

Introducción al uso de redes en la planificación y programación de trabajos

1

Los conceptos de planificación y programación están muy relacionados entre sí, pero no son equivalentes. Mientras que la planificación ordena los trabajos a realizar a lo largo del proyecto atendiendo a las dependencias existentes entre ellos, la programación se apoya en esta ordenación y en las duraciones estimadas para los distintos trabajos para definir fechas de inicio y finalización de cada actividad o trabajo. Así, la programación añade a la definición de ese orden un calendario de plazos, tanto para los trabajos concretos como para el proyecto en su conjunto.

Para ordenar las diferentes actividades o trabajos dentro de la ejecución del proyecto se deben tener en cuenta factores muy variados. Algunos trabajos requieren que otros hayan sido completados previamente para poder iniciarse, al apoyarse en los resultados de éstos, situación comúnmente referida como relaciones de precedencia. Pero en el diseño de esa planificación que ordena secuencialmente los trabajos habrá que considerar otros muchos aspectos, por ejemplo, la disponibilidad de recursos, que puede verse afectada por la demanda simultánea desde varias actividades del proyecto, o incluso desde otros proyectos.

Del mismo modo, la programación, además del orden que aporta la planificación, se basa en otro aspecto básico, como es la estimación de los tiempos necesarios para la realización de las distintas actividades identificadas, que deberá tener en cuenta aspectos como la complejidad, el esfuerzo requerido, los recursos disponibles o, en su caso, experiencias previas similares. Sólo al considerar simultáneamente el orden de realización de los trabajos y la duración temporal de cada actividad podrán establecerse las fechas de inicio y finalización de los diferentes trabajos y establecer un calendario.

Para poder abordar la planificación y programación del proyecto, es fundamental desarrollar un proceso necesariamente progresivo de descomposición del mismo en sus partes fundamentales y cada una de ellas en los distintos tipos de trabajos que engloban, hasta llegar a las actividades o trabajos concretos que se deben realizar con determinados recursos. Esta aproximación progresiva desde una visión global del proyecto hasta una visión centrada en una actividad específica resulta clave de cara al éxito de la planificación y de la programación. Cuanto mayor sea la calidad de esta descomposición más eficaces y acertadas serán la planificación y la programación del proyecto. Una mejor discretización de las actividades facilitará la definición de aspectos como la necesidad de que determinados trabajos hayan sido completados antes del inicio de ciertas actividades, la influencia de los recursos disponibles, o la estimación de las duraciones de los distintos trabajos y la fiabilidad de esta información.

Dentro de este proceso de descomposición, una referencia habitual consiste en comenzar por distinguir niveles dentro del proyecto, que estarían asociados a distintos objetivos. Después, dentro de cada nivel, se distinguirían grupos de trabajo en base a la afinidad de los recursos que demandan las tareas concretas que engloban. Dentro de cada grupo se diferenciarán bloques de trabajo, que relacionarían actividades fuertemente vinculadas, y dentro de ellos se identificará cada actividad concreta para la que se puede estimar su duración y fijar un inicio y un final. Esta idea se ilustra, de manera muy simplificada, en la Figura 1. Obviamente, en la práctica, esta estructura de descomposición del proyecto podría complicarse mucho más.

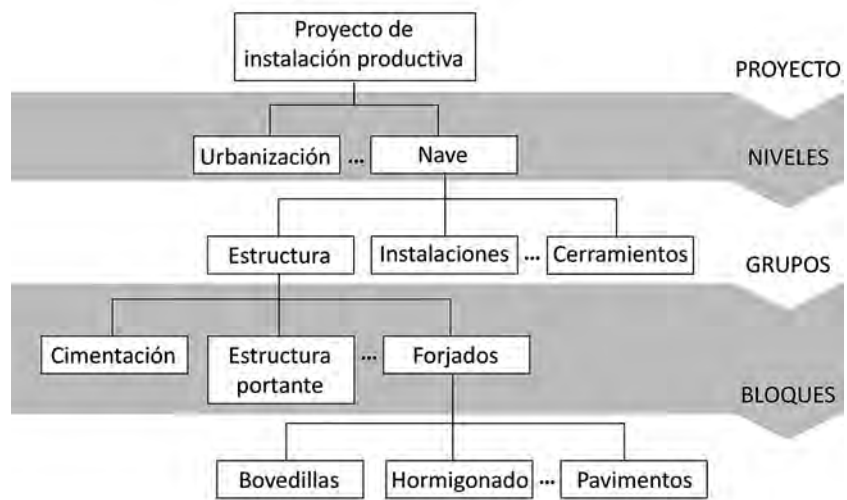


Figura 1. Descomposición progresiva del proyecto.

Así, la referencia que aportan la planificación y la programación durante la ejecución del proyecto para el seguimiento y control de los trabajos y para la consecución de los objetivos económicos y de plazo establecidos para el proyecto, resulta fundamental.

1.1. ANTECEDENTES. DIAGRAMAS DE BARRAS

La representación de la planificación y programación de los trabajos de un proyecto mediante el uso de redes tiene un claro antecedente en los diagramas de barras, con frecuencia referidos como Diagramas de Gantt en alusión a Henry Laurence Gantt, el ingeniero estadounidense que introdujo su uso en la primera década del siglo xx.

En ellos, los trabajos se representan como barras escaladas de acuerdo a su duración y referidas a un calendario que se desarrolla en el eje X del diagrama. De este modo, la consulta de las fechas de inicio y finalización de las actividades quedan claramente plasmadas en una representación clara y fácil de consultar, lo que convierte a estos diagramas en un recurso habitual para las distintas partes involucradas en la ejecución del proyecto, facilitando el seguimiento y control del avance de sus trabajos.

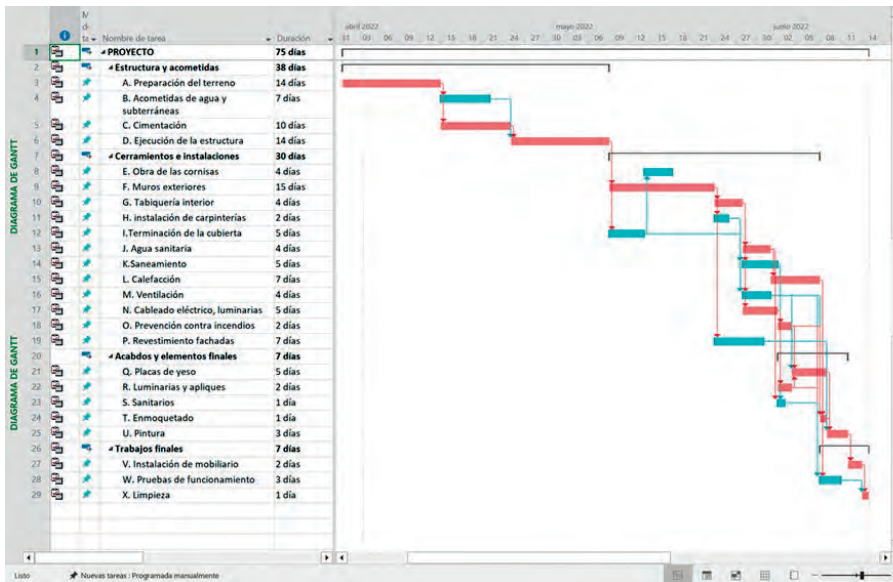
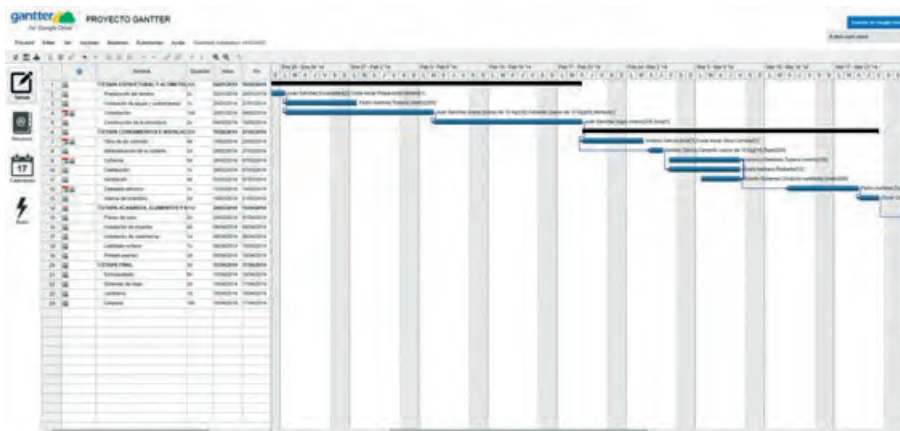


Figura 2. Ejemplos de Diagramas de Gantt generados con los software Microsoft Project y Gantter respectivamente.



Con todo ello, el diagrama de Gantt sigue siendo hoy en día una herramienta de gran uso en todo tipo de proyectos, como por ejemplo en los proyectos de construcción, en los que se erige como una herramienta

de consulta constante en la obra. Un uso que se ha visto muy potenciado gracias al desarrollo de software de gestión de proyectos que incluyen esta funcionalidad. Es el caso de referencias comerciales de primer orden y orientadas a un uso profesional, como Microsoft Project (*Sitio Web de Microsoft Project, Software de Administración de Proyectos*, n.d.), y también de alternativas más económicas, e incluso gratuitas, con funciones más básicas pero basadas en los mismos principios básicos, como puede ser el software Ganttter (*Sitio Web de Ganttter, Cloud-Based Project Management Software*, n. d.).

Su integración en estos software mitiga las limitaciones de estos diagramas en lo relativo a las dificultades visuales que habitualmente existen para identificar las relaciones entre actividades, algo para lo que las redes pueden resultar recursos de mayor claridad. No obstante, se trata de herramientas de representación de la planificación y programación de los trabajos totalmente compatibles.

1.2. SURGIMIENTO Y DESARROLLO. CPM Y PERT

A finales de los años 50 del siglo xx surgen el Método del Camino Crítico y la Técnica de Evaluación y Revisión de Programas, normalmente referidas respectivamente por las siglas CPM y PERT, ambas derivadas de su denominación en inglés, *Critical Path Method* en el primer caso y *Program Evaluation and Review Techniques* en el segundo. Ambos hitos suponen el despegue de la aplicación de grafos en la gestión de proyectos.

El CPM surge en 1957 e inmediatamente después, en 1958, se desarrolló el PERT. El CPM se desarrolló mediante una colaboración entre la Compañía Dupont y la firma de consultoría Remington Rand. La técnica se orienta a la identificación la secuencia de actividades que, a través de la suma de sus tiempos de ejecución, acumula la mayor duración desde el inicio del proyecto hasta su finalización, cuando todas las actividades han sido completadas. A esa secuencia se la denomina ruta crítica y al ser el camino más largo entre el inicio al final del proyecto determina la duración total del mismo. Fue utilizado originalmente en proyectos de construcción y se enfocaba al control y la planificación de proyectos, relacionando los costes con la planificación, desde la perspectiva de que una óptima planificación de los trabajos involucrados en el proyecto, buscando determinar el tiempo más corto posible para completar el proyecto, debía repercutir positivamente en la reducción de los costes.

Por su parte, la técnica PERT se desarrolló en el marco del programa de proyectiles Polaris del Gobierno de los Estados Unidos, con el im-

pulso de la Marina, la Fuerza Aérea y la empresa de consultoría Booz Allen Hamilton. El desarrollo de esta técnica buscaba disponer de una herramienta para gestionar proyectos complejos y principalmente relacionados con la investigación y el desarrollo. De este modo se enfoca a proyectos con incertidumbre y variabilidad en las estimaciones de tiempo, por lo que utiliza estimaciones probabilísticas para establecer la duración esperada de las actividades y analizar los riesgos, pudiendo considerar también tiempos optimistas y pesimistas para estimar la duración del proyecto.

Así, como se puede apreciar, los tipos de proyectos a los que cada técnica se orientaba en sus inicios eran diferentes y esa distinta naturaleza está relacionada con la principal diferencia entre ambas. El CPM se orienta a proyectos de los que se tiene un conocimiento profundo y por tanto para el que, en general, se dispone de información sobre todas sus actividades. Sin embargo, el PERT es capaz de gestionar proyectos en los que existen actividades desconocidas que precisan trabajos de investigación, desarrollo u otras de carácter probabilístico.

Gracias al éxito de estas técnicas a partir de los años 60 surgen diversas alternativas, en general como desarrollos de las anteriores. Es el caso del Método Roy o de técnicas como PEP, LESS, IMPACT, NASAPERT, PERTII, PERT-coste, GERT, VERT o CPM/MRP, entre otras.

En lo relativo a la representación gráfica de la información de estas técnicas, existen dos alternativas principales, las redes AOA y las redes AON. En ambos casos, a partir de las relaciones de dependencia entre los trabajos identificados y que han sido establecidas en la planificación, se definen los distintos caminos o secuencias de actividades que discurren entre el inicio y el final del proyecto. Estos caminos quedan definidos mediante flechas y nodos. Considerando las duraciones estimadas para cada actividad, conjuntamente con esta red de caminos se obtiene información relativa a las fechas de inicio y finalización de los distintos trabajos, teniendo en cuenta ambas dimensiones, la duración propia y la influencia de las relaciones existentes con otros trabajos de la red.

La principal diferencia entre las redes AOA y AON radica la información que se vincula a las flechas y los nodos. Como su propia denominación indica, las redes AOA (Activities On Arrows) ubican las actividades en las flechas de la red, quedando cada actividad delimitada por un suceso que marca su inicio y otro su final, para los cuales se calculan fechas de celebración. Por su parte, las redes AON (Activities On Nodes) sitúan las actividades en los nodos, quedando las flechas como simples recursos gráficos de conexión entre las actividades de la red para indicar su relación.

CMP y PERT fueron representados inicialmente mediante redes AOA. Este tipo de redes requieren del empleo habitual de actividades ficticias. Este tipo de actividades se introducen únicamente para cumplir las relaciones de dependencia existentes y pueden plantear algunas dificultades al construir las redes, lo que adquiere una especial relevancia con el auge de los ordenadores y los intentos de implementar estas redes en programas informáticos. En respuesta a esa situación se desarrollan las redes AON, que no requieren de actividades ficticias para cumplir las relaciones entre actividades y simplifican la construcción de la red.

Hoy en día estas técnicas siguen siendo ampliamente empleadas y referidas en las principales metodologías de dirección y gestión de proyectos. Es el caso por ejemplo de la metodología PM2, que las incluye en el Apéndice C de su manual de referencia «Metodología de Gestión de Proyectos PM2. Guía 3.0.1» (European Commission Centre of Excellence in Project Management [CoEPM2], 2021), relativo a las principales «Herramientas y Técnicas de Gestión de Proyectos».

1.3. ASPECTOS GENERALES DE LA CONSTRUCCIÓN DE REDES

Tanto en el caso de redes AOA como de redes AON, el uso de grafos o redes como soporte durante la planificación y programación del proyecto implica una serie de fases. A continuación, se indican esquemáticamente las principales:

- Descomposición del proyecto hasta identificar las actividades concretas.
- Descripción detallada de las actividades.
- Identificación de las relaciones entre actividades.
- Asignación de recursos a las actividades.
- Estimación de la duración de las actividades.
- Definición de un modelo gráfico.

Efectivamente, la primera tarea a abordar, y base de las posteriores, consiste en la adecuada descomposición del proyecto hasta los trabajos o actividades concretos que lo integran. En ese sentido, como se ilustra en la Figura 1, se trata de un proceso progresivo. Esta identificación debe ir acompañada de una clara caracterización de los trabajos.

Identificadas las actividades se deberán definir las relaciones existentes entre ellas. Se trata en definitiva de definir la secuencia lógica de los trabajos. Estas relaciones ponen de manifiesto la dependencia entre los distintos trabajos que se integran en el proyecto, que en general necesitarán que otros hayan sido cumplimentados para poder iniciarse. En este sentido se podrían considerar distintos tipos de relaciones entre las actividades que actúan como predecesoras o dominantes y aquellas a las que precede o que están subordinadas a ellas.

Además, estas relaciones pueden plantearse de manera directa o incorporar información relativa a desfases temporales adicionales que se quieren disponer entre los hitos que se relacionan. Este recurso no se aplica en las redes AOA mientras que sí puede plantearse en las redes del tipo AON, dada la simplificación que supone la ubicación de las actividades en los nodos para su construcción. Estas relaciones encuentran su verdadero potencial en los software de gestión de proyectos, que permiten relacionar actividades mediante estas alternativas de manera ágil, como se muestra en la Figura 3 para Microsoft Project, y actualizar los cálculos de la programación para cumplir estas relaciones. En los diagramas de Gantt que se mostraban en la Figura 2 podían apreciarse estos distintos tipos de relaciones entre las actividades.

Id	Nombre de tarea	Tipo	Pos
1	ACTIVIDAD 1	Ninguno	0d
		Fin a comienzo (FC)	
		Comienzo a comienzo (CC)	
		Fin a fin (FF)	
		Comienzo a fin (CF)	
		Ninguno	

Figura 3. Cuadro de diálogo para establecer las relaciones entre actividades en Microsoft Project.

A continuación, se comentan brevemente las relaciones posibles y se aportan ejemplos sencillos para ilustrar su naturaleza.

- **Final de la actividad dominante - Inicio de la actividad subordinada:** La actividad subordinada no puede iniciarse hasta que finalice la ac-

tividad dominante, normalmente debido a que la naturaleza de sus trabajos requiere que previamente se hayan completado los de su antecesora. Este es el tipo de relaciones de precedencia que se considerarán en las redes AOA. La Figura 4 muestra un ejemplo básico con dos actividades haciendo uso del software Microsoft Project. En la primera captura se muestran ambas actividades relacionadas de manera directa y en la segunda, como se muestra en el cuadro de diálogo, se ha introducido un desfase o tiempo extra entre los hitos que se relacionan de dos días. Nótese que en ambos casos el sábado y el domingo no se están teniendo en cuenta como días laborables, de acuerdo al calendario de trabajo empleado en estos ejemplos.

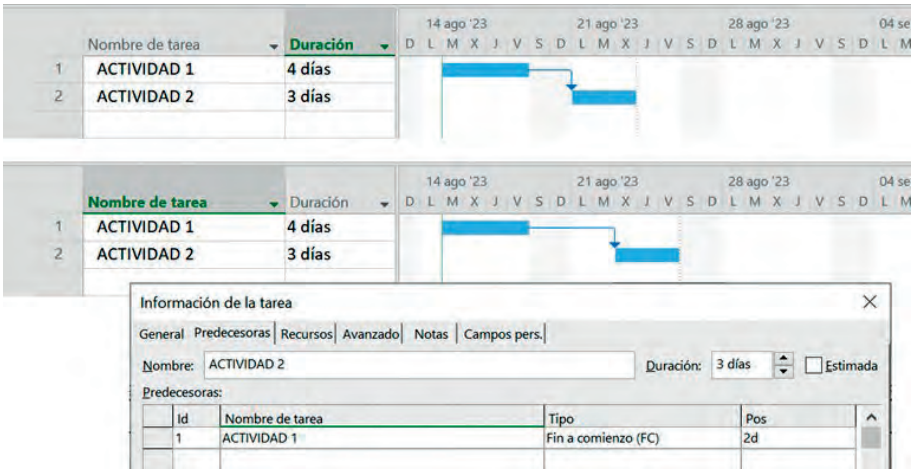


Figura 4. Ejemplo de relación Fin-Inicio en MS Project.

La segunda situación puede responder a situaciones en las que los trabajos de la actividad predominante requieren determinado tiempo de ejecución, pero posteriormente requieren de cierto tiempo de asentamiento antes de que se inicien los siguientes trabajos. Podemos pensar en situaciones como la aplicación de tratamientos, el pintado o impregnación de superficies que requieran de secados, curados o procesos similares, trabajos de hormigonado que requieren un tiempo de fraguado, etc.

- **Final de la actividad dominante - Final de la actividad subordinada:** La actividad subordinada no puede finalizar antes de que finalice la actividad dominante. Habitualmente esta relación se planteará considerando adicionalmente un desfase temporal de cierta magnitud entre los hitos relacionados, ya que a menudo este tipo de relación se emplea en situaciones en las que se quiere que la actividad subor-

dinada se complete cierto tiempo después del final de otros trabajos en previsión de situaciones de distinta naturaleza. Podemos pensar en subordinadas asociadas a trabajos de limpieza, retirada de señalización, retirada de protecciones, etc., para las que se quiera dejar cierto margen respecto al final estricto de los trabajos previos.

En la Figura 5 se muestran dos capturas de sendos ejemplos para ilustrar este tipo de relación. La primera sin haber añadido un tiempo adicional, la segunda añadiendo dos días entre los hitos que se relacionan. Nuevamente debe tenerse en cuenta que los sábados y domingos se han establecido como no laborables.

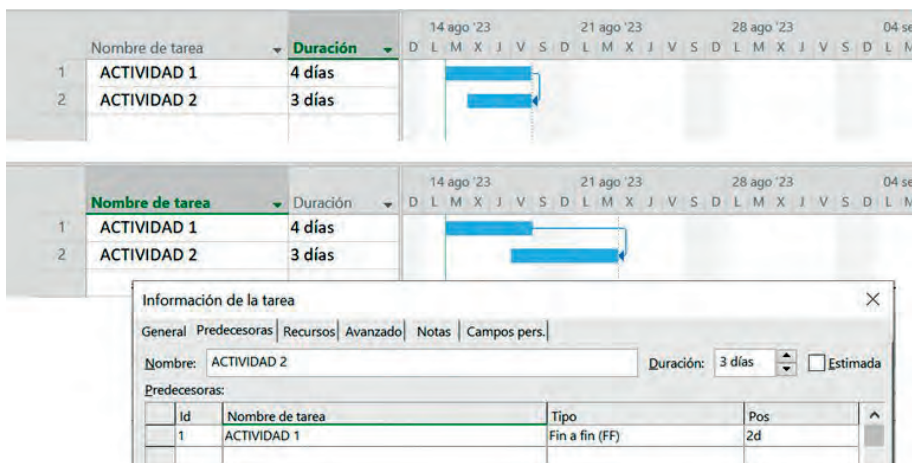


Figura 5. Ejemplo de relación Fin-Fin en MS Project.

- Inicio de la actividad dominante - Inicio de la actividad subordinada:** Se establece una relación en la que la actividad subordinada no puede iniciarse antes que la dominante, pero no requiere que ésta haya sido completada para poder comenzar. Normalmente esta relación deberá ir acompañada de información relativa al desfase temporal que se quiere establecer entre ambos inicios, dado que a menudo responde a situaciones en las que ambos trabajos tienen un desarrollo importante y pueden ir avanzando en paralelo de manera progresiva siempre avanzando los de la actividad dominante por delante de los de la subordinada, que parte de sus resultados. Ejemplos de este tipo de situaciones pueden ser el reasfaltado de una calle, donde una vez retirado un tramo suficiente del asfalto deteriorado se inician los trabajos del nuevo asfaltado para continuar ambos en paralelo en una secuencia a tramos, o las excavaciones realizadas por una tuneladora, a cuyo avance le siguen otros trabajos de acondicionamiento, instalaciones, etc.

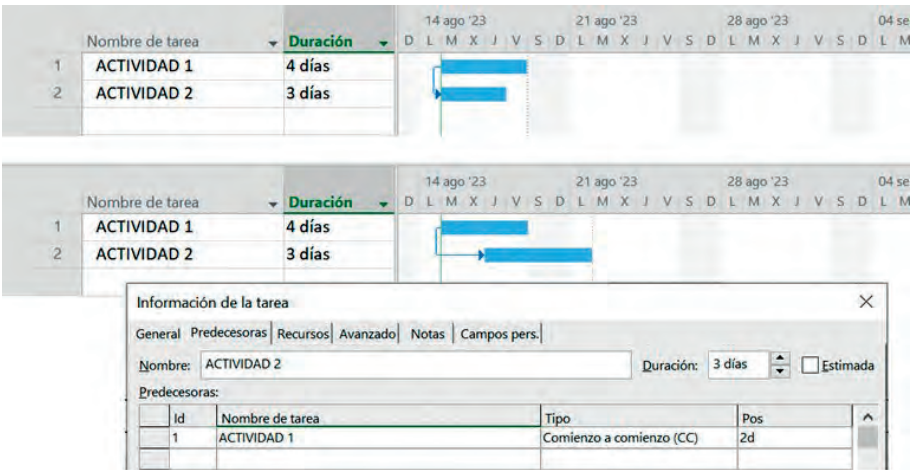


Figura 6. Ejemplo de relación Inicio-Inicio en MS Project.

■ **Inicio de la actividad dominante - Final de la actividad subordinada:** En esta relación la actividad subordinada no puede finalizar antes de cierto periodo a partir del inicio de la actividad dominante. Esta relación pueda dar origen a situaciones especiales que pueden generar alguna duda en torno a los conceptos de actividades dominante y subordinada. En este sentido, la primera captura de los ejemplos que se ilustran en la Figura 7 muestra un periodo de desfase nulo, en la segunda captura se ha dado un valor de 5 días a ese desfase. Así, en la primera captura se puede apreciar como el inicio de la Actividad 2 sería previo al de la Actividad 1. Por su parte, en el caso de la segunda captura el desfase considerado, de 5 días, elimina esa situación que puede resultar confusa. No obstante, tanto si el desfase hubiera sido menor, por ejemplo, de un día, como si para el desfase consi-

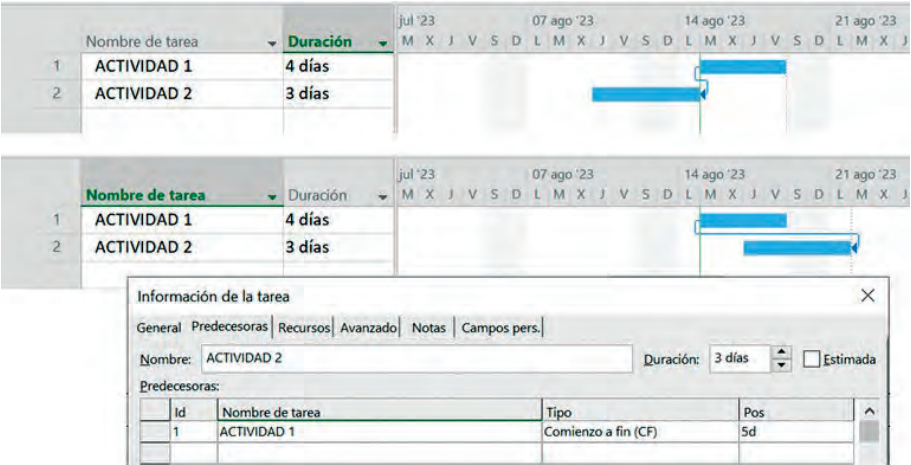


Figura 7. Ejemplo de relación Inicio-Fin en MS Project.

derado de 5 días la duración de la actividad hubiera sido suficientemente mayor, por ejemplo, de 6 días, el inicio de la actividad B también habría sido anterior al de la Actividad 1. En estos casos, para clarificar el carácter dominante o subordinado de las actividades la referencia será el efecto que los cambios de las fechas o duraciones de una actividad tengan sobre la otra. Los cambios en la dominante afectarán a la subordinada, pero no a la inversa.

Identificadas las actividades y la secuenciación de los trabajos se deberán de especificar también los recursos necesarios para su correcta realización. Este análisis es clave para evitar situaciones inadecuadas y que impactarían en el correcto desarrollo de los trabajos. Un ejemplo es la sobreasignación de recursos, que se refiere a la vinculación de un mismo recurso a varias actividades que se desarrollan simultáneamente, de modo que no es posible realizar ambas. Los software de gestión de proyectos, como los ejemplos ya citados de Microsoft Project y Ganttter, incluyen funciones específicas para eliminar estas situaciones (*redistribución de recursos* en el caso de Microsoft Project y *nivelación de recursos* en el caso de Ganttter) redefiniendo la planificación y programación de los trabajos. Cabe señalar que estas situaciones no quedan totalmente definidas en este momento del proyecto, sino que pueden cambiar más adelante cuando se definan las relaciones entre actividades y se construya el modelo o red, incluso durante el desarrollo de los trabajos podrían surgir cambios, por lo que deben ser objeto de control continuado. Con todo ello, la valoración de los distintos tipos de recursos necesarios (humanos, tecnológicos, etc.) disponibles en la empresa o la necesidad de subcontratarlos, su asignación a otros trabajos del proyecto o de otros proyectos, o el coste asociado y la capacidad de asumirlo, son algunos de los aspectos valorables en esta etapa.

Por su parte, desde el momento en el que una mayor dotación de recursos para determinada actividad podrá reducir su plazo de ejecución, la estimación de las duraciones previstas para cada tarea estará directamente relacionada con el análisis de los recursos disponibles. De este modo. Por otro lado, al determinar estos plazos la estimación se apoyará bien en experiencias anteriores y proyectos similares, como se expuso para el caso de la técnica CPM, o bien en un análisis probabilístico cuando el tipo de proyecto no permite disponer de esta información previa de referencia, como se expuso para el caso del PERT. De este modo, el PERT se orientó a un estudio probabilístico del tiempo más probable para la realización de cada trabajo. Para ello se adoptó la distribución β , representada gráficamente por una curva con su máximo desplazado, como se muestra en la Figura 8.