

CAPÍTULO 5

La gestión del tiempo en el proyecto

Objetivos del capítulo

En este capítulo se pretende que el lector conozca las actividades, las técnicas y los resultados pertenecientes al grupo de actividades de gestión del tiempo. Este grupo tiene la misión de organizar, planificar, dirigir y supervisar el tiempo necesario para desarrollar cada tarea del proyecto para que se consiga el objetivo final del mismo.

La identificación de las actividades que pueden poner en peligro la consecución del proyecto en el plazo acordado es de máxima importancia, pues es en estas actividades en las que se deben fijar los esfuerzos técnicos, humanos y económicos para evitar retrasos.

Por encima de cualquier otro objetivo, el lector debe aprender a calcular el camino crítico de un proyecto y a elaborar un Diagrama de Gantt a partir de este.

La metodología de estudio preferente se ha de basar en la comprensión de las actividades y en el conocimiento profundo de las técnicas que se mencionen, en tanto la relación de actividades está disponible en los manuales de referencia de gestión de proyectos.

1. Introducción al grupo de actividades de gestión del tiempo en el proyecto

Las actividades que se han contemplado hasta este momento abarcan la definición de cada uno de planes subisidiarios al PDP, los cuales contienen las directrices para planificar, ejecutar y monitorizar cada una de las áreas de gestión del proyecto y, por otra parte, la elaboración de un documento que contiene el conjunto de necesidades (requisitos) que se han identificado. Recordemos que dentro de este último grupo de actividades la realización de una estructura de desglose de trabajos era una parte esencial: la definición de los paquetes de trabajo a realizar (normalmente los identificaremos con entregables) permitirán avanzar en la planificación temporal del proyecto.

Es justo en este instante en el que tomando como punto de partida los requisitos del proyecto y la estructura de desglose de trabajos previamente elaborada, determinaremos el conjunto de actividades que permiten alcanzar los hitos del mismo. Esto es, se identificarán las actividades elementales que debidamente organizadas, planificadas y ejecutadas den lugar a cada uno de los paquetes de trabajo indicados en la estructura de desglose de trabajos.

Para ello, el grupo de actividades de gestión del tiempo señala un conjunto de actividades de gestión que se deben desarrollan para acometer esta tarea de gestión temporal:

- Identificación de las actividades del área de gestión de tiempos en el proyecto que se adoptarán/adaptarán en el proyecto (GTP1).
- Identificar tareas y subtareas que conducen a concluir el trabajo en la definición del proyecto (GTP2).
- Graficar secuencialmente tareas y subtareas (GTP3).
- Calcular el esfuerzo (días-persona/meses-persona) para cada tarea y subtarea (GTP4).
- Estimar los recursos para cada tarea (GTP5).
- Evaluar la duración de cada tarea y subtarea (GTP6).
- Cálculo del camino crítico y desarrollo del diagrama de Gantt (GTP7).
- Monitorizar los tiempos del proyecto (GTP8).
- Conclusión o cierre de actividades abandonadas o pospuestas (GTP9).

Es preciso indicar que dentro de la gestión de proyectos encontramos tres áreas de gestión clave para que los proyectos tengan éxito. El primero es el abordado en el capítulo anterior: área de gestión de la definición del proyecto, y las otras dos áreas se corresponden con las áreas de gestión del tiempo y de gestión de los costes. El constante equilibrio entre alcance, tiempo y coste es la principal misión del director de proyecto, pues normalmente ampliaciones o modificaciones en el alcance inciden directamente en los otros dos. En ocasiones podemos encontrar ejemplos en los que se fija el tiempo o el coste y a partir de dicha restricción se determina el máximo alcance posible; sin embargo, lo más habitual es que a partir de la definición del proyecto y de un presupuesto dado se fijen los tiempos (y los recursos) para la realización del mismo.

Considerando la importancia de este capítulo, en los siguientes epígrafes veremos el conjunto de actividades que permiten gestionar el tiempo de un proyecto adecuadamente.

2. Actividades comprendidas en el grupo de actividades del área de gestión del tiempo del proyecto

2.1. Identificación de las actividades del área de gestión del tiempo del proyecto que se adoptarán/adaptarán en el proyecto (GTP1)

A) Descripción de la actividad

La primera actividad obligatoria dentro de la gestión de definición del proyecto pertenece a la etapa inicial y consiste en identificar cuáles de las actividades propuestas tiene sentido incorporar en el proyecto. Las diferentes características del proyecto, las diferentes situaciones de cada organización, las peculiaridades de cada proyecto hacen que cada jefe de proyecto deba obligatoriamente seleccionar qué actividades formarán parte de la gestión de la definición y cómo se van a adaptar al proyecto.

Debe seleccionar de entre la lista de actividades siguiente (no obligatorias):

- Identificar tareas y subtareas que conducen a concluir el trabajo en la definición del proyecto (GTP2).
- Graficar secuencialmente tareas y subtareas (GTP3).
- Calcular el esfuerzo (días-persona / meses-persona) para cada tarea y subtarea (GTP4).
- Estimar los recursos a partir del cálculo anterior (GTP5).
- Evaluar la duración de cada tarea y subtarea (GTP6).
- Cálculo del camino crítico y desarrollar diagrama de Gantt (GTP7).
- Monitorizar los tiempos del proyecto (GTP8).

Como norma general, todas las actividades se seleccionarán en todos los proyectos, y solo aquellos en los que ya exista una clara definición de tareas y subtareas (es decir, trabajos) a realizar en el proyecto permitirán ahorrarse esta actividad. Esto suele darse en proyectos «más o menos» repetitivos. Por ejemplo, consideremos una empresa que se dedica a la construcción de casas de campo. En ese caso, la lista de actividades a realizar en cada «proyecto» es semejante. Es cierto que habrá particularidades y especificidades en cada proyecto (por ejemplo, tipo de suelo, tipo de teja, ventanales, etc.) pero el conjunto de tareas entre cada proyecto difiere mínimamente.

El resultado de esta actividad es un documento de actividades adoptadas/adaptadas y que permitirán la gestión del tiempo en el proyecto. Asimismo, debemos fijarnos en que la actividad de finalización o cierre de actividades pendientes o pospuestas no se ha incluido, puesto que tiene naturaleza obligatoria.

B) Técnicas. Herramientas

La técnica de *juicio de expertos* propone recurrir a un conjunto de expertos en dirección de proyectos, entre los que puede y debe figurar el jefe de proyecto, para valorar la idoneidad de

contar con cada una de las actividades en el área de gestión del tiempo en el proyecto. Como resultado de la aplicación de esta técnica a esta actividad se obtiene un documento que contiene el listado de actividades a desarrollar para gestionar el tiempo. No obstante, tal y como se ha comentado, es normal general incluir todas estas actividades (exceptuando la subdivisión en tareas a partir de los paquetes de trabajo de la estructura de desglose de trabajo que a veces podemos reutilizar de proyectos anteriores semejantes).

2.2. Identificar tareas y subtareas que conducen a concluir el trabajo en la definición del proyecto (GTP2)

A) Descripción de la actividad

Esta tarea tiene la finalidad de desglosar cada uno de los paquetes más elementales del diagrama estructura de desglose de trabajo en actividades realizables por el equipo de trabajo. Estas actividades realizables por el equipo de trabajo se pueden considerar ya actividades elementales y su duración es muy corta en comparación con el proyecto (normalmente entre uno y cinco días) y se realiza por una persona o un equipo muy reducido (dos-tres personas) de modo que se tiene un detalle suficiente de los trabajos que se están realizando en el proyecto. En caso de que esta actividad sufriera algún percance (empieza más tarde, requiere más esfuerzo, se debe paralizar temporalmente ...) el tiempo dedicado en exceso sería fácilmente asumible entre las holguras que hubiera en otras actividades. Se trata en definitiva de hacer un listado de trabajos elementales a partir de los entregables contenidos en la estructura de desglose de trabajo que posibilite la monitorización y si fuera preciso, rectificación de los mismos.

Los documentos que se emplean para realizar esta tarea son el documento de especificación de requisitos del proyecto y el diagrama estructura de desglose de trabajo previamente desarrollado; aparte se emplean, como siempre, los activos de la empresa (plantillas) y otros documentos legales exigibles (factores ambientales).

El resultado de esta tarea no es otro que la lista de actividades elementales que el equipo de proyecto debe desarrollar para conseguir un hito o entregable dentro de la estructura de desglose de trabajo. Evidentemente, con cada actividad se generan las características de esta: fecha de entrega, importancia, requisito que cubre, producto generado por dicha actividad, método de validación de la actividad, etc.

B) Técnicas. Herramientas

a) Análisis y descomposición top-down

La técnica de análisis y descomposición *top-down* consiste en desgranar cada paquete de trabajo en subpaquetes y estos a su vez en actividades que ya sean planificables. Los paquetes y subpaquetes de trabajo por lo general no se planifican, mientras que las actividades se asignan a recursos para que las ejecuten en un plazo determinado. Este proceso de subdivisión hasta llegar a actividades elementales se conoce con el nombre de análisis y descomposición *top-down*, pues comienza por paquetes de alto nivel hasta llegar a actividades de detalle.

Recordemos que por lo general los paquetes identificados en la estructura de desglose de trabajo se corresponden con entregables del proyecto, mientras que con las actividades no sucede esto, sino que un conjunto de ellas dan lugar a un hito, producto o servicio que se suele corresponder con un entregable en el proyecto.

b) Planificación iterada

Las actividades a realizar pueden requerir niveles de detalle superiores conforme avanzamos en el ciclo de vida del proyecto. Es decir, en la fase de planificación es posible llegar a identificar paquetes de trabajo que posteriormente haya que detallar más; e incluso una vez detallados, en sucesivas fases del proyecto requiera ser descompuestas más aún, con un nivel de detalle superior. Este proceso gradual de descomposición de actividades es lo que se conoce como *planificación iterada*. Es frecuente que en proyectos grandes no se llegue a conocer todas las actividades a realizar hasta bien avanzado el proyecto y esto obligará a peticiones de cambio, actualizaciones de líneas base, etc., pero esto no es ningún problema si se gestiona adecuadamente a través del procedimiento de gestión y control de cambios.

c) Juicio de expertos

Dadas las dificultades de esta actividad es frecuente recurrir a la ayuda de expertos en proyectos semejantes o en la materia del proyecto en cuestión que nos puedan aconsejar sobre el mejor modo de dividir cada paquete de trabajo.

EJEMPLO 1

Continuando con el ejemplo de la estructura de desglose de trabajo del capítulo anterior, podemos desglosar el paquete P1.1 «Solicitar oferta», como sigue:

- P1.1.1 «Contactar proveedores».
- P1.1.2 «Enviar requerimientos».
- P1.1.3 «Esperar ofertas».
- P1.1.4 «Comparar ofertas».
- P1.1.5 «Seleccionar oferta».

Esto mismo deberíamos hacer para cada uno de los paquetes de bajo nivel identificados en el diagrama estructura de desglose de trabajo.

2.3. Graficar secuencialmente tareas y subtareas (GTP3)

A) Descripción de la actividad

Tras disponer de todas las tareas y subtareas identificadas, el siguiente paso consiste en identificar las dependencias existentes entre ellas. Las dependencias entre actividades

son importantes porque son las que definen cuáles se comienzan antes, cuáles van después de cada actividad y porque marcan las restricciones entre ellas. Por ejemplo, en una obra tras echar el hormigón armado para la construcción de los cimientos se puede comenzar a levantar los pilares. Sin embargo, es preciso emplear un tiempo entre la finalización de la tarea de cimentación y el comienzo de la tarea de levantamiento de pilares para que el hormigón frague y seque correctamente. Este tipo de restricciones se impone exigiendo que entre la finalización de la cimentación y el comienzo del levantamiento de pilares haya un mínimo de tiempo.

El diagrama que emplearemos para representar las tareas y sus relaciones es un diagrama de red. Dicho diagrama representa todas las restricciones y será útil posteriormente para determinar el camino del proyecto en el que las actividades no tienen holgura.

Para la elaboración del diagrama de red, se parte de la estructura de desglose de trabajo y de las tareas obtenidas a partir de la misma, así como del documento de definición (requisitos) del proyecto. Dado que dicho diagrama suele estar particularizado en cada organización, es recomendable utilizar las plantillas que esta tenga previsto para la elaboración del mismo.

B) Técnicas. Herramientas

La técnica empleada para la obtención del diagrama de red es el método de *diagramación por precedencia*. Este método consiste en identificar cada tarea por un rectángulo e ir enlazando rectángulos según el tipo de restricción que exista entre las tareas.

Todas las tareas han de tener al menos un predecesor y un sucesor. Para ello crearemos un nodo virtual inicio y un nodo virtual final, de modo que las actividades iniciales que no tengan predecesor se enlazan con el nodo inicio y las actividades finales que no tengan sucesor se enlazan con el nodo final. El resto de tareas se enlazan entre ellas, según la información que de cada una se tenga.

Podemos identificar hasta cuatro tipos de relaciones o restricciones entre tareas:

- Relación final a inicio (FI, o FS, en inglés). Según esta relación, la actividad B no puede comenzar hasta que la actividad A haya concluido. Por ejemplo, no se puede comenzar la configuración de usuarios en el programa de escaneado hasta que el software no esté instalado.
- Relación final a final (FF o FF, en inglés). Según esta relación, la actividad B no puede finalizar hasta que no finalice la actividad A. Por ejemplo, no se puede dar por terminado un entregable de un proyecto hasta que el último documento haya sido terminado.
- Relación inicio a final (IF o SF, en inglés). Según esta relación, la actividad B no puede finalizar hasta que no comience la tarea A. Por ejemplo, no se puede dar por finalizada la formación en escaneo de documentos, hasta que los usuarios no empiecen a tener disponible su usuario y password (es decir, hasta que haya comenzado el proceso de alta de usuarios).

- Relación inicio a inicio (II o SS, en inglés). Según esta relación, la actividad B no puede comenzar hasta que no comience la tarea A. Por ejemplo, no se puede comenzar la excavación hasta que no comience la instalación de los soportes de vaciado.

Dichas dependencias pueden ser inmediatas o desplazadas. Llamamos *dependencias inmediatas* a aquellas en las que la relación no tiene ninguna atribución extra de tiempo. Sin embargo, en las *desplazadas* la restricción no tiene lugar en el momento en que la actividad acaba o empieza, sino en un instante anterior o posterior. Se indican denotando el desplazamiento temporal en la misma restricción, por ejemplo, FI+3 significa que la actividad B no puede comenzar hasta tres días más tarde de haber finalizado la actividad A. Del mismo modo, II-2 significa que la actividad B no puede comenzar hasta dos días antes de que comience la actividad A.

Este tipo de relaciones puede originarse por distintos motivos, pero generalmente podemos encuadrarlos en alguno de los siguientes tipos:

- Dependencias de tipo obligatorio. Estas dependencias son características del proyecto o trabajo que se realiza. Por ejemplo, es obligatorio esperar a que el hormigón de los cimientos esté seco antes de comenzar la construcción de los pilares.
- Dependencias arbitrarias. Estas dependencias no tienen un origen legal o técnico en cuanto a la naturaleza del proyecto, pero la experiencia demuestra que es recomendable aplicar dichas dependencias para el éxito del proyecto. Por ejemplo, cuando el equipo de informática ha puesto en producción una aplicación es necesario dejar un tiempo para que descansen (suelen trabajar por la noche), en cuyo caso aplicaríamos una dependencia FI+3 (por ejemplo).
- Dependencias externas. Son dependencias con entidades externas al proyecto. Por ejemplo, una actividad del proyecto no puede comenzar hasta haber recibido la autorización municipal de obras. Este ejemplo es típico en proyectos con entidades reguladoras y Administraciones públicas.

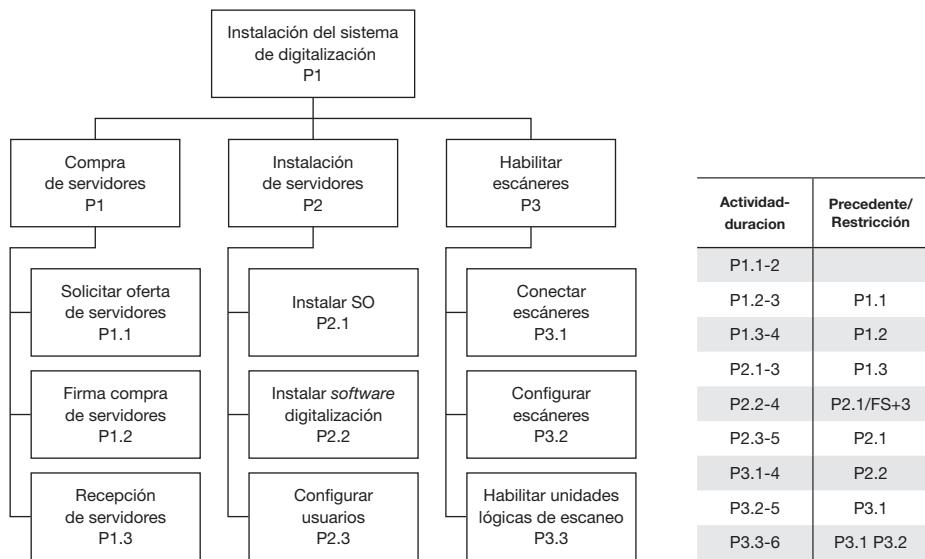
EJEMPLO 2

Como ejemplo ilustrativo, sea la siguiente estructura de desglose de trabajos, en la que se especifica la relación de precedencia entre tareas y las restricciones entre estas en la tabla adjunta (figura 1).

Se solicita elaborar el diagrama de red mediante el método de diagramación por precedencia. Es preciso aclarar que por razones de sencillez no se ha profundizado en cada una de las subtareas de los paquetes de trabajo de la estructura de desglose de trabajos; es decir, deberíamos hacer el diagrama con las actividades P1.1.1-P1.1.5, antes identificadas, así como con las restantes P2.*.* y P3.*.*.

No obstante, si se incluyera el procedimiento de construcción del diagrama de red, sería exactamente el mismo, pero con más nodos, por tanto, nos quedaremos en el nivel P1.*, P2.* y P3.*., asumiendo que en este nivel los paquetes de trabajo se corresponden con tareas ejecutables (o entregables del proyecto).

■ Figura 1. Estructura de desglose de trabajos y restricciones entre actividades

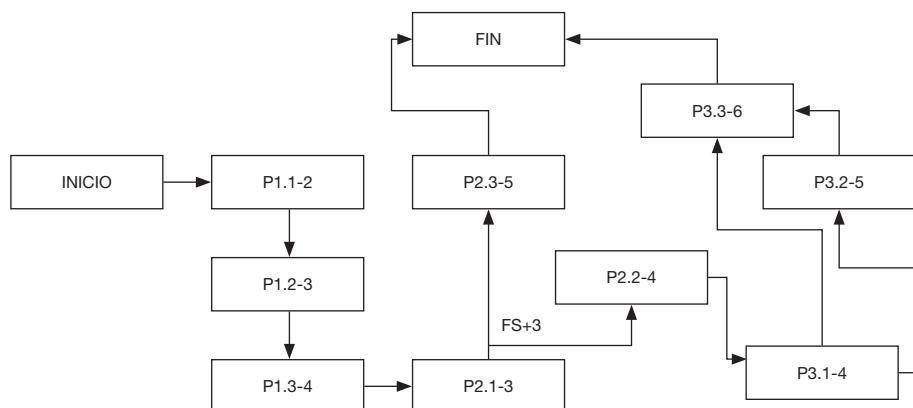


Posteriormente, se identifican las restricciones temporales de desplazamiento entre tareas (incluidas en la figura, en este caso solo hay en la actividad P2.2) y se representan sobre el diagrama ya construido.

Para elaborar el diagrama se dibuja un nodo, representado por una caja, por cada tarea y se relacionan mediante flechas todas las tareas, según se indique en la figura de precedencias.

El resultado puede observarse en la figura 2.

■ Figura 2. Diagrama de red con restricciones temporales



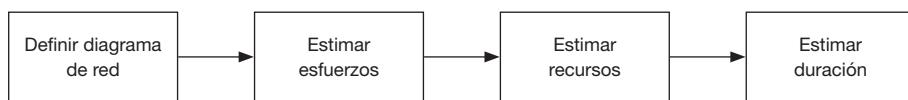
2.4. Calcular el esfuerzo (días-persona/meses-persona) para cada tarea y subtarea (GTP4)

A) Descripción de la actividad

Recapitulando, hasta ahora se han definido los requisitos del proyecto y del producto y se ha conseguido elaborar un diagrama con los paquetes de trabajo necesarios para conseguir satisfacer dichos requisitos. Posteriormente, se ha desgranado cada paquete en tareas más elementales y todo ello se ha representado en un diagrama de precedencias. Sin embargo, aún no contamos con una estimación del tiempo que tardaremos en realizar cada tarea. Es decir, no podremos calcular el tiempo del proyecto hasta que no sepamos cuánto dura cada tarea. Pero previamente a poder determinar la duración de cada tarea es preciso definir qué esfuerzo requieren cada una de ellas.

Por esto el siguiente paso es calcular el esfuerzo que requiere cada tarea y subtarea elementales; en algunos casos los propios paquetes de trabajo pueden ser tareas y por tanto se estima su esfuerzo directamente.

■ Figura 3. Actividades para la obtención de la duración



El cálculo del esfuerzo de cada una de las actividades se realiza básicamente a partir del diagrama de red de actividades. Pero adicionalmente se requiere información sobre cada actividad (descripción, código, etc.) y sobre todo, y mucho más importante, se requiere información de los activos de la empresa acerca de históricos de proyectos. La información sobre trabajos realizados en otros proyectos semejantes puede dar una idea de la cantidad de trabajo requerida para elaborar cada una de las tareas y subtareas.

En algunas disciplinas existen otro tipo de entrada, tales como tablas estandarizadas sobre esfuerzos a realizar. Pero esta información es específica de cada proyecto y por tanto no se considera como conocimiento general de gestión de proyectos, sino específico de cada disciplina. Un ejemplo típico es el modelo COCOMO o puntos-función en los proyectos de ingeniería del *software*. En este caso, el modelo de puntos función ofrece un conjunto de ecuaciones para calcular una medida del esfuerzo en una unidad denominada puntos-función. Posteriormente, mediante tablas se traducen los puntos función en la unidad días-hombre, que ya se puede emplear como estimación de esfuerzo.

Por último, se deben considerar las políticas y recomendaciones de la organización; por ejemplo, si ya existen tablas de estimación en la organización o si existen documentos que indiquen cómo se han de estimar los recursos de cada actividad e incluso políticas que indiquen el nivel de «usabilidad» de los recursos.

B) Técnicas. Herramientas

a) *Bases de datos*

Una de las principales herramientas que se emplean en esta actividad son las bases de datos con datos históricos. La utilización de esta información es posible en tanto se haya alimentado suficientemente en el pasado; y seguirá siendo útil en tanto se siga alimentando, para lo cual se debe seguir ejecutando la actividad de actualización de la base de datos de conocimiento durante todo el proyecto, sobre todo de cara a futuros proyectos.

b) *Juicio de expertos*

En numerosas ocasiones solo la experiencia de un grupo de expertos puede dar una idea del esfuerzo que requiere una tarea. Tareas nuevas o formas de hacer distintas, la incorporación de nuevas herramientas y tecnologías o simplemente cambiar el equipo o el hecho de que este haya adquirido más experiencia, puede hacer variar las estimaciones de esfuerzo respecto a los datos históricos disponibles, por lo que contar con la valoración de expertos puede ser sumamente útil.

c) *Técnicas de análisis de alternativas*

La división de una tarea en subtareas admite normalmente más de una posibilidad que requiere recursos con diferente experiencia y cualificación. Por ejemplo, se puede optar por una estructura de desglose de trabajos muy poco desglosada si contamos con recursos de alta cualificación y experiencia que nos permiten hacer estimaciones del esfuerzo de paquetes de trabajo directamente. Sin embargo, en otras ocasiones, será preciso desglosar las tareas de los paquetes hasta niveles sumamente detallados, si los recursos con los que se cuenta son poco cualificados o con poca experiencia. El procedimiento para llegar a obtener los esfuerzos es iterativo. Como se observa, no se obtiene un resultado único, sino que se ve afectado por otros parámetros, como en este caso la experiencia de los equipos.

Este razonamiento nos lleva a la conclusión de que existen múltiples opciones a la hora de estimar las tareas. Un mayor desglose requiere recursos de menor cualificación, pero también conllevará un mayor coste por la incorporación de más recursos de gestión.

En definitiva, normalmente nos encontraremos en una situación en la que haya que tomar decisiones sobre qué estimación resulta más acertada en función de las previsiones del equipo que se tendrá disponible.

d) *Herramientas de gestión de proyectos*

En general, los ejemplos que se ven en este manual son ejemplos muy simplificados enfocados a comprender las técnicas. Sin embargo, en la realidad los proyectos tienen cientos de tareas y decenas (o cientos) de recursos que gestionar. Por ello se hace inviable llevar esta gestión a mano y se deben emplear herramientas informáticas. Existen múltiples opciones de

herramientas *software* para gestionar proyectos. En este manual estamos empleando en los ejemplos la herramienta Openproj, de *software* libre, por su gran parecido con la herramienta Microsoft Project, ampliamente utilizada en el mercado.

EJEMPLO 3

En el caso del ejemplo que se está desarrollando, se ha decidido estimar los esfuerzos basándose en los resultados de proyectos anteriores. Resultan los siguientes datos (figura 4):

■ Figura 4. Resultados de la estimación de esfuerzos en días-hombre

Actividad-duración	Precedente/Restricción
P1.1-2	
P1.2-3	P1.1
P1.3-4	P1.2
P2.1-3	P1.3
P2.2-4	P2.1/FS+3
P2.3-5	P2.1
P3.1-4	P2.2
P3.2-5	P3.1
P3.3-6	P3.1 P3.2

Es preciso aclarar que en este ejemplo se ha estimado el esfuerzo en días-hombre, si bien la unidad de medida puede variar en otros proyectos (meses-hombre, años-hombre...). Para obtener el dato de cada estimación de esfuerzo se puede realizar una estimación optimista, otra pesimista y otra media y prorratear las tres estimaciones mediante el cálculo visto anteriormente a partir de los datos disponibles de otros proyectos:

$$\text{Esfuerzo estimado} = \frac{(\text{Esfuerzo}_{\text{optimista}} + 4 \text{ Esfuerzo}_{\text{promedio}} + \text{Esfuerzo}_{\text{pesimista}})}{6}$$

2.5. Estimar los recursos para cada tarea (GTP5)

A) Descripción de la actividad

La actividad de estimación de recursos consiste en hacer una aproximación al número de recursos que estarán disponibles para cada tarea (o paquete de trabajo, si tuvieran el detalle suficiente). En la actividad anterior se ha obtenido una idea del esfuerzo que requieren, pero para poder determinar la duración es preciso aproximar el número de recursos que colaboran

en la tarea. Pues bien, esta actividad tiene la finalidad de determinar precisamente los recursos intervenientes a fin de calcular de forma aproximada la duración de cada paquete, tarea o subtarea.

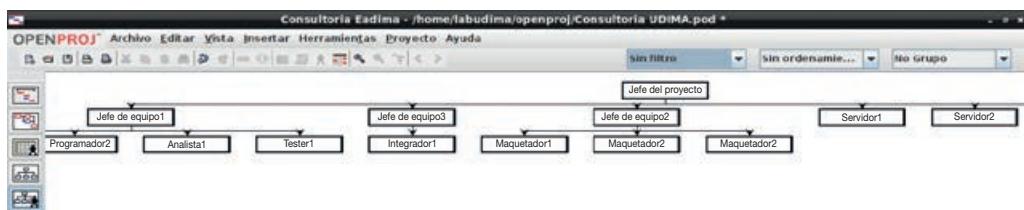
Sin embargo, en la práctica, esta actividad suele estar muy limitada, pues el número de recursos disponibles se asignan globalmente al proyecto. Es decir, se suele asignar un número más o menos fijo de recursos al proyecto y no existe demasiada libertad para determinar el número de recursos en cada tarea. De modo que tampoco existe mucha flexibilidad en la siguiente actividad, que es la determinación de la duración de cada actividad.

Existen varios elementos que se han de tomar como entradas de esta actividad: los propios recursos disponibles y sus calendarios laborales, las necesidades específicas indicadas en los requisitos del proyecto (es posible que haya requisitos que requieran recursos muy específicos para su ejecución), el documento de definición del proyecto y como es habitual, el conjunto de plantillas y procedimientos de la organización.

El resultado de esta actividad es el conjunto de asignaciones de recursos posibles a cada tarea. Se ha de pensar en esta actividad teniendo en mente que ha de servir a la de estimación de la duración y que, por ello, cuanto más realista sea la estimación de recursos, más fidedigna será la estimación de duración.

Como salida casi exclusiva de esta actividad obtendremos las necesidades de recursos y un mapa con la estructura de desglose de recursos. Este mapa representa el conjunto total de recursos requeridos agrupados por categorías de forma jerárquica: recursos de mano de obra (debidamente clasificados por nivel, conocimientos, experiencia...), recursos de material, recursos de maquinaria y bienes, así como de suministros. Este mapa de recursos se denomina estructura de desglose de recursos (EDR), también conocido por sus siglas en inglés (RBS).

■ Figura 5. Estructura de desglose de recursos (EDR o RBS) realizada con Openproj



En el caso de la figura, se ha obtenido que hacen falta dos programadores, un analista y un *tester*, junto a tres maquetadores y un integrador. Desde el punto de vista de bienes materiales se requieren dos servidores y dos escáneres (por falta de espacio no se pueden visualizar en la imagen de la figura 5). Todos los recursos están a cargo del jefe de proyecto.

B) Técnicas. Herramientas

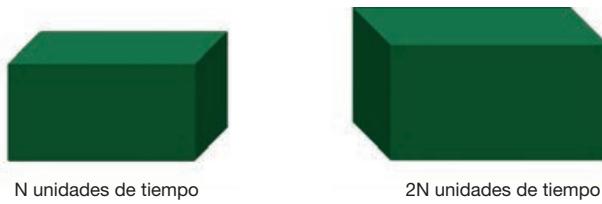
a) Juicio de expertos

En numerosas ocasiones solo la experiencia de un grupo de expertos puede dar una idea de la duración que tendrá una tarea. No tanto por el número de recursos que se asignará, sino porque de proyectos anteriores han aprendido que determinada tarea se debe realizar entre (x) recursos y que tomará (n) unidades de tiempo.

b) Estimación por analogías

En ocasiones no es necesario recurrir a expertos si se acumula un número suficiente de experiencias y se han almacenado en una base de datos de conocimientos o lecciones aprendidas. En ese caso, será posible realizar estimaciones de recursos por analogía con proyectos anteriores. Por ejemplo, si se tiene experiencia en pintar locales comerciales, se puede aprovechar dicha experiencia para saber el número de recursos necesarios para pintar una nave industrial. En general, esta técnica es más barata que otras, pero presenta un elevado grado de incertidumbre (figura 6).

■ Figura 6. Método de las analogías por comparación con proyectos semejantes



c) Análisis de alternativas

Es frecuente que a la hora de estimar los recursos para realizar un conjunto de tareas existan diferentes opciones sobre los recursos que debe desarrollar cada tarea. Por ejemplo, para la realización de una aplicación web se sabe que dicho trabajo lo puede realizar un equipo compuesto por un analista programador y tres programadores júnior trabajando durante un tiempo de quince días. Sin embargo, si en lugar de los tres programadores, empleamos dos programadores senior, dicho trabajo se puede realizar en diez días. Existe la posibilidad de que el Departamento de Recursos Humanos no sea capaz de proporcionar siquiera los tres programadores júnior y debamos realizar la tarea con dos programadores júnior, en cuyo caso en vez de quince días, la tarea se extendería hasta veintiún días. Existen en este ejemplo diferentes alternativas para realizar el mismo trabajo.

El análisis de alternativas nos permite obtener una conclusión sobre qué alternativa es mejor una vez fijemos en la función objetivo el beneficio que pretendemos optimizar (ya sea tiempo, coste, calidad, etc.). De las técnicas de análisis de alternativas, la técnica del árbol de decisiones es la más empleada. En dicha técnica se emplea también el análisis de riesgos y por ello posponemos su estudio hasta dicho capítulo.

d) Métodos estadísticos

Como se acaba de indicar, es posible que se disponga de varias estimaciones para una misma actividad. En el ejemplo anterior, disponíamos de tres posibles duraciones en función de los recursos que finalmente se asignen. Una posibilidad para definir los recursos que realizarán la tarea es recurrir a cálculos estadísticos.

El primero de ellos asume que la mejor estimación para los recursos asignados es el promedio de todas las estimaciones:

$$\text{Estimación recursos} = \frac{(\text{Mejor estimación} + \text{Estimación promedio} + \text{Peor estimación})}{3}$$

En el ejemplo sería:

$$\text{Estimación recursos} = \frac{(10 + 15 + 21)}{3} = 15,3 \text{ recursos}$$

Una segunda técnica estadística confiere más importancia a la posibilidad más realista, aquella que no es la mejor ni la peor, otorgando un mayor peso a dicha estimación de recursos:

$$\text{Estimación recursos} = \frac{(10 + 4 \cdot 15 + 21)}{6} = 15,1 \text{ recursos}$$

e) Métodos paramétricos

En algunos casos es posible emplear métodos basados en modelos paramétricos. Estos modelos ofrecen un conjunto de relaciones y fórmulas junto a una serie de tablas que se han obtenido de múltiples experiencias en proyectos previos y que ayudan a determinar el esfuerzo en un proyecto. Es preciso aclarar que estos modelos tienen validez solo dentro del ámbito de la disciplina del proyecto.

f) Software de gestión de proyectos

En cualquiera de los casos, para poder realizar todos estos cálculos es fundamental contar con un *software* de gestión de proyectos que nos ayude con la estimación de recursos.

En pequeños proyectos se puede realizar manualmente, pero en el momento en el que el proyecto supera las 20-30 actividades y los 6-8 recursos, este tipo de cálculos es mejor realizarlo con algún *software* de gestión.

EJEMPLO 4

En el caso del ejemplo que se está desarrollando, se ha decidido que cada actividad sea desempeñada por un único recurso, de modo que resultan los siguientes datos (figura 7).

■ Figura 7. **Resultados de la estimación de recursos**

Actividad-Recursos	Precedente/Restricción
P1.1-1	
P1.2-1	P1.1
P1.3-1	P1.2
P2.1-1	P1.3
P2.2-1	P2.1/FS+3
P2.3-1	P2.1
P3.1-1	P2.2
P3.2-1	P3.1
P3.3-1	P3.1 P3.2

2.6. Estimar la duración para cada tarea (GTP6)

A) Descripción de la actividad

Esta actividad tiene el objetivo de asignar un tiempo a cada tarea del proyecto. Tras la obtención de la mejor estimación del esfuerzo a desarrollar por cualesquiera de los métodos indicados en (GTP3) y la obtención de la mejor estimación de los recursos disponibles (GTP4), se procede a continuación a determinar la duración de cada tarea. La duración de cada tarea se puede realizar recurriendo a métodos deterministas o a un cálculo de probabilidades. En el primero de los casos, la duración se obtiene mediante una simple operación a partir de esfuerzo y recursos, de modo que la duración será el cociente entre ambas estimaciones:

$$\text{Estimación duración} = \frac{\text{Estimación esfuerzo}}{\text{Estimación recursos}}$$

En el caso de que se haya optado por no estimar el esfuerzo (es decir, no realizar la actividad GTP3) ni asignar recursos (GTP4), es posible obtener la duración de las tareas recurriendo al juicio de expertos.

B) Técnicas. Herramientas

a) *Juicio de expertos*

Tal y como sucede en otros procesos, considerar la ayuda de un grupo de expertos para obtener la estimación de la duración de cada tarea es una buena opción. Resulta claramente la opción más costosa, pues al coste del proyecto se ha de sumar el coste del asesoramiento de los expertos, pero como opción debe ser considerada a la hora de calcular la duración de las tareas.

b) *Estimación por analogías*

Al igual que sucediera previamente, en ocasiones no es necesario recurrir a expertos si se acumula un número suficiente de experiencias con proyectos previos. En este caso será posible estimar la duración por analogía con otros proyectos. Siguiendo con el ejemplo indicado anteriormente, si se tiene experiencia en pintar locales comerciales, se puede aprovechar dicha experiencia para saber el número de días necesarios para pintar una nave industrial a partir de lo que se tardó con un equipo similar en una nave similar. En general, esta técnica es más barata que otras, pero presenta un elevado grado de incertidumbre.

c) *Métodos paramétricos*

En algunos casos es posible emplear métodos basados en modelos paramétricos. Estos modelos ofrecen un conjunto de relaciones y fórmulas junto a una serie de tablas que se han obtenido de múltiples experiencias en proyectos previos y que ayudan a determinar la duración de cada actividad en un proyecto. Es preciso aclarar que estos modelos tienen validez solo dentro del ámbito de la disciplina del proyecto. Un ejemplo típico lo encontramos en la construcción: existen tablas y bases de datos que, en función del tamaño del equipo de trabajo y del tipo de pared, indican la duración que se debe considerar; lo mismo sucede con prácticamente cualquier actividad que conlleva la construcción de una casa. Salvo que se trate de una tecnología de construcción novedosa o que se requieran máquinas o materias primas nuevas, la estimación de la duración está tabulada y, de hecho, existen programas que ayudan a realizar dichos cálculos de una forma sencilla.

d) *Métodos estadísticos*

Otra alternativa para calcular los tiempos de cada actividad es recurrir a cálculos estadísticos.

El primero de ellos asume que la mejor estimación para los tiempos de cada actividad asignados es el promedio de todas las estimaciones:

$$\text{Estimación duración} = \frac{(\text{Mejor estimación} + \\ + \text{Estimación promedio} + \text{Peor estimación})}{3}$$

Una segunda técnica estadística confiere más importancia a la posibilidad más realista, aquella que no es la mejor ni la peor, otorgando un mayor peso a dicha estimación de duración:

$$\text{Estimación duración} = \frac{(\text{Mejor estimación} + \\ + 4 \text{ Estimación promedio} + \text{Peor estimación})}{6}$$

EJEMPLO 5

En el caso del ejemplo que se está desarrollando, se aplican las expresiones anteriores al cálculo de la duración a partir de los datos de las figuras 6 y 7, de modo que resultan los siguientes datos (figura 8).

■ Figura 8. Resultados de la estimación de duración

Actividad-Duración	Precedente/Restricción
P1.1-2	
P1.2-3	P1.1
P1.3-4	P1.2
P2.1-3	P1.3
P2.2-4	P2.1/FS+3
P2.3-5	P2.1
P3.1-4	P2.2
P3.2-5	P3.1
P3.3-6	P3.1 P3.2

e) Gestión de contingencias

Salvo en aquellos casos de tareas con un muy alto grado de certeza sobre su duración, es habitual que la duración de las tareas sea corregida con un factor de incertidumbre. Existen varias opciones para corregir la duración, pero lo más habitual es recurrir a un porcentaje sobre la duración total de la tarea. Dicho porcentaje suele estar en torno al 5%, aunque en ocasiones puede tomar valores más elevados. Esta ampliación temporal de la duración se conoce con varias denominaciones: «colchón», «reserva para lo no conocido»...

2.7. Cálculo del camino crítico y desarrollo del Diagrama de Gantt (GTP7)

Una vez se han estimado los esfuerzos, recursos y duraciones, procede diseñar el diagrama de red con la incorporación de esta información. Este diagrama representa el con-

junto de actividades a realizar en un proyecto relacionadas mediante flechas que indican la secuencia temporal y las restricciones temporales entre actividades, tal y como se indicó anteriormente. La incorporación de la información sobre la duración de las tareas permitirá calcular lo que se conoce como «camino crítico». La aplicación de esta técnica se explica posteriormente en el epígrafe de técnicas. Por último, una vez se dispone del camino crítico, es posible generar un Diagrama de Gantt, el cual representa la secuencia de actividades ordenadas temporalmente (a diferencia del diagrama de red, en el que las actividades tienen una disposición cualquiera a pesar de estar relacionadas por flechas); además, la longitud de las barras gráficas que representan cada tarea son proporcionales a la duración de cada una. Esta técnica se explica más en detalle posteriormente.

Para poder calcular el camino crítico y realizar el Diagrama de Gantt es preciso partir del documento de especificación del proyecto (GDP6), la lista de actividades identificadas, del diagrama de red de actividades previamente elaborado, así como de los esfuerzos de cada actividad y recursos disponibles recientemente calculados. Todos estos datos e informaciones servirán para elaborar un diagrama de red detallado que posibilita el cálculo del camino crítico del proyecto.

El resultado de esta actividad es un diagrama de red en el que determinadas actividades se identifican como críticas para el proyecto. Dicho diagrama con las actividades críticas identificadas facilita el análisis sobre diferentes hipótesis en el proyecto: ¿qué sucede si tal actividad dura más de lo estimado?, ¿qué sucede si ponemos más recursos a trabajar en esta actividad?, ¿cuál es el resultado de parallelizar estas tareas?, ¿qué ocurre si utilizamos la holgura de determinada actividad?, ¿cómo afecta al proyecto quitar recursos de estas tareas? ...

Aparte de un diagrama de red con el camino crítico, debemos obtener como resultado un Diagrama de Gantt, también llamado *cronograma del proyecto*. En su versión inicial, este diagrama representa la línea base de tiempos del proyecto, es decir, la referencia de tiempos para comprobar el avance de cada tarea. Dicho diagrama se deberá actualizar con los avances que haya en el proyecto, según se indica en la actividad de monitorización de los tiempos.

En el siguiente subapartado de técnicas y herramientas se analizan en detalle estas dos importantes técnicas, el método del camino crítico y el Diagrama de Gantt, entre otras.

A) Técnicas. Herramientas

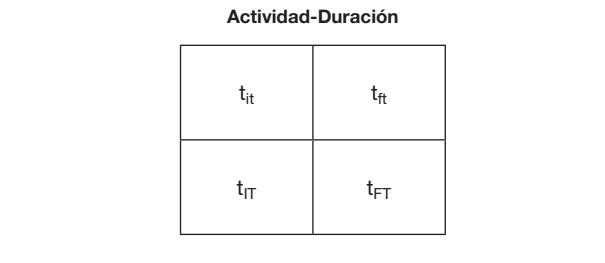
a) *Método del camino crítico*

El método del camino crítico es una herramienta útil para obtener el camino crítico de un proyecto. Se considera *camino crítico* a la secuencia o secuencias (puede haber más de un camino crítico) de actividades en un proyecto que marcan la duración máxima del mismo. Este conjunto de actividades se caracteriza porque cualquier retraso en su comienzo, duración o terminación supone un retraso en el proyecto. Es por esto que la identificación de estas actividades se realiza identificando las que no tienen holgura en su ejecución, es decir, pertenecen al camino crítico aquellas actividades que no tienen ningún tipo de holgura y que por tanto cualquier alteración en las fechas de inicio o en el tiempo de duración supondrá un retraso en las actividades siguientes y, por tanto, en el proyecto.

Para el cálculo del camino crítico se parte del diagrama de red de actividades, en el cual cada nodo representa una actividad del proyecto. Adicionalmente y de forma obligatoria incluiremos en dicho diagrama dos nodos de actividades ficticias: un nodo origen y un nodo fin. Cualquier actividad que no tenga precedente será sucesora del nodo origen y cualquier actividad que no tenga sucesores terminará en el nodo fin.

Cada nodo lo representaremos mediante un cuadrado identificado mediante el código o nombre de la actividad y la duración de la misma. Dicho cuadrado estará dividido en cuatro partes representando cada una de ellas el tiempo de inicio más temprano de la actividad (t_{it}), el tiempo de finalización más temprano (t_{ft}), el tiempo de inicio más tardío posible de la actividad (t_{IT}) y el tiempo de finalización más tardío posible para dicha actividad (t_{FT}). La figura 9 ilustra cómo se representan estos tiempos para cada actividad.

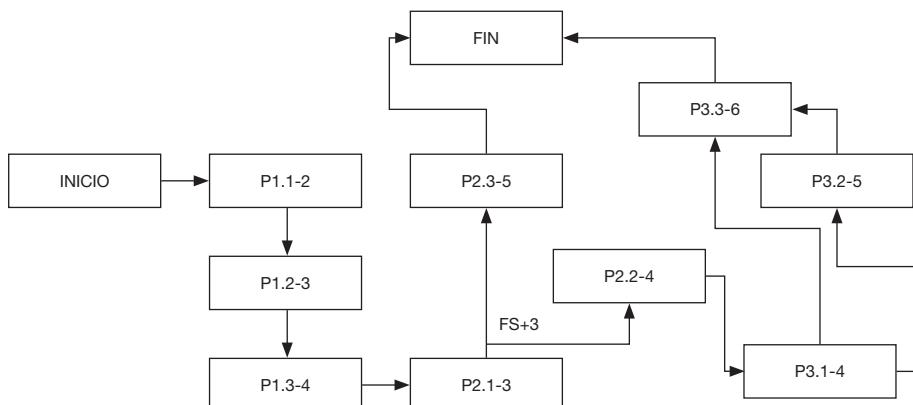
■ Figura 9. Representación de una actividad con sus tiempos

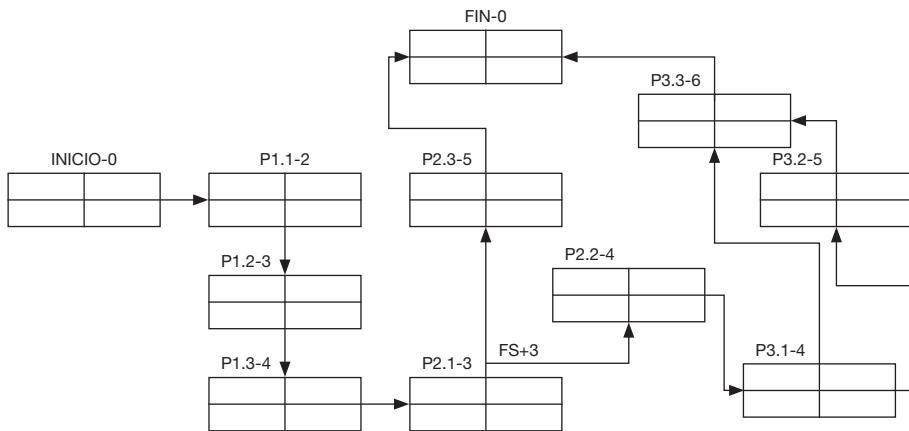


EJEMPLO 6

Para el diagrama de red del ejemplo indicado en la figura 2, se obtendría un diagrama como el siguiente:

■ Figura 10. Representación de una actividad con sus tiempos

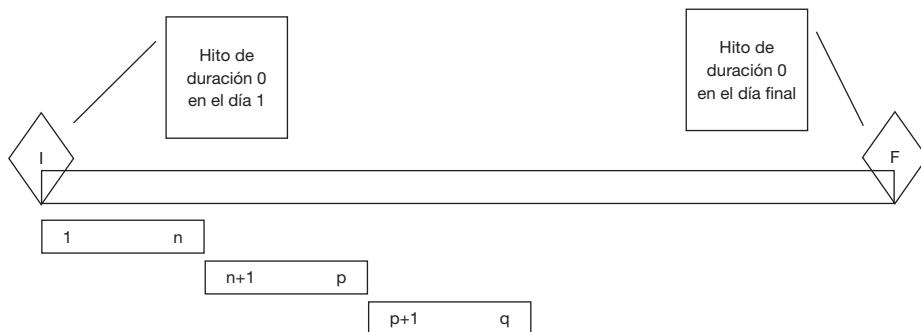




Asumimos que el nodo inicio comienza en el instante 0 del día 1 y que tiene una duración 0. Por ello el tiempo de inicio más temprano es 1; el tiempo de finalización más temprano será el de inicio más temprano sumado a su duración (que es 0), por tanto, el tiempo de finalización temprano es también 1.

La figura 11 ilustra justo lo que se acaba de explicar,

■ Figura 11. **Nodos inicio y fin con duración 0**



El resultado obtenido al actualizar los tiempos del nodo inicio se incluyen en la figura 12.

A continuación se comienzan a completar los tiempos (de inicio y de finalización) más tempranos de cada actividad hasta llegar al nodo fin. Así, la actividad P1.1 podrá comenzar en el mismo día 1 (recordemos que no se ha consumido nada de tiempo, pues el nodo inicio tiene una duración de 0). Por tanto, para los sucesores del nodo inicio empleamos:

$$t_{it \text{ sucesor}} = t_{ft \text{ INICIO}}$$

Aplicando dicha expresión al único nodo sucesor de inicio, obtenemos $t_{it_P1.1} = 1$.

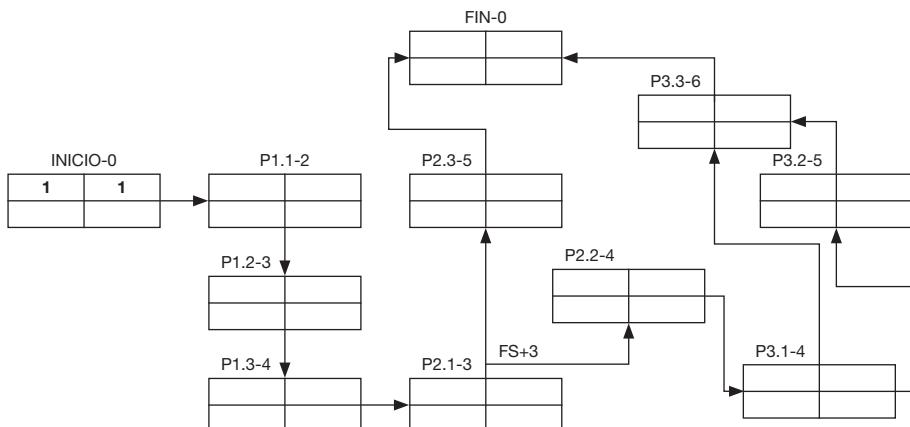
A continuación calculamos el tiempo de finalización de la actividad P1.1 y dicho tiempo será el de inicio más temprano sumado a su duración menos una unidad. Si la actividad comienza en el día 1 y dura 2 días, ocupará los días 1 y 2; y por tanto, consideraremos que dicha actividad termina el día 2. Por ello, concluimos que $t_{ft_P1.1} = 2$. Es decir, en general:

$$t_{ft} = t_{it} + \text{duración} - 1,$$

que aplicado al caso del ejemplo:

$$t_{ft_P1.1} = t_{it_P1.1} + \text{duración}_{P1.1} - 1 = 1 + 2 - 1 = 2$$

■ Figura 12. Representación de una actividad con sus tiempos



El siguiente paso es comenzar con la actividad P1.2. Si la actividad predecesora P1.1 termina el día 2, la P1.2 debe comenzar el día 3. Por tanto, $t_{it_P1.2} = 3$. En general, para cualquier actividad que no sea el nodo inicio ni el nodo fin, la actividad siguiente tendrá un tiempo de inicio temprano dado por:

$$t_{it \text{ sucesor}} = t_{ft \text{ actividad precedente}} + 1$$

En el caso del ejemplo que estamos viendo:

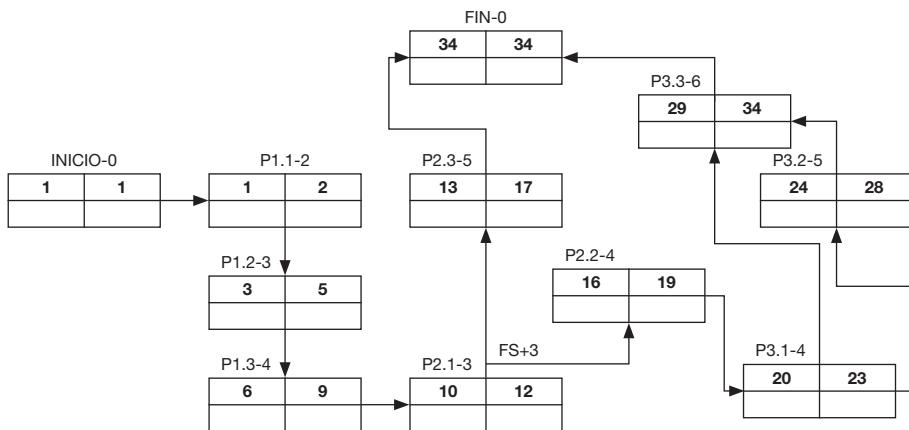
$$t_{it_P1.2} = t_{ft_P1.1} + 1 = 2 + 1 = 3$$

De igual modo a como hicimos con P1.1, la fecha de terminación más temprana de P1.2 será la fecha de inicio más temprana más la duración de la misma menos una unidad. Por tanto, P1.2 terminará el día 5 (es decir, se ejecuta durante los días 3, 4 y 5). Es decir:

$$t_{ft_P1.2} = t_{it_P1.2} + \text{duración}_{P1.2} - 1 = 3 + 3 - 1 = 5$$

Seguiríamos con el resto de actividades procediendo de igual forma. Es preciso realizar una aclaración con relación a las actividades que tienen varios predecesores.

■ Figura 13. Cálculo de los tiempos más tempranos de inicio y fin de cada actividad



En el caso de la actividad P3.3, observamos que tiene dos actividades predecesoras: la P3.1 y la P3.2. En estos casos el modo de razonamiento es el siguiente: lo más pronto que termina P3.1 es el día 23 y lo más pronto que termina P3.2 es el día 28. Dado que ambas deben haber terminado para comenzar P3.3, lo más pronto que puede comenzar P3.3 es el día 29.

En concreto, cuando en una actividad concurren varias precedentes, el tiempo más temprano de inicio se calcula a partir del máximo de los tiempos de finalización de las actividades precedentes.

$$t_{it} = \max(t_{ft} \text{ actividades precedentes}) + 1$$

Por último, para calcular el tiempo de inicio temprano del nodo fin, aplicamos también la expresión anterior, puesto que varias actividades concluyen en dicho nodo, en concreto P2.3 y P3.3. Dado que el nodo fin tiene una duración de 0, el tiempo temprano de finalización coincide con el tiempo de inicio temprano.

Antes de comenzar con el cálculo de los tiempos tardíos es preciso hacer una aclaración. Observamos que entre las actividades P2.1 y P2.2 existe una restricción FS+3. Eso significa que se deben dejar 3 días entre ambas actividades. Por ello, a la conclusión de la actividad P2.1 en el día 12, dejamos 3 días adicionales antes de comenzar la P2.2. Por tanto, P2.2 puede comenzar el día 16. A la hora de calcular los tiempos tardíos, dicha restricción se ha de tener también en cuenta.

Hasta aquí hemos completado nodo a nodo los tiempos de inicio y fin más tempranos. A continuación procede calcular los tiempos de inicio y fin más tardíos, es decir, los que se ubican en la parte inferior de cada cuadrícula. En este caso se comienza por el nodo fin y se va retrocediendo nodo a nodo hasta el nodo inicio.

Dado que el nodo fin tiene una duración 0, no es esperable ningún retraso ni incidencia en su ejecución (realmente es un hito, no una actividad al uso). Por ello, el tiempo de finalización más tardío esperable coincide con el tiempo de finalización más temprano previamente calculado, es decir:

$$t_{FT} \text{ nodo FIN} = t_{ft} \text{ nodo FIN}$$

Operando de este modo obtenemos lo indicado en la figura 14:

■ Figura 14. Cálculo del tiempo de finalización tardío del nodo fin

FIN-0	
34	34
	34

Para concluir los cálculos en el nodo fin basta calcular el tiempo de inicio más tardío, que se obtiene a partir del tiempo de finalización más tardía, restando la duración de la actividad en cuestión:

$$t_{IT} \text{ nodo FIN} = t_{FT} \text{ nodo FIN} - \text{duración}$$

Por tanto quedaría:

■ Figura 15. Cálculo de los tiempos más tardíos de inicio del nodo fin

FIN-0	
34	34
34	34

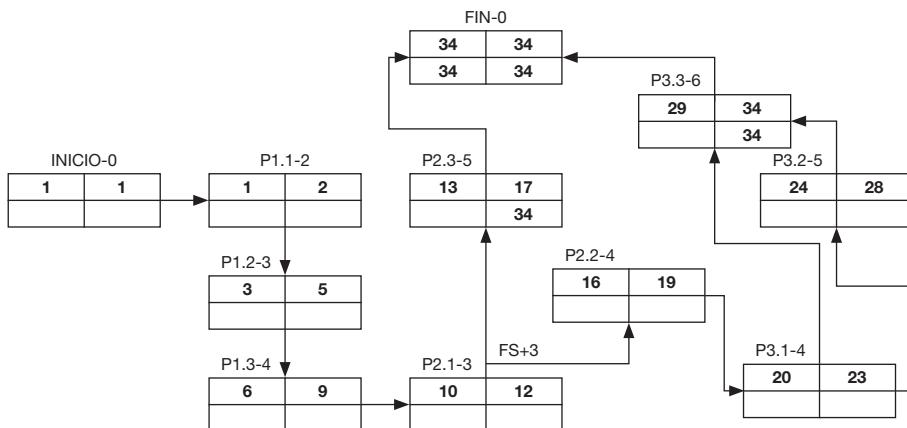
A continuación tenemos que retroceder hasta las actividades predecesoras del nodo fin, en este caso, P2.3 y P3.3. El modo de razonar es el siguiente, dado que el nodo fin puede comenzar como muy tarde en el instante determinado por $t_{IT_FIN} = 34$, las actividades predecesoras podrán terminar como muy tarde en (t_{IT_FIN}) (recordemos que el nodo fin tiene una duración de 0 y por ello comienza y termina justo en el último instante del proyecto después de la última actividad (figura 11)). Por tanto:

$$t_{FT} \text{ P3.3} = t_{IT} \text{ nodo FIN} = 34$$

$$t_{FT} \text{ P2.3} = t_{IT} \text{ nodo FIN} = 34$$

Obtenemos así la actualización indicada en la figura 16:

■ Figura 16. Cálculo de los tiempos más tardíos de inicio y fin de cada actividad



En el caso de calcular el tiempo de finalización tardío de una actividad cualquiera (que no termine en el nodo fin) se aplica la expresión:

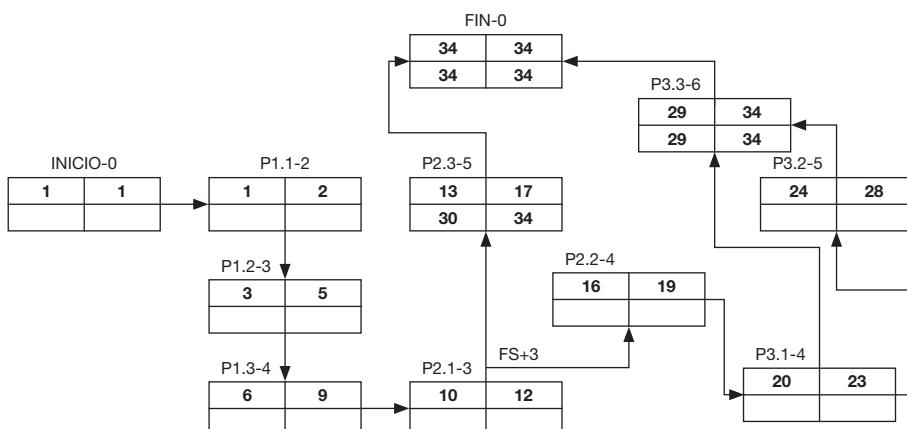
$$t_{FT} \text{ precedente} = t_{IT} \text{ actividad sucesora} - 1$$

A continuación procede calcular los tiempos de inicio tardíos de cada actividad, en este caso de las actividades P2.3 y P3.3. Para ello basta restar el tiempo de finalización más tardío menos la duración más una unidad. Por ejemplo, para la actividad P3.3 el tiempo de inicio tardío sería $34 - 6 + 1 = 29$. Es decir, la actividad P3.3 se ejecuta los días 29, 30, 31, 32, 33 y 34 (como muy tarde comienza el 29 y como muy tarde finaliza el 34). En general, emplearemos la expresión: $t_{IT} = t_{FT} - \text{Duración} + 1$.

Así , para la actividad P2.3 será: $t_{IT} P_{2.3} = t_{FT} P_{3.3} - \text{Duración} + 1 = 34 - 5 + 1 = 30$.

De este modo resulta el siguiente diagrama:

■ Figura 17. Cálculo de los tiempos más tardíos de inicio y fin de cada actividad



A continuación seguiríamos con la actividad P3.2, que es previa a las que se acaba de calcular. En este caso, el tiempo de finalización tardío será el instante anterior al tiempo de inicio tardío de la actividad siguiente, según la expresión antes indicada:

$$t_{FT \text{ precedente}} = t_{IT \text{ actividad sucesora}} - 1$$

Por ejemplo, para P3.2 el tiempo de finalización tardío será 28, que es justo el día anterior al comienzo tardío de P3.3.

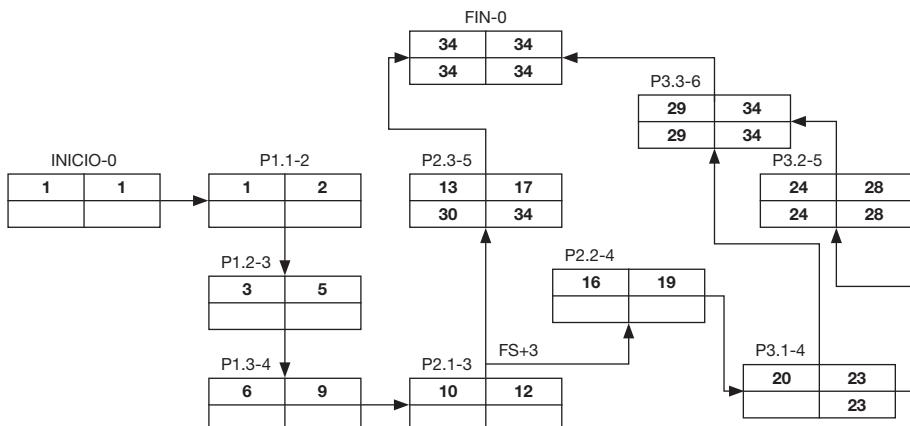
$$t_{FT \text{ precedente}} = t_{IT \text{ actividad sucesora}} - 1$$

A partir de estos datos podemos calcular los tiempos de inicio tardíos de la actividad:

$$t_{IT \text{ P3.2}} = 28 - 5 + 1 = 24$$

De este modo resulta el siguiente diagrama:

■ Figura 18. Cálculo de los tiempos más tardíos de inicio y fin de cada actividad



No obstante, es preciso aclarar qué sucede en el caso de que una actividad tenga dos o más sucesores, por ejemplo, P3.1. En ese caso el tiempo de finalización tardío se calcula como:

$$t_{FT} = \min(t_{IT \text{ actividades sucesoras}}) - 1$$

Así, tendremos que para P3.1:

$$t_{FT \text{ P3.1}} = \min(t_{IT \text{ P3.2}}, t_{IT \text{ P3.3}}) - 1 = \min(29, 24) - 1 = 23$$

Continuamos con el procedimiento descrito hasta llegar al nodo P1.1. El antecesor a dicho nodo, es decir, el nodo inicio tiene un tiempo de finalización tardío dado por:

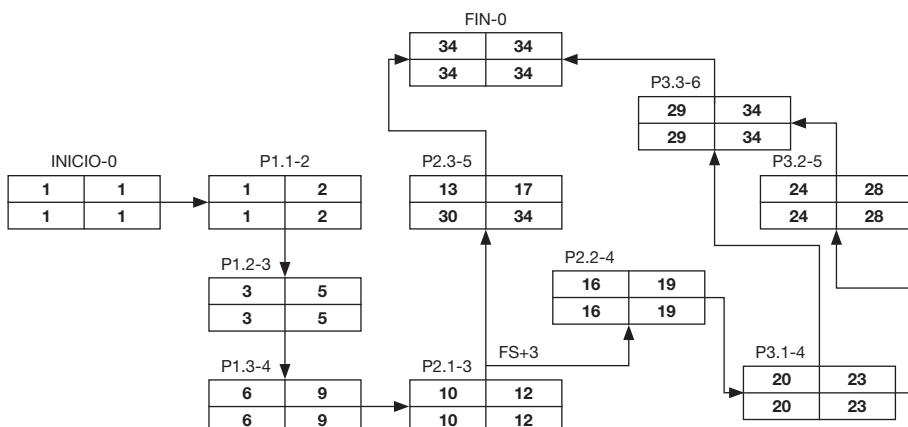
$$t_{FT \text{ INICIO}} = \min(t_{IT \text{ sucesor}})$$

Esto significa que el tiempo de finalización tardío del nodo inicio se obtiene directamente a partir del mínimo de los tiempos de inicio tardíos de las actividades sucesoras a este (no se resta una unidad porque el nodo inicio no tiene duración) segú vimos en la figura 11.

Una regla sencilla para ver si hemos cometido algún error en los cálculos es comprobar que el tiempo tardío de finalización que resulta para el nodo inicio es 1. Si no fuera 1, seguro que hemos cometido algún error en el proceso (lo contrario no es cierto, si obtenemos un 1, esto no significa que todos los cálculos sean correctos).

El resultado final se muestra en la figura 19:

■ Figura 19. Cálculo de todos los tiempos tardíos de inicio y fin de cada actividad



Una vez hemos calculado los tiempos tempranos y tardíos de comienzo y fin de cada actividad, procede identificar el camino crítico.

El *camino crítico* es la secuencia de actividades de un proyecto que marca la duración de este. Es por ello la secuencia de actividades más larga y se caracteriza por no tener holguras.

El siguiente paso es por ello identificar las holguras de cada actividad. Tomemos como ejemplo la actividad P2.1. Dicha actividad tiene un tiempo de inicio temprano igual a 12 y un tiempo de inicio tardío igual a 12; esto significa que no hay alternativa a empezar el día 12. Tomemos ahora la actividad P2.3, dicha actividad tiene un tiempo de inicio temprano dado por 13. Ahora bien, se podría retrasar su comienzo hasta el día 30. Por tanto, tiene una holgura de $30 - 13 = 17$. Es decir, puede comenzar en cualquiera de los días entre el 13 y 30, ambos inclusive.

Por esto para calcular la holgura de cada actividad emplearemos cualquiera de las expresiones:

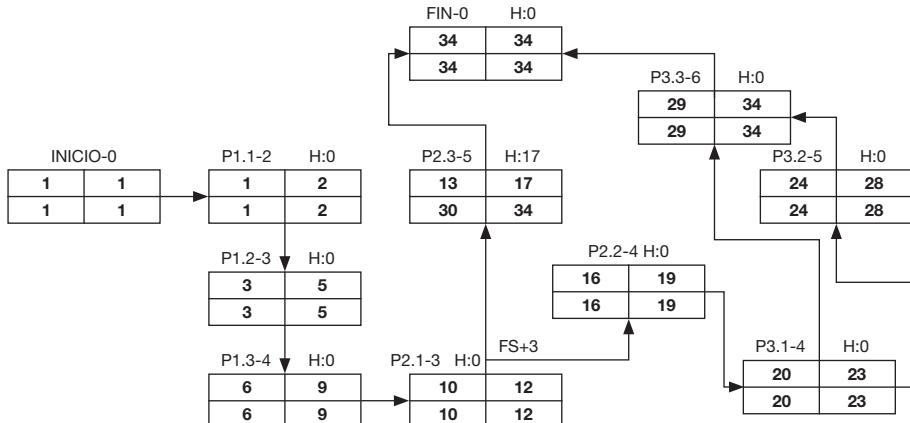
$$\text{Holgura} = t_{FT} - T_{ft}$$

$$\text{Holgura} = t_{IT} - t_{it}$$

$$\text{Holgura} = t_{FT} - t_{it} - \text{Duración}$$

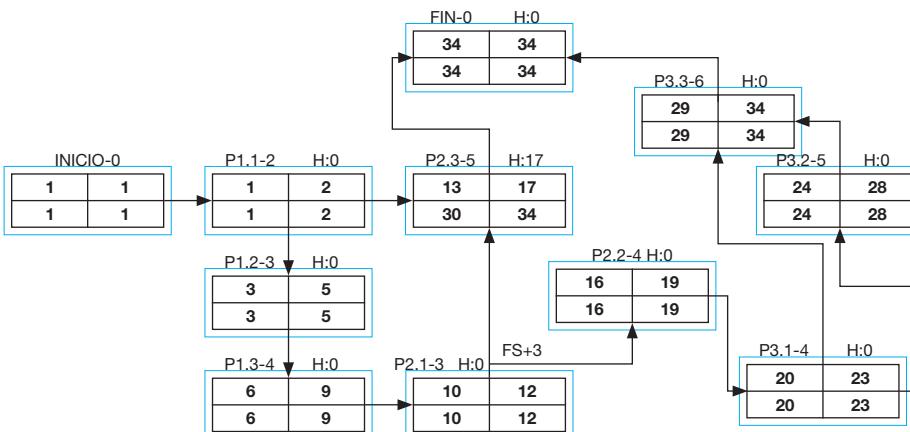
La aplicación de estas expresiones al diagrama da como resultado:

■ Figura 20. Cálculo de holguras



Llegados a este punto solo resta identificar aquellas actividades que tienen holgura 0. Dichas actividades pertenecen al camino crítico.

■ Figura 21. Identificación del camino crítico



Vemos cómo las actividades P1.1 – P1.2 – P1.3 – P2.1 – P2.2 – P3.1 – P3.2 – P3.3 son las que conforman el camino crítico del proyecto. El proyecto tiene una duración de 34 días, pues la secuencia indicada tiene una duración acumulada de 34 días. Cualquier retraso en cualquiera de estas actividades hará que el proyecto dure más de los indicados 34 días. El resto de actividades, en este caso P2.3, podría

llegar a comenzar el día 30 y no afectar a la duración del proyecto; o bien, podría comenzar el día 13 y retrasar su finalización hasta el día 34, sin por ello afectar a la duración total del proyecto. No obstante, cualquier retraso que fuera más allá de su tiempo tardío de finalización cambiaría la fecha de finalización del proyecto.

b) Técnica What If

La técnica What If permite estudiar el impacto en el proyecto de variaciones en cada actividad. Para ello se parte del diagrama de red con los tiempos y holguras completados y se realizan modificaciones para ver cuál sería el resultado sobre el proyecto. Por ejemplo, ¿qué sucede si la actividad P2.3 dura 8 días y comienza 3 días más tarde de lo previsto? ¿Qué sucede si paralelizamos las actividades P1.1 y P1.2? ¿Qué sucede si incorporando más recursos en las actividades del camino crítico la duración de cada actividad disminuye 1 día, cambia el camino o sigue siendo el mismo? Etcétera.

c) Técnicas de paralelización y compresión de actividades

Uno de los recursos con que cuentan los jefes de proyecto es la modificación del diagrama de red recurriendo al modo en que se ejecutan las tareas o a la duración de estas. La técnica de paralelización consiste en modificar el diagrama de red de actividades para que actividades que se realizan de forma secuencial sin existir una necesidad clara para que ello sea así se ven alteradas en sus dependencias para realizarse de forma paralela. Como se aprecia, esta forma de operar no consume más recursos, pero obliga a una mejor gestión de los mismos al tener que trabajar todos ellos en paralelo. Se consigue así una reducción de tiempos que puede asegurar la conclusión exitosa del proyecto.

Otro recurso al que se puede recurrir es el de compresión de actividades. En este caso, las actividades son aceleradas y esto supone un sobrecoste en mano de obra. Esto permite reducir la duración de cada tarea sin alterar las relaciones entre actividades, aunque ello supone en este caso un coste adicional para el proyecto (por ejemplo, en horas extra, recursos adicionales, etc.)

Lo normal es que los jefes de proyecto combinen ambas opciones hasta llegar a obtener un diagrama de actividades compatible con las restricciones del proyecto en el que se maximicen las actividades con holgura para minimizar los riesgos de retraso.

d) Reasignación de recursos

Hemos visto anteriormente cómo la duración de las actividades depende del esfuerzo requerido y de los recursos asignados. Normalmente, en un proyecto hay diversos recursos asignados en distintos momentos del proyecto. Con el fin de obtener el máximo rendimiento de los recursos es preciso asegurar que estos están al 100% de su productividad el máximo tiempo posible. Por ello tan indeseable es que estén sobreasignados a actividades (por encima del 100%) como que estén infraasignados. La técnica de reasignación de recursos permite

asignar recursos ociosos (temporalmente en el proyecto) a actividades críticas y permite desasignar recursos de actividades cuando la productividad requerida de estos se sitúa por encima del 100% (la sobreasignación de recursos suele provocar retrasos en las actividades afectadas).

Esta técnica, muy empleada por los jefes de proyecto, altera frecuentemente el camino crítico dado que la duración de actividades se ve afectada, pero es sumamente útil para asegurar una correcta asignación de recursos.

e) Cronograma o Diagrama de Gantt

El Diagrama de Gantt es el resultado por excelencia de esta actividad GTP7. Dicho diagrama representa de una forma muy visual el conjunto de actividades de un proyecto y sus hitos, el comienzo y final de las actividades, las relaciones entre actividades y los recursos implicados en cada actividad. Asimismo, es útil para representar los avances de cada actividad en el mismo gráfico.

En general, estos gráficos se realizan mediante herramientas, ya que al modificarlas dinámicamente es necesario recalcular el camino crítico en cada modificación (esto requiere rehacer el cálculo presentado anteriormente).

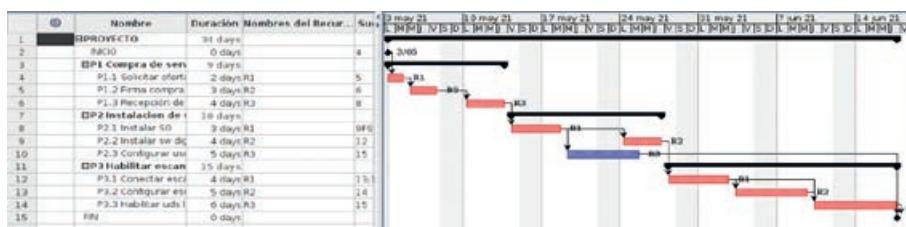
En el Diagrama de Gantt podemos identificar los siguientes elementos (puede variar la presentación en distintas herramientas *software*, pero de una u otra forma estos elementos estarán presentes)

- En la parte izquierda se incluyen todas las actividades, subactividades, etc. debidamente anidadadas. Asimismo, se suele incluir información adicional tal como la duración de la actividad, los recursos que la realizan o las relaciones de dependencia entre ellas.
 - En la parte derecha se incluyen elementos gráficos, entre los que destacan:
 - Una barra por cada actividad, situada en la fecha que comienza y que se extiende hasta su fecha de finalización. Son las barras rojas y azules de la figura 22. Las barras rojas se utilizan para indicar el camino crítico y las barras azules, para aquellas que no pertenecen al camino crítico.
- También se incluyen las agrupaciones de actividades, representadas por barras negras en dicha figura. Estas agrupaciones de actividades no son trabajo ejecutable, sino que lo que realmente se ejecuta son las tareas que la componen.
- Las relaciones entre cada actividad. Recordemos que pueden ser de cuatro tipos: FS-SS-SF-FF y que pueden incluir retrasos, como por ejemplo el retraso FS+2 en la actividad P2.2 respecto a la P2.1
 - Un rombo por cada hito del proyecto. En el caso de la figura 22 tenemos los hitos inicio y fin.
 - Una línea negra delgada dentro de cada actividad para indicar el avance de la misma.

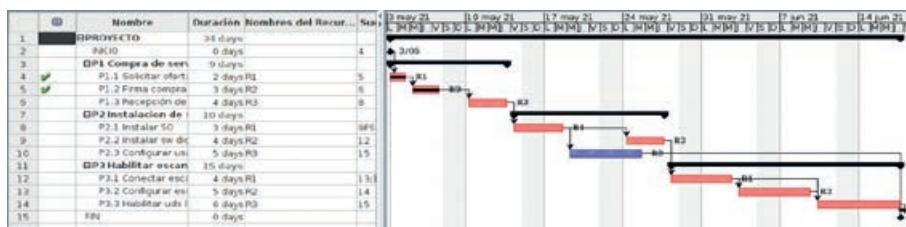
Por ejemplo, en la figura 23 tenemos un Diagrama de Gantt en el que las actividades P1.1 y P1.2 han sido completadas en un 100%.

La simplificación de la gestión de tiempo en proyectos con herramientas de este tipo es evidente. Supongamos que se observa que es posible paralelizar (técnica 3) las actividades P3.1 y P3.2, bastaría mover dicha actividad en el Diagrama de Gantt y el camino crítico es calculado inmediatamente de forma automática por la herramienta. Observamos cómo el camino crítico cambia inmediatamente (barras rojas) y que la duración del proyecto (columna «Duración») disminuye hasta 30 días.

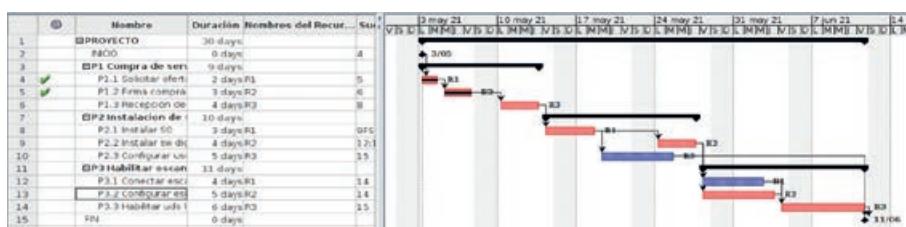
■ Figura 22. Diagrama de Gantt realizado con Openproj



■ Figura 23. Diagrama de Gantt realizado con Openproj indicando avance de tareas



■ Figura 24. Diagrama de Gantt realizado con Openproj paralelizando P3.1 P3.2



A la versión definitiva después de los ajustes pertinentes se la denomina *línea base del cronograma* y es la que servirá como referencia para ver si los avances en el proyecto son los estimados inicialmente.

3. Monitorizar los tiempos del proyecto (GTP8)

La actividad de monitorizar los tiempos del proyecto (GTP8) consiste en identificar el avance de cada una de las tareas del proyecto y marcarlo en el Diagrama de Gantt, como se ha hecho en la figura 24. El objetivo de esta actividad es conocer el estado de avance de todo el proyecto y determinar las discrepancias con la línea base. Si es necesario, se tomarán decisiones sobre las actividades, tales como comprimirlas, mover recursos de unas a otras, limitar el alcance de las mismas (acortando su duración) u otras.

Evidentemente, la entrada más importante para esta actividad es el Diagrama de Gantt, pero no podemos olvidar otras tales como el PDP y los informes de desempeño de tiempo previos.

La principal salida que se pretende obtener es una actualización del cronograma para conocer los avances y, en ocasiones, posibles solicitudes de cambio para una actualización de la línea base del cronograma (cuando se observe que el objetivo inicial de tiempos no es alcanzable).

A) Técnicas. Herramientas

a) Software de gestión de proyectos

Sin lugar a dudas, la herramienta más importante en este apartado es contar con un *software* adecuado. Existen múltiples opciones tales como Openproj, Openproject, GanttProject, Microsoft Project, Odoo, entre otras.

Estas herramientas nos permitirán hacer uso del resto de técnicas propuestas a continuación.

b) Análisis del desempeño

La obtención de informes sobre el ritmo de cumplimiento del cronograma es de suma importancia para conocer el avance real del proyecto. Existen diferentes técnicas, todas ellas implementadas en las herramientas anteriormente mencionadas (porcentaje de avance de las actividades, porcentaje de valor ganado, presupuesto ejecutado, etc.) que permiten disponer de información sobre el ritmo al que avanzan los trabajos de un proyecto.

c) What If. Reasignación de recursos. Técnicas de paralelización y compresión de actividades

Para el seguimiento de tiempos de un proyecto y estudiar el impacto de cada posible decisión en caso de que hubiera que tomar alguna, se emplean las mismas técnicas que hemos comentado anteriormente.

3.1. Conclusión o cierre de actividades abandonadas o pospuestas (GTP9)

A) Descripción de la actividad

Eventualmente se pueden haber iniciado actividades o modificaciones que posteriormente no han sido concluidas, pues se ha observado que no conducían a resultados relevantes o que no aportaban al proyecto. El cierre de todas estas actividades subsidiarias y almacenar las lecciones aprendidas de su emprendimiento son tareas que se acometen en esta actividad de cierre de actividades abandonadas o pospuestas.

Las entradas son el listado de actividades iniciadas respecto al área de gestión de tiempos y la salida viene dada por la certificación del cierre formal de todas las actividades pospuestas y/o abandonadas.

El único producto es el documento que certifica el cierre de dichas actividades no concluidas.

B) Técnicas. Herramientas

Dado que se trata de un cierre administrativo desde el punto de vista de la gestión del proyecto, no requiere técnicas o herramientas específicas.

Conceptos básicos

En este capítulo se han revisado las actividades del grupo de actividades correspondientes a la gestión del tiempo del proyecto. Estas actividades se centran en la identificación de las actividades necesarias y en la estimación de los esfuerzos y recursos disponibles para poder estimar el tiempo de cada actividad.

A partir de esta información se elabora un diagrama de red de actividades que permite mediante la técnica del camino crítico la obtención de la cadena de actividades críticas para el proyecto: aquella secuencia de actividades que no tienen holgura.

A raíz de este análisis se puede optar por la utilización de herramientas que mejoren el tiempo del proyecto mediante paralelización o compresión. El resultado se plasma en un cronograma o Diagrama de Gantt, que incluye múltiples datos sobre el proyecto, actividades, recursos, avances, relaciones entre actividades, etc.

La utilización de estos diagramas es posible mediante el empleo de herramientas *software*, dada la elevada cantidad de cálculos que hay que realizar en cada modificación de los mismos.

Las actividades enmarcadas en la gestión de la definición del proyecto son:

- Identificación de las actividades del área de gestión de tiempos en el proyecto que se adoptarán/adaptarán en el proyecto (GTP1).
- Identificar tareas y subtareas que conducen a concluir el trabajo en la definición del proyecto (GTP2).
- Graficar secuencialmente tareas y subtareas (GTP3).
- Calcular el esfuerzo (días-persona/meses-persona) para cada tarea y subtarea (GTP4).
- Estimar los recursos para cada tarea (GTP5).
- Evaluar la duración de cada tarea y subtarea (GTP6).
- Cálculo del camino crítico y desarrollo del Diagrama de Gantt (GTP7).
- Monitorizar los tiempos del proyecto (GTP8).
- Conclusión o cierre de actividades abandonadas o pospuestas (GTP9).

De entre todas estas, claramente GTP3, GTP7 y GTP8 son las más relevantes para la gestión de tiempos en el proyecto.

Ejercicios voluntarios

Un proyecto consta de 6 actividades entre las que existen las relaciones indicadas a continuación.

Actividad	Precede a...	Duración
1	3-4	6
2	3-4	9
3	6	8
4	5	7
5	6	10
6	-	12

1. Elaborar el diagrama de red de dicho proyecto con todas las relaciones existentes.
2. Calcular el camino crítico de dicho proyecto. ¿Cuál es la duración del proyecto?
3. Hacer un análisis What If para estudiar qué sucedería si desapareciera la relación entre las actividades 5 y 6.
4. Por una ampliación de presupuesto se permite acelerar todas las actividades del camino crítico un 30% (en caso de decimales, comprimir al alza hasta el valor entero más próximo). ¿Qué sucede en el proyecto?
5. ¿Cuánto debería durar la actividad A3 para que el proyecto cambie de camino crítico?