará la empresa cliente tras la finalización del mismo.

3.1.2.b. Actividades, duraciones y relaciones de precedencia del proyecto xCSS TOGG – AVL Ibérica.

Este proyecto comenzó con un periodo de estudio, el 13 de marzo de 2023, cuando el cliente concedió la adjudicación del mismo. Dicha etapa fue larga en comparación con otros proyectos de similar magnitud, pues el análisis de los elementos a fabricar y cómo conectar los condensadores con la bancada fue bastante complejo.

Tras dos semanas de estudio, y después de concretar una solución que el cliente aceptó, la fabricación comenzó el 28 de marzo de 2023. Se predijo que el proyecto tendría una duración de seis semanas entre montaje, instalación de las tuberías de interconexión, pruebas y homologaciones necesarias. Se fijó la fecha de entrega del proyecto el lunes 8 de mayo de 2023. En este caso se fue bastante prudente con las fechas, pues aunque se habían realizado trabajos similares en otras plantas, este contaba con algunas especificaciones técnicas muy concretas.

Con todo lo descrito en el alcance y sumando la etapa de estudio, que en este proyecto adquirió una importancia elevada, el conjunto de las actividades se detalla en la Tabla 7. Además se incluyen los entregables más relevantes del proyecto, los trabajos fechados y acordados con el cliente, para que en caso de que quisieran realizar un seguimiento, pudieran consultar con facilidad el planning detallado.



Actividad
1. ESTUDIO, INGENIERÍA Y SUMINISTRO MATERIALES
1.1. Estudio del proyecto
1.2. Suministro Proveedores
2. FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE LA BANCADA
2.1. Soldadura de la bancada
2.2. Mecanizado de la bancada
2.3. Fabricación y montaje
2.4. Remates, pintado y limpieza
3. MONTAJE E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE INTERCONEXIÓN
3.1. Fabricación de tubería (incluidas arañas)
3.2. Montaje de valvulería
3.3. Remates, limpieza y transporte a casa del cliente
3.4. Instalación de colectores
4. CONEXIÓN DE LA BANCADA CON LOS CONDENSADORES
4.1. Instalación de arañas de conexión bancada-condensadores
4.2. Fabricación y montaje de suportación de arañas
5. PRUEBAS
5.1. Realización de prueba de nitrógeno en la instalación
6. ENTREGA DE CERTIFICADOS Y ACREDITACIÓN DE TRABAJOS HOMOLOGADOS
6.1. Homologación en los procedimientos de soldadura
6.2. Homologación de los soldadores en dichos procedimientos
6.3. Entrega certificado CE de bancada
6.4. Entrega acreditación de soldaduras y soldadores

Tabla 7. Entregables del proyecto "xCSS TOGG". Fuente: Planificación empresa

Se incluye el suministro de materiales, importante para la gestión del jefe de proyecto, ya que se necesitan tubos de diámetros grandes, que no son tan comerciales. También se añade la etapa de homologación tanto de los soldadores como de los procedimientos, que se podrá realizar en paralelo a la fabricación.

Una vez concretadas con el cliente las actividades a realizar, se fija la duración en días y las fechas de inicio y fin de las mismas, para posteriormente poder realizar el diagrama de Gantt del proyecto.

Como se ha explicado antes, dicho diagrama de Gantt es diseñado por la empresa, pero se comparte y aprueba con el cliente, para que ellos mismos puedan realizar un seguimiento en el momento que lo crean necesario.

Al igual que en otros proyectos, la duración de las actividades se supone en función de los recursos que se calcula que se van a necesitar para el desarrollo de dichas tareas mediante métodos de estimación internos (i.e. cálculo del Estudio del Precio Medio de la Hora, EPMH) , contando con que muchos recursos serán compartidos y deberán tener disponibilidad en esas fechas acordadas con cliente. En la Tabla 8 se observa dicha planificación, con fechas dispuestas en los entregables acordados.

Actividad	DURACIÓN	INICIO	FINAL
1. ESTUDIO, INGENIERÍA Y SUMINISTRO MATERIALES			
1.1. Estudio del proyecto	9	13/3/23	23/3/23
1.2. Suministro Proveedores	6	20/3/23	27/3/23
2. FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE LA BANCADA			
2.1. Soldadura de la bancada	3	28/3/23	30/3/23
2.2. Mecanizado de la bancada	2	31/3/23	3/4/23
2.3. Fabricación y montaje	2	4/4/23	5/4/23
2.4. Remates, pintado y limpieza	1	6/4/23	6/4/23
3. MONTAJE E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE INTERCONEXIÓN			
3.1. Fabricación de tubería (incluidas arañas)	11	7/4/23	21/4/23
3.2. Montaje de valvulería	3	24/4/23	26/4/23
3.3. Remates, limpieza y transporte a casa del cliente	1	27/4/23	27/4/23
3.4. Instalación de colectores	1	28/4/23	28/4/23
4. CONEXIÓN DE LA BANCADA CON LOS CONDENSADORES			
4.1. Instalación de arañas de conexión bancada-condensadores	1	1/5/23	1/5/23
4.2. Fabricación y montaje de suportación de arañas	3	2/5/23	4/5/23
5. PRUEBAS			
5.1. Realización de prueba de nitrógeno en la instalación	1	5/5/23	5/5/23
6. ENTREGA DE CERTIFICADOS Y ACREDITACIÓN DE TRABAJOS HOMOLOGADOS			
6.1. Homologación en los procedimientos de soldadura	7	28/3/23	5/4/23
6.2. Homologación de los soldadores en dichos procedimientos	7	28/3/23	5/4/23
6.3. Entrega certificado CE de bancada	1	8/5/23	8/5/23
6.4. Entrega acreditación de soldaduras y soldadores	1	8/5/23	8/5/23

Tabla 8. Duraciones y fechas de los entregables del proyecto "xCSS TOGG". Fuente: Planificación empresa



Este proyecto sigue, en su mayoría, una realización secuencial de las actividades, salvo en el entregable uno, pues mientras se realiza el estudio se puede ir contactando con proveedores, para que los materiales que ya se ha decidido adquirir se suministren a tiempo. Además hay alguna actividad que se produce en paralelo, como la homologación de los soldadores y de los procedimientos. Por lo demás, el resto de actividades del proyecto siguen un orden secuencial.

Con esta información y, tras la aprobación del cliente, se puede finalizar el planning definitivo del proyecto (Tabla 9), que cumple con los requisitos demandados por el cliente en el cuaderno de cargas en lo relativo a fechas de entrega. Se representa como diagrama de Gantt, que es la herramienta que utilizó la empresa y que presentó al responsable del proyecto de AVL.



3.1.2.c. Recursos empleados para la realización del proyecto xCSS TOGG – AVL Ibérica.

Pese a que la etapa más compleja de este proyecto es el estudio y la decisión de cómo llevar a cabo la ingeniería de los trabajos, desarrollado todo ello por el jefe de proyecto, la presente exposición se centrará en el análisis de los recursos y los técnicos encargados de realizar las tareas, con el fin de unificar criterios en todos los proyectos descritos.

Para la realización de las actividades expuestas en la Tabla 7, se precisa de un equipo de trabajo formado por un soldador, un tubero, un montador (mecánico) y un ayudante. En este proyecto el jefe de equipo será directamente el jefe de proyecto, pues al llevar una ingeniería compleja es preferible que se haga cargo de dichas tareas el responsable del mismo. Sin embargo, no se englobará en el equipo de trabajo como tal ya que, en su mayoría, los trabajadores pueden realizarlo de forma autónoma con las especificaciones facilitadas por el jefe de proyecto.

Los puntos 2. (*Fabricación e instalación de la bancada*) y 3. (*Montaje e instalación de tuberías de interconexión*) necesitarán la colaboración de todos los miembros de equipo de trabajo. En cambio, para las tareas del punto 4. (*Conexión de la bancada con los condensadores*) únicamente se utilizará al soldador, al mecánico y al ayudante. De esta manera, el tubero queda liberado el día 28 de abril para otros proyectos en los que se le pueda necesitar.

Por último, para la realización de la prueba de nitrógeno en la instalación, el jefe de proyecto únicamente necesitará el apoyo del mecánico, encargado de poner a punto el sistema. Los demás trabajos se realizan de manera paralela y los gestiona el mismo jefe de proyecto.

De esta manera quedan distribuidos los operarios asignados a este proyecto, que pese a tener estos trabajos encargados, únicamente realizarán tareas en los días de trabajo marcados en el planning de la Tabla 9. Dentro de la empresa, este grupo de trabajadores que pueden intercalar trabajos de proyectos diferentes se denomina “equipo móvil” y son la clave del correcto funcionamiento de la organización.

Esta planificación de recursos es muy importante para los siguientes apartados del trabajo, pues es preciso conocer con detalle cómo se reparten los operarios en las fechas determinadas.



3.1.3. Proyecto Transformación de Prensas API 151 → API 171 CPC – Michelin.

Michelin es una gran empresa multinacional de renombre dentro del sector de la automoción. Su principal actividad comercial es la fabricación y venta de neumáticos tanto para turismos, como para otros sectores, como el agrícola, las motos, rallye o incluso aeronáutica. Ocupan el 15% del mercado mundial del neumático y cuenta con más de 123.600 empleados (Michelin España, 2023).

3.1.3.a. Alcance del proyecto Transformación de Prensas API 151 → API 171 CPC – Michelin.

El proyecto en cuestión es bastante complejo y con infinidad de condicionantes técnicos y de normativa, dado a la magnitud del cliente y del proyecto, por lo que el alcance descrito y las actividades y recursos mostrados más adelante serán una reducción importante de la realidad, pero siempre con total veracidad y validez de los datos más relevantes.

El alcance del proyecto incluye la transformación completa de 29 prensas API 151 a API 171 CPC con fabricación, suministro e instalación en el taller FAB-2 de la fábrica Michelin de Valladolid. Se entienden incluidos los trabajos mecánicos, neumáticos, y la dirección de obra para la coordinación de todo el proyecto mecánico. Los trabajos eléctricos quedan excluidos. El proyecto a desarrollar se extenderá en el tiempo desde abril de 2022, transformando 13 prensas, hasta diciembre de 2023, transformando las 16 restantes. Este proyecto comprende, a grandes rasgos, los siguientes trabajos:

- 1.- Sustitución de cuba API 151 por API 171 CPC.
- 2.- Montaje kit de vapor.
- 3.- Modificación del cuadro de cocción.
- 4.- Modificación del armario neumático de cocción.

Los detalles de funcionamiento y sus particularidades están definidos por Michelin. Además, la empresa a cargo del proyecto debe tener presente en todos los trabajos a realizar, la normativa interna MICHELIN, así como la normativa general para evitar la contaminación de productos.

El objetivo del proyecto es realizar una prensa como la definida a grandes rasgos en la Figura 28 a grandes rasgos, ya que el listado de materiales/planos concretos y demás elementos son altamente confidenciales y sólo son facilitados por el cliente para visualización de la empresa prestataria.

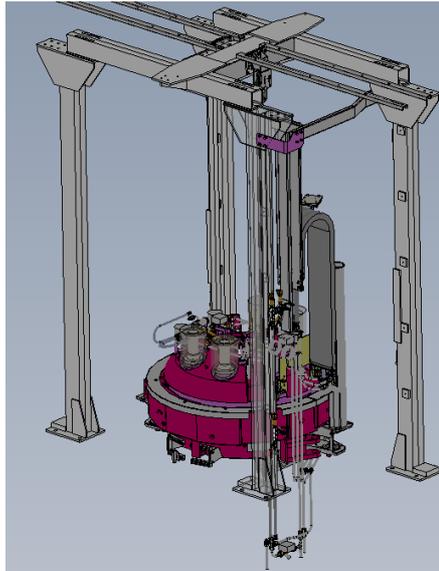


Figura 28. Prensa API 171CPC. Fuente: Cuaderno de cargas de proyecto

Dichas prensas tienen como objetivo transformar, mediante comportamientos mecánicos, hidráulicos y térmicos, el caucho sintético en el neumático que posteriormente se vende, aportándole las propiedades necesarias.

La empresa deberá asumir la dirección de obra, la fabricación, el montaje, la verificación y la puesta en marcha. Del mismo modo, el jefe de proyecto deberá prestar especial atención a asegurar la animación y la supervisión de la ejecución del proyecto, informar en tiempo real a los servicios MICHELIN de todas las desviaciones, de cualquier índole, que puedan surgir en el desarrollo del proyecto. Se debe supervisar el avance del proyecto en tiempo real y reactualizar los planning difundiendo las situaciones de estos periódicamente.

La instalación se realiza bajo la modalidad de llave en mano, es decir, la empresa proveedora realizará la construcción, montaje y puesta en marcha de la instalación en todo lo que afecte a la mecánica y neumática, asumiendo el planning de ejecución acordado en conjunto con el responsable de producción y ejecutando las tareas necesarias para llevarlo a cabo.

Para las intervenciones con trabajos en altura, se respetará el referencial 591-SGEP: trabajos en altura.



La empresa ejecutora del proyecto deberá prever la tornillería para la fijación y unión de todos los elementos y conjuntos. Todos los elementos, herramientas, protecciones, aislamientos y maquinarias necesarias para la realización de los trabajos serán aportados por la empresa ejecutora.

En lo referente a la logística del proyecto, se asumen el embalado de todo el material, la carga de camiones en los talleres, los portes y seguros del transporte propiamente dicho y la descarga de materiales en obra.

Antes de comenzar la fase de instalación, se comprobará la presencia de todo el material necesario, así como su premontaje.

Cuando el trabajo esté finalizado y, rematado todo lo que se ha descrito anteriormente de una manera muy superficial, contando con la aprobación del cliente, se obtendrá el beneficio económico del proyecto ofertado, que supera los 600.000€.

3.1.3.b. Actividades, duraciones y relaciones de precedencia del proyecto Transformación de Prensas API 151 → API 171 CPC – Michelin.

Como se ha comentado en la descripción del alcance, este proyecto es muy complejo y el número de actividades de las que se compone podría superar fácilmente la centena. Por eso, se ha reducido el planteamiento de actividades y el posterior diagrama de Gantt a los entregables más significativos, de manera que se facilite su lectura y la comprensión del objetivo que se pretende con su presentación.

Este proyecto comenzó en febrero de 2022 con las primeras reuniones y estudios de los trabajos a realizar. Posteriormente, se le concedió a la empresa el proyecto y comenzaron los contactos con los proveedores para el suministro de todos los materiales necesarios. Este proceso de preparación, como lo llama Michelin, duró hasta finales del mes de mayo de 2022.

El montaje e instalación comenzó a principios de junio de 2022 y constituye, básicamente, los procesos en los que se va a centrar este apartado. Actualmente, los trabajos se siguen realizando y tienen fecha de entrega en el mes de diciembre de 2023, época en la que deben estar modificadas y sustituidas las 29 prensas de cocción que se fijaron en la oferta inicial.

Las principales actividades que se van a detallar y fijar en el posterior diagrama de Gantt, en las que vamos a centrar nuestro análisis del proyecto se recogen en la Tabla 10. Estas tareas resumen de una manera muy significativa las fases del proyecto, gestionado por la empresa en dos etapas: (1) desde junio de 2022 hasta diciembre de 2022, y (2) de abril de 2023 a diciembre de 2023, coincidiendo en parte con la fecha en que finaliza mi contrato de prácticas (i.e. julio de 2023), aunque posteriormente se seguirá avanzando en los trabajos hasta la finalización del proyecto.

Actividad
1. SUMINISTRO PROVEEDORES
1.1. Suministro proveedores para las primeras 13 prensas
1.2. Suministro proveedores para las restantes 16 prensas
2. FABRICACION Y MONTAJE EN TALLER
2.1. Fabricación tubería primeras 13 prensas
2.2. Fabricación y montaje piecerío de primeras 13 prensas
2.3. Fabricación tubería restantes 16 prensas
2.4. Fabricación y montaje piecerío de restantes 16 prensas
3. INSTALACIÓN
3.1. Parada de las prensas E01-E02 para su sustitución. Puesta en marcha
3.2. Parada de las prensas E06-E07-E08-E09 para su sustitución. Puesta en marcha
3.3. Parada de las prensas E10-E11-E12-E13 para su sustitución. Puesta en marcha
3.4. Parada de las prensas E03-E04-E05 para su sustitución. Puesta en marcha
3.5. Parada de las prensas E14-E15 para su sustitución. Puesta en marcha
3.6. Parada de las prensas E19-E20-E21-E22 para su sustitución. Puesta en marcha
3.7. Parada de las prensas E23-E24-E25-E26 para su sustitución. Puesta en marcha
3.8. Parada de las prensas E16-E17-E18 para su sustitución. Puesta en marcha
3.9. Parada de las prensas E27-E28-E29 para su sustitución. Puesta en marcha
4. CERTIFICADOS Y DOCUMENTOS
4.1. Entrega documentos primeras 13 prensas
4.2. Entrega documentos de las 16 prensas restantes
4.3. Documentación de cierre de proyecto.

Tabla 10. División en entregables del proyecto "Transformación de Prensas API 151 a API 171 CPC". Fuente: Planificación empresa



Estos entregables se ajustan al mismo método de planificación y gestión en ambas etapas del proyecto -en 2022 para las primeras 13 prensas y en 2023 para las siguientes 16- hasta alcanzar las 29, es decir la sustitución completa de la línea E. Por eso, las fechas y las duración son prácticamente iguales pero en años diferentes, como se observa en la Tabla 11. Sin embargo, y de manera diferente a planificaciones de proyectos más sencillos, al ser un proyecto tan largo, la duración en días de las actividades no se representó con detalle, simplemente se indicó la fecha de comienzo y la de finalización, ya que, si por motivos extraordinarios se retrasara esa fecha unos días, esta decisión no sería tan crítica como en otros casos, siempre que se avise a Michelin con tiempo suficiente para modificar la planificación.

Actividad	Inicio	Final
1. SUMINISTRO PROVEEDORES		
1.1. Suministro proveedores para las primeras 13 prensas	19/4/22	10/5/22
1.2. Suministro proveedores para las restantes 16 prensas	17/4/23	15/5/23
2. FABRICACION Y MONTAJE EN TALLER		
2.1. Fabricación tubería primeras 13 prensas	20/4/22	4/6/22
2.2. Fabricación y montaje piecerío de primeras 13 prensas	1/5/22	4/6/22
2.3. Fabricación tubería restantes 16 prensas	18/4/23	2/6/23
2.4. Fabricación y montaje piecerío de restantes 16 prensas	28/4/23	2/6/23
3. INSTALACIÓN		
3.1. Parada de las prensas E01-E02 para su sustitución. Puesta en marcha	7/6/22	5/7/22
3.2. Parada de las prensas E06-E07-E08-E09 para su sustitución. Puesta en marcha	6/9/22	4/10/22
3.3. Parada de las prensas E10-E11-E12-E13 para su sustitución. Puesta en marcha	4/10/22	1/11/22
3.4. Parada de las prensas E03-E04-E05 para su sustitución. Puesta en marcha	1/11/22	29/11/22
3.5. Parada de las prensas E14-E15 para su sustitución. Puesta en marcha	5/6/23	3/7/23
3.6. Parada de las prensas E19-E20-E21-E22 para su sustitución. Puesta en marcha	3/7/23	31/7/23
3.7. Parada de las prensas E23-E24-E25-E26 para su sustitución. Puesta en marcha	4/9/23	2/10/23
3.8. Parada de las prensas E16-E17-E18 para su sustitución. Puesta en marcha	2/10/23	30/10/23
3.9. Parada de las prensas E27-E28-E29 para su sustitución. Puesta en marcha	30/10/23	27/11/23
4. CERTIFICADOS Y DOCUMENTOS		
4.1. Entrega documentos primeras 13 prensas	29/11/22	6/12/22
4.2. Entrega documentos de las 16 prensas restantes	27/11/23	4/12/23
4.3. Documentación de cierre de proyecto.	11/12/23	

Tabla 11. Fechas de los entregables del proyecto "Transformación de Prensas API 151 a API 171 CPC". Fuente: Planificación empresa



Para este proyecto en concreto, la duración de las actividades no se calculó por la empresa prestataria, sino que fue Michelin quien determinó las fechas, tras un estudio interno, de manera que es la empresa ejecutora quien debe ajustar sus recursos a dichas fechas establecidas. Por ello, el jefe de proyecto deberá gestionar de manera más precisa los recursos compartidos de los que dispone la empresa, pues no ha sido él mismo quien ha determinado el planning del proyecto acorde a las capacidades de la empresa.

En lo relativo a las relaciones de precedencia de este proyecto, al estar dividido en dos fases, la primera que se encuentra es que se han de terminar las primeras 13 prensas con éxito para poder optar a la adjudicación y, posteriormente a la realización de las 16 restantes. Por otro lado, en cada una de las dos fases, las únicas relaciones de precedencia fijadas son:

1. Cuando empiece a llegar el material suministrado por los proveedores y por Michelin es cuando se podrá empezar a fabricar, lógicamente.
2. Desde que empiezan a llegar los suministros hasta que se producen las paradas de las relativas prensas y su puesta en marcha, se dispone de dos meses para la fabricación de la tubería y el piecerío, a organizarse como desee el proveedor.
3. Cada agrupación de prensas permanecerá parada para su sustitución un tiempo límite de cuatro semanas, disponiendo de más margen en la primera sustitución de cada fase, que se cambian menos cantidad de prensas. En ese tiempo se producirá la sustitución y la puesta en marcha de las nuevas prensas.
4. Tras la sustitución del lote completo en cada fase, se dispone de una semana para entregar la documentación pertinente.
5. Tras finalizar el proyecto completo, se contará a mayores con una semana entera para realizar la entrega de la documentación de cierre de proyecto.

Con estas indicaciones de precedencia aportadas por el cliente -bastante sencillas como para no necesitar el jefe de proyectos la realización de ningún tipo de tabla-, la empresa puede confeccionar el planning del proyecto completo.



Se muestra esta planificación en formato de diagrama de Gantt en la Tabla 12, donde se observa alguna peculiaridad con respecto a otros proyectos. Cada una de las fases se encuentra resaltada en un color diferente, para diferenciarlas claramente; la última semana de cada parada de agrupaciones de prensas (marcada en rojo) coincide con el comienzo de la parada del siguiente grupo, pues sólo se ha de realizar la puesta en marcha, lo que no lleva más de un día de trabajo. Michelin utiliza el mes de agosto para realizar tareas de mantenimiento y otros menesteres propios (e.g. en 2022 también se usó el mes de julio casi entero), por lo que durante esos días no se puede trabajar en el proyecto.

Actividad	Inicio	Final	2022																																			
			abr-22			may-22				jun-22				jul-22				ago-22				sept-22				oct-22				nov-22				dic-22				
			19	26	03	10	17	24	31	07	14	21	28	05	12	19	26	02	09	16	23	30	06	13	20	27	04	11	18	25	01	08	15	22	29	06	13	
1. SUMINISTRO PROVEEDORES																																						
1.1. Suministro proveedores para las primeras 13 prensas	19/4/22	10/5/22																																				
1.2. Suministro proveedores para las restantes 16 prensas	17/4/23	15/5/23																																				
2. FABRICACIÓN Y MONTAJE EN TALLER																																						
2.1. Fabricación tubería primeras 13 prensas	20/4/22	4/6/22																																				
2.2. Fabricación y montaje ptecerío de primeras 13 prensas	1/5/22	4/6/22																																				
2.3. Fabricación tubería restantes 16 prensas	18/4/23	2/6/23																																				
2.4. Fabricación y montaje ptecerío de restantes 16 prensas	28/4/23	2/6/23																																				
3. INSTALACIÓN																																						
3.1. Parada de las prensas E01-E02 para su sustitución. Puesta en marcha	7/6/22	5/7/22																																				
3.2. Parada de las prensas E06-E07-E08-E09 para su sustitución. Puesta en marcha	6/9/22	4/10/22																																				
3.3. Parada de las prensas E10-E11-E12-E13 para su sustitución. Puesta en marcha	4/10/22	1/11/22																																				
3.4. Parada de las prensas E03-E04-E05 para su sustitución. Puesta en marcha	1/11/22	29/11/22																																				
3.5. Parada de las prensas E14-E15 para su sustitución. Puesta en marcha	5/6/23	3/7/23																																				
3.6. Parada de las prensas E19-E20-E21-E22 para su sustitución. Puesta en marcha	3/7/23	31/7/23																																				
3.7. Parada de las prensas E23-E24-E25-E26 para su sustitución. Puesta en marcha	4/9/23	2/10/23																																				
3.8. Parada de las prensas E16-E17-E18 para su sustitución. Puesta en marcha	2/10/23	30/10/23																																				
3.9. Parada de las prensas E27-E28-E29 para su sustitución. Puesta en marcha	30/10/23	27/11/23																																				
4. CERTIFICADOS Y DOCUMENTOS																																						
4.1. Entrega documentos primeras 13 prensas	29/11/22	6/12/22																																				
4.2. Entrega documentos de las 16 prensas restantes	27/11/23	4/12/23																																				
4.3. Documentación de cierre de proyecto.	11/12/23																																					

Actividad	Inicio	Final	2023																																			
			abr-23			may-23				jun-23				jul-23				ago-23				sept-23				oct-23				nov-23				dic-23				
			17	24	01	08	15	22	29	05	12	19	26	03	10	17	24	31	07	14	21	28	04	11	18	25	02	09	16	23	30	06	13	20	27	04	11	
1. SUMINISTRO PROVEEDORES																																						
1.1. Suministro proveedores para las primeras 13 prensas	19/4/22	10/5/22																																				
1.2. Suministro proveedores para las restantes 16 prensas	17/4/23	15/5/23																																				
2. FABRICACIÓN Y MONTAJE EN TALLER																																						
2.1. Fabricación tubería primeras 13 prensas	20/4/22	4/6/22																																				
2.2. Fabricación y montaje ptecerío de primeras 13 prensas	1/5/22	4/6/22																																				
2.3. Fabricación tubería restantes 16 prensas	18/4/23	2/6/23																																				
2.4. Fabricación y montaje ptecerío de restantes 16 prensas	28/4/23	2/6/23																																				
3. INSTALACIÓN																																						
3.1. Parada de las prensas E01-E02 para su sustitución. Puesta en marcha	7/6/22	5/7/22																																				
3.2. Parada de las prensas E06-E07-E08-E09 para su sustitución. Puesta en marcha	6/9/22	4/10/22																																				
3.3. Parada de las prensas E10-E11-E12-E13 para su sustitución. Puesta en marcha	4/10/22	1/11/22																																				
3.4. Parada de las prensas E03-E04-E05 para su sustitución. Puesta en marcha	1/11/22	29/11/22																																				
3.5. Parada de las prensas E14-E15 para su sustitución. Puesta en marcha	5/6/23	3/7/23																																				
3.6. Parada de las prensas E19-E20-E21-E22 para su sustitución. Puesta en marcha	3/7/23	31/7/23																																				
3.7. Parada de las prensas E23-E24-E25-E26 para su sustitución. Puesta en marcha	4/9/23	2/10/23																																				
3.8. Parada de las prensas E16-E17-E18 para su sustitución. Puesta en marcha	2/10/23	30/10/23																																				
3.9. Parada de las prensas E27-E28-E29 para su sustitución. Puesta en marcha	30/10/23	27/11/23																																				
4. CERTIFICADOS Y DOCUMENTOS																																						
4.1. Entrega documentos primeras 13 prensas	29/11/22	6/12/22																																				
4.2. Entrega documentos de las 16 prensas restantes	27/11/23	4/12/23																																				
4.3. Documentación de cierre de proyecto.	11/12/23																																					

Actividad	Inicio	Final	2021																																				2022																																				2023																																			
			abr-21			may-21				jun-21				jul-21				ago-21				sept-21				oct-21				nov-21				dic-21	abr-22			may-22				jun-22				jul-22				ago-22				sept-22				oct-22				nov-22				dic-22																																												
			01	08	15	22	29	05	12	19	26	03	10	17	24	31	07	14	21	28	04	11	18	25	02	09	16	23	30	06	13	20	27	04	11	18	25	01	08	15	22	29	06	13	19	26	03	10	17	24	31	07	14	21	28	04	11	18	25	02	09	16	23	30	06	13	20	27	04	11																																								
1. SUMINISTRO PROVEEDORES																																																																																																														
1.1. Suministro proveedores para las primeras 13 prensas	19/4/21	10/5/21																																																																																																												
1.2. Suministro proveedores para las restantes 16 prensas	17/4/21	15/5/21																																																																																																												
2. FABRICACIÓN Y MONTAJE EN TALLER																																																																																																														
2.1. Fabricación tubería primeras 13 prensas	20/4/21	4/6/21																																																																																																												
2.2. Fabricación y montaje ptecerío de primeras 13 prensas	1/5/21	4/6/21																																																																																																												
2.3. Fabricación tubería restantes 16 prensas	18/4/21	2/6/21																																																																																																												
2.4. Fabricación y montaje ptecerío de restantes 16 prensas	28/4/21	2/6/21																																																																																																												
3. INSTALACIÓN																																																																																																														
3.1. Parada de las prensas E01-E02 para su sustitución. Puesta en marcha	7/6/21	5/7/21																																																																																																												
3.2. Parada de las prensas E06-E07-E08-E09 para su sustitución. Puesta en marcha	6/9/21	4/10/21																																																																																																												
3.3. Parada de las prensas E10-E11-E12-E13 para su sustitución. Puesta en marcha	4/10/21	1/11/21																																																																																																												
3.4. Parada de las prensas E03-E04-E05 para su sustitución. Puesta en marcha	1/11/21	29/11/21																																																																																																												
3.5. Parada de las prensas E14-E15 para su sustitución. Puesta en marcha	5/6/22	3/7/22																																																																																																												
3.6. Parada de las prensas E19-E20-E21-E22 para su sustitución. Puesta en marcha	3/7/22	31/7/22																																																																																																												
3.7. Parada de las prensas E23-E24-E25-E26 para su sustitución. Puesta en marcha	4/9/22	2/10/22																																																																																																												
3.8. Parada de las prensas E16-E17-E18 para su sustitución. Puesta en marcha	2/10/22	30/10/22																																																																																																												
3.9. Parada de las prensas E27-E28-E29 para su sustitución. Puesta en marcha	30/10/22	27/11/22																																																																																																												
4. CERTIFICADOS Y DOCUMENTOS																																																																																																														
4.1. Entrega documentos primeras 13 prensas	29/11/21	6/12/21																																																																																																												
4.2. Entrega documentos de las 16 prensas restantes	27/11/22	4/12/22																																																																																																												
4.3. Documentación de cierre de proyecto.	11/12/23																																																																																																													

Tabla 12. Planning desglosado en años y conjunto, mediante diagrama de Gantt, del proyecto "Transformación de Prensas API 151 a API 171 CPC". Fuente: Planificación empresa



3.1.3.c. Recursos empleados para la realización del proyecto Transformación de Prensas API 151 → API 171 CPC – Michelin.

En el caso de este proyecto, la utilización de los recursos se va a plantear de una manera un poco más general debido a la complejidad y la duración del mismo. Michelin es un cliente habitual para la empresa y se realizan constantes trabajos en sus instalaciones, de ahí que se cuente con un equipo de trabajo bastante amplio de manera permanente en las infraestructuras de Michelin (incluso un jefe de proyecto de la empresa tiene allí su oficina, dedicándose únicamente a temas relacionados con esta empresa cliente).

Como en todos los proyectos, los materiales, los recursos financieros y de tiempo empleados adquieren un valor independiente, pero en el caso del personal sí se comparten algunos operarios con otros proyectos que se ejecuten durante la duración de este proyecto “Transformación de Prensas API 151 -> API 171 CPC”.

En concreto, para la realización de estos trabajos se ha de contar de manera permanente en las instalaciones con un jefe de equipo (oficial de primera con experiencia en las prensas de Michelin), dos soldadores homologados y dos ayudantes (oficiales de tercera que pueden ayudar con las labores menos técnicas). Estas cinco personas completan el “equipo de prensas” que dedicarán los dos años de ejecución del proyecto a sus trabajos correspondientes. Sin embargo, tal como se ha comentado en el planning de la Tabla 12, Michelin realiza paradas de proyecto y existen días donde no se puede entrar a trabajar, por lo que se aprovechará a sacar parte del equipo para otros trabajos donde se requiera personal.

A estos cinco operarios hay que sumar una pareja, formada por un soldador y un tubero, y un montador que realizarán los trabajos y las fabricaciones necesarias en el taller de la empresa para su posterior traslado e instalación en Michelin. Además, en caso de estar apurados de tiempo en las fechas de paradas de prensas establecidas para su sustitución, dichos empleados acudirán también a la zona de trabajo en Michelin para echar una mano.

Como conclusión, se podría decir que para este proyecto se cuenta con un equipo fijo de cinco trabajadores de manera permanente en Michelin -que no podrán atender casi nunca otros proyectos- y con otros tres que realizan las tareas de fabricación y montaje en taller y que se pueden desplazar a Michelin en caso de necesidad, además de ser capaces de incorporarse a otros equipos de trabajo cuando estén sin tareas asignadas a este proyecto.



3.1.4. Proyecto Sistema de Limpieza para 5 Filtros – Lesaffre Ibérica S.A.

Esta empresa del sector alimentario es un fabricante de levaduras y el productor más grande de este producto del mundo. Además, diseñan y comercializan soluciones innovadoras para la industria de la panificación, molinería y alimentación tanto animal como vegetal. Lesaffre Ibérica es la filial en España y Portugal. En Valladolid se encuentra la fábrica de levaduras y otras masas madre, con elevados avances tecnológicos (Lesaffre Ibérica S.A, 2023).

3.1.4.a. Alcance del proyecto Sistema de Limpieza para 5 Filtros – Lesaffre Ibérica S.A.

El proyecto consiste en la instalación de un sistema de limpieza para cinco filtros, a diseñar por la empresa, incluyendo la ingeniería, el suministro y el montaje.

Una vez realizado el diseño, para poder llevar a cabo el trabajo se fijó con el cliente el alcance del proyecto, que incluía los siguientes puntos:

1. Se realizará un picaje de la línea de agua existente en la sala.
2. El sistema empleará un depósito de agua a fin de servir como pulmón para que la línea de agua no resulte pobre de caudal al actuar en ciclos continuados.
3. El sistema está preparado para trabajar en un sistema de enjuague con agua, un ciclo de lanzamiento de espuma y un ciclo de aclarado para un máximo de dos filtros en paralelo como máximo.
4. Se prevé que el grupo de presión pueda abastecer tanto al ciclo de agua como al ciclo espumógeno.
5. Se utilizará un sistema FireDos (Figura 29) que actuará como proporcionador de espuma haciendo la mezcla al 3% según el espumógeno TOPAZ LD2 que es el que utiliza actualmente el cliente.

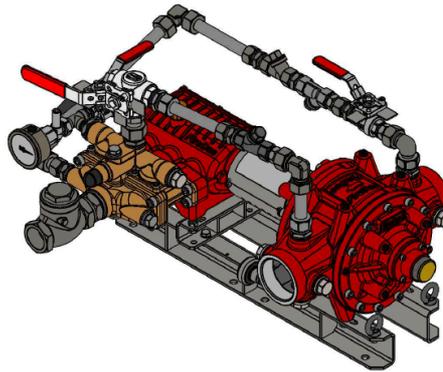


Figura 29. Sistema FireDos que actuará como proporcionador de espuma. Fuente: Cuaderno de cargas de proyecto

6. Se utilizará el rack existente en la pared haciendo pequeñas modificaciones para poder llevar, tanto el colector de agua como el colector de espuma de los que se compone el sistema, por la pared.
7. Cada filtro tendrá un sistema compuesto por dos lanzas de medio alcance y diez toberas o aspersores de aclarado (como el ejemplo que se muestra en la Figura 30).



Figura 30. Ejemplo de suministrador de espuma y aspersor de aclarado. Fuente: Fotografías tomadas en campo durante el montaje



Se espera que el suministro de agua no potable y energía de baja tensión correspondan al cliente. También se excluyen radiografías y homologaciones del sistema de tuberías del sistema. La empresa ejecutora tampoco incluye en su oferta las conexiones eléctricas y automatización del proceso.

Además, el sistema está compuesto por electroválvulas que puedan controlar la activación del ciclo de espuma o aclarado, y controlar cada uno de los filtros individualmente para decidir qué filtros limpiar en paralelo. La conexión de estas electroválvulas correrá por parte del cliente; en caso que quieran instalación por parte de la empresa, el costo será mayor al presentado inicialmente.

Con todo lo descrito anteriormente, incluida la ingeniería, el proyecto ofertado alcanza la cifra de 91.130,30€, que será abonada por la empresa cliente tras la finalización del mismo.

3.1.4.b. Actividades, duraciones y relaciones de precedencia del proyecto Sistema de Limpieza para 5 Filtros – Lesaffre Ibérica S.A.

El desarrollo del proyecto comenzó con la propuesta del diseño a utilizar, ingeniado por la empresa. Sin embargo, en este apartado se omitirá esa fase y se va a poner especial atención en lo que es la fabricación y montaje del sistema de limpieza, tanto en el taller propio como en la instalación y puesta a punto en las dependencias industriales del cliente.

El proyecto comenzó a ejecutarse el lunes 9 de enero de 2023, y tenía prevista una duración de 17 semanas, con la prueba de puesta en marcha, ya en casa del cliente, el domingo 7 de mayo de 2023. Esto significa que el proyecto se inició la semana 2 y se finalizó la semana 18 de 2023.

Tras la etapa de planificación y, con la aprobación del cliente, se concretó que el proyecto tendría cinco grandes entregables o tareas a realizar, las cuales, a su vez, tendrían subentregables más concretos. Estos entregables generales son:

1. Soportación y líneas principales.
2. La fabricación e instalación de la línea de espuma.
3. La fabricación e instalación de la línea de aclarado.
4. La instalación del grupo de presión y grupo espumógeno.

5. La prueba de puesta en marcha.

En la Tabla 13 se presentan las subdivisiones de dichas tareas en entregables más concretos que es lo que la empresa se pone como metas del proyecto y a las que asocia unas fechas de entrega con el cliente.

IDENTIFICACIÓN DE LA TAREA	TÍTULO DE LA TAREA
1.	Soportación y líneas principales
1.1.	Fabricación soportes taller
1.2.	Montaje tuberías principales en falso techo
2.	Línea de espuma
2.1.	Montaje soporte de lanzas
2.2.	Instalación de lanzas de espuma
3.	Línea de aclarado
3.1.	Ampliación angulares soportación
3.2.	Montaje línea de aclarado
4.	Grupo de presión y espumógeno
4.1.	Picaje en abastecimiento de agua
4.2.	Instalación de grupo de presión
4.3.	Instalación de FireDos
5.	Prueba de puesta en marcha

Tabla 13. División en entregables del proyecto "Sistema de limpieza de filtros". Fuente: Planificación empresa

Una vez se han definido las actividades a realizar, se debe fijar la duración en días y la fechas de inicio y fin de las mismas, para posteriormente poder realizar el diagrama de Gantt del proyecto. En este caso, al ser un proyecto largo, pero sencillo de definir en fases sí es posible utilizar dicha herramienta.

La duración de las actividades se calcula en función de los recursos que el jefe de proyecto prevé que va a necesitar para el desarrollo de dicha tarea mediante métodos de estimación internos, siempre teniendo en cuenta la elección más factible y realista y, también dependiendo de cómo y cuándo va a disponer de dichos recursos a lo largo del periodo de ejecución del proyecto. Además se tienen en cuenta plazos que permitan entregar la tarea con seguridad y a tiempo.

Con estas herramientas, se amplía la Tabla 14 añadiendo la duración de los entregables, en días, y al indicar la fecha de inicio y la fecha de entrega concretada con el cliente para cada uno de ellos (Tabla 14).

IDENTIFICACIÓN DE LA TAREA	TÍTULO DE LA TAREA	Fecha INICIO	Fecha ENTREGA	Duración en DÍAS
1.	Soportación y líneas principales			
1.1.	Fabricación soportes taller	9/1/23	13/1/23	5
1.2.	Montaje tuberías principales en falso techo	16/1/23	29/3/23	36
2.	Línea de espuma			
2.1.	Montaje soporte de lanzas	18/2/23	25/3/23	10
2.2.	Instalación de lanzas de espuma	10/3/23	25/3/23	6
3.	Línea de aclarado			
3.1.	Ampliación angulares soportación	8/4/23	30/4/23	8
3.2.	Montaje línea de aclarado	8/4/23	30/4/23	8
4.	Grupo de presión y espumógeno			
4.1.	Picaje en abastecimiento de agua	1/4/23	1/4/23	1
4.2.	Instalación de grupo de presión	5/5/23	6/5/23	2
4.3.	Instalación de FireDos	5/5/23	6/5/23	2
5.	Prueba de puesta en marcha	7/5/23		1

Tabla 14. Duraciones y fechas de los entregables del proyecto "Sistema de limpieza de filtros". Fuente: Planificación empresa

Dado que las actividades no son secuenciales por entregables (i. e. puede empezar a realizar algún entregable del punto dos sin tener terminado el punto uno completo), las relaciones de precedencia tienen un poco más de complejidad (Tabla 15). Estas relaciones se programaron para los entregables más concretos, en la etapa de planificación del proyecto, valorando cuáles eran independientes y, por supuesto, teniendo en cuenta los recursos compartidos empleados. El resultado de dicho análisis fue el siguiente:



Actividad	Predecesoras
1.1.	-
1.2.	1.1
2.1.	1.1
2.2.	1.1 y primeras Uds de 2.1
3.1.	1.1 ; 1.2 ; 2.1 ; 2.2 ; 4.1
3.2.	1.1 ; 1.2 ; 2.1 ; 2.2 ; 4.1
4.1.	1.1 ; 1.2 ; 2.1 ; 2.2
4.2.	1.1 ; 1.2 ; 2.1 ; 2.2 ; 3.1 ; 3.2 ; 4.1
4.3.	1.1 ; 1.2 ; 2.1 ; 2.2 ; 3.1 ; 3.2 ; 4.1
5.	1.1 ; 1.2 ; 2.1 ; 2.2 ; 3.1 ; 3.2 ; 4.1 ; 4.2 ; 4.3

Tabla 15. Tabla actividades predecesoras del proyecto "Sistema de limpieza de filtros". Fuente: Planificación empresa

En este proyecto se utilizó como método de planificación un diagrama de Gantt, programado en interno con el programa Excel 18.0.

Obviamente, el diagrama, duraciones y fechas de las actividades tienen en cuenta los recursos utilizados para su desarrollo, de ahí que estos recursos adquieran un protagonismo enorme en el planning de un proyecto, y más en entornos multiproyecto. Tanto es así, que determinan básicamente el total de la planificación y por eso el jefe de proyecto tiene que tenerlos muy en cuenta en todas sus estimaciones.

A continuación se muestra el resultado del planning en formato de diagrama de Gantt (Tabla 16) tras tener las actividades bien definidas y acotadas y sus relaciones de precedencia bien determinadas. Como la tabla resulta extensa, se presenta a continuación en dos partes aproximadamente iguales.



3.1.4.c. Recursos empleados para la realización del proyecto Sistema de Limpieza para 5 Filtros – Lesaffre Ibérica S.A.

En lo relativo a los recursos empleados, más allá de los materiales y la maquinaria que han de utilizarse, el jefe de proyecto ha de gestionar temas de seguridad y de calidad, pues en este proyecto adquieren una importancia elevada. Sin embargo, para tratar los temas que ocupan a este trabajo, se pondrá el foco, como en los proyectos anteriores, en el personal implicado en el desarrollo y ejecución del trabajo.

Durante la ejecución de estos trabajos, el jefe de proyecto consideró que serían necesarias un total de siete personas -excluido él mismo-, a las que debía gestionar y a las que, con una buena organización guiaría para completar el proyecto a tiempo.

El equipo de trabajo lo componen dos soldadores homologados, dos tuberos, un montador, un supervisor de seguridad y, como siempre, un jefe de equipo. El jefe de equipo, los dos tuberos y los dos soldadores son los cinco integrantes del equipo que permanecen en obra durante toda la ejecución del proyecto, es decir, durante los días de trabajo del proyecto, sus horas contabilizan por completo al mismo, por lo que dedicarán las ocho horas de jornada a dicho proyecto.

Por otro lado, tanto el montador como el supervisor de seguridad solo acudirán a los trabajos cuando se requieran sus servicios, pues no se les necesita en obra de manera permanente (e.g. el montador sólo trabajará en el proyecto durante los días que ocupen las actividades de montaje e instalación de los grupos de presión).

Del mismo modo que el coste por hora de un trabajador u otro no es el mismo, durante todo el transcurso de los trabajos se realizarán tanto horas normales como horas extras, siempre que sea necesario, pero para simplificar el desarrollo y la posterior aplicación de la teoría a la gestión de proyectos en entornos multiproyectos, se asumirá que computan todos de la misma manera.

Esta planificación de recursos es muy importante para los siguientes apartados, pues se han de tener en cuenta que los trabajadores que, durante las fechas indicadas en el planning de la Tabla 16, están centrados en este proyecto no pueden realizar tareas de otros proyectos al mismo tiempo, pues estos recursos son limitados.



Durante todo este apartado del trabajo se han presentado cuatro de los muchos proyectos que desarrolla la empresa de manera simultánea. Tanto sus actividades, como sus precedencias, duraciones y recursos empleados han quedado bien definidos. En un entorno claramente multiproyectos, como es el de la organización implicada, esta planificación resulta del todo trascendental.

Para el siguiente apartado va a ser muy importante lo explicado en cada uno de los proyectos anteriores relativo a los recursos, que son compartidos y empleados en diferentes proyectos. Identificar las fechas en las que los diferentes recursos van a ser empleados es una de las claves de la planificación de los proyectos y pueden ser definitorio del éxito o fracaso de la ejecución del trabajo

En todos los proyectos se ha especificado las fechas en las que se van a emplear los soldadores, tuberos, mecánicos o ayudantes necesarios para los trabajos. Este apartado es muy importante para poder aplicar el método de cadena crítica en los entornos multiproyectos, donde la gestión de los recursos limitados es la clave del éxito.



3.2. Aplicación del Método de la Cadena Crítica en Entornos Multiproyecto.

Como se ha ido exponiendo durante la redacción de este trabajo, para poder desarrollar correctamente los proyectos en entornos multiproyecto, es fundamental contar con herramientas eficientes y efectivas que permitan coordinar y gestionar los múltiples proyectos de manera simultánea. Para ello, en este punto del trabajo se expondrá la que considero mejor manera de utilizar el programa Microsoft Project para llevar a cabo la coordinación y gestión de cuatro proyectos en el entorno multiproyecto que he tomado como ejemplo, vinculados a la empresa donde estoy realizando prácticas.

Anteriormente, se han descrito detalladamente cada uno de los cuatro proyectos mediante Microsoft Excel, que es el programa que utiliza la empresa, teniendo en cuenta las actividades a desarrollar, su duración respectiva y los recursos necesarios para su ejecución. Ahora, el objetivo es unir y cohesionar estos proyectos, integrando los tiempos, actividades y recursos en un único entorno de trabajo utilizando el software mencionado, dedicado exclusivamente a la gestión de proyectos.

El propósito principal que persigue esta integración es identificar y comprender la interdependencia existente entre los diferentes proyectos, lo que permitirá obtener una visión más amplia y precisa de la planificación general de la empresa. Además, al utilizar Microsoft Project se aprovecharán las funcionalidades avanzadas de la herramienta para identificar los recursos críticos y la posterior aplicación de la teoría de la cadena crítica, con el fin de optimizar el rendimiento de la cartera de proyectos.

En resumen, en este último punto del desarrollo del caso práctico, se explorará cómo utilizar Microsoft Project para coordinar y gestionar estos cuatro proyectos descritos, aprovechando al máximo las capacidades del software, para optimizar los recursos que comparten.

Posteriormente, mediante la metodología en la que se basa este trabajo, la Cadena Crítica, se van a tomar decisiones informadas y a realizar los ajustes precisos en la asignación de recursos y en la situación y tamaño de los amortiguadores (buffers).

En conclusión, este punto se centra en cómo utilizar el software Microsoft Project para coordinar y gestionar de manera eficiente cuatro proyectos ya definidos en un entorno multiproyecto, integrándolos todos ellos en un único fichero, para identificar los recursos críticos y aplicar la teoría de la cadena crítica. Este enfoque nos permitirá tomar decisiones informadas y mejorar la eficiencia

global de los proyectos mediante la introducción de los buffers, aunque pueda implicar una modificación en las fechas de finalización.

El proceso de creación de los diagramas de Gantt para cuatro proyectos simultáneos utilizando el software Microsoft Project y su posterior integración en un fichero conjunto implica los siguientes pasos:

1. Creación de un fichero individual para cada proyecto, indicando en cada uno de ellos las actividades, sus duraciones respectivas y las actividades predecesoras según los datos de los archivos Excel expuestos en el punto anterior. Este paso consiste únicamente en exportar los datos de Excel a Microsoft Project. Los resultados se observan en la Figura 31 para el “Proyecto 1 – Accesos Seguros”, la Figura 32 para el “Proyecto 2 – xCSS TOGG”, la Figura 33 para el “Proyecto 3 – Prensas” y la Figura 34 para el “Proyecto 4 – Limpieza filtros”.

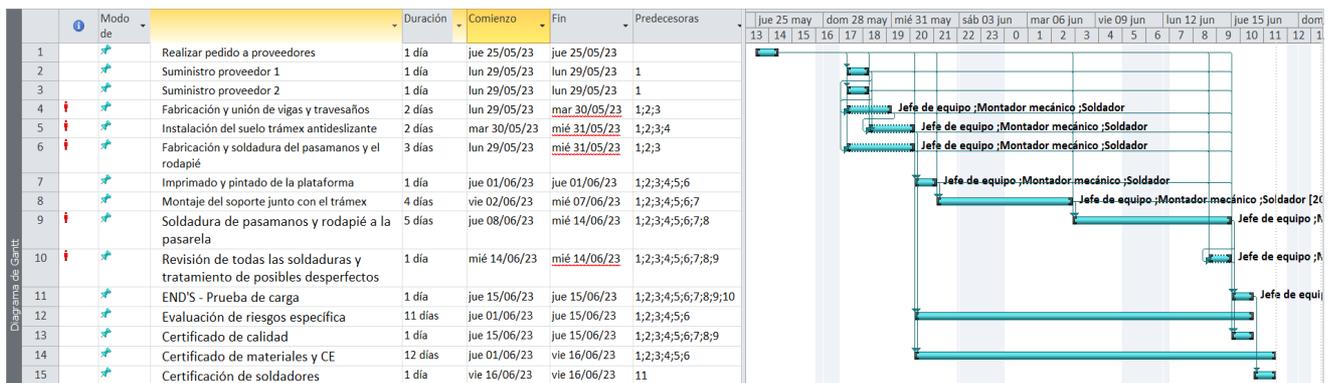


Figura 31. Gantt en Microsoft Project del Proyecto 1 - Accesos Seguros. Fuente: Elaboración propia

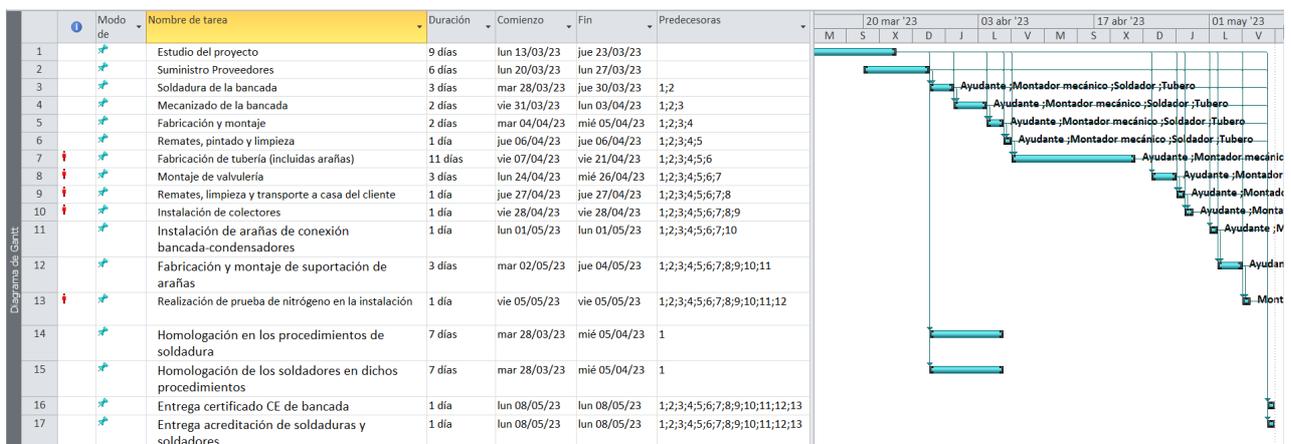


Figura 32. Gantt en Microsoft Project del Proyecto 2 – xCSS TOGG. Fuente: Elaboración propia

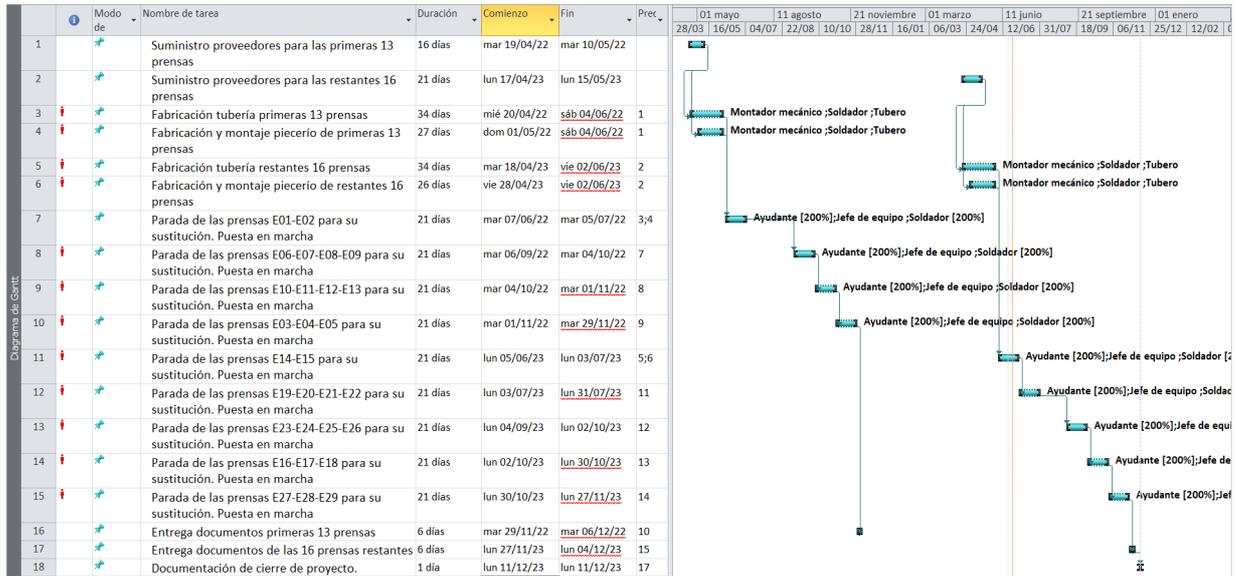


Figura 33. Gantt en Microsoft Project del Proyecto 3 - Prensas. Fuente: Elaboración propia

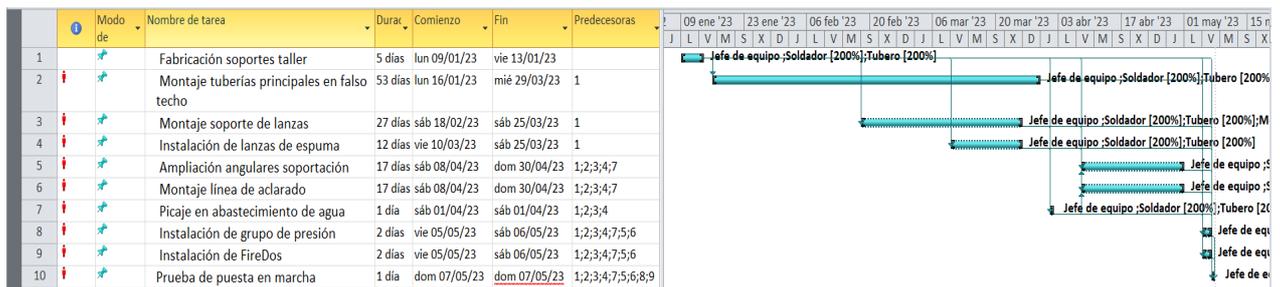


Figura 34. Gantt en Microsoft Project del Proyecto 4 – Limpieza filtros. Fuente: Elaboración propia

2. Definición de un fichero de recursos: El siguiente paso es crear un quinto fichero de Microsoft Project, que se utilizará como “base de datos de los recursos”. En este archivo no se introducirán actividades ni duraciones; simplemente se insertan los recursos de los que dispone la empresa en cuestión, dentro de la “Hoja de recursos” (ver Figura 35). El análisis se centrará únicamente en el estudio de la cantidad (i.e. capacidad), sin tasas, costos, etc. con el fin de simplificar la posterior introducción del método de la cadena crítica.

	Nombre del recurso	Tipo	Etiqueta de	Iniciales	Grupo	Capacidad máxima	Tasa estándar	Tasa horas extra	Costo/Uso	Acumular
1	Soldador	Trabajo		S1		500%	0,00 €/hora	0,00 €/hora	0,00 €	Prorrateo
2	Tubero	Trabajo		T1		700%	0,00 €/hora	0,00 €/hora	0,00 €	Prorrateo
3	Recurso Preventivo	Trabajo		RP		100%	0,00 €/hora	0,00 €/hora	0,00 €	Prorrateo
4	Montador mecánico	Trabajo		M1		500%	0,00 €/hora	0,00 €/hora	0,00 €	Prorrateo
5	Jefe de equipo	Trabajo		JE1		300%	0,00 €/hora	0,00 €/hora	0,00 €	Prorrateo
6	Ayudante	Trabajo		A1		400%	0,00 €/hora	0,00 €/hora	0,00 €	Prorrateo

Figura 35. Hoja de recursos del fichero "base de datos" RECURSOS. Fuente: Elaboración propia

En el caso de la empresa en cuestión se observa que cuenta con cinco (5) soldadores, siete (7) tuberos, cinco (5) montadores (mecánicos), tres (3) jefes de equipo, cuatro (4) ayudantes y un (1) recurso preventivo para la realización de los proyectos descritos.

3. Vinculación de recursos a los proyectos. Una vez están desarrollados los proyectos individuales y creada una "base de datos" de los recursos disponibles por la empresa en cada uno de los ficheros de los cuatro proyectos, se asigna un grupo de recursos compartidos (ver Figura 36), que será el propio fichero donde se han depositado los recursos que posee la organización. De esta manera, cada proyecto únicamente podrá contar con dichos recursos, tal como sucede en la práctica profesional. Por tanto, en este tercer paso no se asignan los recursos a las actividades, sino que únicamente se vinculan los ficheros de los proyectos individuales con el de los recursos generales.

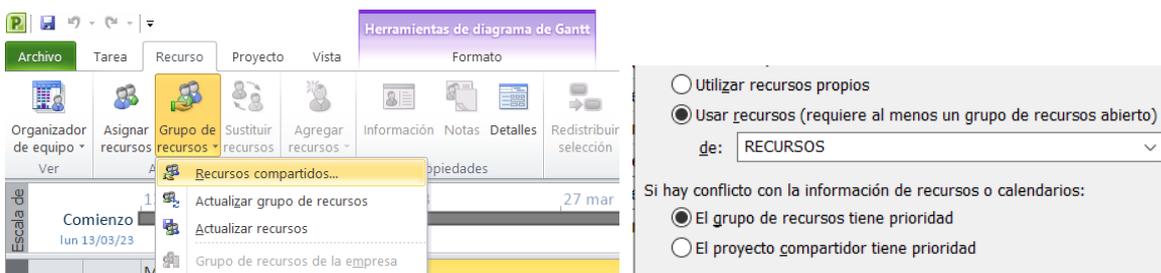


Figura 36. Introducir y vincular grupo de recursos compartidos a los proyectos individuales. Fuente: Elaboración propia

4. Creación de un proyecto maestro. A continuación, se crea un proyecto maestro en otro fichero nuevo de Microsoft Project que servirá como el contenedor principal para los cuatro proyectos individuales. Se llamará "MULTIPROYECTO" y, a partir de este momento, es el único archivo que se va a modificar en el análisis, pues cualquier cambio en dicho archivo afectará a los demás.

5. Inserción de los proyectos individuales. Una vez creado el proyecto maestro, se deben insertar los cuatro proyectos individuales en él. Esto se realiza seleccionando la opción de "Insertar Proyecto" o "Agregar subproyecto" en el menú del proyecto maestro. Se seleccionan los archivos de los proyectos individuales y se agregan al proyecto maestro. El resultado es un proyecto general, que hace de entorno de la empresa, con diferentes subproyectos. En la Figura 37 se representa el resultado final de la planificación y en la Figura 38 se propone el diagrama de Gantt con los cuatro proyectos simultáneamente. Se muestra la duración general de cada proyecto, pues si se desglosara por actividades no se podría representar en una imagen.

	i	nº de tar	Mc de tar	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
4		1		Projecto1-Accesos Seguros	17 días	jue 25/05/23	vie 16/06/23
3		2		Projecto2-xCSS TOGG	41 días	lun 13/03/23	lun 08/05/23
2		3		Projecto3-Prensas	430 días	mar 19/04/22	lun 11/12/23
1		4		Projecto4-Limpieza filtros	85 días	lun 09/01/23	dom 07/05/23

Figura 37. Planificación del conjunto de proyectos. Fuente: Elaboración propia

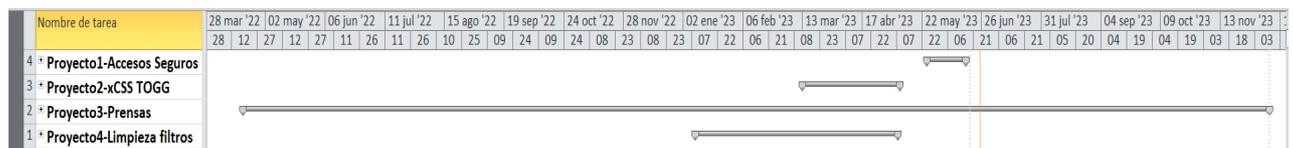


Figura 38. Gantt de los cuatro proyectos en el entorno multiproyecto. Fuente: Elaboración propia

6. Asignación de recursos. Una vez que se tienen todos los proyectos dentro del “entorno multiproyecto” es necesario asignar los recursos necesarios para llevar a cabo las actividades correspondientes a cada proyecto. En la vista de diagrama de Gantt, se selecciona cada actividad y se asigna el/los recurso/s correspondiente/s (e.g. tubero, dos soldadores, jefe de equipo...) utilizando la función de asignación de recursos de Microsoft Project. El resultado se observa en la Figura 39 para el “Proyecto 1 – Accesos Seguros”, la Figura 40 para el “Proyecto 2 – xCSS TOGG”, la Figura 41 para el “Proyecto 3 – Prensas” y la Figura 42 para el “Proyecto 4 – Limpieza filtros”, donde puede verse desglosada cada actividad de cada proyecto los recursos que requiere. Esta información es el resultado de la descripción de cada proyecto del punto anterior de este trabajo.

	nº	M de tar	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
4	1		Proyecto1-Accesos Seguros	17 días	jue 25/05/23	vie 16/06/23	
1	1.1		Realizar pedido a proveedores	1 día	jue 25/05/23	jue 25/05/23	
2	1.2		Suministro proveedor 1	5 días	lun 29/05/23	sáb 03/06/23	1
3	1.3		Suministro proveedor 2	1 día	lun 29/05/23	lun 29/05/23	1
4	1.4		Fabricación y unión de vigas y travesaños	2 días	lun 29/05/23	mar 30/05/23	1;2;3 Jefe de equipo ;Montador mecánico ;Soldador
5	1.5		Instalación del suelo trámex antideslizante	2 días	mar 30/05/23	mié 31/05/23	1;2;3;4 Jefe de equipo ;Montador mecánico ;Soldador
6	1.6		Fabricación y soldadura del pasamanos y el rodapié	3 días	lun 29/05/23	mié 31/05/23	1;2;3 Jefe de equipo ;Montador mecánico ;Soldador
7	1.7		Imprimado y pintado de la plataforma	1 día	jue 01/06/23	jue 01/06/23	1;2;3;4;5;6 Jefe de equipo ;Montador mecánico ;Soldador
8	1.8		Montaje del soporte junto con el trámex	4 días	vie 02/06/23	mié 07/06/23	1;2;3;4;5;6;7 Jefe de equipo ;Montador mecánico ;Soldador [200%]
9	1.9		Soldadura de pasamanos y rodapié a la pasarela	5 días	jue 08/06/23	mié 14/06/23	1;2;3;4;5;6;7;8 Jefe de equipo ;Montador mecánico ;Soldador [200%]
10	1.10		Revisión de todas las soldaduras y tratamiento de posibles desperfectos	1 día	mié 14/06/23	mié 14/06/23	1;2;3;4;5;6;7;8;9 Jefe de equipo ;Montador mecánico ;Soldador [200%]
11	1.11		END'S - Prueba de carga	1 día	jue 15/06/23	jue 15/06/23	1;2;3;4;5;6;7;8;9; Jefe de equipo ;Montador mecánico ;Soldador ;Recurso Preventivo
12	1.12		Evaluación de riesgos específica	11 días	jue 01/06/23	jue 15/06/23	1;2;3;4;5;6
13	1.13		Certificado de calidad	1 día	jue 15/06/23	jue 15/06/23	1;2;3;4;5;6;7;8;9
14	1.14		Certificado de materiales y CE	12 días	jue 01/06/23	vie 16/06/23	1;2;3;4;5;6
15	1.15		Certificación de soldadores	1 día	vie 16/06/23	vie 16/06/23	11

Figura 39. Recursos necesarios para las actividades del Proyecto 1 - Accesos Seguros. Fuente: Elaboración propia

	nº	M de tar	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos
4	1		Proyecto1-Accesos Seguros	17 días	jue 25/05/23	vie 16/06/23		
3	2		Proyecto2-xCSS TOGG	41 días	lun 13/03/23	lun 08/05/23		
1	2.1		Estudio del proyecto	9 días	lun 13/03/23	jue 23/03/23		
2	2.2		Suministro Proveedores	6 días	lun 20/03/23	lun 27/03/23		
3	2.3		Soldadura de la bancada	3 días	mar 28/03/23	jue 30/03/23	1;2	Ayudante ;Montador mecánico ;Soldador ;Tubero
4	2.4		Mecanizado de la bancada	2 días	vie 31/03/23	lun 03/04/23	1;2;3	Ayudante ;Montador mecánico ;Soldador ;Tubero
5	2.5		Fabricación y montaje	2 días	mar 04/04/23	mié 05/04/23	1;2;3;4	Ayudante ;Montador mecánico ;Soldador ;Tubero
6	2.6		Remates, pintado y limpieza	1 día	jue 06/04/23	jue 06/04/23	1;2;3;4;5	Ayudante ;Montador mecánico ;Soldador ;Tubero
7	2.7		Fabricación de tubería (incluidas arañas)	11 días	vie 07/04/23	vie 21/04/23	1;2;3;4;5;6	Ayudante ;Montador mecánico ;Soldador ;Tubero
8	2.8		Montaje de valvulería	3 días	lun 24/04/23	mié 26/04/23	1;2;3;4;5;6;7	Ayudante ;Montador mecánico ;Soldador ;Tubero
9	2.9		Remates, limpieza y transporte a casa del cliente	1 día	jue 27/04/23	jue 27/04/23	1;2;3;4;5;6;7;8	Ayudante ;Montador mecánico ;Soldador ;Tubero
10	2.10		Instalación de colectores	1 día	vie 28/04/23	vie 28/04/23	1;2;3;4;5;6;7;8;9	Ayudante ;Montador mecánico ;Soldador ;Tubero
11	2.11		Instalación de arañas de conexión bancada-condensa	1 día	lun 01/05/23	lun 01/05/23	1;2;3;4;5;6;7;10	Ayudante ;Montador mecánico ;Soldador
12	2.12		Fabricación y montaje de suportación de arañas	3 días	mar 02/05/23	jue 04/05/23	1;2;3;4;5;6;7;8;9;	Ayudante ;Montador mecánico ;Soldador
13	2.13		Realización de prueba de nitrógeno en la instalación	1 día	vie 05/05/23	vie 05/05/23	1;2;3;4;5;6;7;8;9;	Montador mecánico ;Recurso Preventivo
14	2.14		Homologación en los procedimientos de soldadura	7 días	mar 28/03/23	mié 05/04/23	1	
15	2.15		Homologación de los soldadores en dichos procedimientos	7 días	mar 28/03/23	mié 05/04/23	1	
16	2.16		Entrega certificado CE de bancada	1 día	lun 08/05/23	lun 08/05/23	1;2;3;4;5;6;7;8;9;	
17	2.17		Entrega acreditación de soldaduras y soldadores	1 día	lun 08/05/23	lun 08/05/23	1;2;3;4;5;6;7;8;9;	

Figura 40. Recursos necesarios para las actividades del Proyecto 2 – xCSS TOGG. Fuente: Elaboración propia

	nº	Mi de tar	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos
4	1		± Proyecto1-Accesos Seguros	17 días	jue 25/05/23	vie 16/06/23		
3	2		± Proyecto2-xCSS TOGG	41 días	lun 13/03/23	lun 08/05/23		
2	3		± Proyecto3-Prensas	430 días	mar 19/04/22	lun 11/12/23		
1	3.1		Suministro proveedores para las primeras 13 prensas	16 días	mar 19/04/22	mar 10/05/22		
2	3.2		Suministro proveedores para las restantes 16 prensas	21 días	lun 17/04/23	lun 15/05/23		
3	3.3		Fabricación tubería primeras 13 prensas	34 días	mié 20/04/22	sáb 04/06/22	1	Montador mecánico ;Soldador ;Tubero
4	3.4		Fabricación y montaje piecerío de primeras 13 prensas	27 días	dom 01/05/22	sáb 04/06/22	1	Montador mecánico ;Soldador ;Tubero
5	3.5		Fabricación tubería restantes 16 prensas	34 días	mar 18/04/23	vie 02/06/23	2	Montador mecánico ;Soldador ;Tubero
6	3.6		Fabricación y montaje piecerío de restantes 16 prensas	26 días	vie 28/04/23	vie 02/06/23	2	Montador mecánico ;Soldador ;Tubero
7	3.7		Parada de las prensas E01-E02 para su sustitución. Puesta en marcha	21 días	mar 07/06/22	mar 05/07/22	3;4	Ayudante [200%];Jefe de equipo ;Soldador [200%]
8	3.8		Parada de las prensas E06-E07-E08-E09 para su sustitución. Puesta en marcha	21 días	mar 06/09/22	mar 04/10/22	7	Ayudante [200%];Jefe de equipo ;Soldador [200%]
9	3.9		Parada de las prensas E10-E11-E12-E13 para su sustitución. Puesta en marcha	21 días	mar 04/10/22	mar 01/11/22	8	Ayudante [200%];Jefe de equipo ;Soldador [200%]
10	3.10		Parada de las prensas E03-E04-E05 para su sustitución. Puesta en marcha	21 días	mar 01/11/22	mar 29/11/22	9	Ayudante [200%];Jefe de equipo ;Soldador [200%]
11	3.11		Parada de las prensas E14-E15 para su sustitución. Puesta en marcha	21 días	lun 05/06/23	lun 03/07/23	5;6	Ayudante [200%];Jefe de equipo ;Soldador [200%]
12	3.12		Parada de las prensas E19-E20-E21-E22 para su sustitución. Puesta en marcha	21 días	lun 03/07/23	lun 31/07/23	11	Ayudante [200%];Jefe de equipo ;Soldador [200%]
13	3.13		Parada de las prensas E23-E24-E25-E26 para su sustitución. Puesta en marcha	21 días	lun 04/09/23	lun 02/10/23	12	Ayudante [200%];Jefe de equipo ;Soldador [200%]
14	3.14		Parada de las prensas E16-E17-E18 para su sustitución. Puesta en marcha	21 días	lun 02/10/23	lun 30/10/23	13	Ayudante [200%];Jefe de equipo ;Soldador [200%]
15	3.15		Parada de las prensas E27-E28-E29 para su sustitución. Puesta en marcha	21 días	lun 30/10/23	lun 27/11/23	14	Ayudante [200%];Jefe de equipo ;Soldador [200%]
16	3.16		Entrega documentos primeras 13 prensas	6 días	mar 29/11/22	mar 06/12/22	10	
17	3.17		Entrega documentos de las 16 prensas restantes	6 días	lun 27/11/23	lun 04/12/23	15	
18	3.18		Documentación de cierre de proyecto.	1 día	lun 11/12/23	lun 11/12/23	17	

Figura 41. Recursos necesarios para las actividades del Proyecto 3 – Prensas. Fuente: Elaboración propia

	nº	Mi de tar	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos
4	1		± Proyecto1-Accesos Seguros	17 días	jue 25/05/23	vie 16/06/23		
3	2		± Proyecto2-xCSS TOGG	41 días	lun 13/03/23	lun 08/05/23		
2	3		± Proyecto3-Prensas	430 días	mar 19/04/22	lun 11/12/23		
1	4		± Proyecto4-Limpieza filtros	85 días	lun 09/01/23	dom 07/05/23		
1	4.1		Fabricación soportes taller	5 días	lun 09/01/23	vie 13/01/23		Jefe de equipo ;Soldador [200%];Tubero [200%]
2	4.2		Montaje tuberías principales en falso techo	53 días	lun 16/01/23	mié 29/03/23	1	Jefe de equipo ;Soldador [200%];Tubero [200%];Montador mecánico
3	4.3		Montaje soporte de lanzas	27 días	sáb 18/02/23	sáb 25/03/23	1	Jefe de equipo ;Soldador [200%];Tubero [200%];Montador mecánico
4	4.4		Instalación de lanzas de espuma	12 días	vie 10/03/23	sáb 25/03/23	1	Jefe de equipo ;Soldador [200%];Tubero [200%]
5	4.5		Ampliación angulares soportación	17 días	sáb 08/04/23	dom 30/04/23	1;2;3;4;7	Jefe de equipo ;Soldador [200%];Tubero [200%]
6	4.6		Montaje línea de aclarado	17 días	sáb 08/04/23	dom 30/04/23	1;2;3;4;7	Jefe de equipo ;Soldador [200%];Tubero [200%];Montador mecánico
7	4.7		Picaje en abastecimiento de agua	1 día	sáb 01/04/23	sáb 01/04/23	1;2;3;4	Jefe de equipo ;Soldador [200%];Tubero [200%]
8	4.8		Instalación de grupo de presión	2 días	vie 05/05/23	sáb 06/05/23	1;2;3;4;7;5;6	Jefe de equipo ;Soldador [200%];Tubero [200%];Montador mecánico
9	4.9		Instalación de FireDos	2 días	vie 05/05/23	sáb 06/05/23	1;2;3;4;7;5;6	Jefe de equipo ;Soldador [200%];Tubero [200%];Montador mecánico
10	4.10		Prueba de puesta en marcha	1 día	dom 07/05/23	dom 07/05/23	1;2;3;4;7;5;6;8;9	Jefe de equipo ;Soldador [200%];Tubero [200%];Recurso Preventivo

Figura 42. Recursos necesarios para las actividades del Proyecto 4 – Limpieza filtros. Fuente: Elaboración propia

Se puede concluir que el software Microsoft Project facilita la planificación y gestión multiproyecto al permitir la creación de un proyecto maestro que integra los cuatro proyectos individuales. Mediante la definición de actividades, duraciones, asignación de recursos y establecimiento de dependencias, se puede generar un diagrama de Gantt que muestra la secuencia y relación entre las tareas de los diferentes proyectos. Además, la herramienta proporciona la funcionalidad para identificar las actividades críticas y optimizar la cadena crítica para lograr una planificación efectiva. Esta funcionalidad se desarrollará a continuación y es clave para poder aplicar, por último, el método de la cadena crítica.

3.2.1. Identificación de la cadena y recursos críticos de la cartera de proyectos con Microsoft Project y reasignación de recursos.

En todos los proyectos, sea cual sea su naturaleza o el entorno en el que operen, cuando hay recursos limitados, hay sobreasignaciones. Este fenómeno se acentúa en los entornos multiproyecto, donde los recursos se precisan en diferentes proyectos y actividades.

El caso práctico que se está estudiando no es una excepción y, tanto en la planificación inicial como luego en la vida real y el desarrollo de los proyectos, aparecen situaciones comprometidas que determinan las tareas y recursos críticos. Dichos elementos y su gestión eficiente fijarán la correcta conclusión de los proyectos.

Siguiendo con la gestión y programación con Microsoft Project, una vez que se han establecido las actividades, duraciones, recursos y dependencias, el programa permite realizar un análisis de la cadena crítica, que como se ha comentado, representa la secuencia de actividades que determinará la duración total de la cartera de proyectos. El software identificará automáticamente las actividades críticas que pueden afectar el tiempo de finalización del proyecto y mostrará la ruta crítica en el diagrama de Gantt.

Para ello, en herramientas, debe seleccionarse la opción de mostrar las tareas críticas (Figura 43). Con este sencillo paso, el programa resalta en color rojo dichas actividades, teniendo en cuenta el conjunto de la cartera de proyectos.

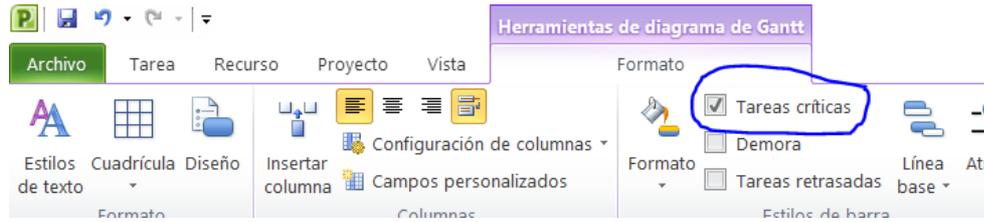


Figura 43. Mostrar tareas críticas. Fuente: Elaboración propia

En este caso, Microsoft Project nos indica que las actividades críticas son algunas de las pertenecientes al Proyecto 2 – Prensas, como muestra la Figura 44 .

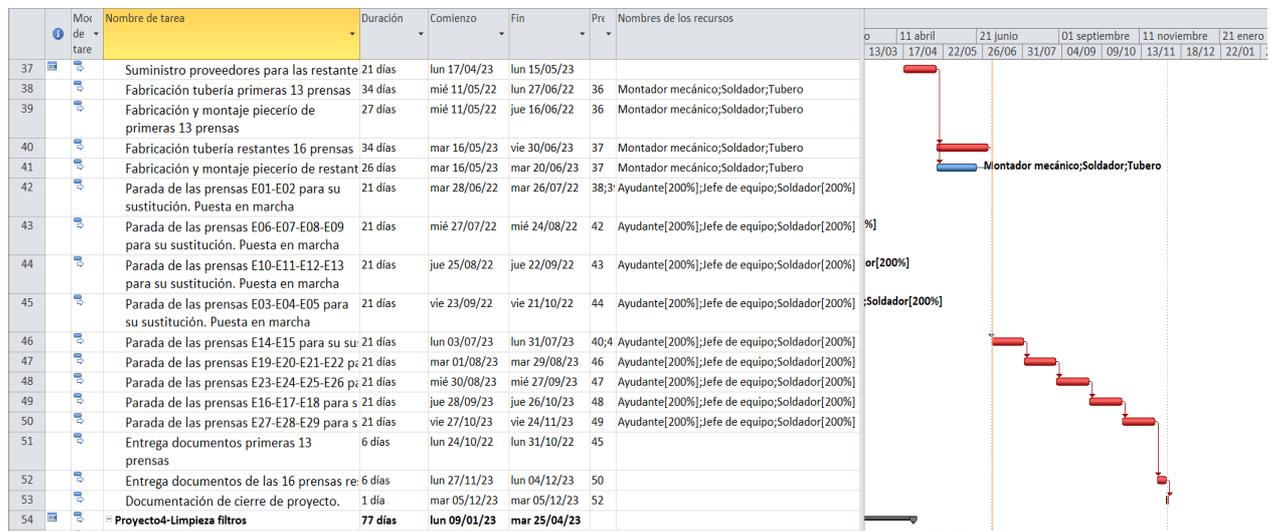


Figura 44. Tareas críticas de la cadena de proyectos. Fuente: Elaboración propia

Este es el resultado de un software informático, pero la realidad no siempre es así de predecible, y difícilmente es tan concreto ni únicamente pueden ser críticas actividades de un solo proyecto, y menos en estos entornos compartidos.

En el caso de los recursos, comprobar los que se encuentran sobre asignados, y por lo tanto los que son críticos, es todavía más sencillo. Basta con situarse en la “Hoja de recursos” y ver cuáles ha señalado el software en rojo. El resultado ya se presentaba en la Figura 35.

El resultado para el caso práctico que estamos tratando muestra que solo los soldadores están sobre asignados, es decir, la empresa dispone de menos operarios especializados en soldadura de los que



precisa para la realización de las actividades referentes a estos cuatro proyectos en las fechas indicadas. El resto de los recursos están distribuidos de manera que no generan criticidad.

Además de comprobar cuáles son los recursos críticos, Microsoft Project ofrece la posibilidad de identificar en qué actividades se encuentra esta sobre asignación. En la primera columna de la vista de “Diagrama de Gantt” se muestran las alertas y, los operarios en rojo en dicha columna indican una sobrecarga en esas tareas para las fechas marcadas. Es decir, en esas actividades para cumplir las fechas fijadas, los soldadores de los que dispone la empresa no podrían acometer con eficacia los trabajos encomendados porque estarían asignados a otras tareas.

Esta situación suele provocar que la actividad se retrase o no se pueda realizar correctamente, lo que podría tener un impacto negativo en el proyecto y, potencialmente, en los proyectos relacionados.

Al igual que ocurre con la cadena crítica, este es el resultado previsto por un software informático, pero, evidentemente, la realidad no siempre es así y la implementación de la propuesta nunca es tan precisa.

Estas actividades y recursos críticos implican que cualquier desviación en su planificación (que en entornos multiproyecto es muy probable debido a la incertidumbre y al manejo de muchas variables de la planificación) por pequeña que sea puede tener un impacto directo en el tiempo de finalización del proyecto o en la cadena crítica de actividades relacionadas.

Con la información proporcionada por Microsoft Project, los jefes de proyecto pueden evaluar los resultados obtenidos, como la duración total del proyecto, las actividades críticas y la asignación de recursos. En función de estos resultados, se pueden realizar ajustes, como reasignar recursos o modificar las dependencias, para optimizar el rendimiento del proyecto y garantizar que los recursos críticos estén disponibles en los momentos clave.

En el caso práctico que se está desarrollando, modificar las relaciones de precedencia no es posible, debido a que muchas actividades son parte de un proceso productivo y se debe seguir el orden establecido. Sin embargo, sí es posible realizar una reasignación de los recursos con el fin de resolver la escasez de los identificados como críticos, en este caso el soldador.

Para ello, el software ofrece una opción de redistribuir recursos. En la pestaña “Recurso” se eligen las “Opciones de redistribución” indicadas en la Figura 45 y, posteriormente se marca “Redistribuir todo”. Estas opciones son las que mejor se adaptan al caso práctico.

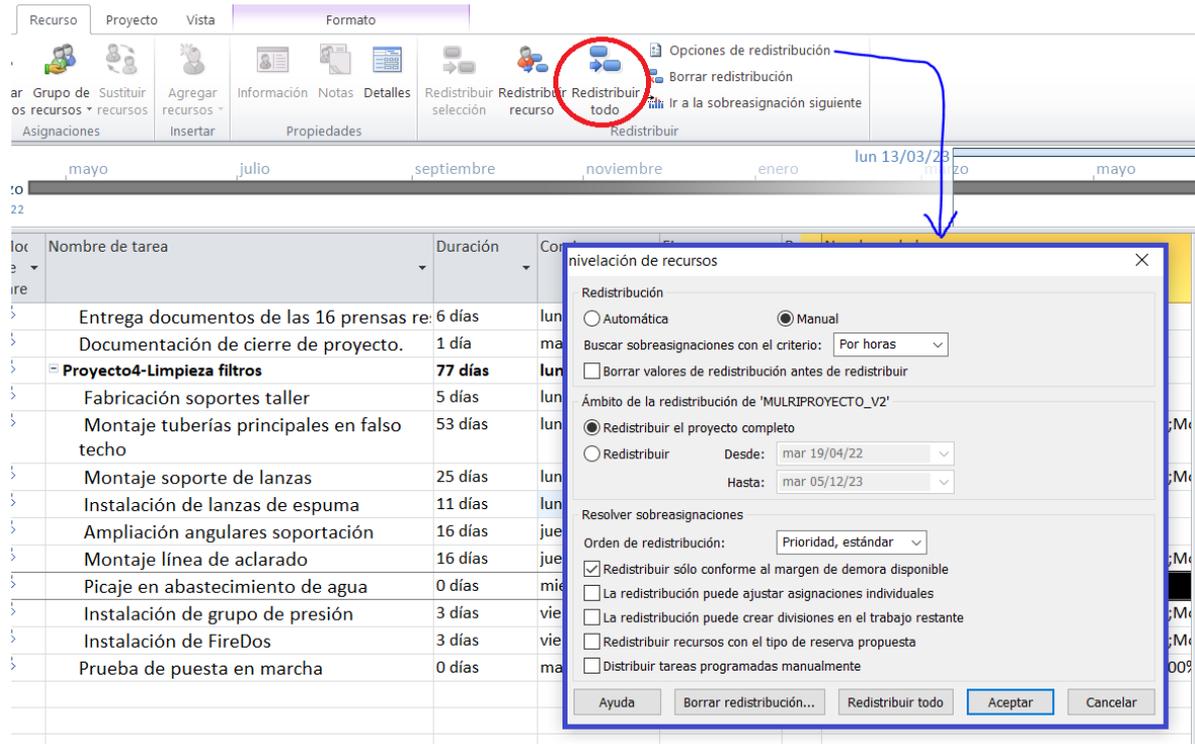


Figura 45. Comandos para redistribuir los recursos. Fuente: Elaboración propia

Esta redistribución se traduce en una modificación de las duraciones de los proyectos. Algunos reducen su tamaño y otros aumentan, pero siempre se mantiene fija la duración de las actividades y las relaciones de precedencia que los componen, así como la necesidad de los recursos necesarios para desarrollar los trabajos. Desaparecen las sobreasignaciones de recursos (Figura 46) y, por norma general, se retrasan las actividades que tienen más holgura, que son las que, previsiblemente, menos afectarán a las pertenecientes a la cadena crítica.

Nombre del recurso	Tipo	Etiqueta de	Iniciales	Grupo	Capacidad máxima
Soldador	Trabajo		S		500%
Tubero	Trabajo		T		700%
Recurso Preventivo	Trabajo		R		100%
Montador mecánico	Trabajo		M		500%
Jefe de equipo	Trabajo		J		300%
Ayudante	Trabajo		A		400%

Figura 46. Hoja de recursos sin sobreasignación. Fuente: Elaboración propia

El resultado es un nuevo diagrama de Gantt, como se ve en la Figura 47. La fecha de inicio de cada proyecto no se ve modificada, sin embargo las fechas de ejecución de las actividades que los componen habrán sufrido cambios, pero siempre de cara a una mejor asignación de los recursos disponibles de la empresa para poder cumplir los proyectos.

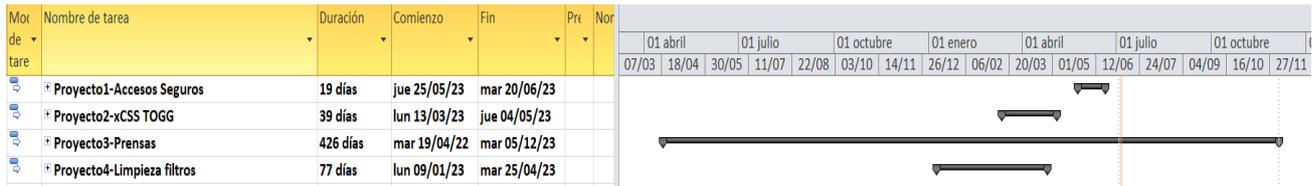


Figura 47. Nuevo diagrama de Gantt sin sobreasignaciones de recurso. Fuente: Elaboración propia

Los resultados de cada uno de los proyectos, por actividades, se pueden ver en la Figura 48 para el “Proyecto 1 – Accesos Seguros”, en la Figura 49 para el “Proyecto 2 – xCSS TOGG”, en la Figura 50 para el “Proyecto 3 – Prensas” y en la Figura 51 para el “Proyecto 4 – Limpieza filtros”.

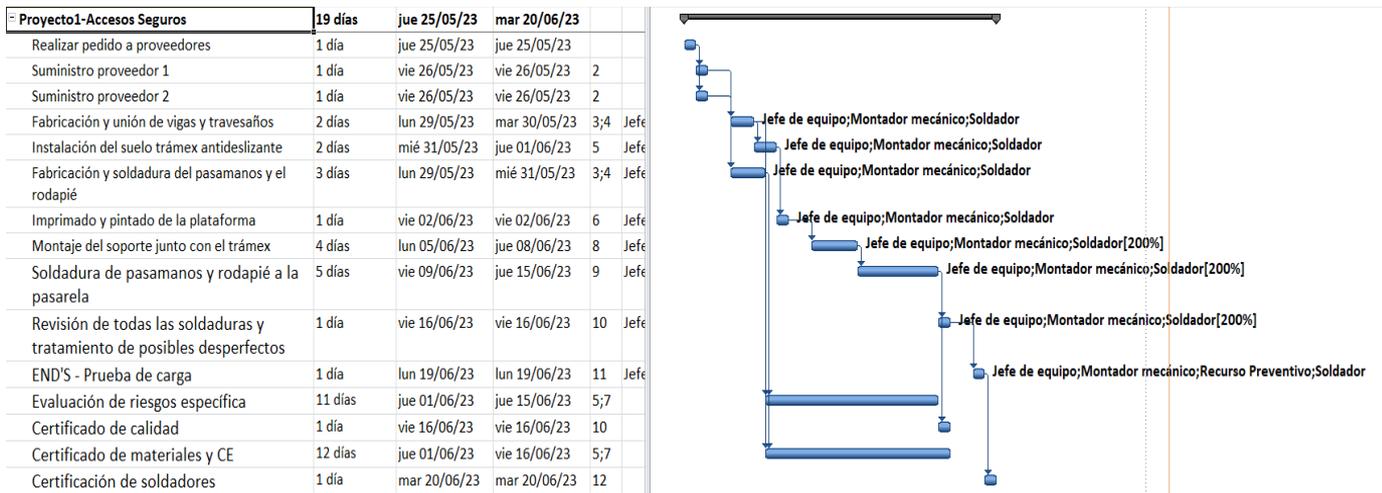


Figura 48. Nuevo diagrama de Gantt sin sobreasignaciones del Proyecto 1-Accesos Seguros. Fuente: Elaboración propia



Trabajo de Fin de Grado Ingeniería de Organización Industria



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Universidad de Valladolid

- Proyecto2-xCSS TOGG		39 días	lun 13/03/23	jue 04/05/23		
Estudio del proyecto	9 días	lun 13/03/23	jue 23/03/23			
Suministro Proveedores	6 días	lun 13/03/23	lun 20/03/23			
Soldadura de la bancada	3 días	vie 24/03/23	mar 28/03/23	18;1'	Ayu	
Mecanizado de la bancada	2 días	mié 29/03/23	jue 30/03/23	20	Ayu	
Fabricación y montaje	2 días	vie 31/03/23	lun 03/04/23	21	Ayu	
Remates, pintado y limpieza	1 día	mar 04/04/23	mar 04/04/23	22	Ayu	
Fabricación de tubería (incluidas arañas)	11 días	mié 05/04/23	mié 19/04/23	23	Ayu	
Montaje de valvulería	3 días	jue 20/04/23	lun 24/04/23	24	Ayu	
Remates, limpieza y transporte a casa del cliente	1 día	mar 25/04/23	mar 25/04/23	25	Ayu	
Instalación de colectores	1 día	mié 26/04/23	mié 26/04/23	26	Ayu	
Instalación de arañas de conexión bancada-condensadores	1 día	jue 27/04/23	jue 27/04/23	27	Ayu	
Fabricación y montaje de suportación de arañas	3 días	vie 28/04/23	mar 02/05/23	28	Ayu	
Realización de prueba de nitrógeno en la instalación	1 día	mié 03/05/23	mié 03/05/23	29	Mo	
Homologación en los procedimientos de	7 días	vie 24/03/23	lun 03/04/23	18		
Homologación de los soldadores en dich	7 días	vie 24/03/23	lun 03/04/23	18		
Entrega certificado CE de bancada	1 día	jue 04/05/23	jue 04/05/23	30		
Entrega acreditación de soldaduras y solc	1 día	jue 04/05/23	jue 04/05/23	30		

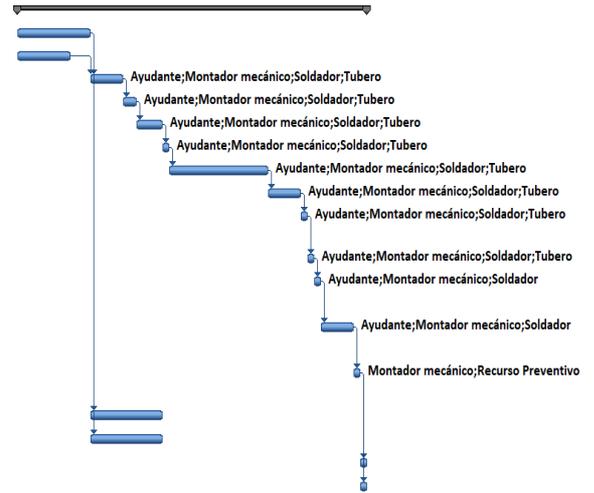


Figura 49. Nuevo diagrama de Gantt sin sobreasignaciones del Proyecto 2-xCSS TOGG. Fuente: Elaboración propia

- Proyecto3-Preñas		426 días	mar 19/04/22	mar 05/12/23		
Suministro proveedores para las primeras 13 preñas	16 días	mar 19/04/22	mar 10/05/22			
Suministro proveedores para las restante	21 días	lun 17/04/23	lun 15/05/23			
Fabricación tubería primeras 13 preñas	34 días	mié 11/05/22	lun 27/06/22	36	Mo	
Fabricación y montaje piecerío de primeras 13 preñas	27 días	mié 11/05/22	jue 16/06/22	36	Mo	
Fabricación tubería restantes 16 preñas	34 días	mar 16/05/23	vie 30/06/23	37	Mo	
Fabricación y montaje piecerío de restant	26 días	mar 16/05/23	mar 20/06/23	37	Mo	
Parada de las preñas E01-E02 para su sustitución. Puesta en marcha	21 días	mar 28/06/22	mar 26/07/22	38;3'	Ayu	
Parada de las preñas E06-E07-E08-E09 para su sustitución. Puesta en marcha	21 días	mié 27/07/22	mié 24/08/22	42	Ayu	
Parada de las preñas E10-E11-E12-E13 para su sustitución. Puesta en marcha	21 días	jue 25/08/22	jue 22/09/22	43	Ayu	
Parada de las preñas E03-E04-E05 para su sustitución. Puesta en marcha	21 días	vie 23/09/22	vie 21/10/22	44	Ayu	
Parada de las preñas E14-E15 para su su	21 días	lun 03/07/23	lun 31/07/23	40;4	Ayu	
Parada de las preñas E19-E20-E21-E22 p	21 días	mar 01/08/23	mar 29/08/23	46	Ayu	
Parada de las preñas E23-E24-E25-E26 p	21 días	mié 30/08/23	mié 27/09/23	47	Ayu	
Parada de las preñas E16-E17-E18 para s	21 días	jue 28/09/23	jue 26/10/23	48	Ayu	
Parada de las preñas E27-E28-E29 para s	21 días	vie 27/10/23	vie 24/11/23	49	Ayu	
Entrega documentos primeras 13 preñas	6 días	lun 24/10/22	lun 31/10/22	45		
Entrega documentos de las 16 preñas re	6 días	lun 27/11/23	lun 04/12/23	50		
Documentación de cierre de proyecto.	1 día	mar 05/12/23	mar 05/12/23	52		

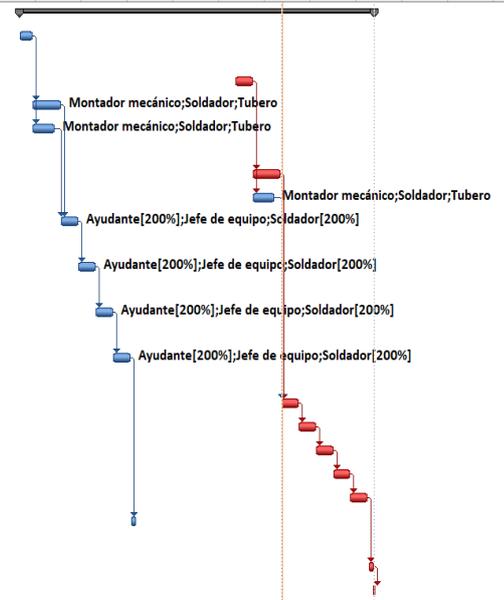


Figura 50. Nuevo diagrama de Gantt sin sobreasignaciones del Proyecto 3-Preñas. Fuente: Elaboración propia

Proyecto4-Limpieza filtros	77 días	lun 09/01/23	mar 25/04/23	
Fabricación soportes taller	5 días	lun 09/01/23	vie 13/01/23	Jefe
Montaje tuberías principales en falso techo	53 días	lun 16/01/23	mié 29/03/23	55 Jefe
Montaje soporte de lanzas	25 días	lun 16/01/23	vie 17/02/23	55 Jefe
Instalación de lanzas de espuma	11 días	lun 20/02/23	lun 06/03/23	55 Jefe
Ampliación angulares soportación	16 días	jue 30/03/23	jue 20/04/23	61 Jefe
Montaje línea de aclarado	16 días	jue 30/03/23	jue 20/04/23	61 Jefe
Picaje en abastecimiento de agua	0 días	mié 29/03/23	mié 29/03/23	56;5 Jefe
Instalación de grupo de presión	3 días	vie 21/04/23	mar 25/04/23	60;6 Jefe
Instalación de FireDos	3 días	vie 21/04/23	mar 25/04/23	60;6 Jefe
Prueba de puesta en marcha	0 días	mar 25/04/23	mar 25/04/23	63 Jefe

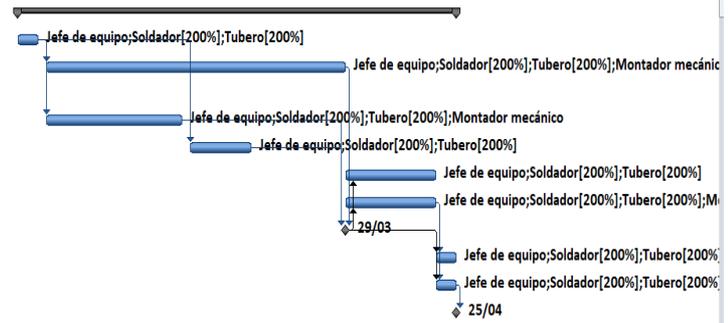


Figura 51. Nuevo diagrama de Gantt sin sobreasignaciones del Proyecto 4-Limpieza filtros. Fuente: Elaboración propia

El resultado de una redistribución mediante un software de gestión de proyectos es un paso muy importante pero no es algo concluyente, dado que la incertidumbre en estos entornos multiproyecto es muy grande. Por eso, se aplicará el método de la cadena crítica descrito detalladamente en puntos anteriores, para garantizar una mayor seguridad a la cartera de proyectos y una protección añadida a las actividades críticas.

Este punto del trabajo tiene un peso elevado en la gestión eficiente de los proyectos, pues la identificación de recursos críticos y situaciones de cadena crítica en la cartera de proyectos a través de Microsoft Project permite a los gestores de proyectos tomar decisiones informadas y anticiparse a posibles problemas. Al abordar las limitaciones de recursos y garantizar la disponibilidad adecuada de los mismos en los momentos clave se mejora la planificación general y se aumenta la probabilidad de cumplir los plazos y alcanzar los objetivos establecidos en los proyectos.

3.2.2. Introducción de buffers para proteger la cadena crítica.

A lo largo del segundo apartado de este trabajo se ha defendido detalladamente la idea de que el método de la cadena crítica basa su gerencia de proyectos en la planificación de los mismos para garantizar que se complementen eficientemente, centrándose en la gestión óptima de los recursos existentes (Hortigüela Arozamena, 2022; Iglesias, 2005).

En el caso práctico que se está estudiando, gran parte de esa tarea la realiza el software Microsoft Project, como se ha descrito en el subapartado anterior, completando los primeros dos pasos que muestra la Figura 15, que definen correctamente la implantación de este método CCPM en la gestión de proyectos.



Por lo tanto, siguiendo con la tarea de aplicar la cadena crítica en este entorno multiproyecto, una vez que se han identificado los recursos y la cadena crítica de los cuatro proyectos utilizando la herramienta Microsoft Project y que los recursos han sido correctamente reasignados, se debe proteger eficientemente esta cadena crítica de las posibles perturbaciones que seguro aparecerán.

La forma que tiene este método de asegurar dicha protección es la introducción de buffers o colchones de tiempo adicionales en puntos estratégicos de la cadena crítica. Estos buffers pueden ser de tres tipos: (1) buffer de proyecto, (2) buffer de alimentación y (3) buffer de recurso, como bien se expuso en el punto teórico de este trabajo.

Sin embargo, la dificultad no se encuentra en la mera introducción de estos buffers, sino en hallar su posición dentro del diagrama de Gantt conjunto que mejor satisfaga las necesidades de la cartera de proyectos. Esta ubicación óptima se determina mediante un análisis detallado de las actividades y las relaciones de dependencia entre ellas, el cual realizará cada jefe de proyecto en comunión con el entorno en el que estén trabajando y avisando en las reuniones semanales a los demás gestores.

El objetivo es identificar los puntos en la cadena crítica donde los retrasos pueden tener el mayor impacto en la finalización del proyecto completo. Estos puntos suelen estar cerca del final de la cadena crítica o en áreas donde convergen múltiples recursos limitados, para lo cual, la información aportada por Microsoft Project es valiosa.

De los tres tipos de buffers explicados, la mejor alternativa es optar por los amortiguadores de recursos (presentes en las actividades críticas) y, en algún caso concreto por amortiguadores de proyecto, situándose en los lugares donde cualquier retraso puede tener un efecto directo en el plazo del proyecto.

Los buffers de alimentación no serían la mejor opción en entornos multiproyecto, como este caso, pues al colocarlos en puntos que no sean parte de la cadena crítica, es posible que generen una sobrecarga de tiempo y recursos ineficiente.

Según la teoría y lo aprendido a lo largo del desarrollo de este trabajo, se ha decidido insertar dos buffers de recursos y tres de proyecto. En la Figura 52 se observa la ubicación del primero de los buffers de recursos (BR1). Está situado en la quinta actividad del Proyecto 3 – Prensas, “Fabricación tubería restante 16 prensas”. Dicha actividad pertenece a la cadena crítica de la cartera de proyectos y está realizada por unos recursos diferentes a los que se emplean en la siguiente actividad de la

cadena crítica, la actividad once del mismo proyecto “Parada de las prensas E14-E15 para su sustitución. Puesta en marcha”.

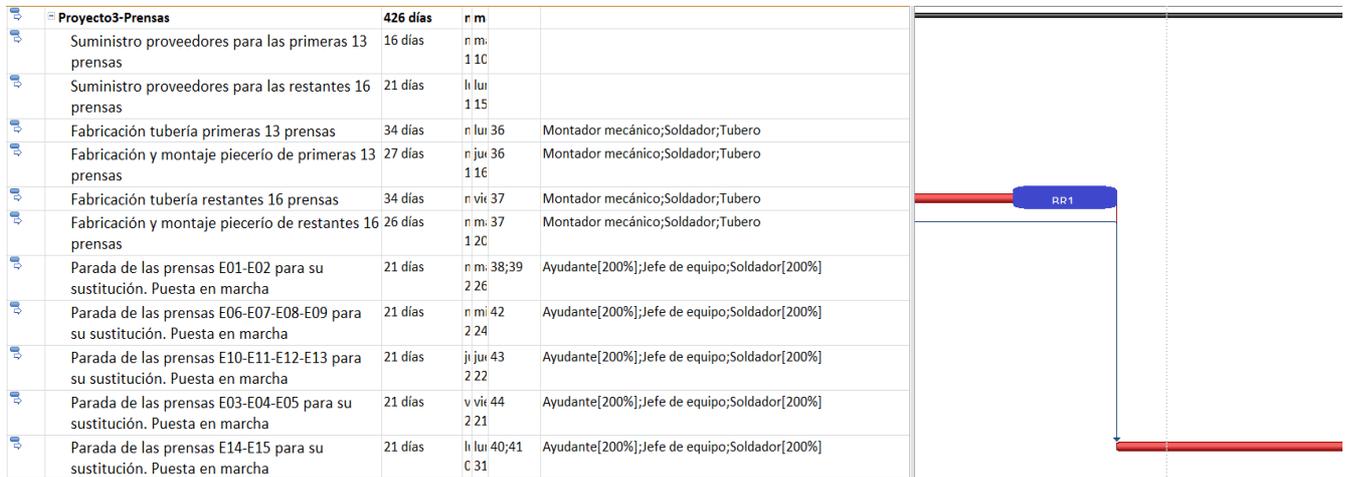


Figura 52. Situación y duración del primer buffer de recursos (BR1) en la cartera de proyectos. Fuente: Elaboración propia

Con este amortiguador se logra proteger las actividades de la cadena crítica de las perturbaciones que pueda sufrir el sistema cuando ocurre la transferencia de una actividad a otra realizada por recursos diferentes. Este buffer no modifica la duración del proyecto y su duración se calcula de manera que pueda cumplir los plazos de la cadena crítica sin llegar a modificarla.

El segundo y último amortiguador de recursos (BR2) se sitúa en la decimoquinta actividad del Proyecto 3 – Prensas, “Parada de las prensas E27-E28-E29 para su sustitución. Puesta en marcha”, según se observa en la Figura 53. Al igual que el caso anterior, dicha actividad pertenece a la cadena crítica y es realizada por determinados operarios, mientras que la siguiente actividad crítica es realizada únicamente por el jefe de proyectos, “Entrega documentos de las 16 prensas restantes”.



Figura 53. Situación y duración del segundo buffer de recursos (BR2) en la cartera de proyectos. Fuente: Elaboración propia



Este amortiguador tendrá una duración de tres días consiguiendo así proteger el cumplimiento de la entrega de los documentos. Dicha duración es la máxima posible antes de que éste buffer afecte a la duración del proyecto. Además, está situado en un sitio estratégico que permitiría absorber el retraso de la parada del último conjunto de prensas, por si hubiera algún inconveniente durante estos trabajos de paradas y sustitución.

A continuación, se presenta la ubicación y duración de los tres buffers de proyecto que se pueden insertar en esta cartera de proyectos. Estos amortiguadores se sitúan siempre al final de cada proyecto, tras la última actividad, y marcan la fecha de finalización de los mismos. Según la redistribución proporcionada por la herramienta Microsoft Project, tres de los cuatro proyectos terminan en fechas anteriores a las apalabradas con el cliente, como se puede ver si se comparan las fechas de finalización de la Figura 37 y la Figura 47.

En la Figura 54 se puede ver la ubicación del primer buffer de proyecto (BP1) en el Proyecto 2 – xCSS TOGG. Su tamaño, que tiene la finalidad de absorber los posibles retrasos acumulados en las actividades críticas, será de cuatro días, siendo el máximo posible. De esta manera el buffer comenzará el día 04/05/2023 (día en el que la redistribución con Microsoft Project había fijado como fecha de finalización del proyecto) y finalizará el 08/05/2023 siendo esta la fecha determinada con el cliente.

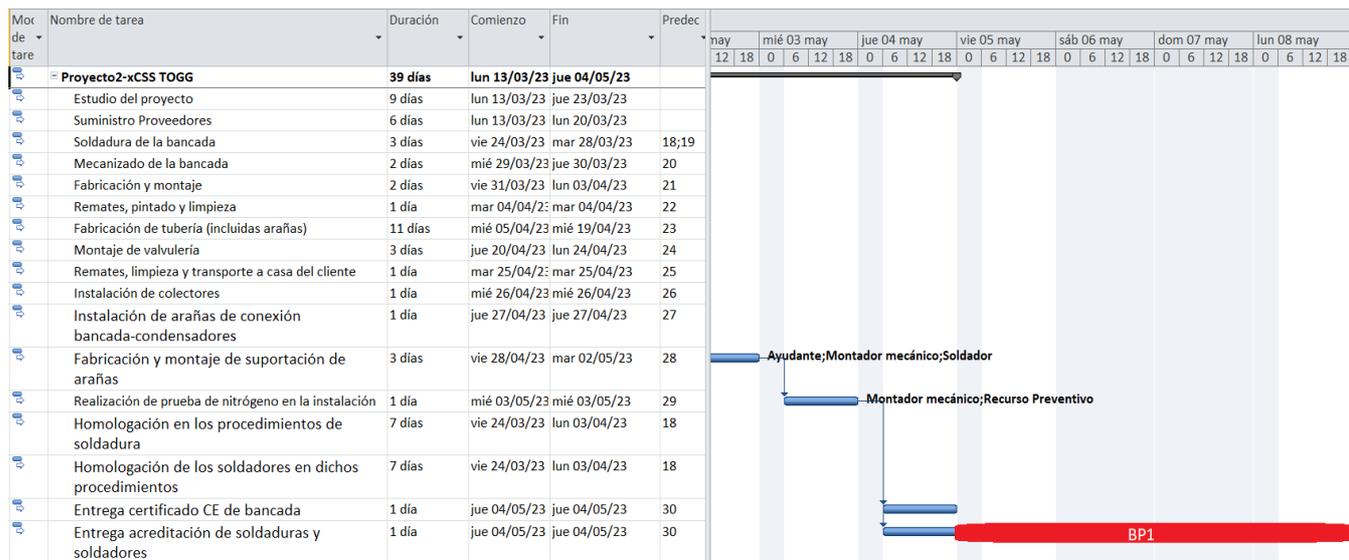


Figura 54. Situación y duración del primer buffer de proyecto (BP1) en la cartera de proyectos. Fuente: Elaboración propia

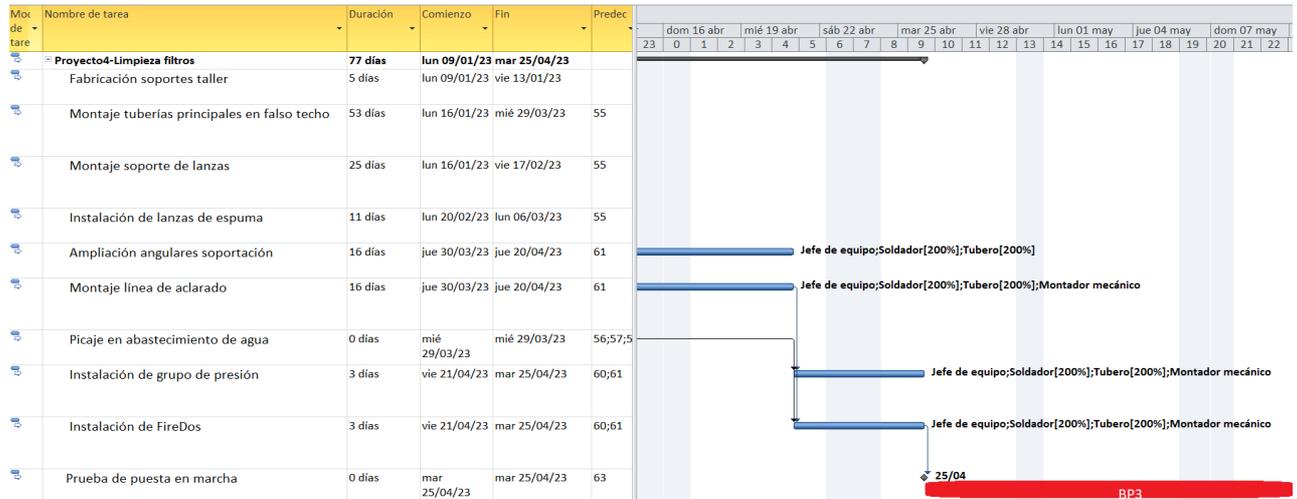


Figura 56. Situación y duración del tercer buffer de proyecto (BP3) en la cartera de proyectos. Fuente: Elaboración propia

Además de absorber el conjunto de los posibles retrasos existentes en la cadena crítica, estos buffers protegen al sistema de la dependencia secuencial de tareas dentro de los proyectos. Gracias a la herramienta software empleada, la introducción de este último tipo de buffers es más sencilla y precisa.

En la realidad de la empresa de proyectos que se está estudiando, la introducción de buffers forma parte del día a día de la gestión, aunque no se denominen de esa manera, ni se fundamenten en la base teórica en sí. Siempre se procura “no pillarse los dedos” con el cliente, aumentando un poco la duración de la última actividad de los proyectos para absorber las posibles desviaciones que puedan surgir por el camino e indicando una dedicación de más tiempo del necesario a las actividades más críticas.

Resumiendo, al aplicar el método de la cadena crítica después de identificar los recursos y la cadena crítica de los cuatro proyectos, mediante la introducción de estos amortiguadores, se garantiza una protección efectiva contra posibles perturbaciones y variaciones en la duración de las actividades, al tiempo que se utiliza de manera eficiente los recursos y se asegura el cumplimiento de los plazos críticos restablecidos de los proyectos (Mercado Vásquez y Arrieta Gómez, 2009).

3.2.3. Control y seguimiento de la mejora que aportan los amortiguadores a la cartera de proyectos.

Una vez introducidos los buffers para proteger la cadena crítica de las posibles perturbaciones en el entorno multiproyecto, es crucial realizar un seguimiento y una verificación para evaluar su efectividad y su contribución a la mejora de la gestión de los proyectos en la cartera.

El seguimiento de los proyectos implica monitorear regularmente el progreso de cada actividad y compararlo con la planificación inicial ajustada mediante Microsoft Project. Es importante realizar un seguimiento de las fechas de inicio y finalización reales, el avance de las tareas y cualquier desviación o retraso en relación con los hitos establecidos, con el cliente especialmente.

Para verificar la efectividad de los amortiguadores y su impacto en la gestión de los proyectos, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Se debe evaluar si los buffers han permitido absorber los retrasos y las variaciones en las actividades críticas sin afectar la fecha de finalización del proyecto completo ya reajustado. Si se observa que los buffers han sido efectivos para mantener la cadena crítica dentro del plazo esperado, se puede considerar que han contribuido positivamente a la gestión del proyecto.
- Es muy importante identificar las desviaciones a tiempo. El seguimiento de los proyectos debe alertar sobre cualquier desviación significativa en el rendimiento o los recursos. Si se detectan desviaciones en las actividades críticas o en los recursos asignados, se deben tomar medidas correctivas para garantizar la continuidad del proyecto y minimizar su impacto en la cadena crítica.
- Si se observa una sobrecarga de recursos o una subutilización significativa, se deben realizar ajustes en la asignación de recursos para optimizar su rendimiento y cumplir con las demandas del proyecto.
- Hay que realizar un seguimiento del rendimiento general de los proyectos y la cartera de proyectos en su conjunto. Esto implica revisar la productividad, la calidad de las entregas y la satisfacción del cliente para determinar si se están logrando los objetivos establecidos y si se están aprovechando las sinergias y las ventajas de gestionar los proyectos en un entorno multiproyecto mediante la cadena crítica.

De esta manera, se asegura una gestión eficiente y se pueden tomar las medidas correctivas necesarias para garantizar el éxito de los proyectos.



En la práctica, este seguimiento se realiza en reuniones semanales con el responsable de zona, donde se repasan uno a uno los proyectos y el cumplimiento de los plazos o si se produce algún retraso, justificando el porqué de cada uno de los casos. Esta es la práctica habitual de la empresa donde he realizado las prácticas y que se está empleando como ejemplo para la propuesta de este trabajo, y, aunque con seguridad no se hacen pensando en el modelo teórico de la cadena crítica, es habitual la aplicación de este método de control y monitorización a sus proyectos para asegurar el éxito y tratar de mejorar y buscar soluciones a casos futuros.



Universidad de Valladolid

Trabajo de Fin de Grado
Ingeniería de Organización Industrial



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se obtienen tras el desarrollo de este trabajo y tras evaluar la implementación de este método en un caso real de una empresa en un entorno multiproyecto pueden resumirse en:

1. Aportaciones de la implementación del método de la cadena crítica en entornos multiproyecto.

Esta metodología permite reducir la incertidumbre existente en entornos multiproyecto debido a la seguridad que aportan los amortiguadores introducidos en los diferentes proyectos. Además, la identificación de los recursos y la cadena crítica con el software Microsoft Project permite realizar los primeros pasos de esta metodología de manera más directa y sencilla.

Gracias a CCPM y, con ayuda de la herramienta de software, la gestión de recursos limitados es mucho más eficiente y garantiza el correcto desarrollo del conjunto de los proyectos que los comparten. Este punto, en entornos multiproyectos, aporta un valor enorme a los gestores, ya que evita los conflictos de interés y genera una salud empresarial muy grande con el resto de jefes de proyectos.

Por otro lado, el hecho de redistribuir los recursos críticos con Microsoft Project y recalcular las fechas de ejecución de los proyectos, favorece la posterior inserción de los buffers, que protegen a las actividades más influyentes en la cartera de proyectos.

2. Requisitos necesarios para poder desarrollar este modelo de gestión. La implementación del método de la cadena crítica es una herramienta exitosa para gestionar proyectos en entornos compartidos, pero no se encuentra exenta de requerimientos para poder ejecutarla.

Entre ellos, los jefes de proyectos debe tener un conocimiento profundo del conjunto de actividades que forman cada proyecto, así como sus duraciones y relaciones de precedencia. Además, para que esta metodología se desarrolle con éxito, un buen gestor de proyectos debe ser capaz de interpretar y acertar en los recursos necesarios para la ejecución de las tareas, sin quedarse corto ni establecer excesivos recursos, que trabajarían de forma ineficiente.

Por último, en esta metodología se considera fundamental conocer la cadena crítica y recursos críticos, en lo que ayuda Microsoft Project, para posteriormente ser capaz de introducir los buffer en el punto adecuado.



3. *Limitaciones existentes.* Pese a que esta metodología es muy avanzada y ha garantizado el éxito de numerosos proyectos, presenta algunas restricciones que hay que considerar antes de utilizarla.

Hay que tener en cuenta que la duración de los proyectos puede verse modificada tras redistribuir los recursos y reajustar las actividades críticas para garantizar su correcto desarrollo. Esto puede provocar que no se cumplan plazos con algunos clientes, o que se deba fijar con ellos la fecha establecida tras la redistribución de recursos. En entornos multiproyectos este fenómeno es todavía más influyente por lo que se necesita tener conciencia de los proyectos que se están ejecutando a la perfección.

Con los resultados obtenidos tras realizar el estudio de este caso práctico real, se observa que tres de los cuatro proyectos pueden ejecutarse antes de la fecha establecida con el cliente, pero uno de ellos (Proyecto 1 – Accesos Seguros) requiere un retraso en la ejecución, lo que podría generar algún conflicto con el interesado. Una manera de evitarlo puede ser subcontratar recursos para aumentar la plantilla de la empresa y así ser capaz de cumplir los tiempos acordados. En este caso concreto la empresa realizó esta acción de subcontratación, lo que generó un gasto añadido al proyecto.

Por todo ello, podemos considerar que gestionar el conjunto de proyectos con esta metodología puede resultar muy útil, porque dedicando un tiempo relativamente corto en ello, se evitan este tipo de conflictos.

El estudio de la utilización de este método en entornos multiproyecto concluye que se debe dedicar un tiempo a planificar internamente los proyectos existentes y, sobre todo, la distribución óptima de recursos, para posteriormente fijar un planning con el cliente que no genere conflictos y garantice el cumplimiento a tiempo de todos los proyectos.



BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Mendoza, J. (2009). *Análisis de la efectividad del método de la cadena crítica en los procesos de planificación y diseño de sistemas de control en construcción* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica].
- Aguilera, C. I. (2000). Un enfoque gerencial de la teoría de las restricciones. *Estudios Gerenciales* 77, 53-69.
- Aguirre Barrera, J. y Aguirre Barrera, S. (2020). Metodologías para el desarrollo de Proyectos. *Metodologías de Proyectos. Administración de Empresas*. Universidad Católica de Cali.
- Alva Sandoval, M.V., Vasquez Quispe, H.M., Calle Huaman, S.M., De la Cruz Salome, J.B. y Uchasara Flores, M.A. (2021). Comparación conceptual de los estándares de programación de obras de edificación [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Amendola, L., Depool, T. y González, J.M. (12-14 de octubre de 2008). *Modelo estratégico para la dirección y gestión de multiproyectos basado en el critical chain (CCPM)*. 12th International Conference on Project Engineering, Atenas, Grecia.
- Apaolaza, U. (2009). *Investigación en el método de gestión de entornos multiproyecto "Cadena crítica"*. [Tesis Doctoral, Universidad de Mondragón].
- Araúzo, Alberto (2023). *Dirección de operaciones* [Diapositivas Power Point]. https://campusvirtual.uva.es/pluginfile.php/3531932/mod_resource/content/3/Tema9-Producción%20Sincronizada%20C.pdf
- Araúzo, J., Gálan, J. M., Pajares, J., y López, A. (2009). Gestión eficiente de carteras de proyectos. Propuesta de un sistema inteligente de soporte a la decisión para oficinas técnicas y empresas consultoras. *DYNA*, 84(6), 761-772.
- Asana (a) (16 de agosto de 2022). *Qué es la teoría de las restricciones y cuáles son sus principios*. <https://asana.com/es/resources/theory-of-constraints>
- Asana (b) (16 de noviembre de 2022). Las 12 metodologías más populares para la gestión de proyectos. <https://asana.com/es/resources/project-management-methodologies>
- AVL Ibérica (2023). <https://www.avl.com>
- Bueno, J (2004). *Introducción a la organización de empresas*. UDIMA.
- Chaparro Pineda, V., y Castañeda Tibaque, J. A. (2015). *Ambiente multi-proyectos con recursos restringidos: una revisión del estado del arte* [Tesis de Grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá]
- Danilovic, M. y Börjesson, H. (2001). *Managing the multiproject environment. The third dependence structure matrix international workshop proceedings*. MIT Press.
- Díaz Rizo, R. (2009). *Metodología para la Administración de Recursos en Multiproyectos* [Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey].



- Domínguez-Machuca, J.A. (1995). *Dirección de operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. McGraw-Hill Interamericana.
- Durán, A. y Rivera, F.A. (2003). Una reflexión sobre los fundamentos y la aplicabilidad de cadena crítica en proyectos de ingeniería. *Dyna*, 78(9), 10-13.
- Ebbs, G. (2004). *Project management and the critical chain*. Simbient.
- EcoSys (2023). *Gestión de carteras de proyectos (PPM): Elementos clave, beneficios y mejores prácticas*. <https://www.ecosys.net/es/conocimientos/gestion-de-carteras-de-proyectos-ppm-elementos-clave-beneficios-y-mejores-practicas/>
- Fox, R.E., y Goldratt, E.M. (1986). *The race*. North River Press.
- García Coronado, B.I. y Ruiz Fernández, E. (2015). *Impacto de la gestión en obra utilizando la programación de la cadena crítica en la construcción civil "Residencial Mostacero" en el distrito de Trujillo, ciudad de Trujillo, departamento La Libertad* [Tesis de Licenciatura, Universidad Privada Antenor Orrego]
- Goldratt, E. M. (2010). *La meta. Un proceso de mejora continua (3ª ed. rev.)*. Granica.
- Goldratt, E. M. (2017). *Critical chain: A business novel*. Routledge.
- Grados, C.A. (2004). *Modelo DBR en procesos productivos. Aplicando la teoría de restricciones* [Tesis Doctoral, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Hadida, S. y Troilo, F. (2020). *La agilidad en las organizaciones: Trabajo comparativo entre metodologías ágiles y de cascada en un contexto de ambigüedad y transformación digital*. Serie Documentos de Trabajo, Nº 756. Universidad del Centro de Estudios Macroeconómicos de Argentina (UCEMA).
- Hernández Navarro, R. (2014). *Gestión de los recursos en organizaciones que prestan servicios de ingeniería en entornos multiproyecto* [Tesis Doctoral, Universidad EAFIT].
- Hortigüela Arozamena, D. (2022). *Programación de proyectos mediante cadena crítica. Dimensionamiento de buffers con simulación de Montecarlo* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Valladolid]
- IE University (27 de febrero de 2017). *Gestión de multiproyectos: un modelo disruptivo de optimizar los procesos*. <https://www.ie.edu/insights/es/articulos/gestion-multiproyectos-modelo-disruptivo-optimizar-los-procesos/>
- Johnson, R.V. (1992). Resource constrained scheduling capabilities of commercial project management software. *Project Management Journal* 23(4), 39-43.
- Iglesias, J.L. (2005). Gestión de proyectos (III). Los buffer del proyecto. *Partida Doble*, 167, 76-85.
- Leach, L. P. (1999). Critical chain project management improves project performance. *Project Management Journal*, 30(2), 39-51.
- Leach, L.P. (2014). *Critical chain project management (3ª ed.)*. Artech House.
- Lechler, T. G., Ronen, B., y Stohr, E. A. (2005). Critical chain: A new project management paradigm or old wine in new bottles? *Engineering Management Journal*, 17(4), 45-58.



- Lesaffre Ibérica S.A. (2023). <https://www.lesaffre.es/lesaffre-iberica/>
- Lova, A., Maroto, C., y Tormos, P. (2000). A multicriteria heuristic method to improve resource allocation in multiproject scheduling. *European Journal of Operational Research*, 127(2), 408-424.
- Lynch, B. (2003). Critical Chain Project Management: Coming to a Radar Screen Near You!. *Cutter IT Journal: The Journal of Information Technology Management*, 16(3) (Monográfico sobre Management Project).
- Mercado Vásquez, S.C. y Arrieta Gómez, K.J. (2009). *Diseño de la implementación de la metodología de la cadena crítica para la planeación del montaje mecánico de los equipos de las naves de almacenamiento del proyecto Columbus línea 4 de Zona Franca Argos a través de un ejercicio comparativo entre la metodología utilizada y la propuesta* [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de Bolívar]
- Michelin España. (2023). <https://www.michelin.es>
- Mogrovejo Baque, M. y Ormaza Acosta, C. (2015). *Desarrollo del módulo para administración de proyectos utilizando la plataforma libre ODOO, aplicando el método cadena crítica basado en la teoría de restricciones del Dr. Eliyahu Goldratt* [Tesis de Grado. Universidad Politécnica Salesiana].
- Mondragon Unibertsitatea (27 de mayo de 2013). *La problemática de la gestión de entornos multiproyecto y su resolución mediante el método de la Cadena Crítica*. <https://mukom.mondragon.edu/organizacion-industrial/2013/05/27/la-problematica-de-la-gestion-de-entornos-multiproyecto-y-su-resolucion-mediante-el-metodo-de-la-cadena-critica/>
- Montenegro Sabogal, L. M., Jimenez Lozano, J., Castelblanco Cardenas, L.E. y Leon Vega, M.A. (2019). *Propuesta de metodologías ágiles para la formulación de proyectos MGA*. [Tesis de Grado. Universidad EAN].
- Moura, E.C. y Barnard, A. (2010). *The Need to Integrate TOC. Lean, Six Sigma and Process Management (3ª ed. rev.)*. Qualiplus Consulting.
- Open Business International Consulting (2012). Beneficios de la teoría de las restricciones y la cadena crítica en Latinoamérica. <http://ob-ic.com/2016/03/18/beneficios-de-la-teoria-de-las-restricciones-y-la-cadena-critica-en-latinoamerica-1/>
- Payne, J. (1995). Management of multiple simultaneous projects: a state-of-the-art review. *International Journal of Project Management*, 13(3), 163-168.
- Poza, J. (2018). *Medium.com*. Obtenido de <https://medium.com/blog-de-astanapm/ciclo-de-vida-de-los-proyectos-la-nueva-aproximaci%C3%B3n-de-pmbok-6%C2%AA-edici%C3%B3n-acbb0f91661e>
- Project Management Institute (2001). *Project management body of knowledge*. Project Management Institute Inc.
- Project Management Institute (2017). *A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK guide) (6ª ed.)*. Project Management Institute Inc.



- Port, O., Schiller, Z., y King, R. W. (1990). A smarter way to manufacture. *Business Week*, 30, 110-117.
- Recursos en Project Management (2023). *Priorización en entorno multiproyecto*. <https://www.recursosenprojectmanagement.com/priorizacion-en-entorno-multiproyecto/>
- Sajuma, D.G. y de la Rosa J. (2018). *Cadena crítica* [Diapositivas Power Point]. https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250441/2012/Cadena%20critica.pdf
- Santillán, C.A.J., Merino, C.P.A., Rodríguez, P.L., Guadalupe, C.S.A., Zambrano, G.S.J. y Izurieta, J.E.A. (2017). El uso de tecnología PPM mejora la gestión estratégica de los proyectos de la estafeta docente. Estudio de caso. *European Scientific Journal* 13(13), 90-113.
- Sonae Arauco. (2023). <https://www.sonaearauco.com>
- Steyn, H. (2001). An investigation into the fundamentals of critical chain project scheduling. *International Journal of Project Management*, 19(6), 363-369.
- Spuhler, R.W. y Biagini, R.G. (1990). The role and weaknesses of top management in internal projects, en G. Roland (Ed.), *Handbook of Management by Projects*. Manz Wirtschaft.
- Toclatino (30 de mayo de 2018). *DBR:Drum-Buffer-Rope*. <https://www.toclatino.com/post/dbr-drum-buffer-rope>
- Turner, J. R. (2008). *The handbook of project-based management. Leading strategic change in organizations*. McGraw-Hill.
- Vázquez García, E. (2019). *Aplicación del método de la cadena crítica al sector de la construcción* [Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela].